플라이 애쉬를 사용한 CFT 구조용 고유동콘크리트의 강도특성

The Properties of High Flowing Concrete with Fly Ash for CFT Structure

안 남 식* 임 홍 철** 최 재 곤***
Ahn, Nam Shik Lim, Hong Chul Choi, Jae Gon

ABSTRACT

To investigate the properties of high flowing concrete with fly ash and crushed sand for CFT structure, many batches were performed by a trial-error method and the results were analyzed by SPSS software program. In the experiment W/B was set up as 0.25 and the variables 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 increase of the substitution ratio of fly ash, the decrease of dosage of SP and the increase of dosage of AEA due to very fine sphere particle of fly ash.
2) The increase of the blend ratio of crushed sand, the increase of dosage of S/a and water content related with viscosity.
3) Made the high flowing concrete, the increase S/a and the increase the water content.

1. 서 론

플라이 애쉬는 현재 콘크리트용 혼화재료로 사용되고 있으며 수화발열의 저감, 경화체 조직의 치밀화, 장기강도 증진, 워커빌리티 개선 등의 우수한 성질을 가지고 있으며, 경제성 및 공급의 안정성이 우수하여 점차 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 또한 화력발전소의 산업폐기물인 플라이 애쉬의 재활용은 환경적인 면에서도 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 다만, 플라이 애쉬는 배합설계 시 결합재의 일부로 치환하여 사용하는 것이 보통이므로 치환율의 증대에 따른 단위시멘트량의 감소로 인해 초기강도의 저하를 가져올 수 있는 단점이 있다.

콘크리트용 잔골재의 경우, 강모래의 점차적인 고갈에 따라 해사의 사용이 빈번한데 해사는 다량의 염분을 함유하고 있어 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우 콘크리트 내부에서의 철근부식을 유발시키는 등 철근콘크리트 구조물의 내구성에 큰 영향을 미치고 있다. 또한 최근 환경문제에 의해 해사의 채취 불허에 의해 발생된 골재 파동과 같이 천연 잔골재의 공급부족에 따라 콘크리트용 잔골재의 대체용으로 부순모래의 사용량이 점차 증가되고 있다.

현재 고층구조물에 많이 사용되는 CFT 구조용으로 사용되는 콘크리트의 경우 self-compacting이 가능한 고유동 콘크리트를 많이 사용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 플라이 애쉬를 시멘트에 대한 비율로 치환하고 잔골재로서 부순모래와 해사를 사용하여 혼합비율을 변수로 고려하여 고유동 콘크리트의 강도특성을 검토하였다.

* 정회원, 세종대학교 건축공학과 교수, 공박
** 정회원, 연세대학교 건축공학과 교수, 공박
*** 정회원, 홍익대학교 건축공학부 석사과정

2. 실험개요

2.1 실험계획

표 1. 실험계획

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

플라이 애쉬와 부순모래를 사용한 고유동콘크리트의 강도특성을 고찰하기 위한 실험 계획은 표 1과 같다. 콘크리트 시편에 대한 강도 실험에서 재령은 3일, 7일 및 28일로 세 가지의 수준을 변화시켜 실시하였다. 플라이 애쉬를 시멘트 중량 치환율 0, 10, 20%의 3수준, 사용된 전체 잔골재에 대한 부순모래의 혼합비율은 0, 30, 50, 70, 100%의 5수준으로 설정하였다. 실내 실험은 슬럼프 플로우(cm), 공기량(%), 압축강도 및 할렬인장강도 시험을 실시하였다. 본 연구에 사용된 콘크리트는 고유동콘크리트이므로 슬럼프만으로는 그 차이를 구분할 수 없어서 슬럼프 플로우(cm)를 측정하였고 유동성과 점성 및 재료분리 등을 고려하여 목표 슬럼프 플로우는 60 ± 10cm로 설정하였다. 또한 목표 공기량은 일반 콘크리트의 타설 기준인 4.5 ± 1.5%로 설정하였다. 이러한 슬럼프 플로우 및 공기량을 만족시키기 위하여 소정의 고성능감수제 및 AE제를 첨가하였고, 모든 콘크리트의 배합은 trial-error method에 의해 목표값을 얻을 때까지 반복적으로 시행되었다.

2.2 사용재료 및 배합

본 연구에 사용된 각 재료의 비중은 다음과 같다. 시멘트(3.15), 플라이 애쉬(2.2), 부순모래(2.59), 해사(2.59) 및 굵은 골재(2.61) 등을 사용하였다. 표 2는 콘크리트의 배합표를 보여주고 있는데 플라이 애쉬의 치환율과 부순모래의 혼합비율에 따라 잔골재율, 단위수량, 고성능감수제 및 AE제의 사용량이 변함을 알 수 있다.

표 2. 콘크리트 배합 (W/B = 0.25)

부순모래 혼합비율(%)	플라이 애쉬 치환비율(%)	S/a (%)	단위중량(kg/m^3)						감수제 (B×%)	AE제 (B×%)
			물	시멘트	플라이 애쉬	굵은 골재	부순 모래	해사		
0	0	39.0	155	620	0	960	0	612	1.80	0.030
0	10	37.5	155	558	62	970	0	580	1.85	0.045
0	20	36.0	155	496	124	979	0	549	1.80	0.064
30	0	38.0	160	640	0	958	176	411	2.50	0.045
30	10	36.5	160	576	64	966	167	389	2.66	0.054
30	20	35.0	160	512	128	974	157	367	2.44	0.064
50	0	39.0	170	680	0	906	290	290	2.00	0.045
50	10	37.5	170	612	68	913	274	274	1.98	0.059
50	20	36.0	170	544	136	920	259	259	1.84	0.068
70	0	42.0	180	720	0	827	421	180	2.15	0.040
70	10	40.5	180	648	72	833	399	171	2.15	0.052
70	20	39.0	180	576	144	839	377	162	2.15	0.060
100	0	42.0	190	760	0	793	579	0	1.90	0.050
100	10	42.0	190	684	76	777	567	0	1.90	0.063
100	20	40.5	190	608	152	781	536	0	1.80	0.072

3. 실험결과 및 고찰

플라이 애쉬를 사용한 고유동콘크리트의 강도특성 시험결과는 표 3에 보는 바와 같다.

표 3. 경화콘크리트의 시험결과 (W/B = 0.25)

부순모래 혼합비율(%)	플라이 애쉬 치환비율(%)	압축강도 (MPa)			할렬인장강도 (MPa)		
		3일	7일	28일	3일	7일	28일
0	0	47.7	50.4	63.1	3.89	4.29	5.20
0	10	42.4	47.8	62.9	3.62	3.87	4.97
0	20	35.2	41.2	65.1	3.12	4.11	5.28
30	0	42.1	47.7	60.6	3.13	3.62	4.90
30	10	35.5	49.4	59.9	3.17	3.38	4.89
30	20	36.5	41.2	61.0	3.76	3.86	4.44
50	0	44.0	48.2	62.2	4.20	4.48	4.62
50	10	41.5	47.8	64.9	3.99	4.03	4.54
50	20	39.9	46.8	62.4	3.07	4.12	4.89
70	0	43.1	54.6	64.0	3.89	4.37	4.88
70	10	39.7	48.1	63.9	3.87	4.37	4.98
70	20	38.2	48.7	65.8	3.11	3.61	5.29
100	0	49.6	55.6	64.7	2.81	4.10	4.28
100	10	50.0	56.1	65.8	3.94	4.20	4.92
100	20	47.4	54.5	69.9	3.86	4.27	4.80

3.1 통계처리를 이용한 상관도 분석

표 4는 위에서 구한 시험결과를 가지고 상용 통계처리 프로그램인 SPSS를 이용하여 각 인자 사이의 상관관계를 분석한 것이다. 이 표에 나타난 숫자는 Pearson 상관계수로서 범위는 +1.0에서 -1.0 사이의 값을 가진다. 예를 들어 두 인자의 Pearson 상관계수가 +1.0이면 정비례, -1.0이면 반비례의 관계가 있음을 의미하고 계수가 0이나 0에 가까운 값을 나타내면 거의 상관관계가 없음을 의미한다. 따라서 Pearson 상관계수의 절대값이 1.0에 가까울수록 상관도가 높다는 것을 의미하고 일반적으로 절대값이 0.7을 넘으면 밀접한 상관관계가 있다고 말할 수 있다. 표 4의 좌반부는 대각선을 기준으로 우반부와 대칭의 값을 가지는데 이해를 돕기 위해 생략되었다.

표 4. SPSS를 이용한 시험결과의 상관도 분석 (W/B = 0.25, 재령 7일)

구분	CS(%)	FA(%)	S/a	W	WR	AEA	f_{ck}	f_{sp}
CS(%)	1	0	0.731	0.986	-0.113	0.362	0.714	0.284
FA(%)		1	-0.490	0	-0.970	0.857	-0.448	-0.236
S/a			1	0.791	-0.279	-0.263	0.882	0.493
W				1	-0.236	0.321	0.741	0.364
WR					1	-0.087	-0.225	-0.657
AEA						1	-0.187	-0.139
f_{ck}							1	0.277
f_{sp}								1

여기에서, CS: 부순모래의 혼합비율(%), FA: 플라이 애쉬의 치환비율(%), S/a: 잔골재율, W: 단위수량(kg/m^3)
WR: 고성능감수제 사용량(%), AEA: AE제 사용량(%), f_{ck}: 압축강도, f_{sp}: 할렬인장강도

표 4에서 보는 바와 같이 부순모래의 혼합비율의 경우 잔골재율, 단위수량 및 압축강도와 밀접한 상

관관계가 있음을 알 수 있다. 이는 부순모래의 혼합비율이 증가할 경우 잔골재의 입형 및 입도가 좋지 않아 목표 슬럼프 플로우와 공기량을 도출하기 위해 단위수량이 높아지는 것이 불가피함을 의미하고, 잔골재율의 경우는 재료분리의 위험성이 높으므로 점성을 높이기 위해 비례의 상관관계가 있는 것으로 판단된다. 또한 압축강도의 경우 부순모래 입자들끼리의 맞물림 작용에 의해 압축강도는 비례의 상관관계를 가지고 있는 것으로 사료된다.

또한, 플라이 애쉬의 치환율에 따른 고성능감수제의 사용량은 급격히 감소하는데 이는 플라이 애쉬가 가지고 있는 유동성 증대의 효과 때문으로 판단된다. 이와 반대로 AE제는 사용량이 증가하는데 그 이유는 플라이 애쉬의 고운 입자가 공극을 많이 메워 공기량이 감소되어 목표 공기량을 도출하기 위한 AE제의 사용량이 증가되는 것으로 사료된다. 그리고 이 상관관계에서 사용된 강도는 재령 7일의 강도이므로 플라이 애쉬를 사용함에 따라 조기강도는 감소하는 관계식이 있음을 알 수 있다.

표 4의 결과에서 특이한 사항은 단위수량이 증가할수록 강도가 약간 증가하는 관계를 보인다는 점이다. 이는 실험결과나 상관관계 분석에서 오류가 있는 것이 아니고 본 연구의 특성상 물-바인더 비를 일정하게 고정(W/B = 0.25)하고 다른 인자들을 변화시켰기 때문으로 판단된다. 즉, 단위수량이 증가하더라도 그에 따른 바인더(시멘트 + 플라이 애쉬)의 양이 비례해서 증가하기 때문에 단위수량의 증가에 의해 감소될 강도보다 바인더의 양이 증가함에 따라서 늘어날 강도가 더 크다는 것을 의미한다. 따라서 본 시험의 결과만으로는 단위수량과 강도와의 관계를 논함은 무리라고 할 수 있다.

4. 결 론

플라이 애쉬와 부순모래를 사용한 CFT 구조용 고유동콘크리트의 강도특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부순모래 혼합비율이 높아질수록 목표 슬럼프 플로를 만족시키기 위한 잔골재율 및 단위수량은 증가하였는데 이는 재료분리에 대한 저항성 및 필요한 점성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.
(2) 부순모래 혼합비율과 압축강도도 비례의 상관관계가 있음을 알 수 있었는데 부순모래의 맞물림 작용에 의해 강도가 증가된 것으로 판단된다.
(3) 플라이 애쉬의 치환비율이 높아질수록 고성능감수제의 사용량은 감소, AE제는 증가 및 조기강도는 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 장기강도는 오히려 증가하는 것으로 나타났는데 이는 플라이 애쉬가 갖고 있는 미세한 구형의 입자와 강도발현의 특이성에 기인하는 것으로 사료된다.
(4) 고유동콘크리트의 제조 시 잔골재율이 증가할수록 단위수량 또한 증가됨을 알 수 있었다. 이는 목표 슬럼프 플로우와 필요한 점성을 확보하기 위해 불가피한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 공기단축형 복합구조시스템 건설기술개발 연구 사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박승범 외 3인, "플라이애쉬와 부순모래를 이용한 콘크리트의 제조 및 역학적 특성에 관한 실험적 연구", 1990, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집
2. 박칠림 외 3인, "부순모래를 사용한 초유동 콘크리트의 현장적용", 1998, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, pp 9-14
3. 윤기원 외 4인, "국내 부순모래의 물리적 성질과 입자 특성에 관한 연구", 2004, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, pp 352-355