

# 부순모래를 사용한 CFT 구조용 고유동·고강도콘크리트의 물성 변화

## The Properties of High Flowing and Strength Concrete Utilizing Crushed Sand for CFT Structure

안 남 식\*

Ahn, Nam-Shik

임 흥 철\*\*

Rhim, Hong-Chul

임 혜 선\*\*\*

Lim, Hye-Sun

### Abstract

To investigate the properties of high flowing and high strength concrete with crushed sand and fly ash for CFT structure, many batches were performed by a trial-error method. In the experiment W/B was set up three levels as 0.25, 0.30 and 0.35. Also the variables of the experiment were a substitution ratio of fly ash, a blend ratio of crushed sand and the ages of specimens(3, 7, 28 days).

The results of this study are summarized as the follows;

1) The effect a substitution ratio of fly ash on the compressive strength was not consistent with age. For twenty-eight day compressive strength, the best result was come out when cement was substituted by 10% of fly ash.

2) The decrease of the water binder ratio, the increase of compressive strength and elastic modulus. Also the relationship is very similar to the case of a normal concrete

키 워 드 : 부순모래, CFT, 고유동, 고강도콘크리트

Keywords: Crushed sand, CFT, High flowing, High strength concrete

## 1. 서 론

최근 국내외에서 발주되고 있는 건설공사가 대규모·고기능화됨에 따라 CFT구조에 사용되는 콘크리트의 성능도 고강도·고유동화를 요구하고 있으나, 국내 자연산 골재의 고갈로 골재수급이 심각한 상황에 직면해 있어서 고강도콘크리트는 물론 일반 콘크리트조차 골재의 공급이 충분하지 못한 실정이다. 이에 대한 대책으로 해사(바닷모래)와 부순모래를 대체 골재로 사용하는데, 해사는 또 다른 환경문제를 유발시키고 있어 점차 부순모래에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다.

또한 현재 국내의 화력발전소에서 발생하는 막대한 양의 플라이애시에 대한 환경오염처리 문제가 중대한 현실적인 과제로 대두하고 있다. 이미 미국, 독일, 일본 등 선진국에서는 부순모래 및 플라이애시를 이용한 고강도콘크리트의 연구개발 및 실용화연구가 활발히 진행되고 있으나, 국내에서는 이에 대한 연구가 극히 미진하여 부순모래를 사용한 고강도콘크리트의 개발에 대한 연구가 시급한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 쇄석공장에서 생산되는 부순모래 및 화력발전소에서 발생하는 플라이애시를 이용한 고강도콘크리

트 복합체를 제조하여 그 물성 변화에 관한 기초적 연구를 수행하는데 그 목적을 두었다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

표 1은 본 연구의 실험계획을 나타내고 있는데, 물결합재비는 0.25, 0.30, 0.35의 3수준, 플라이 애쉬의 치환율은 0, 10, 20%의 3수준, 부순모래(CS)와 바닷모래(SS)의 혼합비율은 0:100, 30:70, 50:50, 70:30, 100:0의 5수준 및 재령은 3, 7, 28일의 3수준으로 설정하여 고유동·고강도콘크리트의 물성 변화를 검토하고자 하였다. 측정항목은 슬럼프 플로우, 공기량, 압축강도 및 인장강도이며, 콘크리트의 배합은 표 2와 같은데 부순모래와 플라이 애쉬가 0%인 배합을 기준으로, 굳지 않은 콘크리트의 요구 성능을 만족하도록 잔골재율 및 단위수량을 조절하였다. 또한 목표 슬럼프 플로우 및 공기량을 만족시키기 위하여 소정의 고성능 감수제 및 AE제를 첨가하였다.

### 2.2 사용 재료의 물리적 성질

본 실험에 사용한 각 재료의 비중은 다음과 같다. 시멘트(3.15), 플라이 애쉬(2.2), 부순모래(2.59), 해사(2.59) 및 굵은

\* 세종대학교 건축공학과 교수, 정회원

\*\* 연세대학교 건축공학과 교수, 정회원

\*\*\* 연세대학교 건축공학과 첨단구조연구실 연구원, 정회원

골재(2.61) 등을 사용하였고, 부순모래 100% 잔골재의 조립률은 3.98로써 매우 크게 나타나 표준입도곡선을 벗어났다. 그러나 부순모래 혼합비율이 50%를 상회하는 경우에는 표준입도곡선 내에 존재하는 양호한 잔골재를 얻을 수 있었다.

표 1. 실험계획

구분	실험인자	수준
물/결합재 비	0.25, 0.30, 0.35	3
플라이 애쉬 치환비율(%)	0, 10, 20	3
부순모래 혼합비율(%)	0, 30, 50, 70, 100	5
재령(일)	3, 7, 28	3
실험	슬럼프 플로우(cm) 공기량 (%) 압축강도 할렬인장강도	

표 2. 콘크리트 기준 배합 (FA 0%)

W/B	부순모래 혼합비율 (SS:CS)	S/a (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )					공기량 (%)
			물	시멘트	잔골재		굵은 골재	
					SS	CS		
0.25	100:0	39.0	155	620	612	0	960	3.5
	70:30	38.0	160	640	411	176	958	4.9
	50:50	39.0	170	680	290	290	906	4.0
	30:70	42.0	180	720	180	421	827	4.3
	0:100	42.0	190	760	0	579	793	4.0
0.30	100:0	42.0	155	517	694	0	963	6.0
	70:30	40.0	155	517	465	199	996	5.5
	50:50	39.0	160	533	319	319	996	3.3
	30:70	38.5	167	557	185	432	981	2.4
	0:100	38.0	175	583	0	594	963	4.6
0.35	100:0	37.0	155	443	634	0	1084	4.1
	70:30	37.0	155	443	446	189	1084	5.4
	50:50	35.0	155	443	302	302	1119	4.0
	30:70	37.0	160	457	189	446	1069	5.0
	0:100	37.0	167	477	0	634	1047	4.3

비중: 시멘트 3.15, FA 2.2, SS 2.59, CS 2.59 G 2.61

사진 1은 각각 부순모래와 해사 알갱이의 현미경 100배 확대사진을 보여주고 있다. 사진 1에서 보는 바와 같이 입형이 고르지 못한 부순모래와 입형이 비교적 원형에 가까운 해사의 확연한 차이를 알 수 있다.

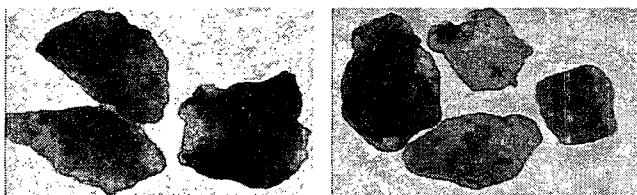


사진 1. 부순모래(좌측)와 해사(우측)-100배사진

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 고유동·고강도콘크리트의 강도특성

##### 3.1.1 플라이 애쉬의 혼입비율에 따른 압축강도

부순모래를 전혀 사용하지 않고 해사만을 잔골재로 사용한 경우 플라이 애쉬의 혼입비율과 물/결합재비에 따른 경화콘크리트 각 재령별 압축강도를 그림 1에 나타내었다.

W/B에 따른 압축강도 발현 성상은 W/B가 낮아질수록 높은 강도발현 수준을 보이며, 평균적으로 압축강도는 5MPa정도씩 상승하는 것으로 나타났다. 더불어 플라이 애쉬 치환율의 영향은 초기 7일까지의 재령에서는 치환율이 높아질수록 압축강도는 낮게 나타났지만, 재령 28일에서는 상대적으로 치환율 10%가 다소 높은 수준을 보이고 있는데 이는 수화속도의 최적 치환율이 10%인 것으로 판단된다.

그림 2는 부순모래 100%를 사용하고 해사는 전혀 사용하지 않은 경우 플라이 애쉬의 혼입비율과 물/결합재비에 따른 경화콘크리트 재령 3일, 7일, 28일에서의 압축강도를 나타낸 것이다. 그림 2와 3을 비교해 볼 때 부순모래 혼합비율에 따른 강도 발현 특성은 W/B에 따라 다소 상이한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 즉 W/B 0.25에서는 부순모래 혼합비율이 높아질수록 28일 압축강도도 증가하는 경향을 보이고 있지만, W/B 0.30과 0.35에서는 혼합비율이 많아짐에 따라 다소 감소하는 것으로 나타났다.

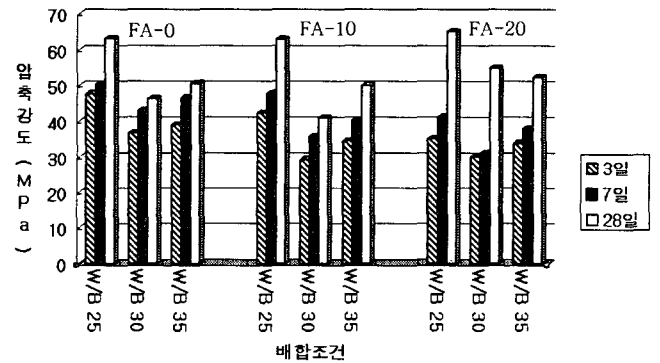


그림 1. 플라이 애쉬의 혼입 비율과 물 결합재비에 따른 재령별 압축강도 (부순모래 0%)

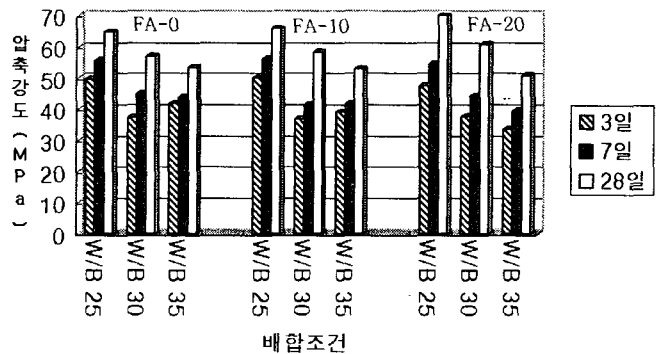


그림 2. 플라이 애쉬의 혼입 비율과 물 결합재비에 따른 재령별 압축강도 (부순모래 100%)

이는 부순모래를 혼입 사용함으로써 콘크리트를 구성하는

골재 상호간의 맞물림 작용과 잔입자의 혼입에 의해서 콘크리트의 공극을 충전하여 조직을 치밀하게 만들 수 있지만, 배합수준에 따라 과도한 사용은 그 효과를 저감시키기 때문인 것으로 판단된다.

3.1.2 부순모래의 혼입비율에 따른 압축강도

그림 3에서 그림 5까지는 부순모래의 혼입 비율과 물 결합재비에 따른 28일 압축강도(각각 플라이 애쉬 0%, 10% 및 20%)를 나타내고 있다.

이들 그림에서도 마찬가지로 물 결합재비가 0.25일 경우에는 부순모래의 혼입 비율이 증가할수록 압축강도가 다소 증가 되는 것으로 나타났지만 물 결합재비가 0.30 또는 0.35일 경우에는 뚜렷한 경향을 보이지 않고 있다. 이는 시멘트의 수화작용에 필요한 최소한의 수량이라고 할 수 있는 0.25의 물 결합재비에서는 부순모래의 혼입 사용이 공극의 충전 작용으로 인해 압축강도를 높이는 것으로 파악할 수 있으나 물 결합재비가 0.30과 0.35에 대해서는 부순모래의 혼입 사용 이외에 다른 요소에 의해 압축강도가 결정되는 것으로 사료된다.

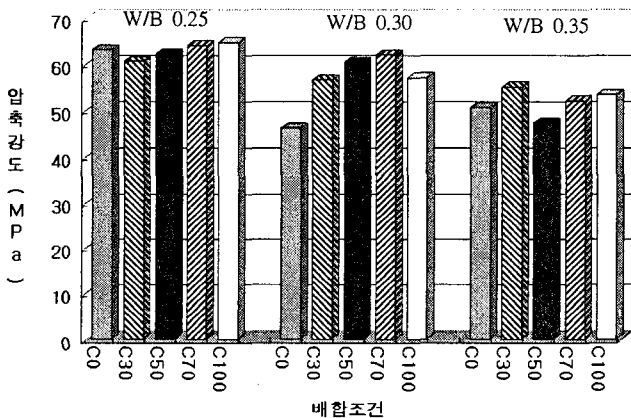


그림 3. 부순모래의 혼입 비율과 물 결합재비에 따른 28일 압축강도 (플라이 애쉬 0%)

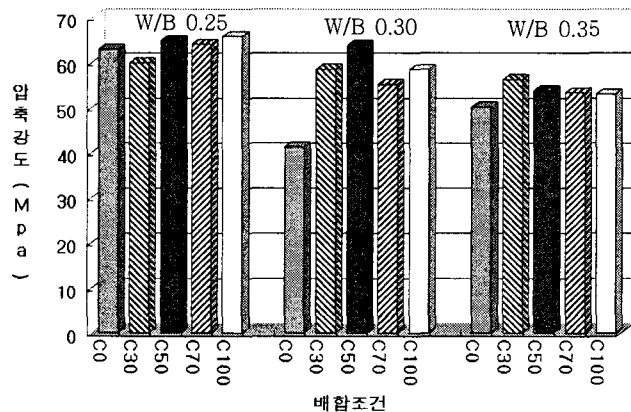


그림 4. 부순모래재 혼입 비율과 물 결합재비에 따른 28일 압축강도 (플라이 애쉬 10%)

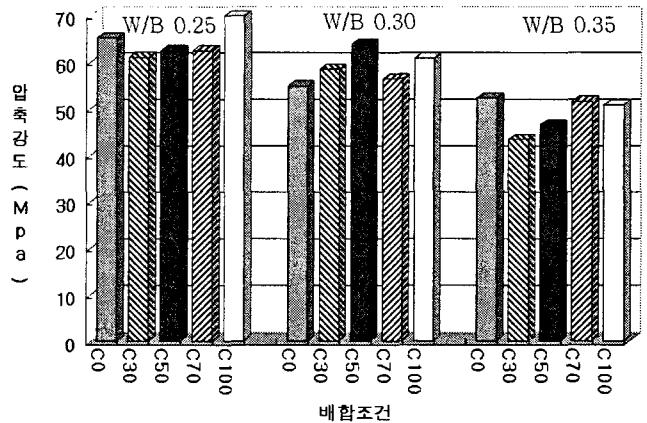


그림 5. 부순모래의 혼입 비율과 물 결합재비에 따른 28일 압축강도 (플라이 애쉬 20%)

3.1.3 압축강도와 탄성계수

그림 6은 플라이 애쉬의 혼입 비율이 20% 일 때 물 결합재비에 따른 28일 압축강도와 탄성계수의 관계를 나타내고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 물 결합재비가 감소함에 따라 압축강도와 탄성계수가 함께 증가하고 있으나 그 관계는 거의 일정함을 알 수 있다. 28일 압축강도가 30 MPa 이하인 일반 콘크리트의 경우와는 그 비례식이 약간의 차이는 있을 수 있으나 전체적인 경향은 비슷하다고 판단된다. 즉, 고강도의 콘크리트일수록 더욱 강성이 큰 구조물을 제조할 수 있음을 의미한다.

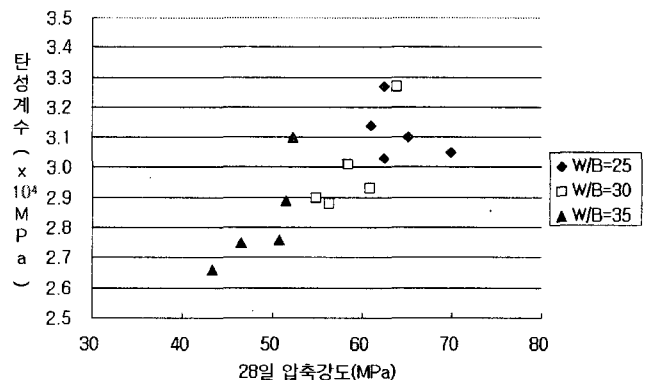


그림 6. 물 결합재비에 따른 압축강도에 탄성계수의 관계 (플라이 애쉬 20%)

3.2 SEM 사진에 의한 조직 분석

사진 2에서 사진 4까지는 각각 플라이 애쉬를 0%, 10% 및 20%를 사용했을 때의 SEM 7000배 확대 사진을 보여주고 있다. 물론 이 사진들이 전체적인 콘크리트 시편을 모두 대변한다고 말하기는 무리가 있지만 세 개의 사진만을 놓고 상대적인 비교를 하고자 한다.

전체적으로 플라이 애쉬의 혼입 비율이 증가할수록 입자의 알갱이가 작아지고 공극을 충전하고 있는 것을 그림을 통해 알 수 있다. 또한 사진 3과 사진 4에서 보는 바와 같이 압축강도의 시험에서 균열의 위치가 플라이 애쉬에 의해서 만들어진 화합물 위에 존재하지 않고 이웃한 다른 층에 균열이 발생함을 알 수 있는데 이는 플라이 애쉬의 혼입 사용으로 인한 강도의 증진에 대한 설명이 가능할 것으로 사료된다.

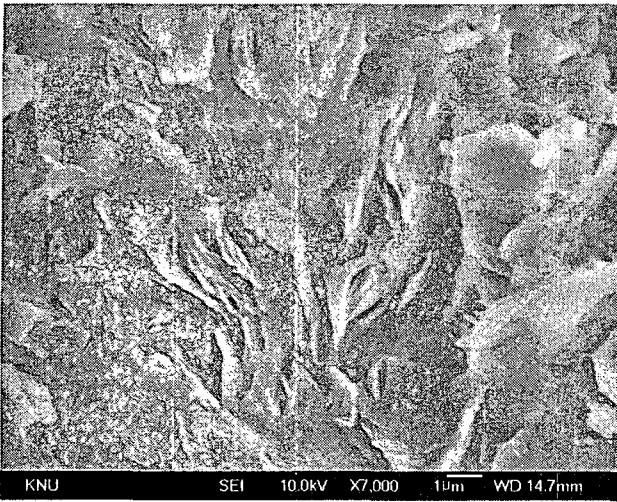


사진 2. FA 0% SEM 7000배 확대사진

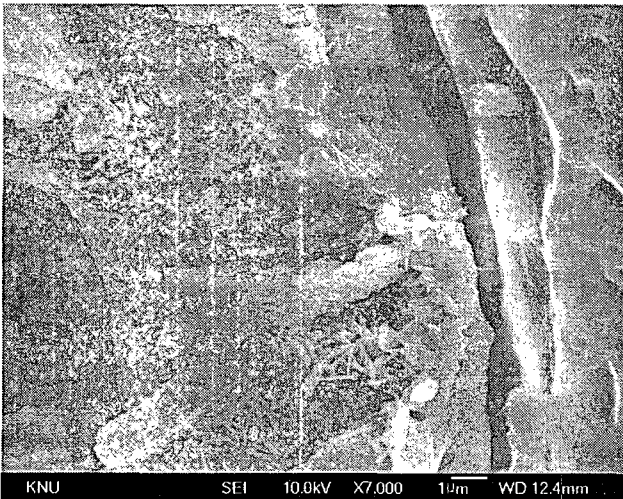


사진 3. FA 10% SEM 7000배 확대사진

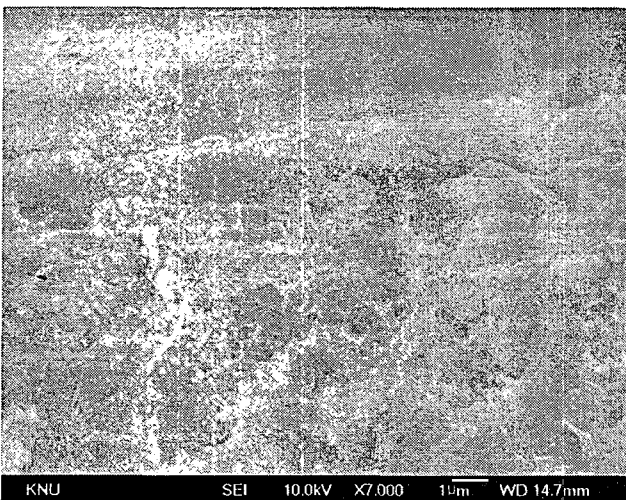


사진 4. FA 20% SEM 7000배 확대사진

#### 4. 결 론

부순모래를 사용한 CFT 구조용 고유동·고강도콘크리트의 물성 변화를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고강도콘크리트의 경우, 물 결합재비에 따른 압축강도 발현 성상은 물 결합재비가 낮아질수록 높은 강도발현 수준을 보이며, 평균적으로 압축강도는 5 MPa 정도씩 상승하는 것으로 나타났다.
- 2) 플라이 애쉬 치환율의 영향은 초기 7일까지의 재령에서는 치환율이 높아질수록 압축강도는 낮게 나타났지만, 재령 28일에서는 상대적으로 치환율 10%가 다소 높은 수준을 보이고 있는데 이는 수화속도에 기인하는 것으로 판단된다.
- 3) 플라이애시 치환율 10%에서 유동성 및 강도특성이 우수한 것으로 나타났다.
- 4) 물 결합재비가 감소함에 따라 압축강도와 탄성계수가 함께 증가하고 있으나 그 관계는 거의 일정함을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고, 한국건설교통기술평가원에서 시행한 2005년도 건설핵심기술 연구사업 「공기단축형 복합구조시스템 건설기술」(과제번호: 05 RND 건설핵심 D02-01)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 박승범 외 3인, “플라이애시와 부순모래를 이용한 콘크리트의 제조 및 역학적 특성에 관한 실험적 연구”, 1990, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집
2. 이진규 외 5인, “부순모래 콘크리트의 배합설계에 관한 실험적 연구”, 1990, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집
3. 윤용호 외 2인, “부순모래를 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구”, 2003, 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp 106-111
4. 박철림 외 3인, “부순모래를 사용한 초유동 콘크리트의 현장 적용”, 1998, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, pp 9-14
5. 권영진 외 2인, “고강도 콘크리트에 미치는 골재물성의 영향에 관한 기초적 실험”, 1986, 대한건축학회 학술발표회 논문집, pp 509-512
6. H. Donza 외 2인, “High-strength concrete with different fine aggregate”, 2002, Cement and Concrete Research, pp 1755-1761
7. 김진근 외 3인, “The Fracture Characteristics of Crushed Limestone Sand Concrete”, 1997, Cement and Concrete Research, pp 1719-1729