

플라이애쉬와 부순모래를 利用한 콘크리트의 製造 및 力學的 特性에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on the Manufacture and Mechanical Properties of
Concrete Utilizing Fly Ash and Crushed Sand

朴 承 範* · 吳 光 鎮** · 洪 性 秀*** · 姜 亨 善***
Park, Seung Bum Oh, Kwang Chin Hong, Sung Su Kang Hyung Seon

ABSTRACT

The results of an experimental study on manufacture and mechanical properties of concrete utilizing crushed sand and fly ash for construction materials are presented in this paper.

As the results show, the workability, compressive strength and freezing-thaw resistance were improved by proper contents of fly ash, replaced crushed sand, and air entraining agent. And the drying shrinkage was decreased by proper contents of those.

Also, the suitable weight contents of replacing ratio of crushed sand and weight ratio of fly ash in concrete using crushed sand were in range of 30% and 15% respectively.

1. 서 론

최근 국내·외에서 발주되고 있는 건설공사가 대규모·고기능화됨에 따라 요구성능도 고강도·고품질화를 요구하고 있으나, 국내 자연산 골재의 고갈로 골재수급이 심각한 상황에 직면해 있다. 또한 현재 국내의 화력발전소에서 발생하는 막대한 양의 플라이애쉬 및 쇄석공장에서 다량 발생하는 석분에 의한 환경오염처리문제가 중대한 현실적인 과제로 대두되고 있다. 이에 대한 대책으로 미국·서독·일본 등 선진국에서는 부순모래

및 석분을 이용한 활발한 연구개발 및 실용화연구가 활발히 진행되고 있으나, 우리나라에서는 이미 이에 대한 연구가 극히 미진한 실정으로서, 이러한 산업부산물을 이용하여 선진국 수준의 역학적 성능이 우수한 콘크리트의 개발 및 활용은 폐자원의 유효이용은 물론 국내 건설자원발전에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 쇄석공장 및 화력발전소에서 폐기되고 있는 석분 및 플라이애쉬를 이용한 견재용 고강도·고내구성의 콘크리트 복합체를 제조하여 그 물리적, 역학적 특성에 관한 기초적 연구를 수행하였다.

* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 충남대학교 토목공학과 대학원 박사과정

*** 정희원, 충남대학교 토목공학과 대학원 석사과정

2. 시험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

본 연구에 사용된 콘크리트는 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트(비중:3.14)를 사용하였다.

(2) 골재

굵은 골재는 충남 금산 H사 제품의 최대치수 25mm의 채석(비중:2.65, FM:7.01)을 사용하였고, 잔골재로서 부순모래는 충남 금산 H사 제품의 Rod Mill 파쇄방식에 의한 습식생산방식에 의해 생산된 것(비중:2.62, FM:3.28)을 사용하였으며, 강모래는 금강 상류에서 채취한 것(비중:2.64, FM:2.60)을 사용하였고, 이들 골재의 입도분포는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 또한 부순모래중의 74 μ m 이하의 석분함량은 4.0%로서 KS와 ASTM의 규정(7% 이하), BS 규정(10% 이하)에 적합하였고, 석분(Very Fine Sand)의 비중은 2.72 이었다.

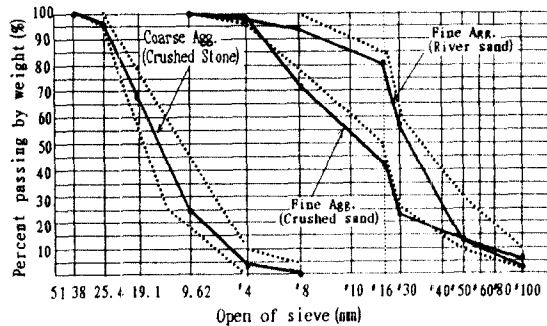


Fig. 1. Gradation Curves of Fine and Coarse Aggregate

(4) 플라이애쉬

플라이애쉬는 보령 화력발전소의 유연탄 플라이애쉬(비중:2.16)를 사용하였다.

(5) 혼화제

본 실험에 사용된 혼화제는 고유동화제인 나프탈렌 실펜산업 고축합불계 Mighty-150을 사용하였고, AE제는 Pozzolith 81K를 사용하였다.

2.2 시험방법

(1) 배합 및 믹싱

콘크리트의 배합은 단위시멘트량 350kg, 물-시멘트비 45, 50, 55%에 대하여 부순모래, 플라이애쉬를 변화시켜 배합하였고, 이들 콘크리트의 배합에는 Table 1과 같다.

Table 1. Mix Proportions of Concrete using Crushed Sand and River Sand

Mix No.	W/C (%)	S _a (%)	S _r (%)	FA (%)	Unit Weight(kg/m ³)			SP (%)			
					C	W	G	FA	S _a	S _r	
S1-1			0.100							88.4	
S1-2	45	45	30.70		350	137.5	1065.3		258.2	607.0	2.0
S1-3			50.50						430.3	434.2	
S1-4			100.0						800.5		
S2-1			0.100							867.1	
S2-2	50	46	30.70		350	175	1021.7		258.2	607.0	1.8
S2-3			50.50						430.3	434.5	
S2-4			100.0						800.5		
S3-1			0.100							863.6	
S3-2	55	47	30.70		350	192.5	977.5		276.1	604.5	1.5
S3-3			50.50						428.5	433.8	
S3-4			100.0						877.1		
S4-1			0.100							867.1	
S4-2	50	46	30.70		350	175	1021.7		258.2	607.0	SP18 Pozz8K 0.0
S4-3			50.50						430.3	433.5	
S4-4			100.0						800.5		
S5-1			0	7.5						258.2	607.0
S5-2	50	46	30.70	15	350	175	1021.7		193.0	238.8	607.0
S5-3			30.75						311.9	219.4	607.0
S5-4			0	20.5					47.9	200.1	607.0
S6-1			0	13						800.5	
S6-2	50	46	100.0	13	350	175	1021.7		33.2	706.0	1.8
S6-3			0	22.5					163.4	731.4	
S6-4			0	22.5					159.6	683.9	

Note * : A.E. Concrete(Air Content 4 ± 0.5%)

한편, 믹싱은 용량 54ℓ의 강제식 믹서를 이용해 전재료를 투입한 후 1분 30초간 믹싱하여 베이스 콘크리트를 만든 다음, 유동화제를 첨가한 후 1분간 재비법하여 제조하였다.

(2) 시험방법

콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402에 준하여 슬럼프값을 측정하였으며, 압축강도는 KS F 2405에 준하여 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 제조하여 일본 M사 제품의 UTM(용량 100ton)을 사용하여 각각 재령 7, 28일의 압축강도를 측정하였다. 또한 내동해성을 파악하기 위하여 배합조건별로 KS F 2456에 준하여 $7.6 \times 7.6 \times 35.6\text{cm}$ 각주공시체를 제작해 $-18 \sim +10^\circ\text{C}$ 에서 1일 6~8 cycle로 300cycle까지 공시체의 공명주파수를 측정함과 아울러 표면 상태를 관찰하였다. 한편, 건조수축시험은 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ 의 공시체를 제조하여 공시체 탈형 직후를 기준길이로 하여 KS F 2424의 콤팩터 방법에 준하여 재령 4개월까지의 길이변화량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프

강모래에 대한 부순모래의 치환율 및 플라이애쉬의 혼입율 증가에 따른 슬럼프 시험결과는 Table 2와 같다. 이를 고찰해 보면, 부순모래의 입도조절 및 품질관리를 잘하면 콘크리트의 슬럼프값은 전반적으로 불·시멘트비에 관계없이 강모래에 대한 부순모래 혼합비율이 증가할수록 약 50% 정도까지는 증가하는 경향을 나타내어 비교적 양호한 작업성을 나타내었으며, 이러한 경향은 사용 부순모래의 흡수율이 사용 강모래보다 작고 적절한 석분(잔입자)를 함유하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 플라이애쉬 혼입율이 증가할수록, 불·시멘트비가 증가할수록 유동성이 개선되어 슬럼프값은 증가하는 경향을 나타내었다.

Table 2. Test Results of Concrete using Crushed Sand and River Sand

Mix No.	W/C (%)	S _a (%)	S ₁ : S ₂	Slump (cm)	Comp. Strength (kg/cm ²)	
					7days	28days
S1-1	15	15.0	0 : 100	2.0	249	286
S1-2			30 : 70	3.1	271	315
S1-3			30 : 50	3.2	236	311
S1-1	50	16.0	100 : 0	2.1	250	288
S2-1			0 : 100	1.0	211	277
S2-2			30 : 70	6.5	257	295
S2-3	30 : 50	9.2	249	286		
S2-1	35	17.0	100 : 0	5.5	223	236
S3-1			0 : 100	9.7	198	228
S3-2			30 : 70	11.5	211	246
S3-3	30 : 50	15.0	205	236		
S3-1	50	16.0	100 : 0	11.3	188	216
S2-1			0 : 100	5.1	236	275
S4-1			30 : 70	8.0	255	293
S4-2	50	16.0	30 : 50	10.1	237	272
S4-3			100 : 0	6.1	213	245
S2-2			30 : 70	6.5	237	235
S5-1	50	16.0	30 : 70	7.0	262	301
S5-2				7.2	242	305
S5-3				9.5	233	286
S2-1	50	16.0	100 : 0	2.5	185	256
S6-1				1.5	191	260
S6-2				1.0	217	263
S6-3				1.5	222	255

3.2 압축강도

강모래에 대한 부순모래의 혼합비율이 미치는 영향은 재령 7일 및 28일강도 모두 혼합비율 약 30%에서 가장 우수한 압축강도를 나타내었고 그 이상에서는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 적당한 부순모래를 사용하면 콘크리트를 구성하는 골재 상호간의 맞물림(Interlocking)현상을 증대시키고 아울러 적절한 잔입자에 혼입에 의하여 콘크리트의 공극을 충전하여 조짐을 치밀하게 하나, 과도한 양의 사용은 그 효과를 저감시키기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 플라이애쉬 혼입율 증가에 따라 압축강도는 다소 증가하는 경향을 나타내었으나, 15% 이상의 혼입시에는 다소 저하하는 경향을 나타내어 워커빌리티 및 강도측면에서 적정 플라이애쉬 혼입율은 15% 정도인 것으로 판단된다.

3.3 동결융해저항성

강모래만을 사용한 경우, 부순모래와 강모래를 혼합한 경우(30:70)와 부순모래와 강모래를 혼합한 경우(30:70)에 AE제를 첨가한 경우, 플라이애쉬를 부순모래에 대하여 7.5, 15, 22.5%로 대체한 경우에 대한 210cycle까지의 동결융해시험 결과는 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, AE제를 사용하지 않았을 때에는 부순모래를 사용한 경우에 동결융해저항성은 강모래만을 사용한 경우와 전반적으로 비슷한 양상을 나타내었으나, AE제를 사용한 경우에는 부순모래와 강모래를 적정량(30:70) 혼합한 경우 강모래만을 사용한 경우에 비하여 다소 양호한 동결융해저항성을 나타내었다. 또한 플라이애쉬를 사용한 경우 플라이애쉬의 혼입율이 증가함에 따라 전반적으로 상대동탄성계수의 저하현상이 작게 나타났으나, AE제의 첨가에 의한 영향이 지배적인 것으로 나타났다. 따라서 적정량의 부순모래 및 플라이애쉬 사용시 AE제를 첨가함으로써 콘크리트의 내동해성 개선에 대단히 효과적인 것으로 판단된다.

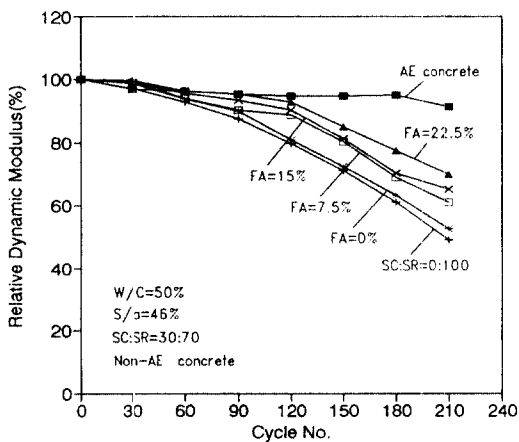


Fig. 2. Freezing-Thawing Resistance of Concrete Utilizing FA and Crushed Sand.

3.3 건조수축

강모래만을 사용한 경우, 부순모래와 강모래를 혼합한 경우(30:70)와 부순모래와 강모래를 혼합한 경우(30:70)에 AE제를 첨가한 경우, 플라이애쉬를 부순모래에 대하여 7.5, 15, 22.5%로 대체한 경우에 대한 제령 120일 까지의 건조수축 시험 결과는 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, 전반적으로 부순모래와 강모래를 혼합한 경우(30:70)가 강모래만을 사용한 경우에 비하여 건조수축량이 적은 경향을 나타내었다. 이러한 양상은 사용 부순모래의 흡수율이 낮고 골재상호간의 Interlocking현상 및 비표면적의 증가로 부착이 좋아지기 때문인 것으로 판단되며, 아울러 시험에 사용된 부순모래의 석분함유량이 4.0% 정도로 미소하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 강모래와 부순모래를 사용한 경우 플라이애쉬의 혼입율이 증가함에 따라 건조수축은 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 부순모래와 강모래를 적정량 혼합하고 플라이애쉬를 첨가함에 따라 건조수축저감을 위하여 바람직한 것으로 판단된다.

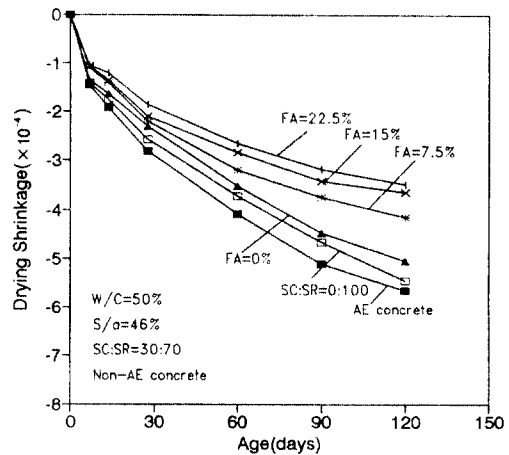


Fig. 3. Drying Shrinkage of Concrete Utilizing Crushed Sand and Fly Ash

4. 결 론

부순모래와 플라이애쉬를 이용한 콘크리트의 역학적 특성에 관한 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 슬럼프값은 전반적으로 강모래만을 사용한 경우에 비하여 강모래에 대한 부순모래의 혼합비율이 약 50% 정도까지는 혼입율 증가에 따라 증가하였으나, 부순모래만을 사용하였을 경우에는 현저히 저하하였다. 또한 플라이애쉬 혼입율 및 W/C비가 증가할수록 슬럼프값은 증가하는 경향을 나타내었다.
- (2) 사용한 강모래에 대한 부순모래의 혼합비율이 압축강도에 미치는 영향은 혼합비율 약 30%인 경우가 가장 우수한 압축강도를 나타내었고 그 이상의 혼입율에서 저하하는 경향을 나타내었다. 또한 플라이애쉬의 혼입율 증가에 따라 압축강도는 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 15%이상의 혼입시에는 거의 저하하는 경향을 나타내었다.
- (3) AE제의 첨가 유무에 관계없이 동결융해저항성은 부순모래를 적정량 사용한 경우 강모래를 사용한 경우에 비하여 비슷하거나 다소 양호한 양상을 나타내었고, 플라이애쉬 혼입율이 증가함에 따라서도 내동해성은 우수한 경향을 나타내었으나, 그 영향보다는 AE콘크리트의 경우가 월등히 우수한 것으로 나타나, 동결융해저항성은 AE제의 첨가유무에 따라 크게 결정되는 것으로 판단된다.
- (4) 건조수축은 부순모래와 강모래를 혼합한 경우(30:70), 부순모래만을 사용한 경우, AE콘크리트 순으로 작게 나타났고 또한 플라이애쉬 혼입율증가에 따라 수축저감효과를 나타내었다.

- (5) 본 시험결과, 워커빌리티, 강도, 내동해성 및 수축저감을 위한 적절한 강모래에 대한 부순모래의 혼합비율은 약 30% 정도, 플라이애쉬 혼입율은 약 15% 정도인 것으로 판단되고, 또한 AE제를 첨가함으로써 이들 성능의 개선에 더욱 효과적인 것으로 판단된다.

參 考 文 獻

1. Nichols, F. Jr., "Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete," Concrete International, August 1982, pp. 55-63
2. RILEM Technical Committee TC70-OMD, "Optimized Mix Design of Concrete," Materials and Structures, January 1987, pp. 51-53
3. Balogun, L. A., and Adepegba, D., "Effect of Varying Sand Content in Laterized Concrete," International Journal of Cement and Lightweight Concrete, Vol.4, November 1982, pp. 235-240
4. Kuennen, T., "Excess Fines, Premium Product," Rock Products, September 1984, pp. 42-44
5. Ahmed, A. E., and El-Kour, A. A., "Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand," ACI Materials Journal, Proceedings Vol. 86, No. 4, July-August 1989, pp. 417-424.