

인공어초 개발을 위한 재생골재 콘크리트의 실험적 연구

홍종현* · 김문훈* · 우광성**

*탐라대학교 토목환경공학과

**영남대학교 토목공학과

An Experimental Study on Recycled Aggregate Concrete for Artificial Fishing Reefs

CHONG-HYUN HONG*, MOON-HYUN KIM* AND KWANG-SUNG WOO**

*Department of Civil and Environmental Engineering, Tamna University, Jeju, Korea

**Department of Civil Engineering, Youngnam University, Kyongsan, Korea

KEY WORDS: Precast Artificial Fishing Reefs 인공어초, Mix Design Model 배합설계모델, Recycled Aggregate Concrete 재생골재 콘크리트, Polypropylene Fiber 폴리프로필렌 섬유

ABSTRACT: The mechanical characteristics of newly recycled aggregate concrete on the basis of the proposed mix design model have been studied to develop the pre-cast artificial fishing reefs. In the first task, the experimental test for the recycled aggregates taken from Jeju Island has been carried out to verify the material properties in terms of specific gravity, percentage of solids, absorption and abrasion of coarse aggregates. In the second task, the experimental parameters of newly recycled aggregate concrete are investigated to meet with the requirements of guidelines with respect to slump, unit weight, pH, ultrasonic velocity, void ratio, and compressive strength which are made of sea-shore sand and slag cement. The natural aggregate and polypropylene fiber are added to newly recycled aggregate concrete to improve the compressive strength and quality. The optimal mix proportions for compressive strength are $W/C=30\%$, $S/a=15\%$, $NA/G=50\%$ in porous concrete case, $W/C=40\%$, $S/a=45\%$ in plain concrete case, and $W/C=40\%$, $S/a=45\%$, $PF=1.0\text{kg}/\text{m}^3$ in fiber reinforced concrete case.

1. 서 론

건설폐기물은 폐콘크리트, 페아스팔트, 폐벽돌, 폐목재와 같은 건설폐자재와 폐철근, 고철과 같은 금속폐자재, 그리고 도기류 등 종류가 다양하다. 폐콘크리트의 발생량도 연간 1000만 톤 이상 대량 발생되고 2020년도에는 약 10,500만톤 발생할 것으로 추정하고 있다(문대중과 문한영 2002). 건설폐기물은 처리장까지의 운반경비, 비싼 반입료 등으로 불법 투기하는 사례가 많고, 자원화 및 재생 이용되는 비율이 상대적으로 낮고, 매립 처분되는 비율이 높다(이남훈 등, 1998). 한편, 그동안의 재활용 기술 개발로 인해 재생골재는 보도블록, 경계석, 방호벽 등 다양한 콘크리트 2차 제품에 사용되고 있지만, 대부분 도로용 보조기층재료로 단순 재활용되고 있다. 더욱이 상용화된 재생제품도 고부가가치의 상품이라고 보기는 어렵다. 따라서 건설폐기물의 재활용을 적극 활성화하려면 고도의 재활용 기술에 기초한 고부가가치 콘크리트 2차 제품의 개발과 재생제품의 적합한 사용처를 발굴하는 것이 당면문제를 해결하는 최선의 방법이다(이남훈 등, 1998).

고도 재활용 기술에 의한 고부가가치 상품의 개발과 적합한 사용처의 발굴은 건설 폐기물의 불법적인 투기, 매립을 근원적으로 예방할 수 있고, 자연산 골재의 채취를 위한 환경훼손과 수반되는 생태계의 파괴를 예방하는 일석이조의 효과가 있다. 폐콘크리트, 페아스팔트, 폐자기류, 폐목재 등 건설폐기물의 대부분이 인공어초로 재활용될 가능성이 있다. 이미 일본과 미국은 페타이어까지 인공어초로 재활용하고 있는 실정이다. 그러나 국내에서는 폐전주, 폐콘크리트칩목을 어초로 단순 재활용할 뿐, 인공어초의 99%를 천연골재 콘크리트로 제조하고 있어 방대한 양의 천연골재가 소비되고 있다(김재환 등, 2002). 따라서, 콘크리트 인공어초 제조에 재생골재를 사용하는 방안이 시급하다. 그동안 폐콘크리트로부터 생산한 재생골재를 인공어초 제조에 사용하지 못한 이유로는 재생제품에 대한 소비자의 불신, 높은 흡수율과 마모감량과 같은 불량한 품질, 낮은 강도상의 문제 등이다. 그러나 최근에 골재의 분쇄, 연마, 비중에 따른 자동 선별장치 등 우수한 품질의 재생골재를 생산하는 첨단 기계류들이 개발되고 있다. 이러한 원천기술의 개발로 입형이 양호한 골재가 생산되고 있고, 우수한 품질의 혼화제와 혼화제가 개발됨에 따라 양질의 재생골재 콘크리트 생산이 가능하다고 판단된다(김무한, 1998). 그동안 국내에서는 재생골재의 품질과 강도증진에 관한 다양한 연구 논문이 발표되었고(이진용, 1998; 이세현, 2001; 문대중, 2002) 그 활용방안을 인공어초

제1저자 홍종현 연락처: 제주도 서귀포시 하원동 산 70번지

064-735-2115 jhhong@tnu.ac.kr

분야로 확대할 수 있는 시점이다. 따라서, 본 연구에서는 폐콘크리트를 재활용한 재생골재 콘크리트 인공어초 제조를 목적으로 재생골재 콘크리트의 역학적 성질이 연구되었다. 최소 210kgf/cm² 이상의 압축강도를 발현하는 재생골재 콘크리트를 제조하기 위하여 첫째, 10mm 이하의 재생골재 골재를 사용하지 않는다. 흡수율과 마모감량 증가의 원인이 되기 때문이다. 둘째, 다공성 콘크리트를 제조하는 경우에는 5~15mm의 쇄석을 전체 중량의 50%이하 범위에서 사용하고, 잔골재율을 15% 이하 범위에서 사용하여 콘크리트의 압축강도를 향상시킨다. 셋째, 내화학약품성이 좋은 고로슬래그시멘트를 사용한다. 넷째, 섬유보강제를 사용하여 재생골재 콘크리트의 품질과 내충격성을 증가시킨다. 이상과 같은 연구 차별성을 가지고 재생골재 콘크리트의 슬럼프, 단위용적중량, pH, 초음파속도, 공극률, 그리고 압축강도시험이 수행되었다.

2. 실험

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에 사용한 시멘트는 KS규정에 적합한 S사의 특급 고로시멘트로서 그 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

재생골재는 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)에서 규정한 골재 가운데 3종에 해당되는 것으로 물리적 성질은 Table 2와 같다. 재생골재는 10~25mm 치수를 사용하였다. 10mm 이하의 재생골재는 대부분이 모르타르이므로 흡수율과 마모감량이 증가하여 콘크리트의 품질 저하 원인이 된다(김무한, 1998). 따라서 10mm 이상의 골재만을 선별하여 사용하였다. 재생골재는 제주도 북제주군 소재의 S 산업이 10년 경과된 노후 콘크리트로서의 폐콘크리트로부터 수거·생산하였으며 1차 파쇄는 Jaw-Crusher를 이용하였고, 2차 파쇄는 Cone-Crusher를 사용하였다. 천연골재는 제주도 서귀포 지역에서 생산된 5mm~15mm의 쇄석을 사용하였다. 최대치수 15mm 이하의 쇄석을 사용하여 다공성 콘크리트의 실적률과 압축강도 증가를 유도하였다. 재생잔골재는 강도 발현에 악영향을 미치는 이유로 해사를 잔 골재로 사용하였다. 해사는 전라남도 진도군에서 채취한 바다모래를 사용하였고 물리적 특성은 Table 3과 같다.

2.1.3 보강용 섬유

재생골재 콘크리트의 품질을 개선하기 위해 H사의 폴리프로필렌 섬유를 사용하였다. 일반적으로 알려진 사용효과로는 충격, 파손, 마모, 침식에 대한 저항력이 증대된다고 보고되며, 그 물리적 특성은 Table 4와 같다.

2.1.4 유동화제

재생골재 콘크리트의 불리한 시공성 개선, 단위수량 감소, 그리고 목표 슬럼프 값을 맞추기 위해서 Table 5와 같은 특성을 갖는 M사의 고성능유동화제를 사용하였다.

2.2 배합계획

압축강도 210kgf/cm² 이상의 어초용 재생골재 콘크리트 제조를 위한 배합설계는 Table 6과 같이 다공성 콘크리트, 천연골재를 혼입한 다공성 콘크리트, 보통 콘크리트, 그리고 섬유 보강 콘크리트로 대별된다. Table 6에서 S/a는 잔골재율, W는 단위수량, C는 단위 시멘트량, S는 단위 잔골재, G는 단위 재생골재, PF(Polypropylene Fiber)는 폴리프로필렌섬유, 그리고 SP(Super Plasticizer)는 고성능 유동화제이다. NA(Natural Aggregate)는 천연골재, NA/G는 천연골재 혼입률(Ratio of Natural Aggregate)로 체적비로 정의하였다. 다공성 콘크리트의 배합설계는 수 차례의 예비시험에서 물-시멘트비가 25% 이하인 경우 시공성이 불리하다고 판단되어 최소의 물-시멘트비를 30%로 설정하고 단위 시멘트량과 잔골재율을 변수로 배합비를 설정하였다. 잔골재율이 10% 미만인 경우 강도가 낮아지고 반대로 20% 초과인 경우 표면이 보통콘크리트와 같이 요철이 없는 까닭에 잔골재율은 10%, 15%, 20%로 배합 변수를 설정하였다. 압축강도 증진 목적으로 천연골재를 혼입하고 물리적 변화를 관찰하였다. 보통 콘크리트 배합설계는 재생골재 콘크리트의 경우 물-시멘트비가 40%이고 물의 단위량이 180kg/m³인 경우 경제성을 감안한 최적 강도발현 배합비라는 보고(이세현 등, 2001)를 참고하여 물-시멘트비와 잔골재율을 35%, 40%, 45%로 설정하였다. 재생골재 콘크리트의 품질을 향상시킬 목적으로 폴리프로필렌섬유를 투입하였다. 최적의 투입량을 결정하기 위해 물-시멘트비 40%에서 섬유의 단위 사용량을 1.0kg/m³, 1.5kg/m³, 2.0kg/m³로 투입 변수를 설정하였다.

2.3 실험방법

콘크리트의 제조는 소형 전동식 믹서를 사용하였고, 골재는 시험 전 프리웨팅을 한 표면건조포화상태의 골재를 사용하였다. 혼합방법은 골재와 시멘트를 투입한 후 1분간 혼합을 하고 폴리프로필렌섬유를 투입하는 경우 다시 1분간 혼합을 하고, 최종적으로 물과 고성능유동화제를 혼합하여 투입한 후 2분간 혼합을 하여, 시험체를 제작하였다. 슬럼프의 시험방법은 KS F 2402, 단위용적중량은 KS F 2403, 압축강도 시험은 KS F 2405, 공극률 시험은 JCI의 포러스콘크리트 공극률 시험방법(안), 그리고 pH 측정방법은 KS M 0011과 페이스트 분쇄에 의한 pH 측정방법을 사용하였다. KS M 0011 방법은 양생 28일 후의 공시체에 60ml의 증류수를 1회 상부에서 산포한 후 20분 경과 후에 증류수 60ml를 다시 상부에 산포한 후 하부에 흘러나온 증류수를 취수하여 pH를 측정한다. 페이스트 분쇄에 의한 방법은 공시체 표면의 모르타르를 적당량 채취하여 분쇄한 후 모르타르 10g에 증류수 200ml를 혼합한 후 pH를 측정한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 슬럼프

다공성 콘크리트는 고성능유동화제를 시멘트 중량의 0.5% 미만 첨가하는 경우 슬럼프 값이 0으로 측정되고, 0.5% 이상 첨가

Table 1 Physical properties of cement

Physical properties	Specific gravity	Fineness [cm ² /g]	Soundness [%]	Setting time [min]		Compressive strength [kgf/cm ²]		
				Initial set.	Final set.	3 days	7 days	28 days
Slag cement	3.08	3,753	0.07	284	517	194	272	418

Table 2 Physical characteristics of coarse aggregate

Properties	Gradation [mm]	Unit weight [kg/m ³]	Specific gravity	Absorption [%]	Abrasion [%]	Finess modulus	Finer than 0.08mm[%]	Percentage of solids
Recycled aggregate	10 ~ 25	1,348	2.37	7.00	31	6.98	0.5	56.9
	5 ~ 25	1,312	2.36	7.81	36	7.27	0.6	55.6
Natural aggregate	5 ~ 15	1,599	2.68	1.90	19	6.62	0.3	59.7

Table 3 Physical characteristics of fine aggregate

Properties	Specific gravity	Absorption [%]	Finess modulus	Unit weight [kg/m ³]	Finer than 0.08mm[%]
Sea-shore sand	2.58	1.6	2.66	1,512	0.6

Table 4 Physical characteristics of polypropylene fiber

Ingredient	Fiber shape	Fiber length [mm]	Absorption [%]	Specific gravity	Melting point [°C]	Tensile strength [kgf/cm ²]	Modulus of elasticity [kgf/cm ²]
Homopolymer Polypropylene	Round	12	0	0.91	162	3500	35000

Table 5 Properties of superplasticizer

Type	Color	Main component	Specific gravity
Liquid	Dark brown	Naphtalene Sulphonate	1.2±0.02

한 경우 슬럼프 값이 17cm 이상 측정되었다. 보통 콘크리트의 경우 고성능유동화제를 시멘트 중량의 0.3%를 물과 함께 투입하였다. 슬럼프 값은 12.0~17.0cm로 측정되었다. 예측된 바와 같이 W/C비가 낮을수록 슬럼프 값이 낮게 나타나며, 동일한 조건에서 폴리프로필렌섬유를 투입하는 경우 슬럼프 값이 감소하는 경향을 나타내었다.

3.2 단위용적중량

다공성 콘크리트의 경우 단위용적중량은 1.85~2.24t/m³으로 측정되었다. 재생골재와 천연굵은골재의 비중차이로 인해 천연굵은골재의 혼입률이 높아질수록 단위용적중량이 증가하였다. 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 보통 콘크리트의 경우 단위용적중량의 범위는 2.25~2.29t/m³로 나타났다.

3.3 압축강도

다공성 콘크리트의 경우 W/C=30%에서 S/a 변화에 따른 압축강도의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 최적의 강도발현을

예상하여 W/C 비를 30%로 고정하였고, S/a 비가 10% 미만인 경우 낮은 강도발현이 예상되고, S/a 비가 20% 초과인 경우 보통 콘크리트와 같이 표면에 요철이 없는 까닭에 S/a 비의 범위를 10~20%로 설정하였다. 시험체 I-C350 계열은 압축강도가 100kgf/cm² 미만으로 낮게 나타났다. 반면에 I-C400 계열과 I-C450 계열은 상대적으로 높은 강도발현을 나타내고, S/a 비가 높아질수록 압축강도가 높아진다. 이것은 S/a 비가 증가할수록 단면의 조직이 밀실해지기 때문이다. 압축강도를 210kgf/cm² 이상 높이기 위해 천연굵은골재를 25%, 50%, 75%로 혼입하였다. S/a 비가 15%인 경우 최대 281kgf/cm²의 강도발현을 나타내었다. 재생골재의 경우 10~25mm의 골재를 사용하고, 천연굵은골재의 경우 5~15mm의 골재를 사용한 까닭에 천연굵은골재의 혼입률이 50%일 때가 가장 단면이 밀실한 것으로 판단되었다. S/a가 10%인 경우 천연굵은골재의 혼입률이 75%일 때 가장 높은 강도발현을 나타내었다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 천연굵은골재의 혼입률보다 S/a 비가 강도발현에 큰 영향을 나타내었다.

보통 콘크리트의 경우 W/C 비와 S/a 비에 따른 압축강도 변화를 관찰하였다. Fig. 4에 의하면 S/a 비가 45%일 때가 최고의 강도발현을 나타내었다. 이것은 굵은골재를 10~25mm의 골재를 사용한 까닭에 S/a 비가 35% 그리고 40%인 경우는 잔골재가 부족한 상태였고, 반면에 S/a 비가 45%인 경우 잔골재의 혼입률이 넉넉한 까닭에 S/a 비가 45%일 때가 최적의 강도발현을 나타내었다. PF 혼입에 따른 압축강도의 변화를 Fig.

5에 나타내었다. S/a 비가 35%, 40%인 경우 부족한 잔골재를 PF가 보충하는 역할을 한 까닭에 PF가 증가할수록 압축강도가 증가하였다. 반면에 S/a 비가 45%인 경우 잔골재의 양이 충분하기 때문에 PF가 증가하더라도 압축강도는 증가하지 않았다. 시험결과로부터 다공성 콘크리트의 경우 시험체기호 II-Sa15-NA50의 배합비가 인공어초 제조에 최적의 콘크리트 배합비로 판단되고, 보통 콘크리트의 경우 시험체 기호 III-C450-Sa45, 섬유보강 콘크리트의 경우 시험체 기호 IV-Sa45-PF10가 경제성을 감안한 최적의 배합비로 판단되었다.

3.4 초음파속도

다공성 콘크리트의 초음파속도는 3.88~4.61km/sec로 측정되었고 Fig. 6과 같이 천연굵은골재의 혼입률 증가에 따라 초음파속도가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 내부조직이 밀실함을 반영하는 것으로 압축강도와 유사한 추이를 나타내었다. 보통 콘크리트의 경우 초음파속도의 범위는 4.31~4.64km/sec로 측정되었다. Fig. 7과 같이 PF 투입후에 초음파의 속도가 빨라졌고 적당량의 PF 투입이 단면을 밀실하게 한다는 것을 알 수 있다.

3.5 pH

공시체의 재령 28일에 pH 측정을 수행하였으며, 다공성 콘크리트의 pH는 KS M 0011에 의한 물붓기 방법을 사용하였으며 pH 범위는 9.6~10.6으로 나타났다. 공시체의 표면이 거친 경우 pH가 높게 나타난다. 보통 콘크리트의 경우 페이스트 분쇄에 의한 방법을 사용하였으며 pH 범위는 11.5~11.8로 나타났다. 공시체 내부의 페이스트는 강한 알칼리성을 유지하고 있으므로 페이스트 분쇄에 의한 측정은 pH가 11.5 이상을 나타내었다.

3.6 공극률

공극률시험은 $\phi 100 \times 200$ 인 시험체를 재령 28일에 아래의 식으로 산출하였다.

$$P_o = \left\{ 1 - \frac{W_2 - W_1}{V} \right\} \times 100 \quad (1)$$

Table 6 Mix design for fishing reef concrete

Mix type	W/C [%]	S/a [%]	W [kg/m ³]	NA/G [%]	PF [kg/m ³]	SP [%]
Porous concrete (I)	30	10	105	0	0	0.3
		15	120			
		20	135			
Porous concrete with natural agg. (II)	30	15	120	25	0	0.3
				50		
				75		
Plain concrete (III)	35	35	180	0	0	0.3
	40	40				
	45	45				
Fiber reinforced concrete (IV)	40	35	180	0	1.0	0.3
		40			1.5	
		45			2.0	

Table 7 Details of porous concrete test

Test series	Test variables			Test results				
	W/C [%]	S/a [%]	NA/G [%]	Unit weight [t/m ³]	Compressive strength [kgf/cm ²]	Ultrasonic velocity [km/sec]	pH	Void ratio [%]
I-C350-Sa10	30 C=350 kg/m ³	10	0	1.85	45	3.88	10.5	16.9
I-C350-Sa15		15		1.86	82	3.92	10.6	16.5
I-C350-Sa20		20		1.92	83	3.99	10.6	12.9
I-C400-Sa10	30 C=400 kg/m ³	10		1.91	75	4.10	10.5	15.3
I-C400-Sa15		15		1.98	122	4.20	10.5	12.8
I-C400-Sa20		20		2.03	156	4.25	10.5	11.0
I-C450-Sa10	30 C=450 kg/m ³	10		1.87	66	4.07	10.4	16.2
I-C450-Sa15		15		1.92	130	4.28	10.3	12.0
I-C450-Sa20		20		2.07	148	4.38	9.9	10.8
II-Sa10-NA25	30 C=400 kg/m ³	10		25	1.99	88	4.16	10.4
II-Sa10-NA50			50	2.05	119	4.23	10.4	13.2
II-Sa10-NA75			75	2.18	216	4.49	10.4	12.5
II-Sa15-NA25		15	25	2.09	241	4.41	10.0	10.0
II-Sa15-NA50			50	2.14	281	4.54	9.8	9.2
II-Sa15-NA75			75	2.24	252	4.61	9.6	9.0

Table 8 Details of plain & fiber reinforced concrete test

Test series	Test variables			Test results				
	W/C [%]	S/a [%]	PF [kg/m ³]	Unit weight [t/m ³]	Compressive strength [kgf/cm ²]	Ultrasonic velocity [km/sec]	pH	Slump [cm]
III-C400-Sa35	45	35	0	2.25	201	4.36	11.6	17.0
III-C400-Sa40		40		2.27	213	4.38	11.6	17.0
III-C400-Sa45		45		2.26	255	4.39	11.5	13.5
III-C450-Sa35	40	35	0	2.25	206	4.31	11.5	16.0
III-C450-Sa40		40		2.25	214	4.32	11.7	15.0
III-C450-Sa45		45		2.27	321	4.36	11.5	13.5
III-C514-Sa35	35	35	0	2.28	275	4.36	11.5	13.0
III-C514-Sa40		40		2.27	337	4.50	11.5	12.0
III-C514-Sa45		45		2.27	385	4.55	11.8	11.5
IV-Sa35-PF10	40	35	1.0	2.27	184	4.30	11.5	13.0
IV-Sa35-PF15			1.5	2.28	255	4.39	11.5	14.0
IV-Sa35-PF20			2.0	2.27	286	4.35	11.6	15.0
IV-Sa40-PF10		40	1.0	2.28	213	4.42	11.5	15.0
IV-Sa40-PF15			1.5	2.29	258	4.56	11.7	14.5
IV-Sa40-PF20			2.0	2.28	275	4.64	11.6	15.0
IV-Sa45-PF10		45	1.0	2.27	321	4.42	11.5	12.0
IV-Sa45-PF15			1.5	2.26	299	4.64	11.6	12.0
IV-Sa45-PF20			2.0	2.28	290	4.59	11.5	12.5

여기서 P_0 = 콘크리트의 공극률(%), W_1 = 공시체의 수중중량 (g), W_2 = 24시간 방치 후 기건중량(g), V = 시험체의 용적 (cm³)

다공성 콘크리트의 공극률 범위는 9.0~16.9%로 나타났다. Fig. 8과 같이 S/a 비가 증가할수록 공극률이 낮아진다. 이것은 잔골재의 증가로 인해 단면이 밀실해지기 때문이다. Fig. 9에 NA/G 증가에 따른 공극률의 변화를 나타내었다. 천연골재의 혼입률이 높아질수록 공극률은 감소한다.

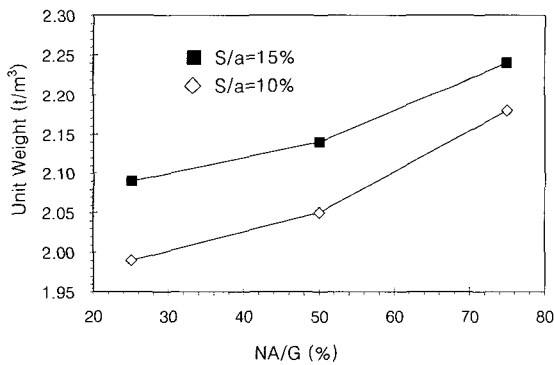


Fig. 1 Relationship between unit weight and NA/G according to sand percentage

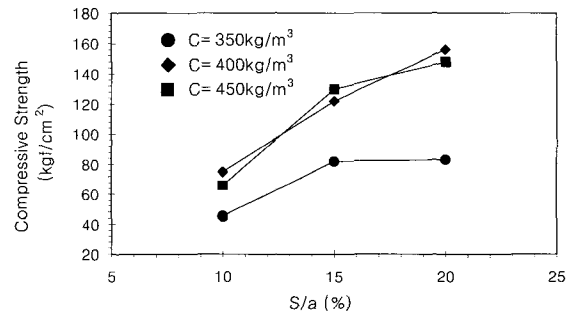


Fig. 2 Relationship between compressive strength and S/a according to unit cement proportion in case of W/C=30%

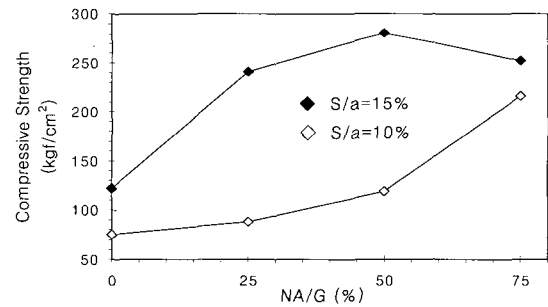


Fig. 3 Relationship between compressive strength and NA/G according to sand percentage in case of W/C=30%

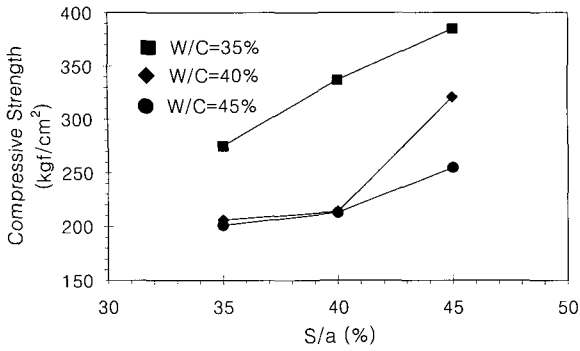


Fig. 4 Relationship between compressive strength and S/a according to water cement ratio

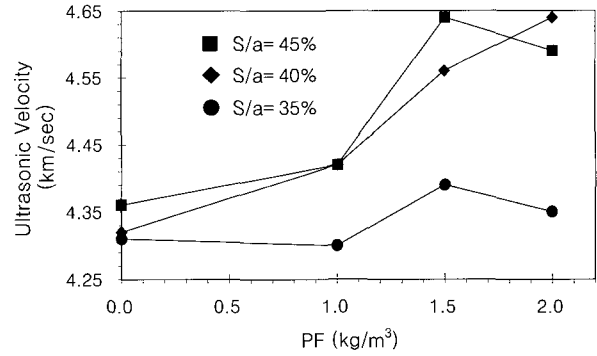


Fig. 7 Relationship between ultrasonic velocity and PF according to sand percentage

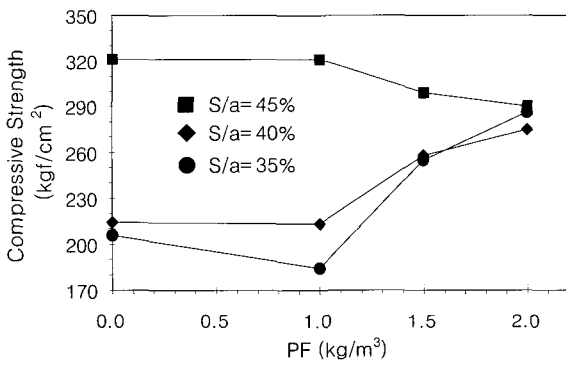


Fig. 5 Relationship between compressive strength and PF according to sand percentage

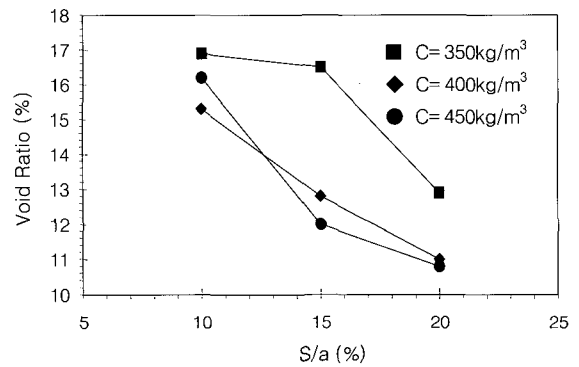


Fig. 8 Relationship between void ratio and S/a according to unit cement proportion for porous concrete

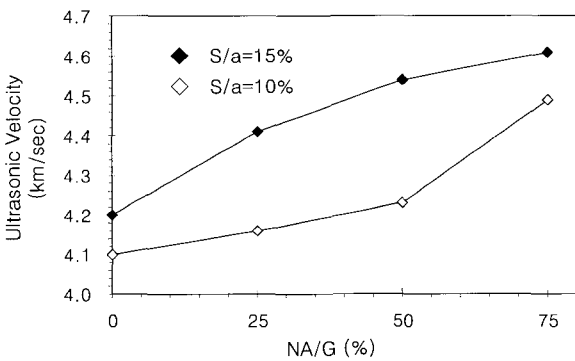


Fig. 6 Relationship between compressive strength and NA/G according to sand percentage

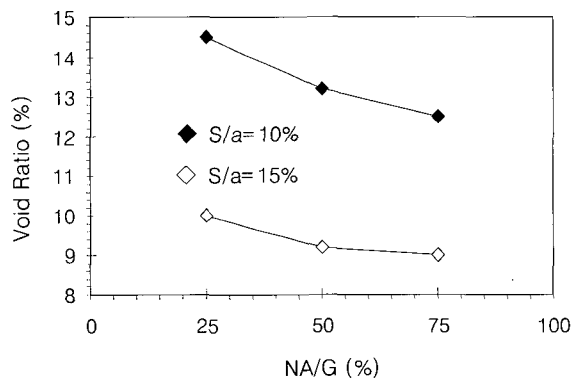


Fig. 9 Relationship between void ratio and NA/G according to sand percentage for porous concrete

4. 결 론

본 연구에서는 인공어초 제조를 목적으로 폐콘크리트로부터 생산된 재생골재를 사용한 콘크리트의 역학적 특성이 연구되었고 그 결과는 다음과 같다.

(1) 재생골재 콘크리트 제조에 10~25mm의 재생골재를 사용하였다. 10mm이하의 재생골재는 흡수율과 마모감량이 높아 콘크리트의 품질에 악영향을 준다는 연구결과를 참조하였다. 다공성 콘크리트의 강도 증진 목적으로 사용된 천연굵은골재는 실적률을 높이기 위해 치수 5~10mm의 골재를 사용하였다.

(2) 다공성 콘크리트의 단위용적중량 범위는 1.85~2.24t/m³이고, 천연굵은골재 혼입률이 높을수록 단위용적중량이 증가한다. 보통 콘크리트의 단위용적중량 범위는 2.25~2.29t/m³이다.

(3) 다공성 콘크리트의 최적 압축강도 배합비는 W/C=30%, S/a=15%, NA/G=50%이고, 보통 콘크리트의 경우 W/C=40%, S/a=45%, 그리고 섬유 보강 콘크리트의 경우 W/C=40%, S/a=45%, PF=1.0kg/m³에서 경제성을 감안한 최적의 압축강도 배합비로 나타났다.

(4) 보통 콘크리트에서 S/a 비가 45%일 때 최적의 압축강도를 나타내는 것은 잔 골재의 양이 적당하기 때문이다. 반면에 S/a=35%, S/a=40%의 배합비는 잔 골재의 양이 부족하였다. 이것은 10mm 이상의 재생굵은골재만을 사용하였기 때문이다.

(5) 내부 밀실도 파악을 위해 초음파속도가 측정되었다. 다공성 콘크리트의 경우 3.88~4.61km/sec로 나타났고, 쇄석 골재의 혼입률 증가에 따라 초음파속도가 증가하였다. 보통 콘크리트의 초음파속도 범위는 4.31~4.64km/sec로 나타났다.

(6) 다공성 콘크리트의 pH 범위는 9.6~10.6이고, 보통 콘크리트의 pH 범위는 11.5~11.8로 나타났다. 보통 콘크리트의 pH가 높게 나타난 이유는 내부의 모르타르가 강알카리성을 나타내므로 페이스트 분쇄에 의한 방법으로는 pH가 항상 11.5 이상 나타났다.

(7) 다공성 콘크리트의 경우 pH가 낮게 나타나며, 해조류의 부착이 용이한 까닭에 인공어초 제조에 유리한 조건을 갖추고 있다.

참 고 문 헌

- 김무한 (1998). "건설폐기물 및 재생골재 콘크리트", 콘크리트학회지, 제10권, 제6호, pp 52-60.
- 김재환, 강석표, 김창길, 권영진, 김무한 (2002). "국내 인공어초 시설의 현황", 콘크리트학회지, 제14권, 제2호, pp 61-69.
- 문대중, 문한영 (2002). "재생골재의 품질평가 및 재생골재 콘크리트의 강도특성", 대한토목학회논문집, 제22권, 제1-A호, pp 141-150.
- 이남훈, 김승호, 김영주, 김인배, 유기영, 이해승, 장영률, 정재춘 (1998). 폐기물처리재활용, 동화기술.
- 이세현, 서치호 (2001). "고강도 영역의 재생골재 콘크리트의 물리적 특성", 콘크리트학회논문집, 제13권, 제6호, pp 575-583.
- 이진용, 이인대, 김광우, 배성룡 (1998). "재생콘크리트의 강도 발현 및 동결융해 저항성 특성", 콘크리트학회논문집, 제10권, 제4호, pp 163-169.
- 해양수산부 (2002). 인공어초 하후실태 및 개선방안 보고서, 해양수산부.
- Fishreef Research Group (1978). A Review of Artificial Fishreef Research-I, Japanese Marine Products Protection Association.

2003년 6월 5일 원고 접수

2003년 7월 15일 최종 수정본 채택