

인천지역의 콘크리트 폐기물을 재생골재로 활용한 재생콘크리트의 강도특성

장재영¹⁾ · 진정훈²⁾ · 조규태³⁾ · 남영국²⁾ · 전찬기⁴⁾

¹⁾도화기술공사 ²⁾인천대학교 토목환경시스템공학과 ³⁾인천대학교 ITS(RC) ⁴⁾인천전문대학 토목과

(2002년 7월 8일 원고접수, 2003년 2월 13일 심사완료)

Strength Characteristics of Recycled Concrete by Recycled Aggregate in Incheon Area Waste Concrete

Jea-Young Jang¹⁾, Jung-Hoon Jin²⁾, Gyu-Tae Cho³⁾, Young-Kug Nam²⁾, and Chan-Ki Jeon⁴⁾

¹⁾ Dohwa Consulting Engineers Co., LTD. Seoul, 135-080, Korea

²⁾ Dept. of civil & Environmental system Eng., University of Incheon, Incheon, 402-749, Korea

³⁾ ITS(RC), University of Incheon, Incheon, 402-749, Korea

⁴⁾ Incheon City Collage, Incheon, 402-750, Korea

(Received July 8, 2002, Accepted February 13, 2003)

ABSTRACT

This paper is to determine the possibility of re-using waste concrete from Incheon city area. The strength test was conducted with five aggregate compounds which was replaced a natural aggregate with recycled aggregate. After checking the physical characteristics of recycled aggregate compounds, the mix design of recycled concrete was conducted. For the relatively comparison between natural and recycled compounds, while the unit aggregate weight was changed, other conditions were fixed.

The freezing and thawing test which included fly-ash and super-plastezer were performed to check the durability and workability when recycling waste concrete. In the physical characteristics of recycled aggregate, it was found that the specific gravity of recycled coarse aggregate and recycled fine aggregate satisfied the first grade of recycle specification(KS), and all compounds of recycled aggregate also satisfied the second grade of absorption specification, Especially up to the 50 % substitution of recycled aggregate is equal to or a bit lower than that of convention aggregate.

In comparison with conventional concrete, the recycled concrete is lower than maximum by 7 % in compressive strength decreasing rate after freezing-thawing test. From now, although most of recycled concrete was used to the building lot, subgrade, asphalt admixture, through the result. It was proved that possibility of re-using recycled aggregate as the substructure of bridge, retaining wall, tunnel lining and concrete structure which is not attacked the drying shrinkage severely.

Keyword : recycled aggregate, recycled concrete, freezing-thaw test, drying shrinkage

1. 서 론

콘크리트 구조물의 노후화로 콘크리트 폐기물이 양산되어 이에 대한 재활용의 필요성이 요구되고 있으며, 많은 기초연구들이 진행되고 있다^{1~3)}. 본 연구는 인천지역에서 발생한 폐콘크리트를 활용한 재생골재를 사용하여 콘크리트로 활용하기 위한 가능성 및 적용성을 검토하기 위하여 새로 도입된 재생골재 공정시스템에 의해서 생산된 재생골재의 물리적 특성과 이를 사용한 재생콘크리트의 강도 분석, 혼 화제를 첨가한 강도실험, 고성능 감수제를 첨가

한 슬럼프 변화시험, 내구성을 확인하기 위한 동결융해시험을 실시하였다. 각각의 시험들에서는 천연골재에 재생골재를 0%, 30%, 50%, 70%, 100%를 첨가하여 사용 가능한 재생골재 첨가량을 확인하고자 하였다. 각각의 조합에 대한 콘크리트 배합은 시험배합을 통해 W/C비를 50%로, 단위시멘트량을 320 kg으로 결정하였다. 압축강도용 공시체는 Ø15×30 cm의 실린더형 강제몰드를, 쪼갬인장 강도용 공시체는 Ø10×20 cm의 몰드를 사용하여 비빔 24 시간 후 탈형, 소정의 재령일 까지 수중양생을 하였다. 재령에 따른 강도시험은 KS F 2405의 규정에 따라 100 tonf 용량의 만능재료시험기(U.T.M)를 사용하여 측정하였다.

재생콘크리트의 시공성 개선과 장기강도 증진을 위한 플라이애쉬 첨가 시험에서는 시멘트증량에 각각 0%, 10

* Corresponding author

Tel : 032-770-8915 Fax : 032-761-9956

E-mail : ichogt@yahoo.co.kr

%, 20%, 30%씩 첨가한 4개의 조합으로 나누어 압축강도와 쪼갬인장강도 시험을 하였다. 또한 시멘트중량에 1%의 고성능 감수제를 첨가하여 감수제 첨가전과 감수제 첨가후의 슬럼프변화를 경화 80분까지 확인하였다.

재생콘크리트의 내구성을 확인하기 위한 동결융해시험에서는 (N-100, R-0)조합, (N-50, R-50)조합, (N-0, R-100)조합의 3개의 조합으로 나누어 각각 3개의 각주 공시체(41.5×7.7×10 cm)를 제작하여 동결전과 동결후의 공시체 중량변화와 동결전·후 압축강도를 비교함으로써, 어떠한 조합에서 재생골재의 활용이 가능한지를 평가할 목적으로 연구하였다.

2. 재생골재 조합 및 배합설계

2.1 사용골재 및 조합

본 시험에 사용된 재료는 경기도와 인천의 중간폐기물 사업장에서 파쇄한 재생 굵은골재와 재생 모래를 사용하여, 천연골재에 대해 각각의 시험을 실시하였다. 또한 재생골재에 강자갈과 해사를 비중을 고려한 중량비로 각각 0%, 30%, 50%, 70%, 100%씩 혼합한 5개의 조합으로 나누어 실험을 실시하였다. 각 실험결과들은 우선적으로 KS 일반골재의 규정과 1999년에 개정된 재생골재 한국산업규격에 비교해 보았다. 각 실험 조합의 표기는 천연골재인 강자갈과 해사는 N으로 나타내었고, 재생굵은골재와 재생모래는 R로 표기하였다. 실험조합은 Table 1과 같다.

2.2 비중 및 흡수율

비중 및 흡수량 시험은 KS F 2503과 KS F 2504에 의해 실시하였다. 비중시험결과 재생 굵은골재의 모든 조합에서 재생골재 기준값인 2.2 이상을 상회하였다. 재생골재

Table 1 Various test condition

Ratio of using recycled agg.(%)	Coarse aggregate	Fine aggregate
N-100 R-0	River gravel 100%	Beach sand 100%
N-70 R-30	River gravel 70%, Recycled coarse aggregate 30%	Beach sand 70%, Recycled fine aggregate 30%
N-50 R-50	River gravel 50%, Recycled coarse aggregate 50%	Beach sand 50%, Recycled fine aggregate 50%
N-30 R-70	River gravel 30%, Recycled coarse aggregate 70%	Beach sand 30%, Recycled fine aggregate 70%
N-0 R-100	Recycled coarse aggregate 100%	Recycled fine aggregate 100%

Note : N: natural aggregate, R : recycle aggregate

의 사용에 따른 흡수율은 재생골재 대체율 70%까지 재생골재 1종 기준을 만족하였고, 재생골재 100%인 경우도 4.09%로서 재생골재 2종 기준을 만족하였다. 재생 잔골재의 비중 또한 KS 잔골재 기준인 2.2 이상이며, 흡수율의 경우 재생골재 대체율 50%까지 이 기준을 만족하였다. 재생 잔골재와 재생 굵은골재의 혼합비율에 따른 비중 및 흡수량의 변화는 Fig. 1~3까지 나타내었다.

2.3 입도

골재의 조립률 및 체가름 시험은 KS F 2526과 2502규정에 의하여 실시하였다. 각 시험에서 굵은골재의 입도, 조립률, 굵은골재의 최대치수 등을 측정하여 골재로서의

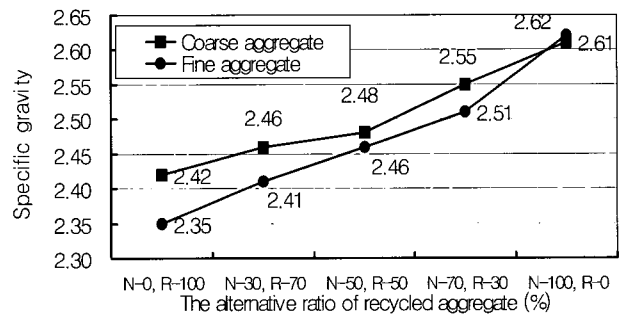


Fig. 1 Specific gravity change of coarse and fine aggregate

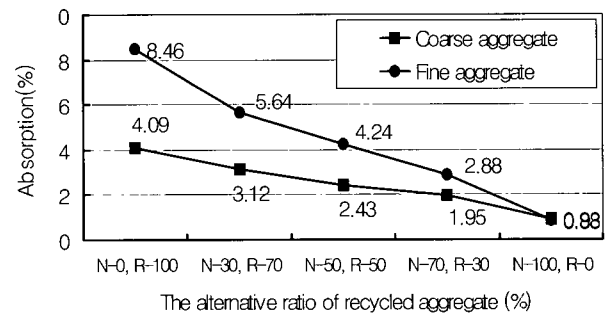


Fig. 2 Absorption of coarse and fine aggregate

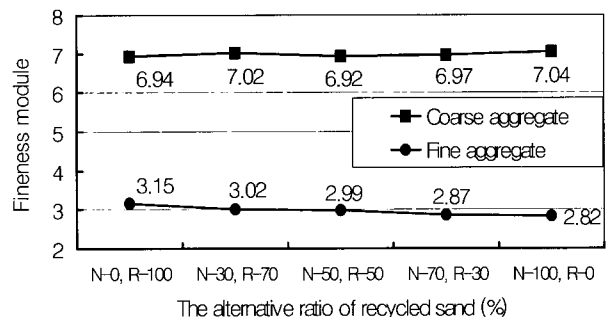


Fig. 3 Fineness modulus of coarse and fine aggregate

적합성을 판단하였고, 각 시험결과들을 콘크리트의 배합설계에 이용하고자 하였다. 체가름 시험결과 재생골재는 강자갈의 경우보다 모든 조합에서 표준입도의 하한측에 가까운 곡선을 나타냈다. 재생잔골재의 경우 0.15mm체에 남는 양이 표준입도의 하한측 기준에 가까웠지만 재생골재 표준입도 규격에 만족하는 결과를 얻었다. 조립률 시험에서는 재생 굵은골재와 재생 잔골재 모든 조합에서 대체로 양호한 값을 나타내어 기준값인 6~8과 2.3~3.1을 만족함을 알 수 있었다. Table 2는 굵은골재 및 잔골재의 조립률 시험결과이며 Fig. 4, 5, 6, 7 및 Fig. 8, 9, 10, 11은 굵은골재와 잔골재의 입도시험 결과이다.

2.3 마모시험을

재생골재 조합에 따른 마모율시험(KS F 2508-67)을 실시한 시험결과는 Table 3과 같다. 마모감량이 평균 38.66%로 굵은골재의 마모감량의 기준인 40% 이하를 만족하였다.

Table 2 Test result of fineness of coarse and fine aggregates

Classification	N-0 R-100	N-30 R-70	N-50 R-50	N-70 R-30	N-100 R-0	KS spec.
Coarse agg.	6.94	7.02	6.92	6.97	7.04	6~8
Fine agg.	3.15	3.02	2.99	2.87	2.82	2.3~3.1

Table 3 Results of abraision test

Class.	Sample 1	Sample 2	Average
Sample weight(f)	5000	5000	5000
No.12 Sieve remain weight(f)	3140	3047	3093.5
Dry weight(f)	3112	3022	3067
abraision rate(%)	37.76	39.56	38.66
Loss weight(f)	1888	1978	1933

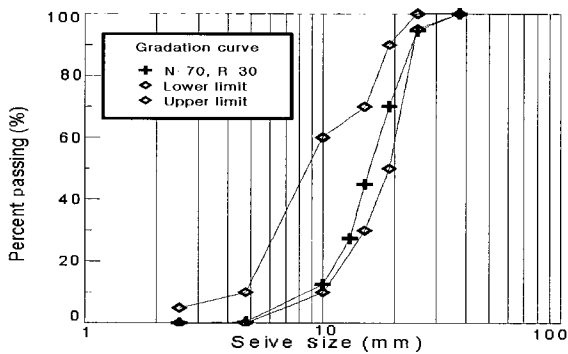


Fig. 4 Grain size accumulation curve of coarse aggregates (N-70, R-30)

2.4 유기불순물함량

잔골재 중에 함유되어 있는 유기불순물의 함유정도와 잔골재의 사용 가능여부를 판정하는 시험으로 KS F 2510에 의거하여 실시하였다. 시험결과는 Table 4와 같이 양호한 결과를 얻었다.

Fig. 12의 가운데 메스실린더 안의 시험용액이 표준용액이고 양쪽에 보이는 메스실린더 안의 용액이 재생잔골

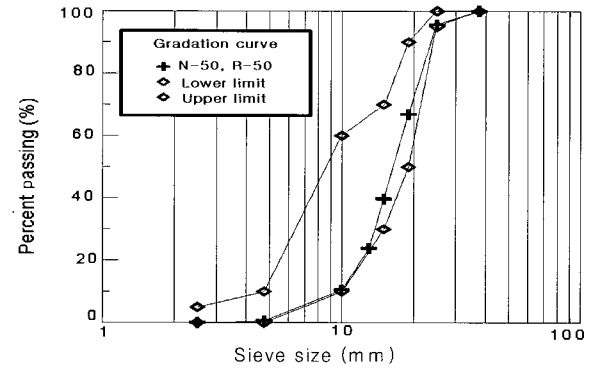


Fig. 5 Grain size accumulation curve of coarse aggregates (N-50, R-50)

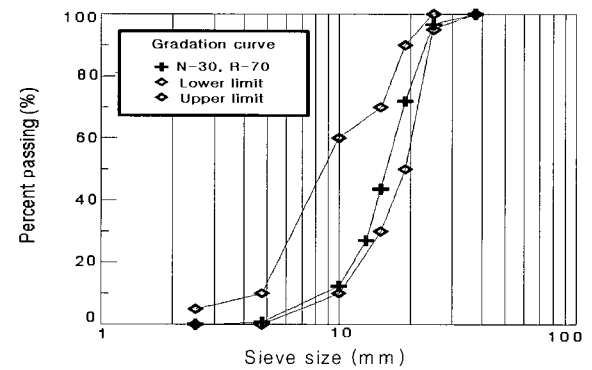


Fig. 6 Grain size accumulation curve of coarse aggregates (N-30, R-70)

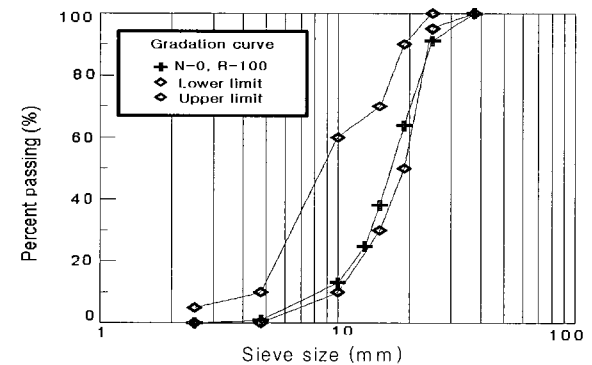


Fig. 7 Grain size accumulation curve of coarse aggregates (N-0, R-100)

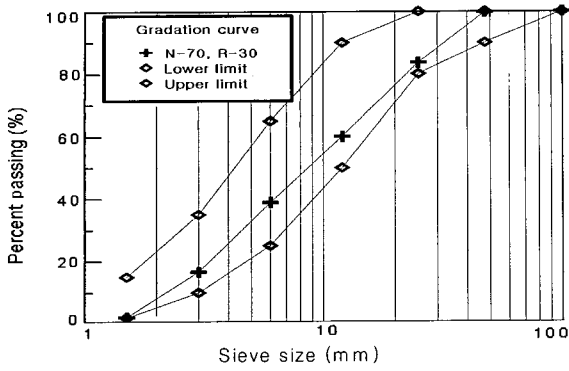


Fig. 8 Grain size accumulation curve of fine aggregates (N-70, R-30)

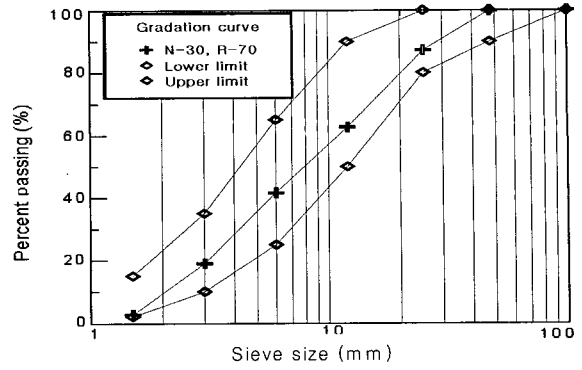


Fig. 10 Grain size accumulation curve of fine aggregates (N-30, R-70)

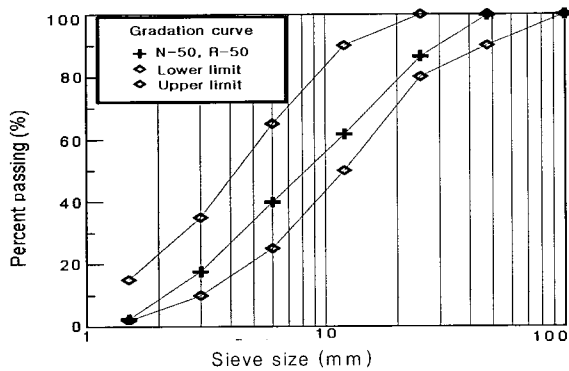


Fig. 9 Grain size accumulation curve of fine aggregates (N-50, R-50)

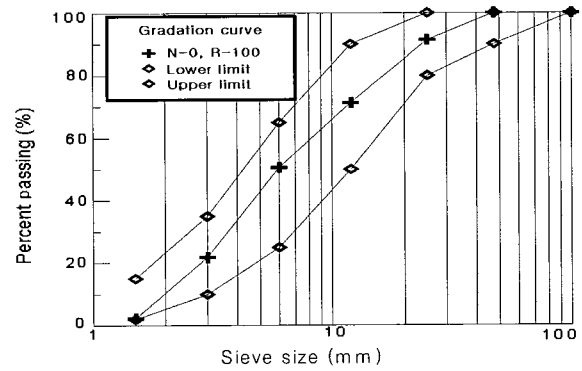


Fig. 11 Grain size accumulation curve of fine aggregates (N-0, R-100)

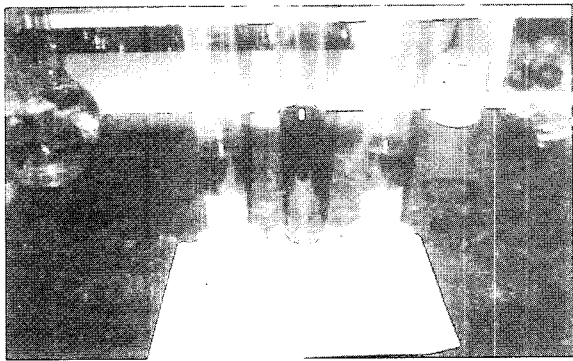


Fig. 12 Test of recycled aggregate organic sediment

재를 채운 시험용액이다. 두 번의 실험결과 모두 재생모래 상부의 시험용액의 색이 표준용액의 색보다 연하게 나타나서 시험에 사용된 재생잔골재가 유기 불순물이 포함되어있지 않음을 알 수 있었다.

2.5 재생콘크리트 배합설계

재생콘크리트의 W/C비를 결정하기 위해 우선적으로

Table 4 Result of organic sediment

Class.	No. 1	No. 2
Result	Good	Good

W/C비를 35%, 40%, 45%로 변화시켜 공시체를 제작한 후 강도 특성을 확인하였다. 다음으로 단위 시멘트량을 일반골재에 사용되는 단위량 만큼 줄이기 위해 W/C비를 50%로 고정한 후 재령 7일, 28일, 42일, 60일에서의 강도 특성을 확인하였고, 또한 플라이애쉬를 시멘트 중량에 10%, 20%, 30%를 첨가하여 재령 7일, 28일, 60일에서의 강도특성을 확인하였다. (N-100, R-0)조합과 (N-50, R-50)조합, (N-0, R-100)의 3개의 재생골재 조합에 동결 시험 전·후의 중량변화와 동결후의 압축강도 시험을 실시하여 동결전의 강도와 비교하였다.

재생콘크리트는 일반 콘크리트에 비하여 경화속도가 빨라 작업성에 개선 대책으로 시멘트 중량에 고성능 감수제 1%를 첨가하여 굳지 않은 재생 콘크리트의 슬럼프 경시 변화를 확인해 보았다.

재생 콘크리트의 강도와 W/C비 결정을 위해 3개의 조합(N-100, R-0), (N-50, R-50), (N-0, R-100)에 대해서

W/C비를 35%, 40%, 45%로 변화시켜 배합을 하였다.

예비배합에서 (N-100, R-0)조합을 제외하고는 만족할 만한 슬럼프를 얻을 수가 없어 10%의 물을 더 첨가하였다. 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 재생골재는 인천지역의 폐기물 중간사업장에서 생산된 재생골재를 사용하였다. 시험에 사용된 시멘트와 골재의 물리적 성질은 Table 5, 6과 같다.

Table 5 Properties of cement

Gravity	Fineness (cm ² /g)	Condensation (min.)		Compressive strength(kgf/cm ²)		
		First	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3,240	5-7	7-20	194	216	323

Table 6 Properties of aggregate

Class.	Max. size (mm)	Gravity	Absorption rate(%)	Fineness modulus(%)
River agg.	25	2.61	0.93	7.04
Recycled agg.	25	2.42	4.09	6.94
Sea sand	4.75	2.62	0.88	2.82
Recycled sand	4.75	2.35	8.46	3.15

Table 7 General mix design (Recy.: Recycled)

Recy. agg. (%)	W/C (%)	Slump (cm)	S/a (%)	Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Coarse agg. (kg/m ³)		Fine agg. (kg/m ³)	
						River agg.	Recy. agg.	Sea sand	Recy. sand
N-100 R-0	35	8	40	160	457	1065	0	713	0
N-100 R-0	40	10	40	160	400	1096	0	734	0
N-100 R-0	45	11	40	160	356	1115	0	746.2	0
N-50 R-50	35	6	40	160	457	498	498	334.5	334.5
N-50 R-50	40	9	40	160	400	519.3	519.3	349	349
N-50 R-50	45	10	40	160	356	529.7	529.7	356	356
N-0 R-100	35	7	40	160	457	0	987	0	640
N-0 R-100	40	9	40	160	400	0	1013.5	0	698
N-0 R-100	45	11	40	160	356	0	1033.8	0	712

Table 8 Chemical properties of fly-ash

Chemical properties		
Classification	KS	Test results
CO ₂ (%)	45 over	53.8
Wet content(%)	1 under	0.1
Loss on ignition(%)	5 under	3.8

배합설계에서는 재생골재 대체율 0%와 50%, 100%에 대해서 W/C비를 35%, 40%, 45%로 변화시켜 재령 7일에서의 압축강도를 구하여 W/C비를 결정하였다. 배합설계는 시험비빔을 행한 후 Table 7과 같이 결정하였다. 모

Table 9 Physical properties of fly-ash

Classification	KS	Test results
Specific gravity	1.95 over	2.32
Specific surface of fineness	2,400 over	3515
Water ratio (%)	102 under	97
Compressive strength ratio (%)	60 over	107.6

Table 10 Mix design of adding fly-ash (Recy.: Recycled)

Recy. agg. (%)	W/C (%)	Slump (cm)	S/a (%)	Unit water (kg/m ³)	Adding fly-ash rate (%)	Unit cement (kg/m ³)	Coarse agg. (kg/m ³)		Fine agg. (kg/m ³)	
							River agg.	Recy. agg.	Sea sand	Rec. sand
N-100 R-0	50	9	40	160	0	320	1133	0	758.2	0
N-100 R-0	50	9	40	160	10	288	1133	0	758.2	0
N-100 R-0	50	9	40	160	20	256	1133	0	758.2	0
N-100 R-0	50	8.5	40	160	30	224	1133	0	758.2	0
N-0 R-100	50	4	40	160	0	320	0	1050	0	680
N-0 R-100	50	4	40	160	10	288	0	1050	0	680
N-0 R-100	50	3.5	40	160	20	256	0	1050	0	680
N-0 R-100	50	3.5	40	160	30	224	0	1050	0	680
N-70 R-30	50	8.5	40	160	0	320	774.2	331.8	508.5	217.9
N-70 R-30	50	8.5	40	160	10	288	774.2	331.8	508.5	217.9
N-70 R-30	50	8	40	160	20	256	774.2	331.8	508.5	217.9
N-70 R-30	50	8	40	160	30	224	774.2	331.8	508.5	217.9
N-50 R-50	50	6	40	160	0	320	538.3	538.3	355.9	355.9
N-50 R-50	50	6	40	160	10	288	538.3	538.3	355.9	355.9
N-50 R-50	50	6	40	160	20	256	538.3	538.3	355.9	355.9
N-50 R-50	50	5.5	40	160	30	224	538.3	538.3	355.9	355.9
N-30 R-70	50	5	40	160	0	320	320.4	747.5	209.3	488.3
N-30 R-70	50	5	40	160	10	288	320.4	747.5	209.3	488.3
N-30 R-70	50	4.5	40	160	20	256	320.4	747.5	209.3	488.3
N-30 R-70	50	4.5	40	160	30	224	320.4	747.5	209.3	488.3

든 조합에서는 W/C비 이론에 따라 설계기준 강도를 220kgf/cm²으로 결정하였고 배합시 굳지않은 콘크리트 상태에서 슬럼프를 측정하였다. 경화 콘크리트의 압축강도시험은 $\Phi 15 \times 30$ cm 실린더형 강제몰드를 사용하여 각각의 공시체를 3층으로 나누어 채운 후 각 층을 다짐봉으로 25회씩 다진 후 재령 1일에 시멘트 페이스트 캡핑을 실시하고, 재령 2일에 탈형하여 소정의 재령일까지 수중양생을 하였다. 플라이애쉬의 물리적성질과 화학 성분은 Table 8, 9와 같고, 시험에 사용된 배합설계는 Table 10과 같다. 시험결과의 표기에서 플라이애쉬는 "F"로 나타내었다.

3. 시험 및 고찰

3.1 일반배합설계에 의한 재생콘크리트의 강도

3.1.1 W/C비에 따른 재생 콘크리트의 강도

Table 11은 Table 7의 배합설계표에 의한 압축강도시험결과이다. Fig. 13은 W/C비에 따른 압축강도를 비교한 것이다. 시험결과는 Fig. 14~16과 같이 가장 빈 배합인 W/C비 45%의 (N-0, R-100)조합에서 재령 7일 압축강도가 165.2kgf/cm²를 보이고 있다. 재령 7일 강도는 28일 강도의 70~80% 정도인 것을 감안해 볼 때 165.2kgf/cm²은 28일 강도 환산시 대략 264.3kgf/cm² 정도로 예측할 수 있다. 이 강도는 재생콘크리트 1급 설계강도(180~210kgf/cm²)를 상회하는 값이다. 또한 이 경우 단위 시멘트량이 356kg로서 일반레미콘에서 사용하는 단위시멘트량 320~360kg에 비해 결코 많은 양이 아니라고 판단되어 다음 실험으로서 단위시멘트량을 일반콘크리트의 최저 수준인 320kg으로 낮추어 배합을 하였다.

3.1.2 W/C비 50%에서 재생콘크리트의 강도

일차적으로 W/C비 45%에서 재생콘크리트의 소요강도를 확보할 수 있었다. 따라서 본 배합에서는 재생골재 모든 조합의 단위시멘트량을 일반 콘크리트의 단위시멘트량의 최저 수준인 320kg까지 낮추어 배합설계를 하였다. 시험에 사용된 배합설계표는 Table 12와 같고, 압축 및 쪼갬인장강도시험결과는 Fig. 17, 18과 같다.

초기재령(f_t)에 있어서, 일반골재가 30% 함유된 (N-30, R-70)조합과 비교해 일반골재가 함유되어 있지 않은, 즉 재생골재 100%인 (N-0, R-100)조합에서 압축·쪼갬인장강도가 더 높게 나타났으며, 재령일수가 증가할수록 이 같은 현상은 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 초기 재령에 있어서는 재생골재에 함유되어 있는 모르타르 성분이 콘크리트의 초기강도 발현을 촉진시켰다고 판단된다. 또한 재령 28일 압축강도가 모든 조합에서 220kgf/cm²를 상회하고 있어 재생 콘크리트 분류에서의 1급 설계기준강도인 210~180kgf/cm² 기준에 적합함을 확인할 수 있다.

3.2 슬럼프 변화

재생콘크리트에 의한 시험결과 재생콘크리트의 소요강도 확보는 가능하나 재생콘크리트는 일반콘크리트에 비해 동일한 단위수량에서 초기 슬럼프가 5cm 정도 낮아 콘크리트 타설시 작업성의 개선이 필요하다. 따라서 슬럼프

Table 11 Results of compressive strength

Class.	N-100, R-0			N-50, R-50			N-0, R-100		
W/C(%)	35	40	45	35	40	45	35	40	45
f_7 (kgf/cm ²)	267	243	215	255	234	211	245	226	165

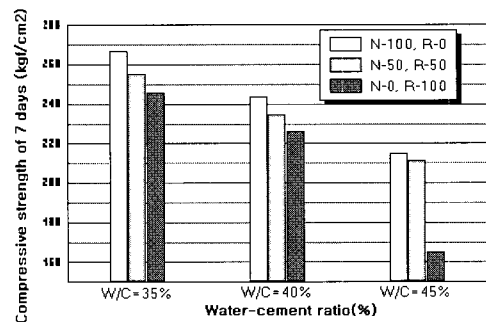


Fig. 13 Compressive strength by water-cement ratio

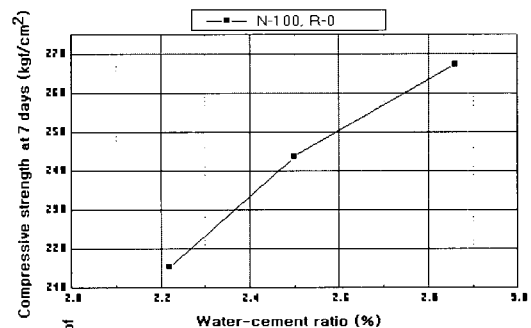


Fig. 14 Compressive strength vs water-cement ratio (N-100, R-0)

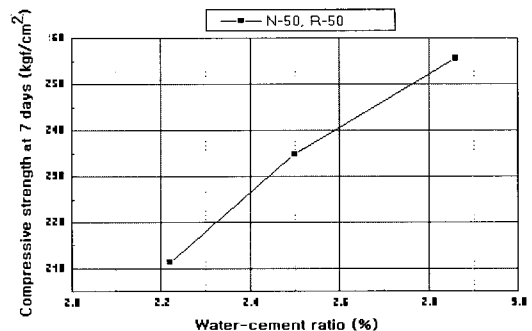


Fig. 15 Compressive strength vs water-cement ratio (N-50, R-50)

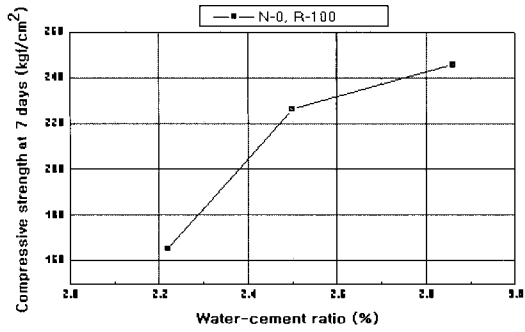


Fig. 16 Compressive strength vs water-cement ratio(N-0, R-100)

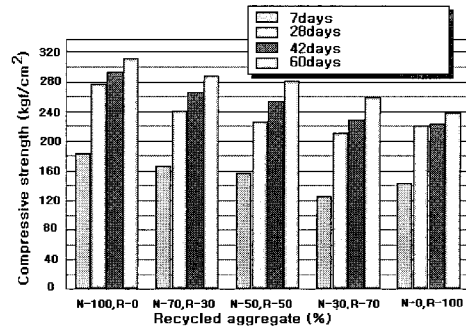


Fig. 17 Compressive strength vs. recycle aggregate ratio by curing days

Table 12 Results of mix design

Alternative ratio of recycled aggregate (%)	W/C (%)	Slump (cm)	S/a (%)	Water (kgf)	Max. size (mm)
N-0, R-100	50	4	40	160	25
N-30, R-70	50	5	40	160	25
N-50, R-50	50	6	40	160	25
N-70, R-30	50	8.5	40	160	25
N-100, R-0	50	9	40	160	25

Alternative ratio of recycled aggregate (%)	Cement (kg/m³)	Aggregate (kgf)			
		River gravel	Recycled aggregate	Sea sand	Recycled sand
N-0, R-100	320	0	1050	0	680
N-30, R-70	320	320.37	747.53	209.25	488.25
N-50, R-50	320	538.3	538.3	355.95	355.95
N-70, R-30	320	774.2	331.8	508.5	217.9
N-100, R-0	320	1133	0	758.24	0

손실 시험에서는 재생콘크리트의 초기슬럼프를 확보하고 타설 후 재생콘크리트의 유동성을 지속시킬 수 있는 방안으로 1%의 고성능 감수제를 첨가하여, 슬럼프 경시변화를 확인해 보았다. 시험에 사용된 고성능 감수제의 종류와 물리적 특성, 감수제 사용전과 후의 변화는 Table 13~15, Fig. 19, 20과 같다.

고성능 감수제는 시멘트 중량의 1~2%를 사용하며, 과도한 감수제의 사용은 콘크리트의 재료분리를 유발하고, 피니셔빌리티를 저하시키는 단점이 있다. 본 시험도 재생골재 함유율이 70% 이상인 조합에서 약간의 재료분리 경향이 나타났다. 이러한 현상은 재생골재의 거친 입도가 감수제의 사용으로 인해 시멘트풀의 점착력을 급격히 떨어뜨리기 때문인 것으로 사료된다.

고성능 감수제를 첨가하지 않은 슬럼프 손실 시험에서 (N-100, R-0)조합과 (N-70, R-30)조합을 제외하고는 비빔 20분 후 슬럼프가 4cm이하로 매우 낮은 슬럼프 값을 나타냈다. 재생골재 100%조합인 (N-0, R-100)조합은 초기슬럼프 값도 4cm를 보여 타설시 이에 대한 대책이 강구되어야 했다. 반면에 고성능 감수제를 사용한 결과에서는

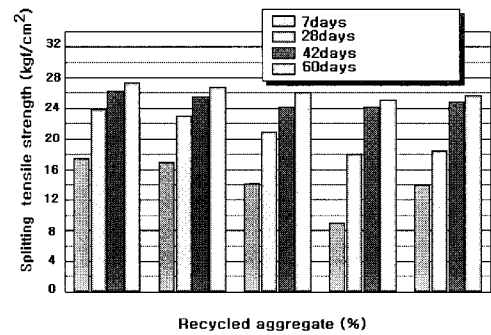


Fig. 18 Splitting tensile strength vs. recycle aggregate ratio by curing days

Table 13 Properties of agent

Type	Class.	Loss of slump (cm)			
		0 min.	30 min.	60 min.	90min.
RHEOBUILD SP-8N		19.0	19.0	18.0	16.0

Table 14 Slump of net condition

Class.	N-100 R-0	N-70 R-30	N-50 R-50	N-30 R-70	N-0 R-100
Temperature (°C)	18	18	19	19	18
Relative moisture (%)	65	65	68	68	65
Original (cm)	9	8.5	6	5	4

Table 15 Slump of adding agent condition

Class.	N-100 R-0	N-70 R-30	N-50 R-50	N-30 R-70	N-0 R-100
Temperature (°C)	17	16.5	16.5	16.5	17
Relative moisture (%)	59	61	61	61	59
Original (cm)	23	22	22	20	18

재생 100%조합에서 초기 슬럼프 값이 18cm를 나타냈고 타설후 40분까지 12cm를 나타내 슬럼프 손실을 지연시킬 수가 있었다. 하지만 재생골재 대체율 70%, 100% 두 조

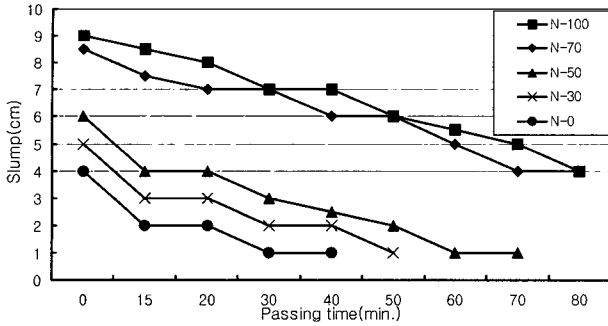


Fig. 19 Slump vs time(net condition)

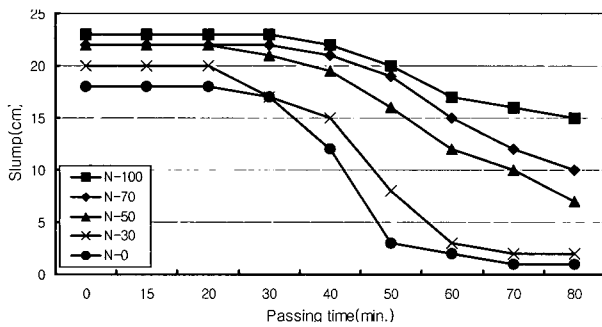


Fig. 20 Slump vs time(adding agent)

합의 경우 비빔 40~50분후 까지는 슬럼프의 급격한 감소를 막을 수 있었지만 그 이후 급격한 손실을 나타내는 경향이 있었다. 이와 같은 현상은 고성능 감수제를 사용하지 않았던 슬럼프 손실 시험에서도 마찬가지로 보여지고 있는데, 이것은 재생골재의 높은 흡수율에 기인된 것이라 판단된다. 이에 대한 대책으로 고성능 감수제의 양을 늘리는 방법이 있겠지만, 재료분리의 위험이 있기 때문에 작업시 타설시간을 가능한 줄이는 방법이 더 효과적일 것으로 판단된다. 따라서 슬럼프 손실의 문제는 소량의 고성능 감수제나 유동화제의 첨가로 충분히 해결 될 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 플라이애쉬를 혼입한 재생콘크리트의 강도

배합설계는 Table 10을 사용하였다. 재생콘크리트의 슬럼프와 압축강도, 쪼갬인장강도의 특성을 비교한 결과 W/C비는 이전의 배합시험에서 재생콘크리트의 강도와 경제성을 확보할 수 있었던 50%로 고정시키고 5개의 조합에 대해서 균지않은 상태에서의 슬럼프 값을 확인하였고 또한 재령 7일, 28일, 60일에서의 경화콘크리트 압축·쪼갬인장강도 시험을 실시하였다. 플라이애쉬는 콘크리트에 사용시 콘크리트의 워커빌리티를 증진시키고 유동성을 개선시키는 장점이 있다. 본 시험에서는 시멘트 중량의 30%까지 플라이애쉬를 첨가하여 배합을 했지만, 이 같은 워커

빌리티 증진의 효과는 일반콘크리트나 재생콘크리트 모든 조합에서 확인할 수 없었고, 오히려 약간의 슬럼프가 저하하는 경향을 나타내었다.

Fig. 21~ 30은 재령에 따른 재생골재 각 조합에서의 강도 시험결과로 재령 7일 압축강도에서는 일반콘크리트와 재생콘크리트의 강도 차이가 재령 60일 강도 차이보다 더 크게 나타남을 확인하였다. 이러한 현상은 일반콘크리트의 경우 시멘트량이 많아 초기에 급격한 강도 발현을 보이며 미세 구조역학적으로 거친 겔을 형성하여 재령이 늘어날수록 강도 발현이 미약해졌으며, 반면에 플라이애쉬가 첨가된 재생콘크리트의 경우 수화반응이 서서히 이루어져 일반콘크리트에 비해 좀 더 치밀한 겔을 형성하고 재령이 늘어날수록 포졸란 반응에 의한 강도증진이 일어났기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

쪼갬인장강도에서도 이와 동일한 현상이 나타나고 있다. 또한 플라이애쉬를 첨가하지 않았던 재생콘크리트의 경우와 마찬가지로, 재생콘크리트 조합(N-0, R-100)의 경우가 (N-30, R-70)조합의 경우보다 재령 28일의 F-30까지 압축·쪼갬인장 강도가 더 크게 나타났다. 그러나 이러한 현상은 재령 60일에서는 확인할 수 없었다. 플라이애쉬를 혼합하지 않았던 시험의 경우 재령 42일까지 이러한 경향이 나타나는 것으로 판단컨데, 재생골재 100% 조합의 경우 재생골재에 상대적으로 많이 함유되어 있는 모르타르 성분이 초기강도(28일)를 증진시키는 효과가 있고, 반

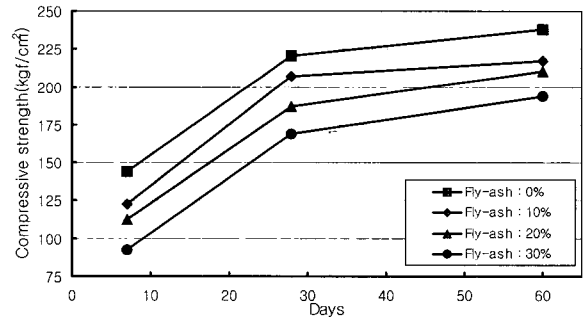


Fig. 21 Compressive strength(N-0,R-100)

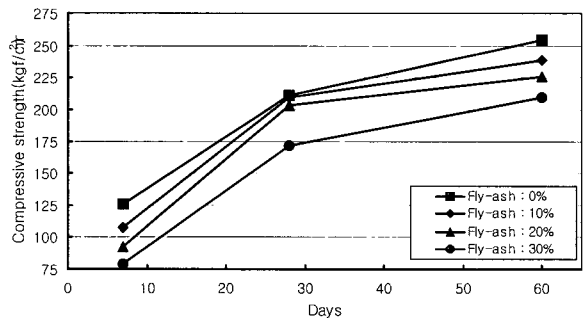


Fig. 22 Compressive strength(N-30,R-70)

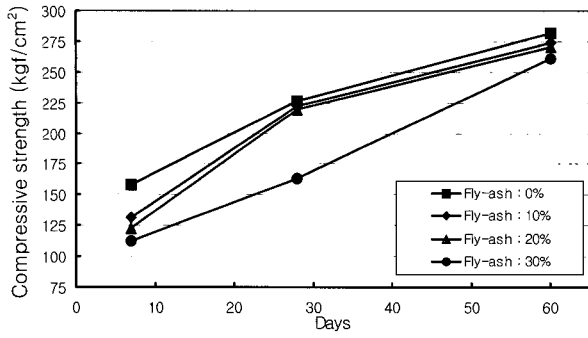


Fig. 23 Compressive strength(N-50,R-50)

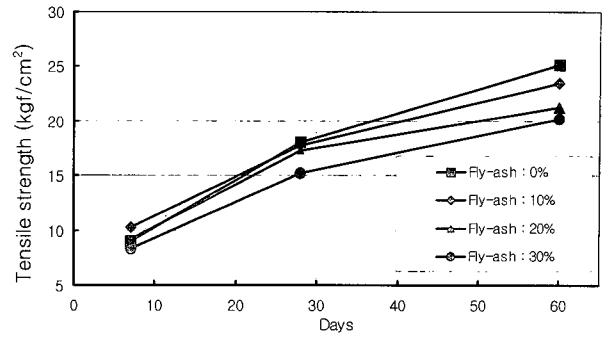


Fig. 27 Tensile strength(N-30,R-70)

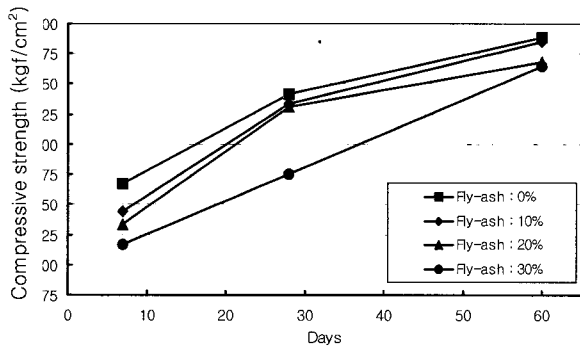


Fig. 24 Compressive strength(N-70,R-30)

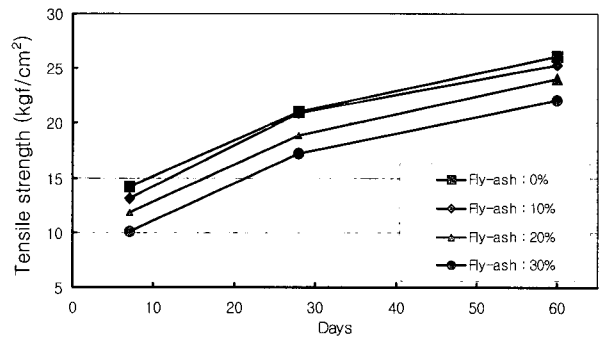


Fig. 28 Tensile strength(N-50,R-50)

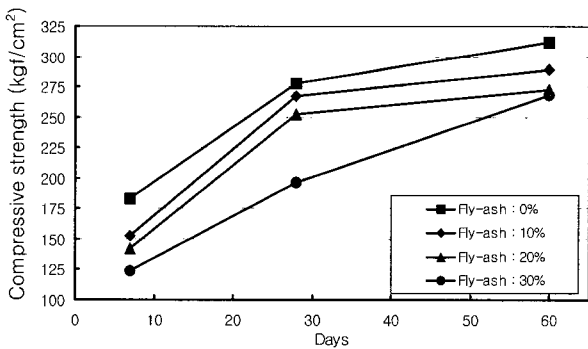


Fig. 25 Compressive strength(N-100,R-0)

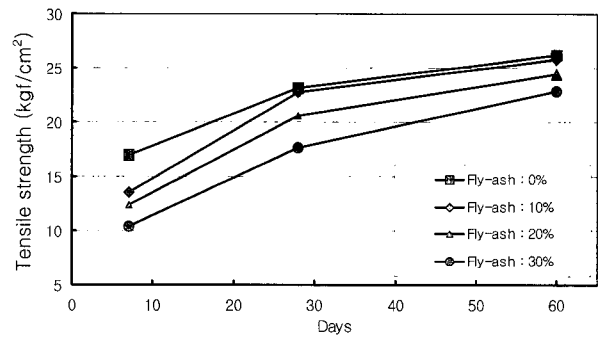


Fig. 29 Tensile strength(N-70,R-30)

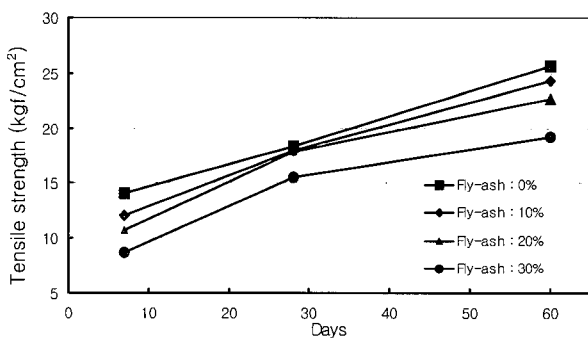


Fig. 26 Tensile strength(N-0,R-100)

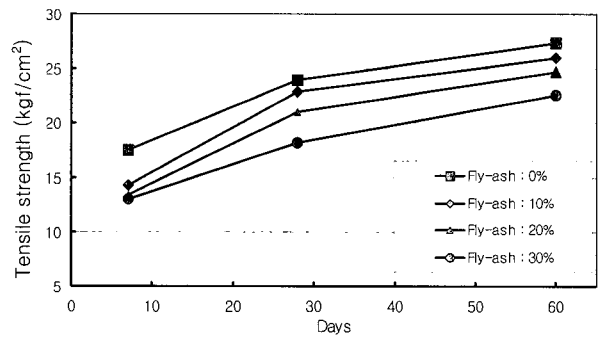


Fig. 30 Tensile strength(N-100,R-0)

면에 (N-30, R-70)조합의 경우 자연골재와 재생골재간의 입도가 서로 맞지 않아 초기재령에 있어 골재들의 맞물림 효과가 떨어지는데서 생기는 결과라 사료된다. 또한 재생골재 대체율 50%까지 플라이애쉬의 첨가율이 늘어남에 따라 장기강도의 증진 효과는 확인 할 수 없었다. 또한 플라이애쉬의 포졸란 반응은 온도가 높아짐에 따라 활성화되어 강도증진의 효과가 높아지는데 동결기에 시험을 실시하여 실험실의 온도가 높지 않은 요인도 작용한 것으로 사료된다. 재령 60일 강도실험 결과 강도가 가장 약한 재생골재 대체율 100%조합의 플라이애쉬 혼입률 10%까지는 압축강도가 207.4 kgf/cm²로 재생콘크리트 1급 품질 기준인 설계기준강도 210 kgf/cm²이하 180 kgf/cm²이상을 만족함을 알 수 있었다. 또한 동일 조합에서 플라이애쉬 혼입률 30%까지도 이 기준을 만족하고 있다. 따라서 소정의 슬럼프와 강도 범위내에서 충분히 플라이애쉬 혼화재의 사용이 가능하리라 판단된다.

3.4 재생콘크리트의 동결융해 저항성

시험은 재생콘크리트와 일반콘크리트의 품질변화가 동결융해 사이클에 대한 콘크리트의 저항에 미치는 영향을 판단하기 위해서 실시하였다. 시험방법으로는 수중 급속동결융해 시험을 택하였다. 따라서 본 연구에서는 동결후의 재생콘크리트 강도와 동결전의 강도를 비교하기 위하여

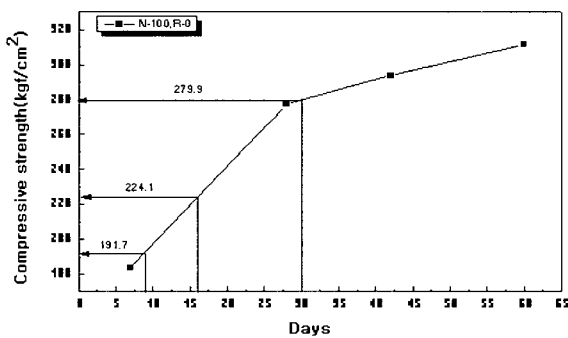


Fig. 31 Forecast of compressive strength (N-100, R-0)

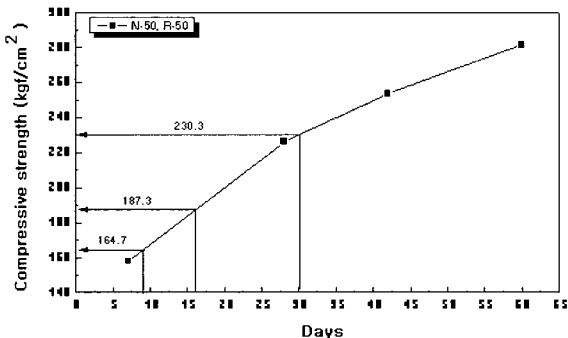


Fig. 32 Forecast of compressive strength (N-50, R-50)

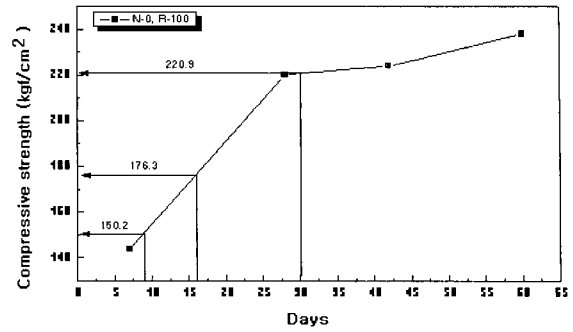


Fig. 33 Forecast of compressive strength (N-0, R-100)

동결전 재생콘크리트 강도를 재령일과 비교하여 다음 Fig 31, 32, 33과 같이 예측하였다.

본 시험은 수중양생이 끝난 공시체를 동결전 중량을 측정하고 동결후 중량변화를 확인하였다. 공시체는 동결융해 시험기에 넣고 최대 210 사이클까지 동결융해 시험을 하였다. 동결융해 사이클의 온도범위는 -18℃~+4℃에서 측정하였으며 1Cycles의 소요시간은 약 6시간이다.

Fig. 34는 동결전과 동결후에서의 공시체의 중량변화를 나타낸 결과이다.

Fig. 35~38은 각각의 사이클에 대한 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 시험결과 동결융해 회수가 증가함에 따라 모든 조합에서 동결후 강도가 감소함을 알 수 있었다. 많은 문헌에서 밝히고 있듯이 재생골재가 많이 함유된 골재의 조합일수록 동결에 대한 저항은 우수함을 확인할 수가 있다. 동결 210사이클에서는 재생콘크리트 조합에서의 강도 감소율이 일반콘크리트에 비해 7%가량 높음을 알 수 있었다. 동결 사이클이 늘어남에 따라 콘크리트 공시체는 동결을 받는 기간동안 소정의 챔버(chamber)안에서 양생되는 것으로 지속되므로 동결이 늘어남에 따라 재령일이 늘어나는 것으로 고려할 수 있을 것이다. 중량 감소 시험에서도 재생콘크리트나 일반콘크리트 모두 중량 감소율이 0.4%이하를 나타내 중량 손실이 적었다.

Fig. 39, 40과 같이 동결 210사이클 후 재생콘크리트 공시체 표면의 박리상태와 일반콘크리트의 상태가 차이가

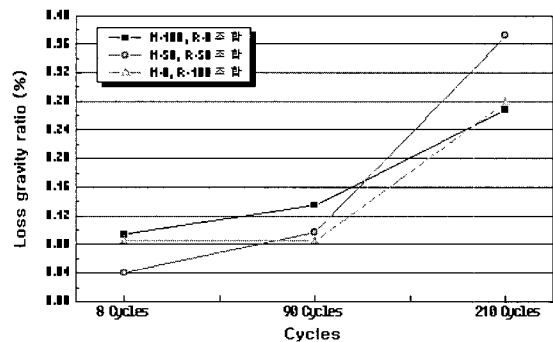


Fig. 34 Gravity ratio by freezing & thawing test

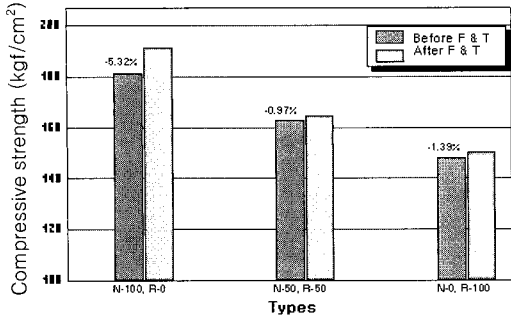


Fig. 35 Comparison of compressive strength (8 cycles freezing & thawing test)

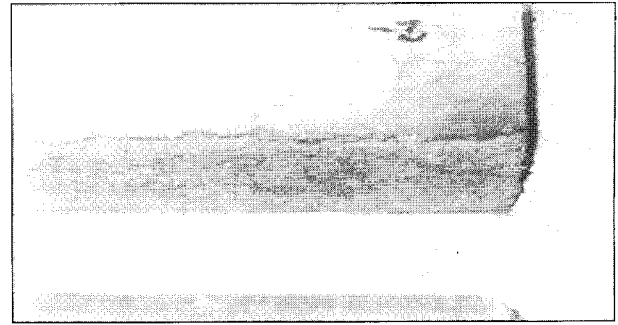


Fig 39 (N-100, R-0) condition of surface (210 cycles freezing & thawing test)

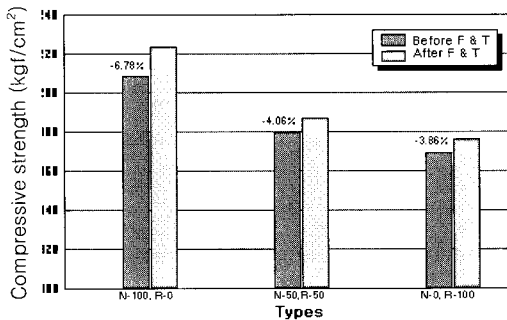


Fig. 36 Comparison of compressive strength (32 cycles freezing & thawing test)



Fig 40 (N-0, R-100) condition of surface (210 cycles freezing & thawing test)

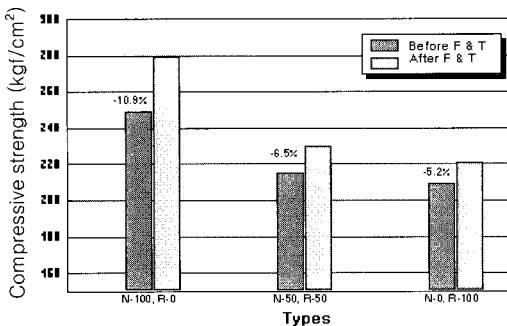


Fig. 37 Comparison of compressive strength (90 cycles freezing & thawing test)

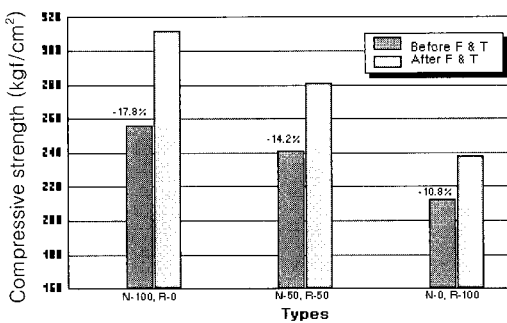


Fig. 38 Comparison of compressive strength (90 cycles freezing & thawing test)

없었다. 두 공시체의 모두 동결 200사이클을 지나면서 박리현상이 조금씩 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 해체되는 콘크리트 구조물에서 발생하는 폐 콘크리트를 일정크기 이하로 파쇄한 재생골재의 활용성 여부를 판단하기 위한 연구로서 얻은 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 재생골재의 물리적 특성 시험결과 재생골재와 재생골재 모든 조합에서 비중의 경우는 1종 재생골재 기준(KS)을, 흡수율은 2종 재생골재 기준을 만족함을 알 수 있었고, 특히 재생골재 50% 대체율까지는 자연 골재와 거의 유사한 물성값을 나타내었다.
- 2) 강도시험 결과 재생콘크리트 모든 조합에서 1급 재생콘크리트 설계기준 강도를 만족함을 알 수 있었다. 또한 재령일에 따른 압축강도와 쪼갠인장강도의 변화가 재령이 증가함에 따라 일정한 비율로 증가함을 알 수 있었다.
- 3) 쪼갠인장강도의 경우 재생골재 모든 조합에서 압축강도의 10% 이상 강도를 나타내 재생골재의 인장강도 특성이 매우 우수함을 확인할 수 있었다.
- 4) 1%의 고성능 감수제의 사용으로 비빔후 40분까지 소정의 슬럼프를 유지할 수 있었고, 최저 12 cm, 최대

- 22 cm의 초기슬럼프를 확보할 수 있었다.
- 5) 동결융해 시험결과 동결전과 동결후의 재생콘크리트 강도 감소율은 일반콘크리트보다 최대 7%까지 낮음을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

1. Grub. V.P, Ruh. M, "Use of Recycled Concrete Aggregate," German Committee for Reinforced Concrete, 11~12, November, 1998.
2. 연세대학교 산업기술연구소, "폐콘크리트를 이용한 재생 골재의 표준화 및 품질평가 시스템 개발연구", 1998. 12.
3. 구봉근, 김태봉, 이상근, "폐콘크리트를 활용한 재생골재의 물리적 특성", 건설기술연구소 논문집, Vol. 17, No. 2, 1998. 12, pp.235-244.
4. 이진용, 이인대, 김광오, 배성용 "재생콘크리트의 강도 발현 및 동결융해 저항성 특성", 한국콘크리트학회지, 제10권 4호, 1998.8.
5. Tam, C. T., " Recycled Concrete as Fine and Coarse Aggregate in Concrete," *Magazine of Concrete Research* 39, No. 141, pp.214~220.
6. Hansen, T. C. and Narud, H., " Strength of Recycled Concrete made from Crushed Concrete Coarse Aggregate," *Concrete International; Design and construction*, 1983, pp.79~83.
7. Buck, A. D.(1977), " Recycled Concrete as a source of Aggregate," *ACI Materials Journal*, Vol. 74, No. 5, pp. 212~219.
8. Kevan. D. sharp, "Fly Ash for Soil Improvement Geotechnical Special Publication," No. 36.

요 약

본 연구는 최근 들어 인천지역에서 발생하는 폐콘크리트 폐기물을 새로운 재생시스템에 의해서 생산된 재생골재를 사용하여 재생콘크리트로 활용가능성을 평가하기 위하여 천연골재에 재생골재를 혼합한 5개의 재생콘크리트 조합으로 나누어 재생콘크리트의 강도특성을 비교해 보았다.

기본적으로 재생골재 각 조합의 물성시험을 통해 골재의 물성치를 확인한 후 이를 바탕으로 콘크리트의 배합설계를 하였다. 모든 조합은 상대비교를 위해 단위골재량 값을 변화시키고 여타 조건들은 동일하게 하였다. 또한 동결융해 시험 및 플라이애쉬, 고성능 감수제를 첨가한 시험을 통해 내구성과 작업성 문제에 대해서 고찰해 보았다.

재생골재의 물리적 특성 시험결과 재생굵은골재와 재생잔골재 모든 조합에서 비중은 KS의 1종 재생골재 기준을, 흡수율은 2종 재생골재 기준을 만족함을 알 수 있었고, 특히 재생골재 대체율 50%까지는 자연골재와 거의 유사한 물성값을 나타내었다. 또한 동결융해 시험결과 동결전과 동결후의 재생콘크리트 강도 감소율은 일반콘크리트보다 최대 7%까지 낮음을 확인 할 수 있었다.

기존의 폐콘크리트는 단순히 대지조성재, 기초 매립재, 노반재, 아스팔트 혼합물로 이용하는 것이 대부분이었으나 본 시험을 통해 도출된 결과 재생콘크리트는 교량하부공, 옹벽, 터널 라이닝공 등에 사용이 가능할 것으로 판단되고 심한 건조수축의 영향을 받지 않는 구조물 등에도 충분히 사용이 가능하리라 판단된다.

핵심용어 : 재생골재, 재생콘크리트, 동결융해, 건조수축