

재생굵은골재를 사용한 콘크리트의 동결융해 특성

성찬용 · 윤준노 · 김영익 · 임상혁* · 정덕현

Freezing and Thawing Properties of Concrete Using Recycled Coarse Aggregate

Chan-Yong Sung · Joon-No Youn · Young-Ik Kim · Sang-Hyuk Im · Duck-Hyun Jung

ABSTRACT

This study was performed to examine the freezing and thawing properties of the high strength concrete using recycled coarse aggregate. The recycled coarse aggregate was replaced by 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of natural crushed aggregate.

The compressive strength of the concrete used recycled coarse aggregate was shown in more than 400kgf/cm² at the curing age 28 days. The weight loss ratio by freezing and thawing was shown in less than 1% at all mix type. The pulse velocity and relative dynamic modulus were decreased with increasing the freezing and thawing cycles. Also, durability factor for the freezing and thawing were decreased with increasing the content of recycled coarse aggregate. But, recycled concrete replaced with recycled coarse aggregate 100% was shown in more than 60 by durability factor in freezing and thawing of 300cycles

Accordingly, these recycled coarse aggregate can be used for high strength concrete.

key words : Recycled coarse aggregate, Freezing and thawing, Weight loss ratio, Durability factor, Compressive strength

이 논문은 2002년도 충남대학교 농업과학연구소 인삼과채류 특성화 사업의 연구비에 의하여 연구되었음.

충남대학교 농업생명과학대학 농업공학부(Division of Agricultural Engineering, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

* Corresponding author(imsh76@cnu.ac.kr)

서 론

최근 경제발전에 힘입어 생활수준이 향상됨으로써 이로 인하여 발생하는 산업 폐기물이 크게 증가하여 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 특히, 국내 건설시장은 1980년대 말부터 대형 국가건설 정책 및 민간건설의 활성화에 따라 콘크리트 산업의 막대한 양적 증가를 유발하였고, 콘크리트 구조물의 노후화와 성능저하 등으로 인하여 구조물의 해체에 의해 발생하는 폐콘크리트량이 급증하고 있는 실정이다(김과 김, 2003). 지금까지 이들 폐콘크리트는 도로포장의 보조재료와 매립용으로 주로 이용되어 왔으나, 날로 심각해지는 환경피해와 처리장의 부족 등으로 인하여 단순 매립은 불가한 것이 현실이다. 또한, 막대한 양의 건설폐기물을 그대로 폐기하거나 매립하는 것은 자원의 낭비이며, 국토 오염뿐만 아니라 환경파괴를 초래하고 있다. 따라서, 건설폐기물의 상당량을 차지하는 폐콘크리트를 부족한 콘크리트용 골재자원으로 재활용하는 것은 환경오염의 방지와 자원의 재창출이라는 측면에서 일거양득의 효과를 기대할 수 있다(Buck, 1977).

한편, 최근 급속한 산업기술의 발달로 산업부산물물이 대량 발생하고 있는데 이러한 산업부산물을 단순히 매립하여 처리하기보다는 건설산업에 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다(김 등, 1992). 그 일례로 화력발전소에서 원료로 사용되고 있는 석탄을 연소할 때 발생하는 플라이 애시를 들 수 있는데, 플라이 애시는 주로 매립용으로 사용되어 왔으나 근래에는 콘크리트의 품질개선과 시멘트 대체를 위한 혼화재료로 경제적 시공과 산업부산물의 재활용이라는 측면에서 그 활용방안이 연구되고 있다(성과 정, 1996).

따라서, 본 연구는 산업부산물인 플라이 애시와 폐콘크리트에서 발생하는 재생골재를 구조용 콘크리트 골재로 사용하여 압축강도 400kgf/cm² 이상의 고강도콘크리트의 동결융해 특성에 미치는 영향을 구명하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 사용재료

1.1. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 이의 물리적 성질 및 화학성분은 Table 1 및 2와 같다.

Table 1. Physical properties of normal portland cement

Specific gravity (20°C)	Setting time (h :min)		Compressive strength (kgf/cm ²)		
	Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	5-7	7-20	194	216	323

Table 2. Chemical composition of normal portland cement (Unit:%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

1.2. 골재

잔골재는 금강유역에서 채취한 천연모래를, 굵은 골재는 충남 공주 지역에서 생산되는 쇠석과 경기도 일산 I사에서 생산된 KS규격 1종 재생골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of aggregate

Item	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption (%)	Fineness modulus	Unit weight (kgf/m ³)
Fine aggregate	<4.75	2.62	0.87	2.66	1,675
Coarse aggregate	Crushed	4.75~20	2.64	7.35	1,571
	Recycled	4.75~20	2.62	6.78	1,543



Fig. 1. Recycled coarse aggregate



Fig. 2. Crushed coarse aggregate

1.3. 플라이 애시

보령산 플라이 애시를 사용하였으며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 4 및 5와 같다.

Table 4. Physical properties of fly ash

Specific gravity (20°C)	Specific surface (cm ² /g)	Unit weight (kgf/m ³)	Grain size (mm)	Color
2.39	3,152	1,072	<0.15	Gray

Table 5. Chemical composition of fly ash(Unit:%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Ig.loss
59.9	25.2	7.50	0.59	0.09	0.41	6.04	5.09

1.4. 고성능감수제

단위수량을 감소하여 콘크리트의 강도를 증진시키고 공기량 확보를 위하여 S사의 나프탈렌 설폰산 포르말린 축합물을 주성분으로 한 고성능감수제를 사용하였으며, 이의 일반적 성질은 Table 6과 같다.

2. 시험체 제작

2.1. 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 고강도콘크리트에서 재생골재 콘크리트의 강도와 동결융해작용에 미치는 영향을 구명하기 위하여 재생골재 대체율을 일반쇄석골재

Table 6. General properties of super water reducing agent

Specific gravity (20°C)	PH	Color	Water reducing (%)	Setting time		Bleeding quantity (%)
				Initial (h:min)	Final (h:min)	
1.191	6.61	Dark brown liquid	18.4	7:33	10:36	56.4

Table 7. Mix design of recycled coarse aggregate concrete

Mix type	Replacement proportion (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kgf/m ³)							SWRA
				W	B	C	FA	S	G		
									C.A	R.A	
FRH1	0	35	39	170	486	389	97	650	1,024	-	1.0 × B%
FRH2	25	35	39	170	486	389	97	650	768	256	
FRH3	50	35	39	170	486	389	97	650	512	512	
FRH4	75	35	39	170	486	389	97	650	256	768	
FRH5	100	35	39	170	486	389	97	650	-	1,024	

W/B : water/(cement + fly ash), S/a : ratio of fine aggregate

W : water, C : cement, FA : fly ash

S : fine aggregate, G : coarse aggregate

C.A : crushed coarse aggregate, R.A : recycled coarse aggregate

SWRA : super water reducing agent

FRH : high strength concrete using fly ash and recycled coarse aggregate

의 0%, 25%, 50%, 75%, 100%로 하였으며, 산업 부산물의 활용과 장기강도를 증진시키기 위하여 플라이 애시를 결합재 중량의 20%를 사용하였고, 슬럼프 15±2.5cm, 공기량 4.5±1.5%가 되도록 고성능감수제를 물/결합재비(W/B)에 따라 결합재 중량의 1%를 첨가하였으며, 이의 배합설계는 Table 7과 같다.

2.2. 시험체 제작 및 양생

시험체 제작은 KS F 2403(실험실에서 콘크리트 압축강도 시험용 시험체를 제작하고 양생하는 방법)에 준하여 강제식 팬믹서를 사용하여 잔골재와 굵은골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 혼화제를 투입하고 진비빔을 30초간 실시한 후 물을 1차 투입하여 1분간 믹싱하고, 물과 고성능감수제를 2차 투입하여 1분간 90r.p.m으로 혼합하였다. 강도시험용 시험체는 ø10×20cm, 동결융해 시험용 시험체는 7.6cm×7.6cm×41.2cm로 하였으며, 모든 시험체는 소정의 재령까지 20±2℃로 수증양생 하였다.

3. 시험방법

시험은 KS와 BS에 규정된 방법에 준하여 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

3.1. 압축강도 시험

콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 재령 7일, 28일, 91일에 측정하였다.

3.2. 동결융해 시험

동결융해 시험은 시험체를 28일 동안 수증양생한 후 KS F 2456(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 실시하였으며, 이때 시험체 중심에서의 온도를 동결시 -18℃, 융해시 4℃로 하여 1사이클을 4시간으로 하였다.

3.2.1. 중량감소 시험

중량감소 시험은 동결융해 매 30사이클 간격으로 중량을 측정하여, 다음 식으로 산출하였다.

$$W = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

여기서, W = 동결융해 C 사이클 후의 중량 감소율(%)

W_0 = 동결융해 0 사이클에서의 중량(g)

W_1 = 동결융해 C 사이클에서의 중량(g)

3.2.2 초음파진동속도 시험

초음파진동속도는 7.6cm×7.6cm×41.2cm인 각주형 시험체로 영국 C.N.S사의 PUNDIT를 사용하여 BS 4408(콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 준하여 측정한 후, 다음 식으로 산출하였다.

$$P \cdot V = \frac{L}{D \times 10^{-6}}$$

여기서, $P \cdot V$ = 초음파진동속도(m/s)

D = 측정치(s)

L = 시험체의 길이(m)

3.2.3 상대동탄성계수 시험

동탄성계수는 7.6cm×7.6cm×41.2cm인 각주형 시험체의 길이방향 양면 중앙에 종진동에 의한 공명진동을 측정하여 BS 1881(콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 준하여 측정하였으며, 상대동탄성계수는 다음 식으로 산출하였다.

$$P_c = \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \times 100$$

여기서, P_c = 동결융해 C사이클 후의 상대동탄성계수(%)

n = 동결융해 C사이클에서의 가로 1차 진동주파수

n_1 = 동결융해 C사이클 후의 가로 1차 진동주파수

3.2.4 내구성 지수

내구성 지수는 동결융해 300사이클에서 KS F 2456(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법)에 준하여 실시하였으며, 다음 식으로 산출하였다.

$$DF = \frac{PN}{M}$$

여기서, DF = 내구성 지수

P = N사이클에서의 상대동탄성계수(%)

N = P가 시험을 단속시킬 수 있는 최소 값이 된 순간의 사이클수, 또는 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클수

M = 동결융해에의 노출이 끝날 때의 사이클 수

$$P_c = \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \times 100$$

여기서, P_c = 동결융해 C사이클 후의 상대동탄성계수(%)

n = 동결융해 C사이클에서의 가로 1차 진동주파수

n_1 = 동결융해 C사이클 후의 가로 1차 진동주파수

3.2.4 내구성 지수

내구성 지수는 동결융해 300사이클에서 KS F 2456(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법)에 준하여 실시하였으며, 다음 식으로 산출하였다.

$$DF = \frac{PN}{M}$$

여기서, DF = 내구성 지수

P = N사이클에서의 상대동탄성계수(%)

N = P가 시험을 단속시킬수 있는 최소값 이 된 순간의 사이클수, 또는 동결융 해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클수
 M = 동결융해에의 노출이 끝날 때의 사 이클 수

Table 8. Compressive strengths of FRH concrete (Unit : kgf/cm²)

Mix type	Curing age		
	7(days)	28(days)	91(days)
FRH1	354	452	585
FRH2	352	445	579
FRH3	350	440	574
FRH4	348	436	568
FRH5	338	424	555

결과 및 고찰

1. 압축강도

압축강도는 잔골재율, W/C, 시멘트 강도 및 골재 사용량에 따라 좌우되며, 배합설계의 기준이 될 뿐만 아니라 인장강도, 휨강도, 탄성계수, 내구성 등 경화한 콘크리트의 성질을 나타내는 요소로서 고강도 영역에서의 재생골재 대체율에 따른 압축 강도의 시험결과는 Table 8 및 Fig. 3과 같다.

표 8과 그림 3에서 보는 바와 같이 재생골재 대체율에 따른 압축강도는 재령 7일에서는 338~352kgf/cm², 재령 28일에서는 424~445kgf/cm², 재령 91일에서는 555~579kgf/cm²의 범위로 나타났고, 대체율이 증가함에 따라 다소 저하하는 경향을 보였 으며, 모든 배합에서 재령 28일에 400kgf/cm²이상을 나타내었다(Andrzej와 Alina, 2002).

이는 기존의 일반재생골재에서 문제시되었던 재생골은골재 표면의 잔여 모르타르를 현저히 분리 시킴으로써 흡수율을 저하시켜 양생 후 공극을 줄 이고 콘크리트 내부를 치밀하게 할 수 있었기 때 문이라 생각된다(이와 서, 2001),(Pentlala, 1990).

따라서, 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도 는 보통콘크리트와 유사하므로 재생골재콘크리트를 현장구조물에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

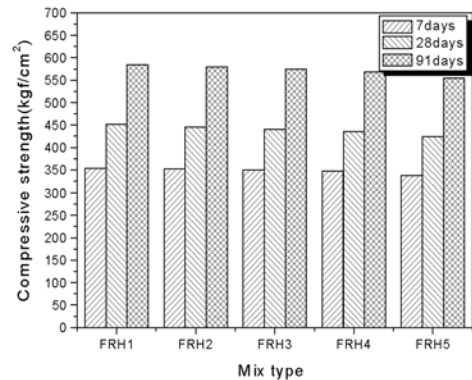


Fig. 3. Comparison of compressive strength and mix type

2. 중량감소율

콘크리트 구조물은 콘크리트중의 수분이 동결하 면 체적이 팽창하고, 균열이 발생하여 강도저하는 물론, 심한 경우에는 표면에 박리현상(剝離現象)이 나타난다.

재생골재 대체율에 따른 콘크리트의 중량감소율 시험결과는 Table 9 및 Fig. 4와 같이 중량감소율은 초기 동결융해 사이클에서는 보통콘크리트와 큰 차이가 나타나지 않았으나, 210사이클을 지나면 서 감소폭이 증가하였다. 그러나 모든 배합에서 중량감소율은 1%미만으로 나타났으며, 공기체 표면 의 박리현상은 나타나지 않았다.

Table 9. Weight loss ratios of freezing and thawing cycle(Unit : %)

Mix type	Number of freezing and thawing cycle										
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
FRH1	0	0	0	0.02	0.02	0.04	0.09	0.12	0.17	0.39	0.69
FRH2	0	0	0	0.02	0.04	0.05	0.09	0.12	0.21	0.43	0.71
FRH3	0	0	0	0.02	0.04	0.05	0.09	0.12	0.25	0.44	0.73
FRH4	0	0	0.02	0.04	0.05	0.08	0.11	0.16	0.30	0.46	0.76
FRH5	0	0	0.02	0.04	0.05	0.08	0.12	0.18	0.32	0.53	0.84

Table 10. Pulse velocities of freezing and thawing cycle(Unit : m/s)

Mix type	Number of freezing and thawing cycle										
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
FRH1	4,853	4,747	4,725	4,677	4,655	4,552	4,537	4,397	4,323	4,208	4,112
FRH2	4,830	4,736	4,666	4,640	4,603	4,518	4,503	4,392	4,221	4,149	3,891
FRH3	4,796	4,725	4,661	4,598	4,593	4,464	4,411	4,369	4,178	3,965	3,843
FRH4	4,774	4,719	4,655	4,532	4,527	4,444	4,364	4,200	3,913	3,890	3,773
FRH5	4,719	4,614	4,518	4,378	4,392	4,269	4,112	3,916	3,787	3,640	3,573

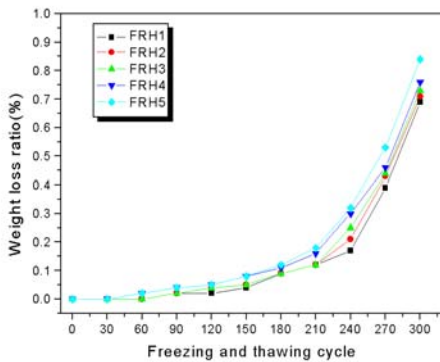


Fig. 4. Change of weight loss ratio by freezing and thawing cycle

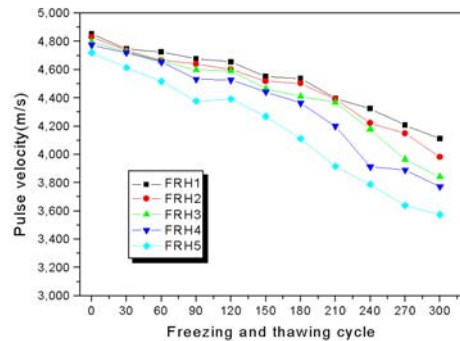


Fig. 5. Change of pulse velocity by freezing and thawing cycle

3. 초음파진동속도

초음파진동속도는 종파를 부재나 구조물에 방사해서 그 전파시간으로부터 얻어지는 전파속도에 의해 콘크리트의 성능을 평가하는 방법으로서, 수 cm에서 수m의 규모에 이르기까지 적용할 수 있다. 또한, 오래된 구조물이나 화재를 입은 구조물

의 내구성을 측정할 수도 있으며, 음향기기를 만드는 목재의 재질을 분석하는 데도 사용되고, 충격하중, 지진하중에 구속받는 구조물의 응력해석시 활용되는 등 광범위하게 이용할 수 있는 비파괴 시험방법(swamy와 Al-Hamed, 1984)으로 동결융해 시험에 대한 초음파진동속도의 시험결과는 Table

10 및 Fig. 5와 같다.

동결융해 시험에 대한 초음파진동속도는 모든 배합에서 감소하는 경향을 보였으며, 재생골재의 대체율이 25%, 50%, 75%, 100%인 재생콘크리트의 초음파진동속도 감소율은 19~24%로써 보통콘크리트의 감소율 15%보다 4~9% 크게 나타났고, 재생골재의 대체율이 증가할수록 그 감소폭은 증가하였으며, 재생골재를 100% 대체한 FRH5는 다소 큰폭으로 저하하는 경향을 나타내었다.

4. 상대동탄성계수

동탄성계수 시험은 하중을 전혀 가하지 않고 전파를 시험체의 상대면에 방사하여 측정된 주파수로 동탄성계수를 구하는 비파괴시험 방법의 일종으로, 동결융해 저항성을 나타내는 내구성 지수의 계산 및 산, 알카리 등의 화학약품에 의한 저항성, 화재에 의한 콘크리트의 열화상황 등 콘크리트 성능시험에 사용되며(Malhotra와 Crino, 1991), 재생골재 대체율에 따른 동결융해 시험의 상대동탄성계수 시험결과는 Table 11 및 Fig. 6과 같다.

상대동탄성계수는 표 11과 그림 6에서 보는 바와 같이 동결융해가 진행되는 동안 모든 배합에서 감소하는 경향을 보였으며, 초음파진동속도의 경향과 유사한 결과를 나타내었다(문 등, 2002). 또한 상대동탄성계수는 300사이클에서 재생골재 대체율에 따라 60~72%정도으로써 보통콘크리트의 76%에

비해 재생콘크리트가 4~16%정도 작게 나타났다.

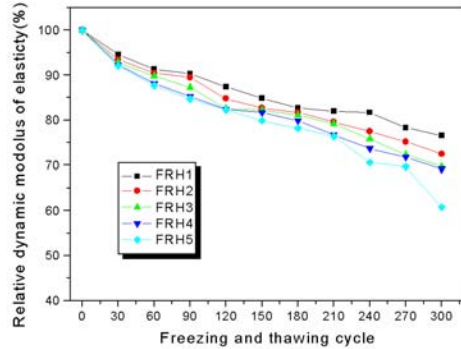


Fig. 6. Change of relative dynamic modulus of elasticity by freezing and thawing cycle

5. 내구성 지수

동결융해 저항성을 나타내는 내구성 지수는 Fig. 7과 같다. 내구성 지수는 최종 사이클인 300사이클에서 60~76으로 재생골재의 대체율 0%, 25%, 50%, 75%, 100%에서 각각 76, 72, 69, 69, 60을 나타내었으며, 재생골재의 대체율에 따라 감소하는 경향을 보였다. 재생콘크리트의 내구성 지수가 감소하는 이유는 파쇄공정의 단계에서 재생골재에 부착된 모르타르에 생긴 미세한 균열에 동결융해의 반복작용으로 품질을 저하시켰기 때문이라 생각된다(Hasaba 등, 1981).

Table 11. Relative dynamic modulus of elasticities by freezing and thawing cycle (Unit : %)

Mix type	Number of freezing and thawing cycle										
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
FRH1	100	94.6	91.3	90.3	87.4	84.9	82.7	82.0	81.7	78.3	76.6
FRH2	100	93.5	90.5	89.5	84.8	82.7	81.7	79.6	77.5	75.2	72.5
FRH3	100	92.8	89.8	87.3	82.6	82.2	81.1	79.2	75.8	72.3	69.7
FRH4	100	92.3	88.2	85.3	82.4	81.7	79.9	76.7	73.7	71.8	69.2
FRH5	100	92.1	87.7	84.7	82.3	79.9	78.2	76.4	70.6	69.7	60.8

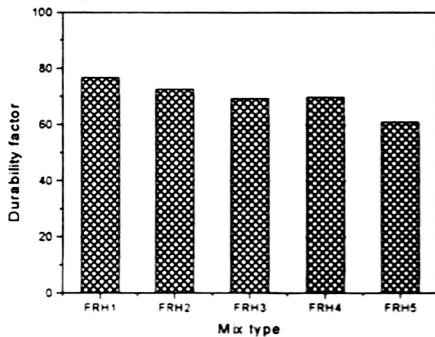


Fig. 7. Comparison of durability factor and mix type

적 요

이 연구는 플라이 애시를 결합재 중량의 20%, 재생굼은골재를 천연쇄석굼은골재의 0%, 25%, 50%, 75%, 100%를 치환하여 압축강도와 동결융해 특성을 구명하였으며, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 재령 28일의 압축강도는 모든 배합비와 W/B 35%에서 400kgf/cm²이상으로 나타나 고강도콘크리트에 이용될 수 있을 것으로 생각된다.
2. 중량감소율은 동결융해 300사이클에서 1%미만으로 나타났고, 표면박리와 같은 현상은 나타나지 않았으며, 재생골재의 대체율이 증가할수록 감소율은 증가하였다.
3. 초음파진동속도는 동결융해 300사이클에서 19~24%정도의 감소율을 나타내었으며, 재생골재의 대체율이 증가할수록 감소율은 증가하는 경향을 나타내었다.
4. 상대동탄성계수는 재생골재의 대체율에 따라 60~72%의 범위로 나타내었으며, 재생골재 대체율

이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.

5. 내구성지수는 모든 배합에서 60이상을 나타내었으나, 재생골재 대체율이 100%일때는 급격히 떨어지는 경향을 나타내었다.

6. 재생굼은골재를 사용한 콘크리트의 압축강도, 중량감소율, 초음파진동속도, 상대동탄성계수, 내구성지수 시험결과를 볼 때, 시험에 사용한 재생굼은골재는 고강도콘크리트에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 김광우, 이봉학, 도영수. 1992. 재생콘크리트의 동결융해 저항성과 변형특성. 한국콘크리트학회 논문집. 4(4) : 115-122.
2. 김무한, 김진만. 2003. 재생콘크리트의 특성. 한국콘크리트학회지. 15(2) : 60-67.
3. 문대중, 팽우선, 문한영. 2002. 재생골재를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성. 한국콘크리트학회 논문집. 14(3) : 307-314.
4. 성찬용, 정현정. 1996. 석분과 플라이 애시를 혼입한 투수용 폴리머 콘크리트의 공학적 성질. 한국농공학회지. 38(4) : 147-154.
5. 이세현, 서치호. 2001. 고강도 영역의 재생골재 콘크리트의 물리적 특성. 한국콘크리트학회 논문집. 13(6) : 575-583.
6. Andrzej, Ajdukiewicz, and Alina Kliszczewicz. 2002. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. Cement & Concrete Composites. 24 : 269-279.
7. Buck, A. D. 1977. Recycled concrete as a source of aggregate. ACI Journal. 74(5) : 212-219.
8. Hasaba, S., M. Kawamura, and K. Toriil. 1981. Drying shrinkage and durability of concrete made of recycled concrete aggregate. Translation of the Japan Concrete Institute. (3) : 55-60.

9. Malhotra, V. H. and N. J. Carino. 1991. Handbook on nondestructive testing of concrete. CRC Press : 50-83.
10. Penttala, V. 1990. Possibilities of increasing the workability time of high strength concrete, properties of fresh concrete. Chapman and Hall : 92-100.
11. Swamy, R. N. and A. H. Al-Hamed, 1984. The use of pulse velocity measurements to estimate strength of air dried cubes and hence in situ strength of concrete. Journal of the ACI. 81(2) : 247-276.