

석분을 혼입한 무세골재 콘크리트의 강도 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Strength in No-Fines Concrete with Stone Dust

나성훈* 조재병** 임정순***
Ra, Sung Hoon Jo, Jae Byung Im, Jung Soon

요 약

무세골재 콘크리트에 석분을 혼입함으로써 얻을 수 있는 강도 증가효과를 조사하기 위하여 실험을 통한 연구를 수행하였다.

시멘트-골재의 비 1:6, 1:8 그리고 1:10 과 30%~56% 사이의 여러 물-시멘트 비를 배합설계시에 선정하였다. 작업하기 적당한 콘크리트를 얻기 위하여 필요에 따라 고유동화제를 시멘트중량의 1.5% 사용하였으며, 석분을 혼입한 무세골재 콘크리트의 경우 시멘트와 같은 중량의 석분을 혼입하였다.

여러 배합설계에 대한 압축강도와 인장강도 시험 결과를 비교분석하였다. 시험결과는 무세골재 콘크리트에 시멘트 중량과 같은 양의 석분을 혼입함으로써 석분을 혼입하지 않은 동일한 물-시멘트 비의 콘크리트에 비하여 압축강도는 약 38%, 인장강도는 약 17%~72% 증가시킬 수 있음을 보여주고 있다

Abstract

An experimental study was carried out to investigate the strength improving effect of stone dust in no-fines concrete.

The cement-aggregate ratios of 1:6, 1:8 and 1:10 and several water-cement ratios between 30% and 56% were chosen for the mix design of no-fines concrete. For the no-fines concrete with stone dust, the weight ratio of cement to stone dust 1:1 was adopted and super plasticizer, 1.5% of cement in weight, was used to obtain proper and workable state of concrete.

The compressive and tensile strength test were performed and the results for the different mix designs were compared with each other. The results show that the compressive strength of no-fines concrete can be improved by 38% and the tensile strength by 17%~72% for the same w/c, when the same weight of stone dust as cement is mixed together.

Keywords : no-fines concrete, stone dust, strength improvement, w/c, cement /aggregate

* 경기대 토목공학과 석사 과정

** 정회원, 경기대 토목공학과 전임강사

*** 정회원, 경기대 토목공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 1995년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 머리말

무세골재 콘크리트(No-Fines Concrete)는 세골재를 사용하지 않고 시멘트와 조골재 그리고 물을 배합하여 만든 콘크리트를 말한다. 보통콘크리트에 비해서 공극이 많으므로 밀도가 작고 건조수축량이 작으며 결빙에 강한 반면, 이 공극이 콘크리트의 역학적 특성에 크게 영향을 미치므로 무세골재 콘크리트의 압축강도는 보통 콘크리트의 경우 보다 작다⁽¹⁾.

콘크리트의 배합시 碎石粉을 혼입하면 콘크리트가 치밀하게 되고 압축강도는 같은 물-시멘트 비의 보통콘크리트보다 커진다. 또한 고성능 AE 감수제와 다량의 碎石粉(250kg/m³)을 사용해서 고유동 콘크리트를 제작할 수 있다⁽²⁾.

본 연구에서는 石粉을 무세골재 콘크리트에 혼합하므로써 얻을 수 있는 강도 증진효과를 조사하기 위하여 시험을 수행하였다. 시멘트-골재의 배합비가 서로 다른 3가지 경우에 대해서 석분을 사용하지 않았을 때와 석분을 혼입하였을 때로 구분하여 배합설계를 하였고 이에 따라 공시체를 제작하였다. 각 배합설계에 따른 강도 측정값을 비교 분석하므로써 석분혼입으로 인한 무세골재 콘크리트의 강도 개선효과를 파악코자 하였다.

Table 1 Physical properties of aggregate

Max. Size (mm)	Unit Mass (ton/m ³)	Absorption (%)	Fineness modulus
19	2.64	1.42	6.86

Table 2 Sieve test result of stone dust

Sieve No	Sieve Size (mm)	Residual (g)	Acc. Residual (g)	Acc. Residual (%)
#4	4.76	94.8	94.8	9.485
#10	2.0	242.7	337.5	33.75
#20	0.84	245.6	583.1	58.31
#40	0.42	148.0	731.1	73.11
#60	0.25	90.2	821.3	82.13
#100	0.149	90.2	911.5	91.15
#200	0.074	53.0	964.5	96.45
Pan		35.5	1000.0	100.00
Total		1000.0	1000.0	100.00
Fineness Modulus	347.935 / 100 = 3.48			

2. 사용재료

시험에 사용한 시멘트는 시중에서 구입한 S사 제품인 보통 Portland Cement를 사용하였다. 굵은 골재로는 최대치수 19mm인 채석을 사용하였으며 골재에 대한 물리적 성질은 Table 1과 같다.

혼입할 석분으로는 8mm의 채석분(Table 2 참조)을 사용하였고, 고유동화제는 Mighty-150을 사용하였다.

3. 실험방법

3.1 콘크리트 배합

골재에 대한 시멘트의 배합비는 1:6, 1:8, 1:10으로 선정하였다. 일반적으로 무세골재 콘크리트의 경우 사용하는 물의 양이 많으면 시멘트풀(cement paste)이 흘러내려 골재와 분리되고 물의 양이 적으면 골재와의 점착력이 작아 작업이 곤란한 상태로 쉽게 변한다. 따라서 무세골재 콘크리트의 물-시멘트 비는 반죽의 질기나 워커빌리티와 관계없이 시멘트 페이스트의 골재피복 및 점착력에 따라 결정된다⁽³⁾ 본 연구에서는 시멘트 페이스트가 흘러내리지 않고 점착력을 확보할 수 있는 범위 내에서 여러 물-시멘트 비를 적용하였다. 또한 석분을 혼입한 경우와 석분을 혼입하지 않았어도 물-시멘트 비가 작은 범위의 경우에 대해서는 시멘트 사용량의 1.5%에 해당하는 고유동화제(super plasticizer)를 첨가하여 작업의 어려움을 극복하였다.

적당한 석분의 혼입량을 결정하기 위하여 예비 압축강도 시험을 수행하였다. 시멘트-골재의 비가 1:6 일 때 시멘트와 석분의 비를 1:0.5 에서 1:2 로 선정하였고, 이때 고유동화제를 사용하지 않고 작업이 가능한 물-시멘트 비를 적용하였다. 시멘트-석분의 비와 물-시멘트의 비에 따른 28 일 압축강도의 시험결과는 Table 3과 같다. 이 시험에서 시멘트와 석분의 비 1:1, 물-시멘트의 비 48% 일 때 비교적 높은 압축강도를 얻을 수 있었다. 이에 따라 본 연구에서는 시멘트-석분의 비에 따른 강도의 변화는 더 이상 검토하지 않고, 시

멘트-골재 비와 물-시멘트 비에 관계없이 모든 배합의 경우에 시멘트-석분의 비 1:1 을 적용하였다.

시험에 사용한 무세골재 콘크리트의 석분을 혼입하지 않은 경우와 석분을 혼입한 경우의 배합비는 각각 Table 4, Table 5와 같다

Table 3 Preliminary test results of compressive strength at 28 days for No-fines concrete with different cement/ stone-dust

C : S.D.	W /C(%)	Compressive Strength(kgf /cm ²)
1 : 0.5	45	89.1
1 : 1.0	48	111.9
1 : 1.5	54	107.8
1 : 2.0	63	102.5

3.2 공시체 제작 및 강도 측정방법

재료를 골재, 석분, 시멘트 순으로 회전 속도 76RPM인 강제 믹서에 투입하여 1분간 건배합한 후 사용할 물 전체의 4/5를 첨가하여 1분간 비빈 후 남은 물과 유동화제를 첨가하여 1분 30초간 혼합하였다. 강도시험을 위해서 지름 15cm 높이 30cm의 공시체를 사용하였는데, 공시체는 3층으

Table 4 Mix design of No-fines concrete

C : A	W/C (%)	Material Quantity(kg)			
		Aggregate	Cement	Water	Admixture
1 : 6	30	1540	257	77	3.86
	33	1540	257	85	3.86
	36	1540	257	93	3.86
	41	1530	255	105	-
	44	1530	255	112	-
1 : 8	47	1530	255	120	-
	33	1540	193	64	2.90
	36	1540	193	70	2.90
	39	1540	193	75	2.90
	45	1530	191	86	-
1 : 10	48	1530	191	92	-
	51	1530	191	97	-
	36	1540	154	55	2.31
	39	1540	154	60	2.31
	42	1540	154	65	2.31
1 : 10	50	1530	153	77	-
	53	1530	153	81	-
	56	1530	153	86	-

Table 5 Mix design of No-fines concrete with stone dust

C : A	W /C (%)	Material Quantity(kg)				
		Aggregate	Cement	Water	Stone Dust	Admixture
1 : 6	32	1476	246	79	246	3.69
	35	1476	246	86	246	3.69
	38	1476	246	94	246	3.69
1 : 8	42	1476	185	78	185	2.78
	45	1476	185	83	185	2.78
	48	1476	185	89	185	2.78
1 : 10	44	1476	148	65	148	2.22
	47	1476	148	70	148	2.22
	50	1476	148	74	148	2.22

로 나누어 각 층당 25회씩 붓다짐을 하여 제작하였다. 몰드를 제작 후 24시간이 지난 다음 탈형하여 수온이 23±2℃인 수조에서 7일과 28일 재령별로 수중 양생하였다. 시험은 KS F2405(콘크리트의 압축강도 시험방법), KS F2423(콘크리트의 인장강도 시험방법)의 규정에 따라 수행하였다. 100tonf 용량의 U.T.M.(Universal Testing Machine)을 이용하여 공시체의 단면응력이 단위시간(초)당 1.5~3.5kgf /cm² 증가하도록 일정한 속도로 하중을 가하여 강도를 측정하였다.

4. 시험결과에 대한 분석 및 고찰

4.1 강도시험의 결과

석분을 혼입하지 않은 무세골재 콘크리트와 석분을 혼입한 무세골재 콘크리트의 압축강도 및 인장강도의 실험결과는 각각 Table 6, Table 7과 같다.

4.2 압축강도

배합시 사용한 물-시멘트 비에 따른 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 Fig. 1과 같다. 석분을 사용한 경우와 석분을 사용하지 않은 경우를 따로 구분하여 물-시멘트 비에 대한 압축강도를 회기 분석하여 그 결과를 각각 점선과 실선으로 나타내었다.

석분을 혼입한 무세골재 콘크리트는 고유동화

Table 6 Compressive and tensile strength test results of No-fines concrete

C : A	W/C(%)	Compressive Strength (kgf/cm ²)		Tensile Strength (kgf/cm ²)
		σ_2	σ_{28}	σ_{28}
1 : 6	30	89.1	124.4	18.3
	33	79.5	110.3	16.3
	36	79.1	108.6	15.3
	41	53.4	72.2	14.3
	44	58.1	84.2	15.8
1 : 8	47	55.3	75.4	14.3
	33	70.9	95.2	14.6
	36	67.2	89.0	13.4
	39	60.2	85.3	13.0
	45	45.6	65.4	13.5
1 : 10	48	51.5	70.7	12.7
	51	43.2	69.1	11.5
	36	49.9	72.0	10.1
	39	47.1	65.4	8.2
	42	42.3	67.4	8.5
	50	29.7	52.4	5.7
	53	34.3	50.7	6.7
56	28.3	43.5	5.6	

Table 7 Compressive and tensile strength test results of No-fines concrete with stone dust

C : A	W/C(%)	Compressive Strength (kgf/cm ²)		Tensile Strength (kgf/cm ²)
		σ_2	σ_{28}	σ_{28}
1 : 6	32	113.3	156.8	19.5
	35	92.1	135.8	20.3
	38	83.6	143.9	18.2
1 : 8	42	85.2	110.3	16.1
	45	73.7	95.5	16.0
	48	70.1	101.5	15.3
1 : 10	44	50.4	83.0	14.2
	47	53.9	80.9	13.4
	50	41.4	72.5	9.9

제 첨가에 따른 시멘트의 분산효과와 점착력의 증가때문에 압축강도가 일반적으로 보통콘크리트의 경우와 같이 물-시멘트의 비가 작을수록 증가하였다. 그러나 석분을 혼입하지 않은 무세골재 콘크리트에서는 시멘트-골재 비와 물-시멘트 비에 따른 압축강도의 변화가 심한 것을 보여주고 있다. 특히 적은 물-시멘트 비의 범위에서 시멘

트를 많이 사용한 경우(C:A=1:6) 상당히 높은 압축강도를 얻을수 있는 반면 시멘트를 적게 사용한 경우(C:A=1:10) 압축강도가 많이 떨어진 것을 볼수 있다. 이것은 석분을 혼입하지 않은 무세골재 콘크리트에서 시멘트의 사용량이 적으면 사용한 물-시멘트 비의 크기에 따라서 시멘트풀의 유동성이 부족하여 골재를 충분히 피복하지 못하거나 시멘트풀이 골재에서 흘러내려서 쉽게 골재와의 결합력이 약해지기 때문인 것으로 이해된다.

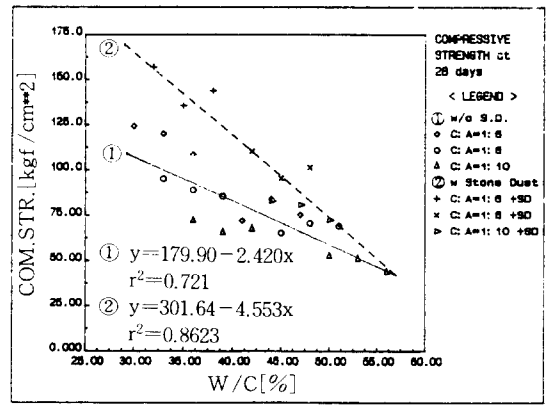


Fig. 1 Compressive Strength at 28 days versus W/ c

각각의 시멘트-골재의 비에 대해서 석분혼입에 따른 28일 압축강도의 증진효과를 살펴보기 위하여 시험결과를 경우별로 회기분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 석분을 혼입한 경우는 점선, 석분

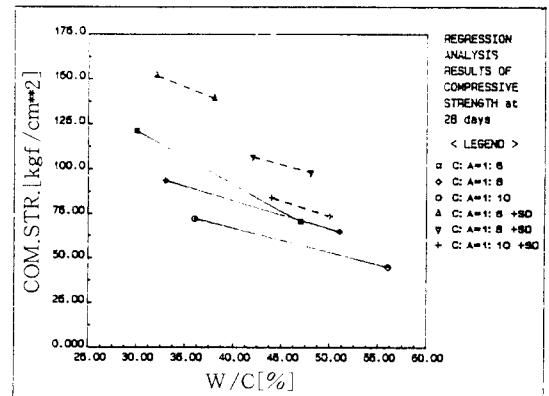


Fig. 2 Regression analysis results of compressive strength at 28 days for mixes with different cement/ aggregate

을 혼입하지 않은 경우는 실선으로 시험을 수행한 물-시멘트 비의 범위만을 각각 표시하였다. 이 결과로 부터 석분을 혼입한 경우 시험에 사용한 물-시멘트 범위에 대해서 석분을 혼입하지 않은 부세골재 콘크리트의 28일 압축강도를 기준으로 석분혼입에 의한 압축강도 증가의 평균값을 추정하면 시멘트-골재 비에 따른 큰 변동없이 약 38%인 것으로 나타났다.

4.3 인장강도

물-시멘트 비에 따른 28일 인장강도는 Fig. 3과 같다. 제4.2절에서 서술한 바와 같이 Fig. 1과 비슷한 양상을 보여주고 있다. 석분을 혼입한 경우에는 물-시멘트 비에 대한 인장강도가 좋은 상관관계를 보여주고 있으나 석분을 혼입하지 않은 경우에는 시멘트-골재 비에 따른 차이가 다소 크게 나타났다.

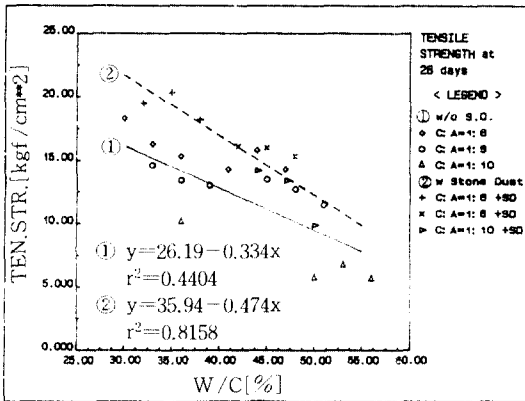


Fig. 3 Compressive Strength at 28 days versus W/C

시멘트-골재의 비 별로 물-시멘트 비에 대한 인장강도를 회기분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 제 4.2절에서 서술한 바와 같이 추정된 석분 혼입에 의한 인장강도 증가의 평균값은 C:A=1:6인 경우 약 17%, C:A=1:8인 경우 약 24%, C:A=1:10인 경우 약 72%로 시멘트-골재 비에 따라 증가효과가 차이를 보이고 있다.

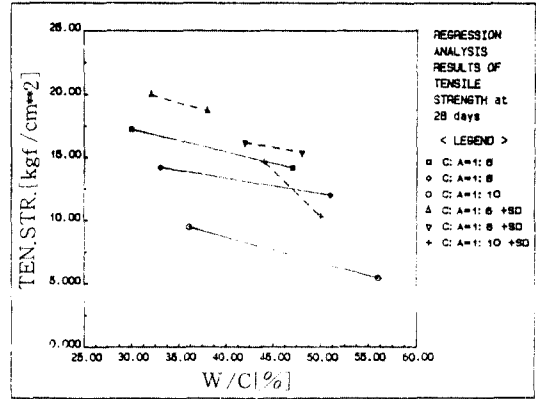


Fig. 4 Regression analysis results of tensile strength at 28 days for mixes with different cement/ aggregate

4.4 압축강도와 인장강도와의 관계

재료의 압축강도와 인장강도의 비는 보통콘크리트의 경우 10~13이며, 압축강도가 크면 클수록 크게 나타난다.

본 연구의 시험결과 얻은 부세골재 콘크리트의 압축강도에 대한 인장강도의 상관관계는 Fig. 5와 같다. 석분을 혼입한 경우와 석분을 혼입하지 않은 경우를 따로 구분하여 회기분석한 결과를 각각 실선①과 점선②로 나타내었다. 두 경우 모두 좋은 상관관계를 갖고 있으며, 석분을 혼입한 경우에는 압축강도가 증가됨에 따라 인장강도의 증가는 점점 둔화되는 것을 보여주고 있다. 물-시멘

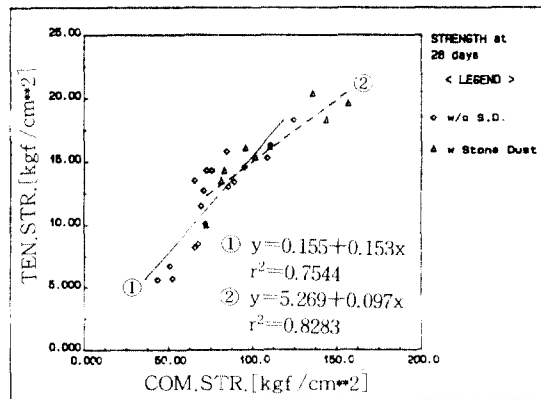


Fig. 5 Tensile strength versus compressive strength at 28days

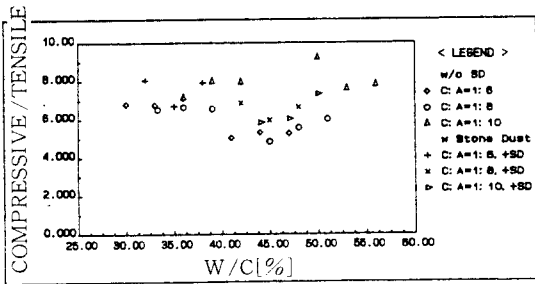


Fig. 6 Compressive/ Tensile strength versus W/ C

트 비의 변화에 따른 압축강도와 인장강도의 비는 Fig. 6과 같다. 압축강도와 인장강도의 비는 4.8 9.2 사이에 분포되어 있으며 물-시멘트 비가 커 지면서 분포폭이 넓어졌다.

4.5 단위질량

무세골재 콘크리트의 단위중량은 시멘트와 골재의 배합비와 석분 및 고유동화제의 사용 여부에 따라 Table 3과 같다. 골재에 대한 시멘트의 배합비가 작을수록 단위중량이 증가하였으며, 고유동화제와 석분을 사용할 경우에는 사용하지 않은 경우에 비하여 증가하였다.

Table 8 Unit weight of No-fines concrete(ton/m³)

Stone Dust	Admixture	Cement : Aggregate		
		1 : 6	1 : 8	1 : 10
not used	not used	1.95	1.89	1.84
not used	used	2.00	1.94	1.85
used	used	2.03	1.96	1.89

Fig. 7은 단위중량에 대한 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. 단위중량이 증가함에 따라 압축강도가 증가하였으며, 단위중량의 증가에 따른 압축강도의 증가는 석분을 사용하지 않은 경우보다 석분을 혼입한 경우에 크게 나타났다.

Fig. 8은 단위중량에 대한 인장강도의 관계를 나타낸 것이다. 단위중량과 인장강도는 본 시험의 모든 배합에서 거의 일정한 상관관계를 나타내고 있으며, 단위중량이 증가할수록 인장강도도 증가하는 경향을 보이고 있다.

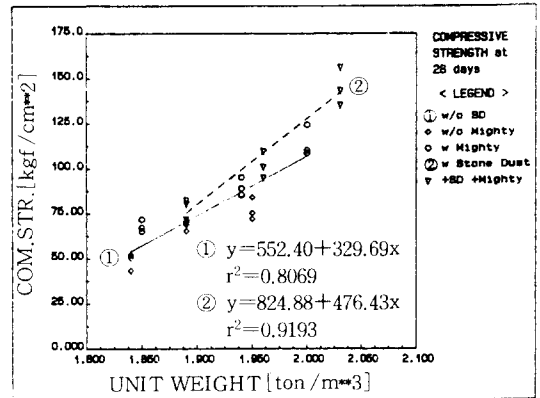


Fig. 7 Compressive strength at 28 days versus unit weight

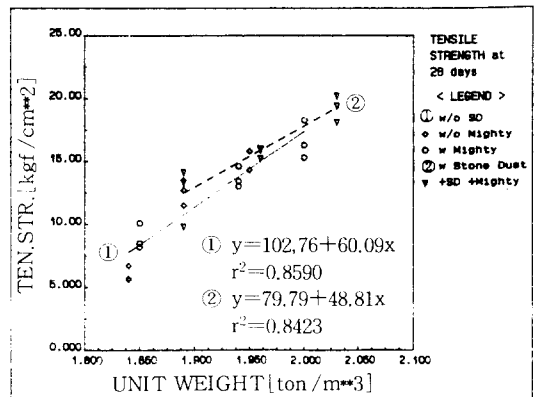


Fig. 8 Tensile strength at 28 days versus unit weight

5. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 석분을 혼입한 무세골재 콘크리트의 28일 압축강도는 물-시멘트 비가 작을수록 증가하였으며, 석분을 사용하지 않은 무세골재 콘크리트의 압축강도를 기준으로 동일한 물-시멘트 비의 범위에서 약 38% 증진하였다.
2. 석분을 혼입한 무세골재 콘크리트의 28일 인장강도는 압축강도의 경우와 비슷한 양상을 보이고 있으며, C:A=1:6인 경우 약 17%, C:A=1:8인 경우 약 24%, C:A=1:10인 경우 약 72% 인장강도가 증가한 것으로 나타났다.

3. 콘크리트의 단위중량이 증가함에 따라 본 시험의 모든 배합의 경우에 거의 비슷한 경향으로 압축강도가 증가하였으며 석분을 혼입한 경우가 석분을 혼입하지 않은 경우보다 더 크게 증가하였다.

4. 콘크리트의 단위중량이 증가함에 따라 본 시험의 모든 배합에 대해서 인장강도가 거의 비슷한 경향으로 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 경기대학교 교내 연구비(1993년도) 지원으로 수행되었기에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 홍건호, 정일영, "No-Fines Concrete의 역학적 특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회논문집 제6권 3호, 1994.6, pp190-199
2. 田村 博, 大橋 正治, 北山 悟, "碎石粉を使用した高流動コンクリート", セメント コンクリート, No.563, 1994, pp.13-18.
3. Neville, A.M., Properties of Concrete, Pitman, 1981
4. Ahmed E.Ahmed, Ahmed A.El-Kourid, "Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand", ACI Materials Journal, July-August 1989, pp.417-424.
5. Giddens, Joseph J., "No-fines Concrete", Paper presented at the two day Annual Seminar of the Canadian Capital Chapter, ACI, Ottawa, Nov.29-30, 1972.
6. John Kyrle moss, "No-fines building gives energy-conserving homes", Insulating concrete, pp.123-127.
7. Min-Hong Zhang, Odd E.Gjorv, "Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Concrete", ACI Materials Journal, 1991, pp. 240-247.
8. Jain, O.P., "Proportioning No-fines Concrete", Indian Concrete Journal, Vol.40, No.5, 1966, 182.
9. P.Kumar Mehta, Paulo J.M.Monteiro, Concrete, Prentice-Hall, 1993.
10. Valore, Rudolph C., Jr., and Green, William C., "Air Replaces Sand in No-fines Concrete", ACI Journal, proceeding Vol.47, No.10, 1951, pp.833-846.
11. Malhotra, V.M., "No-fines Concrete-Its Properties and Applications", ACI Journal, 1976. 11., pp.628-644.

(접수일자 : 1995. 1. 10)