

인공어초용 재생골재 콘크리트의 최적 배합설계 모델

홍종현* · 김문훈* · 우광성** · 고성현**

*탐라대학교 토목환경공학과

**영남대학교 토목공학과

Optimal Mix Design Model of Recycled Aggregate Concrete for Artificial Fishing Reefs

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

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

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

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

ABSTRACT: The purpose of this study is to recycle the waste concrete, which is generated in huge quantities, from construction works. In order to achieve this goal, it is important to determine the compressive strength, workability, slump, and ultrasonic velocity of recycled aggregate concrete. Thus, several experiment parameters are considered, such as water-cement ratios, sand percentage, and fine aggregate composition ratios, in order to apply the recycled aggregate concrete to pre-cast artificial fishing reefs. From the results, it has been shown that the proper mix designs for reef concrete are $W/C=45\%$, $S/a=50\%$, $SR50:SN50$ in recycled sand and natural sand mix combination case, $W/C=45\%$, $S/a=50\%$, $SC50:SN50$ in crushed sand and natural sand mix combination case, $W/C=45\%$, $S/a=50\%$, $SR50:SC50$ in recycled sand and crushed sand mix combination case. Also, this study shows that the shape and surface roughness of fine aggregate particles have an effect on the strength, slump, ultrasonic velocity of tested concrete, and the compressive strength ratios of 7days' and 90days' curing ages of recycled aggregate concrete are about 70% and 110% of 28days' curing age.

1. 서 론

근래에 들어 연근해 어장에 대한 바다목장화 사업이 본격화되고 있다. 바다목장화 사업의 일환인 인공어초 사업의 중요성이 더욱 부각되고 있는 시점이다. 인공어초는 해중에 고기집 역할을 하도록 형상과 재질을 자연초에 가깝게 인위적으로 제조한 해중 구조물이다. 이러한 인공어초를 넣어둔 바다에는 식물성 플랑크톤과 동물성 플랑크톤이 집중발생 하게 되는 것은 물론, 어초의 음영효과, 와류효과 및 도피처효과가 극대화되어 새로운 어장을 형성하면서 어획량이 2배 이상 증가하는 효과가 있다(이종렬 등, 2002).

국내의 일반어초는 14종이 지정되어 있고, 현재 시설되고 있는 인공어초의 99%가 콘크리트 인공어초이다. 따라서, 방대한 양의 콘크리트가 어초 조성을 목적으로 대량 소비되고 있고 이에따른 골재채취와 관련한 환경문제가 제기되고 있다. 한편, 산업폐기물을 인공어초로 재활용하려는 시도가 최근에 이루어지고 있는데 폐선박을 인공어초로 재활용하는 사례가 대표적인 예이다. 건설폐기물도 인공어초로 재활용될 가능성이 매우

높다. 특히, 폐콘크리트 재생골재가 가장 유력하다 할 수 있다(홍종현 등, 2003).

인공어초의 주재료로 폐콘크리트 재생골재가 사용될 수 있는 이유로는 첫째, 건설폐기물의 재활용촉진을 위해서이다. 환경부가 발표한 건설폐기물 재활용촉진 종합대책(환경부, 2002)에 의하면, 국내 건설폐기물의 연간 발생량은 약 40,000천톤으로 추정되며 이 가운데 콘크리트류가 24,108천톤으로 60.9%를 차지하고 있다. 향후 건설폐기물의 발생량은 더욱 증가할 것으로 전망되며, 건설폐기물 재활용율은 정부의 재활용정책 중점 추진으로 2001년에 85.9%로 크게 상승하였다. 그러나, 건설폐기물의 재활용 용도는 성토·매립용이 90%를 차지하고 있으며, 도로 기층용이나 콘크리트용 골재 등과 같이 부가가치가 높은 분야에서의 재활용실적은 매우 저조하여 적절한 대책의 필요성이 제기되었다. 둘째, 재생골재의 뛰어난 투수성 및 흡수성과 같은 장점 때문이다. 재생골재는 천연골재에 비하여 투수성이 크므로 연속공극을 갖고, 투수성과 흡수성이 우수한 다공성 콘크리트 제조가 가능하다. 따라서, 인공어초와 같은 해양 식생구조물의 제조에 적합하다. 셋째, 친환경재료로 이미 다양한 시공실적이 있기 때문이다. 재생골재를 활용한 구조물의 출현은 증가추세에 있다. 하천이나 폐쇄성 해역의 호안블록

제1저자 홍종현 연락처: 제주도 서귀포시 하원동 70

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

과 같은 수질정화 구조물에 적용하여 수생식물의 서식지를 확보할 수 있고 이들 수생식물의 식물연쇄를 이용한 수질정화가 가능하다. 그리고, 녹화구조물에 적용된다. 즉, 건물옥상, 법면 등에 적용하여 식물의 생식장을 보호하고 건설구조물의 경관을 향상시킬 수 있다. 뿐만아니라, 흡음구조물에 적용된다. 즉, 유리섬유 등을 흡음재료로 사용하는 경우와 달리 물의 흡수로 인하여 흡음율이 저하되지 않아 도로주변 등 옥외 흡음구조물에 적합하다. 이상과 같이 재생골재는 식생구조물 분야에 적용되어 이미 다양하게 활용되고 있다. 넷째, 폐콘크리트 재생골재는 유해물질이 없기 때문이다. 재생골재란 건설폐기물인 폐콘크리트를 분쇄·가공처리하여 생산한 재생쇄석을 지칭하는 것으로 무해성 폐기물로 분류되어 별도의 화학처리공정이 필요 없다. 즉, 환경적으로 무해성이 입증되었다.

재생골재를 인공어초 제조에 사용하기 위해서는 최소한 압축강도가 210kgf/cm^2 이상의 재생골재 콘크리트가 개발되어야 하는데, 최근 발표된 연구(홍종현, 2003)에 의하면 어초 제조를 목적으로 한 재생골재와 천연잔골재를 사용한 콘크리트의 배합비와 강도에 관한 연구결과가 발표되어 고부가가치 제품 생산의 기초자료를 제공하고 있다. 최근 건설장비의 발전에 의해 폐콘크리트는 재생골재로 재활용되고 있다. 재생골재는 재생골재보다 부가가치가 더욱 높기 때문에 업계에서는 이미 재생골재를 대량 생산하여 콘크리트용으로 사용하고 있다.

현재, 국내의 잔골재 수급문제는 심각한 상황이다. 하천모래는 고갈상태에 있고, 바다모래는 환경문제에 직면하여 채취가 어려워지고 있다. 이미 천연모래를 국외에서 수입하여 사용하고 있지만 근본적인 해결책은 아니다. 한편, 대체골재로 1992년부터 부순모래 사용이 시작되고, 일부지역에서는 천연모래와 혼합사용하는 것이 일반화되어 있다(한국콘크리트학회, 1998). 따라서, 본 연구에서는 재생골재와 재생잔골재, 천연잔골재, 부순모래와 같은 다양한 잔골재의 단독사용 또는 혼합사용한 어초용 콘크리트의 물리적 특성을 연구하였다. 본 연구결과에 의한 기술공학적 효과로는 어초 제조를 위한 재생골재 콘크리트의 최적 배합설계모델이 개발되었다. 사회경제적 효과로는 첫째, 재생골재의 적절한 수요처가 발굴된다. 둘째, 재생제품을 사용함으로써, 환경보존 그리고 자원재활용의 장점이 있다. 셋째, 재생골재의 저렴한 가격으로 인해 천연골재를 사용한 동일제품 대비 경제적 이점이 있다. 끝으로 재생골재의 대량 소비처 발굴로 인해 재활용업체의 활성화가 기대된다.

2. 실 험

2.1 사용재료

본 연구에 사용한 시멘트는 KS규정에 적합한 S사의 특급 고로시멘트로서 그 물리적 성질은 Table 1과 같다. 고로시멘트는 보통시멘트에 비해 pH가 낮고, 내화학성이 좋고, 장기강도 발현이 높다.

재생골재는 KS-F 2573(콘크리트용 재생골재)에서 규정된 골재 가운데 3종에 해당되는 것으로 물리적 성질은 Table 2와

같다. 재생골재는 10~25mm 치수를 사용하였다. 10mm 이하의 재생골재는 대부분이 모르타르모래로 흡수율과 마모 감량이 증가하여 콘크리트의 품질 저하 원인이 된다. 따라서 10mm 이상의 골재만을 선별하여 사용하였다. 재생골재는 제주도 북제주군 소재의 S산업이 10년 경과된 노후 콘크리트 도로의 폐콘크리트로부터 수거·생산하였으며 1차 파쇄는 Jaw-Crusher를 이용하였고, 2차 파쇄는 Cone-Crusher를 사용하였다. 천연잔골재는 전라남도 진도군에서 채취한 바다모래를 사용하였고, 실적률은 59%이다. 부순모래는 제주도 서귀포 소재의 S산업에서 생산한 현무암 부순모래를 사용하였다. 부순모래의 경우 1.2~2.5mm 입도의 골재만을 취한 입형판정 실적률은 53%로 낮은 값을 나타내고 있어 입형이 불량한 편이다. 재생골재는 대구 소재의 D산업에서 생산한 폐콘크리트 재생모래를 사용하였고, 실적률은 60%이다. 잔골재의 물리적 특성은 Table 3에 나타내었다.

재생골재 콘크리트의 불리한 시공성 개선, 단위수량 감소, 그리고 목표 슬럼프 값을 맞추기 위해서 Table 4와 같은 특성을 갖는 M사의 고성능AE감수제를 사용하였다.

2.2 배합계획

재활용 골재 콘크리트 인공어초(GR F 4002)의 품질규격에 의하면, 재생 콘크리트의 압축강도가 210kgf/cm^2 이상, 물-시멘트비가 45% 이하, 재활용 골재 사용량은 전체 골재의 50중량% 이상, 그리고 표면에 박리나 요철이 없어야 한다. 상기 품질규격중에서 압축강도가 가장 중요한 품질기준이 되는데, 본 연구에서는 재생골재 콘크리트의 시험 배합비를 Table 5, 6, 7과 같이 설정하였다. Table 5, 6, 7에서 W/C는 물-시멘트비, S/a는 잔골재율, SR은 재생잔골재, SN은 천연잔골재, SC는 부순모래, SR:SN은 재생잔골재와 천연잔골재의 혼합비율을 의미한다. SC:SN은 부순모래와 천연잔골재의 혼합비율을 의미한다. SR:SC는 재생잔골재와 부순모래의 혼합비율을 의미한다. 수차례의 예비실험에서 물의 단위량을 160kg/m^3 , 굳지않은 콘크리트의 공기량을 $4\pm 1.5\%$, 슬럼프를 15cm 이상, 고성능AE감수제를 시멘트 중량의 1.2%를 투입하는 것으로 설정하여 물의 양을 최소화하였다.

물-시멘트비를 35%, 40%, 45%, 50%, 55%로 세분화하여 설정하고, 10mm 이상의 재생골재를 사용하기 때문에, 잔골재율을 40%, 45%, 50% 3단계로 설정하고, 잔골재는 단독사용 또는 혼합사용하는 것을 설계변수로 하였다. 예비실험결과 잔골재율이 50%일 때, 작업성과 강도측면에서 가장 유리하므로 잔골재율 50%에서 7일, 28일, 90일 강도를 측정하여 단·장기 강도발현에 관하여 연구를 하였다. 시험항목당 3개의 공시체($10\times 20\text{cm}$)를 제조·시험·평균하였고, 총 1080개의 공시체를 시험하였다.

2.3 실험방법

콘크리트의 제조는 소형 전동식 믹서를 사용하였고, 골재는 시험 전 프리웨팅을 한 표면건조포화상태의 골재를 사용하였다. 혼합방법은 잔골재와 굵은골재를 투입한 후 1분간 혼합을 하고, 시멘트를 투입한 후 다시 1분간 혼합을 하고, 최종적으로

로 물과 고성능AE감수제를 혼합하여 투입한 후 2분간 혼합을 하여, 시험체를 제작하였다. 슬럼프의 시험방법은 KS F 2402, 단위용적중량은 KS F 2403, 압축강도 시험은 KS F 2405의 규정에 따라 시험하였다.

이 거칠고 입형이 나쁘기 때문에 혼합비가 증가하면 슬럼프가 낮게 측정된다. 물-시멘트비가 높아질수록 슬럼프가 낮아진다. 이것은 시멘트량이 감소함과 동시에 고성능AE감수제의 사용량이 감소하기 때문이다.

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 coarse aggregate	10 ~ 25	1,348	2.37	7.00	31	6.98	0.5	56.9

Table 3 Physical characteristics of fine aggregate

Properties	Specific gravity	Absorption [%]	Finess modulus	Unit weight [kg/m ³]	Finer than 0.08mm[%]
Natural sand	2.58	1.60	2.66	1,512	0.6
Recycled sand	2.58	2.48	2.31	1,544	4.8
Crushed sand	2.66	1.46	2.96	1,649	2.3

Table 4 Properties of AE water reducing agent

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

3. 실험결과 및 분석

3.1 슬럼프

재생골재와 천연골재의 조합에 따른 슬럼프 시험결과를 Table 5에 나타내었다. 골재로 재생골재를 100% 사용하는 경우 작업성이 나쁘게 나타나지만 천연골재를 혼합하는 경우 작업성이 좋아진다. 부순모래와 천연골재의 조합에 따른 슬럼프 시험결과를 Table 6에 나타내었다. 골재로 부순모래를 100% 사용하는 경우 작업성이 나쁘게 나타나지만 천연골재를 혼합하는 경우 작업성이 좋아진다. 재생골재와 부순모래의 조합에 따른 슬럼프 시험결과를 Table 7에 나타내었다. 골재로 부순모래를 100% 사용하는 경우 작업성이 나쁘게 나타나지만 재생골재를 혼합하는 경우 작업성이 좋아진다. 즉, 부순모래, 재생골재, 천연골재의 순으로 슬럼프가 높아지는데, 골재의 입형과 표면의 거칠기가 슬럼프값에 큰영향을 미치는 것으로 판단된다. 천연골재의 경우 표면이 매끄럽고 입형이 좋아 혼합비가 증가하면 슬럼프가 높게 나오는 반면에 부순모래는 표면

3.2 단위용적중량

재생골재와 천연골재의 조합에 따른 단위용적중량을 Table 5에 나타내었다. 단위용적중량은 2.31~2.37t/m³으로 측정되었다. 부순모래와 천연골재의 조합에 따른 단위용적중량을 Table 6에 나타내었다. 단위용적중량은 2.31~2.42t/m³으로 측정되었다. 부순모래와 천연골재의 비중차이로 인해 부순모래의 혼입률이 높아질수록 단위용적중량이 증가하였다. 재생골재와 부순모래의 조합에 따른 단위용적중량을 Table 7에 나타내었다. 단위용적중량은 2.30~2.42t/m³으로 측정되었다. 부순모래와 재생골재의 비중차이로 인해 부순모래의 혼입률이 높아질수록 단위용적중량이 증가하였다.

3.3 압축강도

인공어초 제조를 목적으로 설계압축강도가 210kgf/cm²인 경우 재생콘크리트는 품질변동이 클 수 있으므로 할증을 30%를 고려하면 배합강도가 280kgf/cm² 정도이다. 따라서, 물-시멘트비 하한선을 고려했을때, 재생골재와 천연골재조합의 경우 W/C=45%, S/a=50%, 부순모래와 천연골재 조합의 경우 W/C=45%, S/a=50%, 재생골재와 부순모래 조합의 경우 W/C=45%, S/a=50%가 최적의 배합비로 판단된다. Fig. 1에서 재생골재와 천연골재의 조합에 따른 물-시멘트비와 압축강도와와의 관계를 나타내었다. 시멘트의 혼합비가 증가할수록 강도가 높아지는데 28일 강도가 최대 454kgf/cm²까지 발현되었

다. Fig. 2에서 재생잔골재와 천연잔골재의 조합에 따른 잔골재율과 압축강도와의 관계를 나타내었다. 잔골재율이 높아질수록 압축강도가 높아지는 것을 알 수 있다. Fig. 3에서 재생잔골재와 천연잔골재의 조합에 따른 단·장기강도 발현에 대하여 연구를 하였다. 28일 강도를 기준으로 7일 강도는 대략 70%, 90일 강도는 110%의 강도 발현을 나타내었다. Fig. 4에서 부순모래와 천연잔골재의 조합에 따른 물-시멘트비와 압축강도와의 관계를 나타내었다. 시멘트의 혼합비가 증가할수록 강도가 높아지는데 28일 강도가 최대 502kgf/cm²까지 발현되었다. Fig. 5에서 부순모래와 천연잔골재의 조합에 따른 잔골재율과 압축강도와의 관계를 나타내었다. 잔골재율이 높아질수록 압축강도가 높아지는 것을 알 수 있다. Fig. 6에서 부순모래와 천연잔골재의 조합에 따른 단·장기강도 발현에 대하여 연구를 하였다. 28일 강도를 기준으로 7일 강도는 대략 70%, 90일 강도는 110%의 강도 발현을 나타내었다. 부순모래의 표면이 거칠기 때문에 페이스트와 굵은골재와의 부착강도가 향상되어 압축강도의 증가를 가져오는 효과가 있다. Fig. 7에서 재생잔골재와 부순모래의 조합에 따른 물-시멘트비와 압축강도와의 관계를 나타내었다. 시멘트의 혼합비가 증가할수록 강도가 높아지는데 28일 강도가 최대 502kgf/cm²까지 발현되었다. Fig. 8에서 재생잔골재와 부순모래의 조합에 따른 잔골재율과 압축강도와의 관계를 나타내었다. 잔골재율이 높아질수록 압축강도가 높아지는 것을 알 수 있다. Fig. 9에서 재생잔골재와 부순모래의 조합에 따른 단·장기강도 발현에 대하여 연구를 하였다. 28일 강도를 기준으로 7일 강도는 대략 70%, 90일 강도는 110%의 강도 발현을 나타내었다.

재생잔골재와 천연잔골재 조합의 W/C=45%, S/a=50%, SR50:SN50을 기준으로 부순모래와 천연잔골재의 동일 배합비에서의 28일 강도는 약 15% 증가, 재생잔골재와 부순모래의 동일 배합비에서의 28일 강도는 약 8% 증가된다. 따라서, 부순모래 혼입을 증가에 따른 잔골재 표면의 거칠기가 부착강도에 영향을 주고 종국에는 압축강도에 큰 영향을 준다고 판단된다.

3.4 초음파속도

재생잔골재와 천연잔골재의 조합에 따른 초음파속도를 Table 5에 나타내었다. 초음파속도는 3.90~4.23km/sec로 측정되었다. 부순모래와 천연잔골재의 조합에 따른 초음파속도를 Table 6에 나타내었다. 초음파속도는 4.02~4.35km/sec로 측정되었다. 재생잔골재와 부순모래의 조합에 따른 초음파속도를 Table 7에 나타내었다. 초음파속도는 3.92~4.35km/sec로 측정되었다. 초음파속도는 내부조직이 밀실함을 반영하는 것으로 압축강도와 유사한 추이를 나타내었다. 물-시멘트비가 낮을수록, 잔골재율이 높을수록 초음파속도가 높게 나타난다. 따라서, 비파괴시험인 초음파속도의 측정을 통해 압축강도의 근사적 추정이 가능하다고 판단된다. 즉, 본 실험결과에 의하면 초음파속도 4.0km/sec는 압축강도 250kgf/cm² 정도이고, 초음파속도 4.1km/sec는 압축강도 300kgf/cm² 정도이고, 초음파속도 4.2km/sec는 압축강도 350kgf/cm² 정도로 추정된다. Fig. 10~Fig. 15에 압축강도와 초음파속도와의 관계식을 나타내었다.

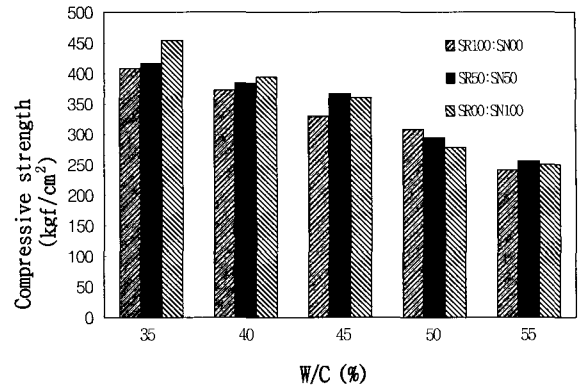


Fig. 1 Relationship between compressive strength and W/C according to recycled sand and natural sand mixing ratios in case of S/a=50%

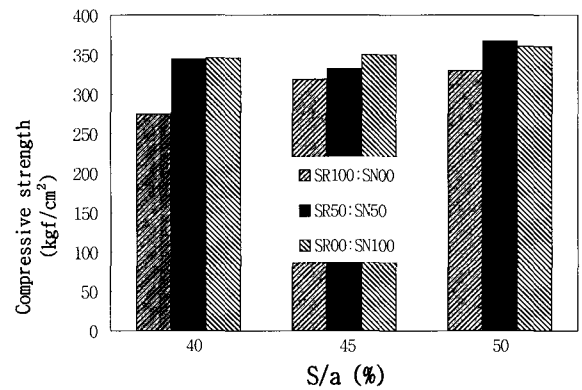


Fig. 2 Relationship between compressive strength and S/a according to recycled sand and natural sand mixing ratios in case of W/C=45%

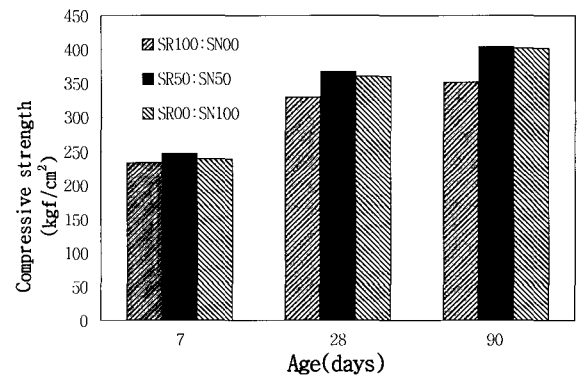


Fig. 3 Relationship between compressive strength and curing days according to recycled sand and natural sand mixing ratios in case of W/C=45% & S/a=50%

Table 5 Mix design and test results according to SR and SN ratio

Test series I	W/C (%)	S/a (%)	SR:SN (%)	Ultrasonic velocity (km/sec)	Unit weight (kg/m ³)	Slump (cm)	Compressive strength (kgf/cm ²)		
							f ₇	f ₂₈	f ₉₀
WC35Sa40S100	35	40	100:0	4.186	2325	17.0	-	386	-
WC35Sa40S50			50:50	4.215	2329	19.0	-	403	-
WC35Sa40S00			0:100	4.210	2332	21.5	-	391	-
WC35Sa45S100		45	100:0	4.237	2330	17.5	-	431	-
WC35Sa45S50			50:50	4.201	2331	20.0	-	420	-
WC35Sa45S00			0:100	4.220	2336	22.0	-	424	-
WC35Sa50S100		50	100:0	4.180	2362	18.0	296	408	421
WC35Sa50S50			50:50	4.166	2365	21.0	297	416	441
WC35Sa50S00			0:100	4.219	2357	22.5	321	454	472
WC40Sa40S100	40	40	100:0	4.120	2300	15.0	-	344	-
WC40Sa40S50			50:50	4.184	2316	18.0	-	363	-
WC40Sa40S00			0:100	4.228	2352	20.5	-	360	-
WC40Sa45S100		45	100:0	4.149	2301	16.0	-	344	-
WC40Sa45S50			50:50	4.158	2394	19.0	-	382	-
WC40Sa45S00			0:100	4.228	2301	21.0	-	363	-
WC40Sa50S100		50	100:0	4.149	2329	17.0	246	373	409
WC40Sa50S50			50:50	4.158	2335	20.0	274	384	415
WC40Sa50S00			0:100	4.291	2334	21.5	286	394	432
WC45Sa40S100	45	40	100:0	4.115	2310	14.0	-	275	-
WC45Sa40S50			50:50	4.149	2319	17.5	-	344	-
WC45Sa40S00			0:100	4.158	2322	18.0	-	346	-
WC45Sa45S100		45	100:0	4.166	2312	15.0	-	319	-
WC45Sa45S50			50:50	4.192	2321	18.0	-	332	-
WC45Sa45S00			0:100	4.115	2329	19.0	-	350	-
WC45Sa50S100		50	100:0	4.132	2308	16.0	235	330	352
WC45Sa50S50			50:50	4.149	2325	20.0	247	367	404
WC45Sa50S00			0:100	4.182	2334	20.5	240	360	402
WC50Sa40S100	50	40	100:0	3.984	2300	13.0	-	241	-
WC50Sa40S50			50:50	3.992	2310	14.0	-	295	-
WC50Sa40S00			0:100	4.056	2323	15.0	-	252	-
WC50Sa45S100		45	100:0	4.089	2330	13.5	-	250	-
WC50Sa45S50			50:50	4.106	2363	16.0	-	267	-
WC50Sa45S00			0:100	4.092	2347	17.0	-	275	-
WC50Sa50S100		50	100:0	4.073	2324	14.0	207	308	349
WC50Sa50S50			50:50	4.158	2346	17.5	216	294	341
WC50Sa50S00			0:100	4.100	2350	18.0	210	278	334
WC55Sa40S100	55	40	100:0	3.921	2301	13.0	-	221	-
WC55Sa40S50			50:50	4.048	2305	15.0	-	222	-
WC55Sa40S00			0:100	4.021	2306	16.0	-	242	-
WC55Sa45S100		45	100:0	3.944	2301	13.5	-	231	-
WC55Sa45S50			50:50	3.976	2310	16.5	-	264	-
WC55Sa45S00			0:100	4.073	2307	17.0	-	273	-
WC55Sa50S100		50	100:0	3.952	2320	14.0	171	241	320
WC55Sa50S50			50:50	3.906	2325	18.0	175	256	327
WC55Sa50S00			0:100	4.073	2322	19.0	163	250	288

*SR=Recycled sand, SN=Natural sand

Table 6 Mix design and test results according to SC and SN ratio

Test series II	W/C (%)	S/a (%)	SC:SN (%)	Ultrasonic velocity (km/sec)	Unit weight (kg/m ³)	Slump (cm)	Compressive strength (kgf/cm ²)		
							f ₇	f ₂₈	f ₉₀
WC35Sa40S100	35	40	100:0	4.165	2395	13.0	-	456	-
WC35Sa40S50			50:50	4.219	2377	20.0	-	445	-
WC35Sa40S00			0:100	4.210	2332	21.5	-	391	-
WC35Sa45S100		45	100:0	4.265	2398	16.0	-	471	-
WC35Sa45S50			50:50	4.238	2375	21.5	-	464	-
WC35Sa45S00			0:100	4.220	2326	22.0	-	408	-
WC35Sa50S100		50	100:0	4.350	2420	16.5	351	502	556
WC35Sa50S50			50:50	4.301	2387	22.0	366	483	522
WC35Sa50S00			0:100	4.219	2357	22.5	321	454	472
WC40Sa40S100	40	40	100:0	4.192	2390	12.5	-	386	-
WC40Sa40S50			50:50	4.132	2385	17.0	-	373	-
WC40Sa40S00			0:100	4.228	2352	20.5	-	360	-
WC40Sa45S100		45	100:0	4.123	2399	15.0	-	393	-
WC40Sa45S50			50:50	4.237	2342	20.0	-	403	-
WC40Sa45S00			0:100	4.228	2301	21.0	-	363	-
WC40Sa50S100		50	100:0	4.250	2415	15.5	254	400	456
WC40Sa50S50			50:50	4.282	2382	21.0	288	445	482
WC40Sa50S00			0:100	4.291	2334	21.5	286	394	432
WC45Sa40S100	45	40	100:0	4.140	2380	12.0	-	345	-
WC45Sa40S50			50:50	4.140	2377	16.0	-	350	-
WC45Sa40S00			0:100	4.158	2322	18.0	-	346	-
WC45Sa45S100		45	100:0	4.156	2391	13.5	-	372	-
WC45Sa45S50			50:50	4.132	2356	16.5	-	366	-
WC45Sa45S00			0:100	4.115	2329	19.0	-	350	-
WC45Sa50S100		50	100:0	4.115	2401	14.0	247	396	425
WC45Sa50S50			50:50	4.149	2365	17.0	291	420	461
WC45Sa50S00			0:100	4.182	2334	20.5	240	360	402
WC50Sa40S100	50	40	100:0	4.032	2377	12.0	-	270	-
WC50Sa40S50			50:50	4.093	2353	14.0	-	324	-
WC50Sa40S00			0:100	4.056	2323	15.0	-	252	-
WC50Sa45S100		45	100:0	4.062	2381	12.5	-	317	-
WC50Sa45S50			50:50	4.132	2367	15.0	-	331	-
WC50Sa45S00			0:100	4.092	2347	17.0	-	275	-
WC50Sa50S100		50	100:0	4.082	2398	13.0	218	343	371
WC50Sa50S50			50:50	4.132	2371	16.0	222	360	386
WC50Sa50S00			0:100	4.100	2350	18.0	210	278	334
WC55Sa40S100	55	40	100:0	4.033	2340	10.0	-	262	-
WC55Sa40S50			50:50	4.092	2331	14.5	-	295	-
WC55Sa40S00			0:100	4.021	2306	16.0	-	242	-
WC55Sa45S100		45	100:0	4.055	2348	10.5	-	280	-
WC55Sa45S50			50:50	4.118	2335	15.0	-	323	-
WC55Sa45S00			0:100	4.073	2307	17.0	-	273	-
WC55Sa50S100		50	100:0	4.102	2354	11.0	209	314	340
WC55Sa50S50			50:50	4.120	2347	16.5	216	324	351
WC55Sa50S00			0:100	4.073	2322	19.0	163	250	288

*SC=Crushed sand, SN=Natural sand

Table 7 Mix design and test results according to SR and SC ratio

Test series III	W/C (%)	S/a (%)	SR:SC (%)	Ultrasonic velocity (km/sec)	Unit weight (kg/m ³)	Slump (cm)	Compressive strength (kgf/cm ²)		
							f ₇	f ₂₈	f ₉₀
WC35Sa40S100	35	40	100:0	4.186	2325	17.0	-	386	-
WC35Sa40S50			50:50	4.183	2372	15.0	-	398	-
WC35Sa40S00			0:100	4.165	2395	13.0	-	456	-
WC35Sa45S100		45	100:0	4.237	2330	17.5	-	431	-
WC35Sa45S50			50:50	4.181	2374	16.0	-	446	-
WC35Sa45S00			0:100	4.265	2398	16.0	-	471	-
WC35Sa50S100		50	100:0	4.180	2362	18.0	296	408	421
WC35Sa50S50			50:50	4.160	2392	17.0	314	420	472
WC35Sa50S00			0:100	4.350	2420	16.5	351	502	556
WC40Sa40S100	40	40	100:0	4.120	2300	15.0	-	344	-
WC40Sa40S50			50:50	4.181	2327	14.5	-	351	-
WC40Sa40S00			0:100	4.192	2390	12.5	-	386	-
WC40Sa45S100		45	100:0	4.149	2301	16.0	-	344	-
WC40Sa45S50			50:50	4.175	2351	15.5	-	397	-
WC40Sa45S00			0:100	4.123	2399	15.0	-	393	-
WC40Sa50S100		50	100:0	4.149	2329	17.0	246	373	409
WC40Sa50S50			50:50	4.219	2360	16.0	286	407	441
WC40Sa50S00			0:100	4.250	2415	15.5	254	400	456
WC45Sa40S100	45	40	100:0	4.115	2310	14.0	-	275	-
WC45Sa40S50			50:50	4.065	2335	13.0	-	359	-
WC45Sa40S00			0:100	4.140	2380	12.0	-	345	-
WC45Sa45S100		45	100:0	4.166	2312	15.0	-	319	-
WC45Sa45S50			50:50	4.032	2353	13.5	-	317	-
WC45Sa45S00			0:100	4.156	2391	13.5	-	372	-
WC45Sa50S100		50	100:0	4.132	2308	16.0	235	330	352
WC45Sa50S50			50:50	4.149	2356	15.0	252	396	426
WC45Sa50S00			0:100	4.115	2401	14.0	247	396	425
WC50Sa40S100	50	40	100:0	3.984	2300	13.0	-	241	-
WC50Sa40S50			50:50	3.992	2307	12.5	-	237	-
WC50Sa40S00			0:100	4.032	2377	12.0	-	270	-
WC50Sa45S100		45	100:0	4.089	2330	13.5	-	250	-
WC50Sa45S50			50:50	4.081	2356	13.0	-	344	-
WC50Sa45S00			0:100	4.062	2381	12.5	-	317	-
WC50Sa50S100		50	100:0	4.073	2324	14.0	207	308	349
WC50Sa50S50			50:50	4.081	2344	13.5	214	322	362
WC50Sa50S00			0:100	4.082	2398	13.0	218	343	371
WC55Sa40S100	55	40	100:0	3.921	2301	13.0	-	221	-
WC55Sa40S50			50:50	4.000	2329	12.0	-	211	-
WC55Sa40S00			0:100	4.033	2340	10.0	-	262	-
WC55Sa45S100		45	100:0	3.944	2303	13.5	-	231	-
WC55Sa45S50			50:50	4.000	2335	12.5	-	242	-
WC55Sa45S00			0:100	4.055	2348	10.5	-	280	-
WC55Sa50S100		50	100:0	3.952	2320	14.0	171	241	320
WC55Sa50S50			50:50	4.149	2345	13.0	178	266	291
WC55Sa50S00			0:100	4.102	2354	11.0	209	314	340

*SR=Recycled sand, SC=Crushed sand

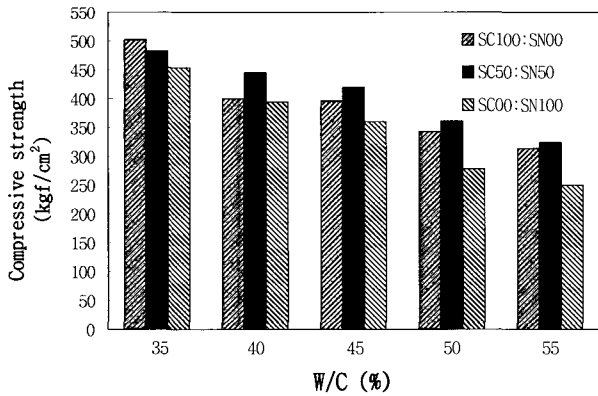


Fig. 4 Relationship between compressive strength and W/C according to crushed sand and natural sand mixing ratios in case of S/a=50%

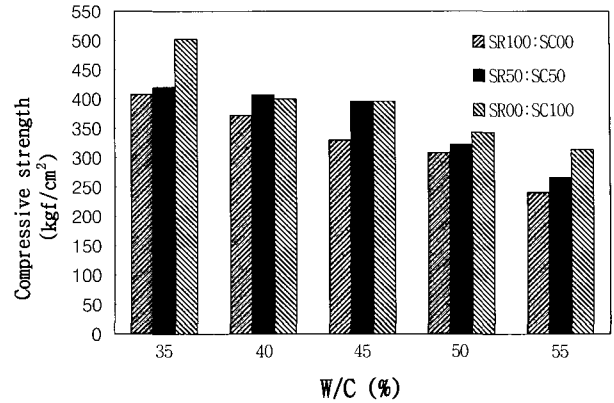


Fig. 7 Relationship between compressive strength and W/C according to recycled sand and crushed sand mixing ratios in case of S/a=50%

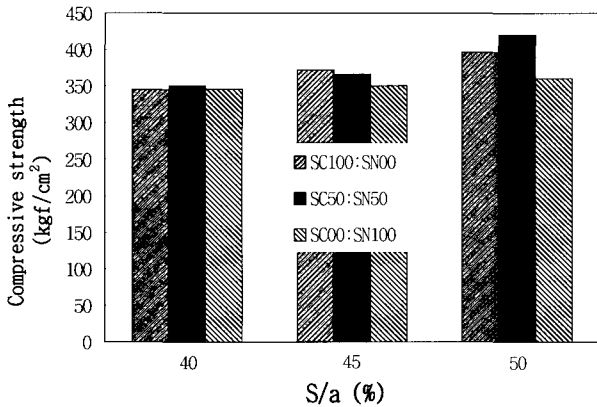


Fig. 5 Relationship between compressive strength and S/a according to crushed sand and natural sand mixing ratios in case of W/C=45%

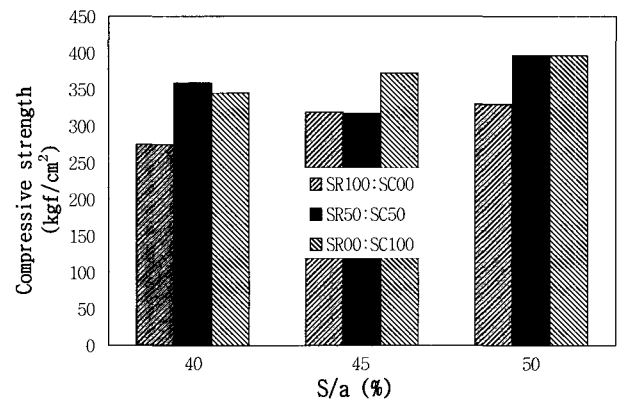


Fig. 8 Relationship between compressive strength and S/a according to recycled sand and crushed sand mixing ratios in case of W/C=45%

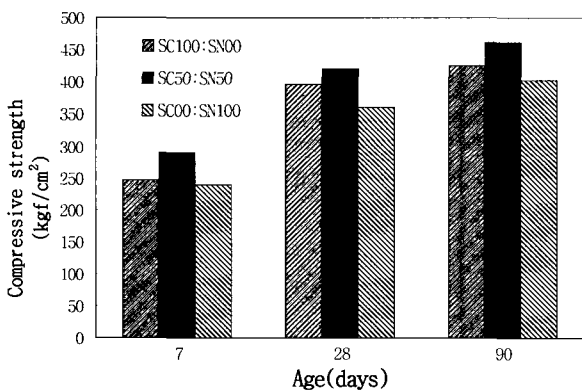


Fig. 6 Relationship between compressive strength and curing days according to crushed sand and natural sand mixing ratios in case of W/C=45% & S/a=50%

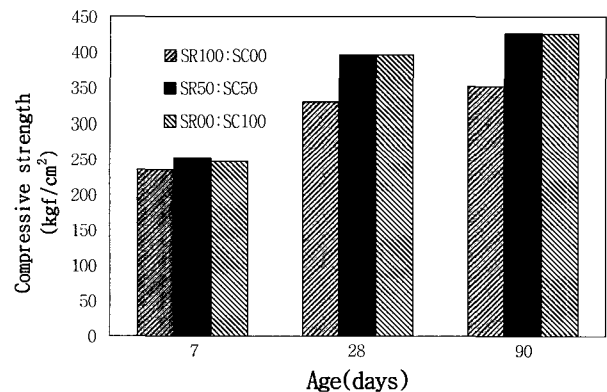


Fig. 9 Relationship between compressive strength and curing days according to recycled sand and crushed sand mixing ratios in case of W/C=45% & S/a=50%

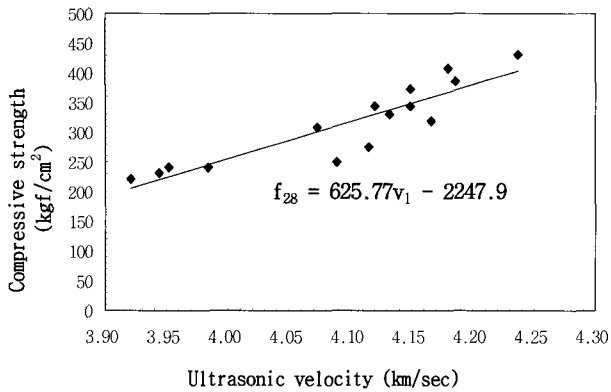


Fig. 10 Relationship between compressive strength and ultrasonic velocity in recycled coarse and fine aggregate combination case

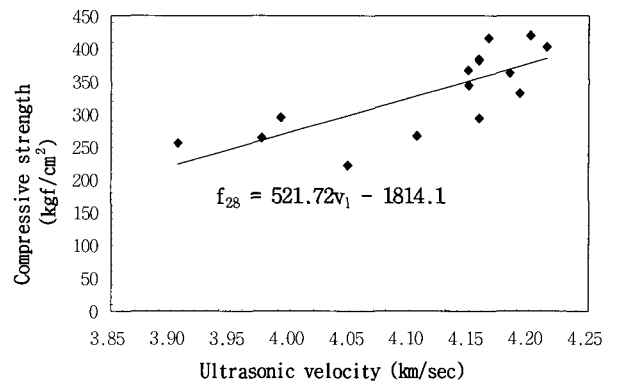


Fig. 13 Relationship between compressive strength and ultrasonic velocity in recycled coarse aggregate and SR50:SN50 combination case

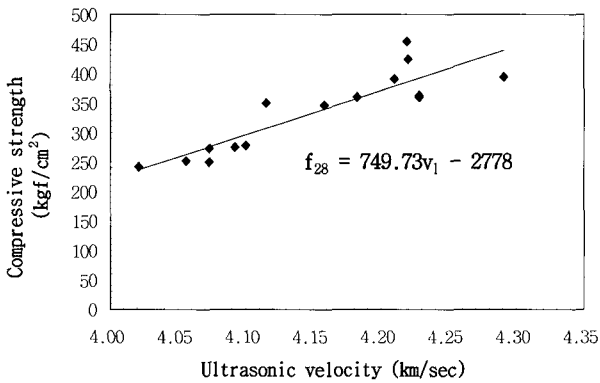


Fig. 11 Relationship between compressive strength and ultrasonic velocity in recycled coarse and natural fine aggregate combination case

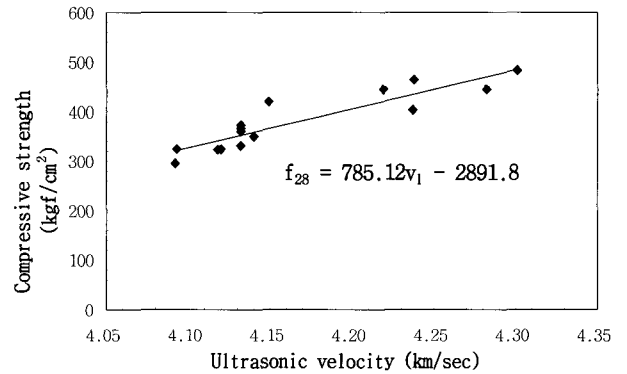


Fig. 14 Relationship between compressive strength and ultrasonic velocity in recycled coarse aggregate and SCR50:SN50 combination case

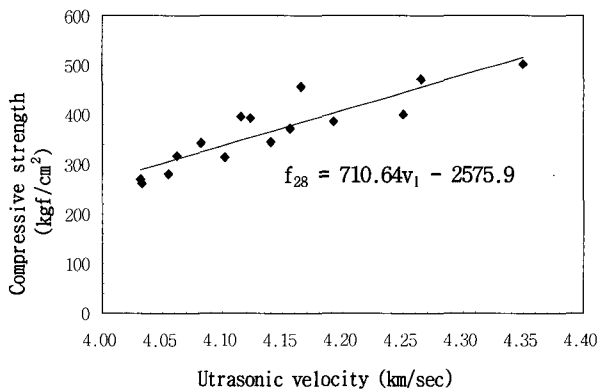


Fig. 12 Relationship between compressive strength and ultrasonic velocity in recycled coarse aggregate and crushed sand combination case

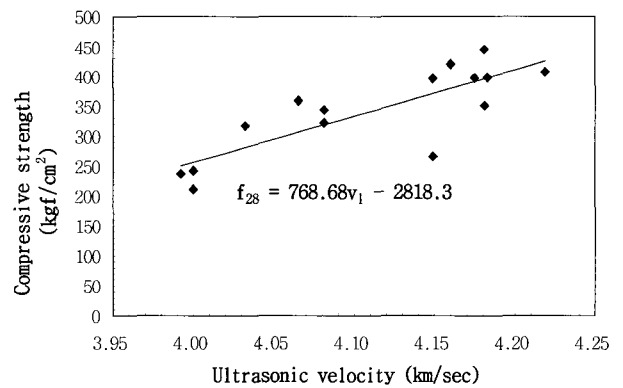


Fig. 15 Relationship between compressive strength and ultrasonic velocity in recycled coarse aggregate and SR50:SC50 combination case

4. 결 론

본 연구에서는 인공어초 제조를 목적으로 폐콘크리트로부터 생산된 재생굵은골재와 다양한 잔골재를 사용한 재생골재 콘크리트의 역학적 특성이 연구되었고 그 결과는 다음과 같다.

(1) 재생굵은골재와 재생잔골재 및 천연잔골재를 단독 또는 혼합 사용한 재생골재 콘크리트의 경우 $W/C=45\%$, $S/a=50\%$ 배합조건이 최적으로 나타났다. 재생굵은골재와 부순모래 및 천연잔골재를 단독 또는 혼합 사용한 재생골재 콘크리트의 경우 $W/C=45\%$, $S/a=50\%$ 배합조건이 최적으로 나타났다. 재생굵은골재와 재생잔골재 및 부순모래를 단독 또는 혼합 사용한 재생골재 콘크리트의 경우 $W/C=45\%$, $S/a=50\%$ 배합조건이 어초 제조용 재생골재 콘크리트로 적당하다. 부순모래와 재생잔골재의 100% 단독사용은 작업성 저하로 어려우며, 천연잔골재와 혼합사용하는 것이 바람직하다.

(2) 콘크리트의 단·장기 강도는 28일 강도를 기준으로 7일 강도는 70%, 90일 강도는 110%의 강도 발현을 하는 것으로 나타났다. 부순모래를 사용하는 경우 잔골재의 표면이 거칠기 때문에 페이스트와 굵은골재와의 부착강도가 높아지고 전체적으로 재생골재 콘크리트의 강도가 높아진다고 할 수 있다. 따라서, 부순모래를 포함한 조합은 타 조합과 비교하여 10~20%의 강도 증진 효과가 있다.

(3) 내부 밀실도 파악을 위해 초음파속도가 측정되었다. 초음파속도는 압축강도 발현과 유사한 추이를 나타내며, 초음파속도를 통해 압축강도 추정이 가능하다.

(4) 슬럼프 시험결과 잔골재의 표면 거칠기와 입형이 슬럼프값에 큰 영향을 준다. 부순모래, 재생잔골재, 천연잔골재 조합순으로 슬럼프값이 높아진다.

(5) 향후, 잔골재의 세분화된 혼합비율에 따른 강도 발현, 동결융해 저항성, 알칼리 골재반응 등에 관한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 이종렬, 엄태선, 이준근 (2002). "환경 친화적 콘크리트 제품과 개발현황", 콘크리트학회지, 제14권, 제6호, pp 55-63.
- 홍종현, 김문훈, 우광성 (2003). "인공어초 개발을 위한 재생골재 콘크리트의 실험적 연구", 한국해양공학회지, 제17권, 제4호, pp 16-22.
- 한국콘크리트학회 (1998). 부순모래 및 부순모래 콘크리트, 기문당.
- 환경부 (2002), 건설폐기물 재활용 종합대책, pp 1-16.

2003년 10월 27일 원고 접수

2003년 11월 27일 최종 수정본 채택