

천연골재 콘크리트와 순환골재 콘크리트 접합면의 전단강도

Shear Strength of Interface between Natural Aggregate Concrete and Recycled Aggregate Concrete

문훈¹ · 최익제¹ · 김지현² · 정철우³ · 김영찬^{4*}

Hoon Moon¹ · Ik-Je Choi¹ · Ji-Hyun Kim² · Chul-Woo Chung³ · Young-Chan Kim^{4*}

(Received November 28, 2019 / Revised January 29, 2020 / Accepted January 29, 2020)

Concrete recycling is becoming mandatory rather selective due to depletion of constructional materials and increase of concrete waste. Studies on recycling concrete are conducted in various point of view for long time. However, standard or guideline of many countries for the application of recycled aggregate concrete(RAC) has restrictions such as low replacement rate of coarse aggregate and no fine aggregate allowed due to inferior material properties of recycled aggregate. This study intends to figure out the feasibility of casting natural aggregate concrete(NAC) and RAC separately in a structural member. In making RAC, replacement rate of coarse aggregate was 50, 100% in RAC and treatment of interface of two concretes is introduced. RAC treatment of recycled aggregate or inclusion of additives was not done as it can increase embodied energy of concrete work. Double-shear test with uniformly distributed loading was adopted to evaluate shear strength at the interface of two concretes. After curing it was hard to distinguish interface of two concretes. Experimental result revealed that specimen with higher replacement rate showed higher shear-to-compressive strength ratio, which is possibly attributed to coarse aggregate size and roughness of sheared section. Further study on the effect of various parameters is required and subsequent research activity is on-going.

키워드 : 순환골재 콘크리트, 전단강도, 콘크리트 분리타설

Keywords : Recycled aggregate concrete, Shear strength, Layered concrete casting

1. 서론

대한민국의 좁은 국토에 비해 방대하게 진행되어 온 다양한 건설 프로젝트로 인하여 콘크리트용 골재의 공급이 점점 힘들어지고 있다. 자연보호, 자원부족, 어업환경 보호 등 각종 이유들로 인하여 현재까지 콘크리트용 골재로 활용되던 천연골재, 부순골재, 세척골재의 사용이 점차 제한되고 있다(Moon et al, 2019). 이로 인하여 한정된 건설자원은 고갈되고, 건설폐기물에 의한 환경오염은 심각성을 더해 가고 있다. 이러한 이유로 건설폐기물의 양을 줄이고, 이의 처리과정에서 발생하는 순환골재를 건설용 재료로 재활용하기 위해 순환골재 콘크리트(Recycled Aggregate Concrete;

RAC)에 대한 연구가 활발히 수행되고 있으나(Song et al, 2006; Kim et al, 2017; Lee et al, 2017; Moon et al, 2019), 세계적으로 RAC의 구조재료로서의 이용은 제한적이며 활용도가 매우 낮은 실정이다. 대부분의 경우 순환골재는 도로 기층용 채움재의 형태로 매립되고 있는 상황이다. 따라서 순환골재를 구조용 골재로 더욱 적극적으로 활용할 수 있다면 순환골재의 소비에 큰 도움을 줄 수 있으며, 사업장 폐기물의 재활용 비율을 상승시켜 환경부담을 줄여줄 수 있다.

Wijayasundara et al.(2018)은 금융적, 환경적, 사회적 관점에서 RAC 구조재의 순현재가치(Net present value)를 산정하여, 순환골재 재활용의 가치를 평가하고자 하였다. Pepe(2015)에 의하

* Corresponding author E-mail: yckim@pknu.ac.kr

¹부경대학교 건축공학과 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea)

²부경대학교 융복합인프라 기술연구소 전임연구교수 (Pukyong National University, Busan, 48513, Korea)

³부경대학교 건축공학과 부교수 (Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea)

⁴부경대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea)

Copyright © 2020 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

면 유럽 및 미국 등의 나라에서 제시한 RAC 구조재 사용의 기준 또는 제안사항에서 순환골재는 굵은 골재만 사용할 수 있고 골재의 치환율은 20~30%정도로 제한되고 있다. Xiao et al.(2018)은 12층 규모 2개동(twin tower)의 철근콘크리트 골조 건물에 1개동은 천연골재콘크리트(Normal Aggregate Concrete; NAC)를 나머지 1개동은 RAC를 적용한 시공사례를 보고하였는데, 순환골재의 치환율을 30%로 한 RAC의 타설 시 수직부재는 3층 이상, 수평부재에서는 2층 이상에서만 적용하였다. 국내에서는 순환골재의 재활용을 촉진하기 위하여 시범사업으로 순환골재 100%를 적용한 소규모의 단층 철근콘크리트 건물을 시공하고 건물의 구조적, 재료적 거동을 모니터링한 사례가 있다(Lee et al. 2019). 천연 굵은골재의 100%를 순환 굵은골재로 대체하면 구조적 성능, 특히 휨강성이 부족하다는 연구결과는 대부분의 실험에서 공통적으로 언급하였기에 아직은 천연 굵은골재의 100%를 순환 굵은골재로 대체하여 구조용 콘크리트를 만들려는 시도가 이루어지지 않고 있다.

본 실험에서는 순환 굵은 골재의 활용을 보다 적극적으로 하기 위하여 철근콘크리트보에서 콘크리트의 구조적 역할이 적은 부위에 RAC를 배치하고 콘크리트가 주된 역할을 하는 부위에 NAC를 배치하여 즉, 이종 콘크리트의 분리배치에 의한 재료적, 구조적 성능을 평가하고자 하였다. 분리타설에 따른 NAC와 RAC의 접합면에서 재료적 분리나 부재의 구조적 성능저하가 발생하는지를 알아 보고자 하였고, 그리고 분리타설된 이종 콘크리트 접합면에서의 전단저항 성능을 파악하기 위한 2면 전단실험을 수행하였다.

순환골재 콘크리트 및 천연골재 콘크리트의 계면 접합에 관련 연구 예시는 그리 많지 않은 것으로 나타났다. Ceia et al.(2016)의 연구는 NAC로 만들어진 기존 부재에 RAC를 이용하여 단면을 증설했을 때 이종 콘크리트간 접합면에서의 전단강도를 측정하였으며, 이는 굳지 않은 상태에서 분리 타설하는 것을 목표로 하는 본 연구와는 다소 접근법이 다르다. 또한 해당 연구(Ceia et al. 2016)에서는 경사전단(slant shear) 시험체를 이용하여 실험을 진행하였으며, 시험체 경계면의 거칠기를 크게 할수록 강도가 증가하였으나 골재 치환율이 높을수록 전단강도는 감소하는 것으로 나타났는데, 경사전단 시험방법이 경계면에 압축력이 작용하기 때문이다. 따라서 전단강도를 평가하기에는 적절하지 않다는(Saldanha et al. 2013) 보고가 있어, 순환골재 콘크리트와 천연골재 콘크리트 사이의 계면 접합 특성을 적절하게 비교한 사례로 보기 힘든 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 순환골재의 재활용을 확대하기 위해 RAC 및 NAC 계면에서의 전단성능을 평가하여 추후 연구에 적용할 기초 데이터를 도출하고자 한다. 본 연구에서 순환 굵은 골재는

순환골재 생산공장에서 수급을 받는 것으로 전혀 추가적인 가공을 하지 않은 것을 사용하였다. 본 연구는 RAC의 구조용 콘크리트 재료로서의 적극적 활용을 도모하여 순환골재의 소비를 촉진하기 위한 방법의 하나로 활용하고자 하는 데 목적이 있다. 따라서 비교요소를 최소화시켜 RAC 및 NAC의 혼합타설 가능성을 확인하기 위해 RAC에서 순환잔골재는 사용하지 않았고, 또한 순환잔골재는 순환굵은골재에 비해 강도, 워커빌리티, 체적불안정의 문제점이 있다는 연구(Malesev et al, 2010, Verian et al, 2018)가 있어 물성이 어느 정도 검증된 순환굵은골재만 치환한 실험을 진행하였다.

2. 시험체 제작 및 재료의 물성

2.1. 사용 재료

골재를 달리 사용한 이종 콘크리트의 접합면 전단강도 (RAC 및 NAC 계면의 전단강도)를 평가하기 위해 사용된 시멘트는 KS L 5201 규준을 따르는 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며 화학적 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical compositions of type I ordinary portland cement (%)

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃
63.42	19.48	4.69	4.08	3.11	3.04
K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ZnO	-
1.32	0.38	0.20	0.13	0.11	-

잔골재는 세척사를 사용하였으며, 천연 굵은골재는 최대치수 25mm 인 쇄석을 사용하였다. 천연 잔골재 및 굵은골재의 밀도는 각각 2,54g/cm³ 및 2,72g/cm³이며, 흡수율은 각각 2.6% 및 0.9%이다. 순환 굵은골재는 순환골재 생산 인증을 받은 국내 H사의 제품으로, KS F 2573 (콘크리트용 순환골재)에 부합하는 것을 사용하였다. 순환 굵은골재의 밀도는 2,34g/cm³이며, 최대치수는 13mm, 흡수율은 2.68%로 측정되었다.

2.2 콘크리트 배합

순환굵은골재는 파쇄과정에서 콘크리트의 골재에 일정수준의 균열이 발생되어 쪼개지기 때문에, 일반적으로 활용되는 굵은골재의 크기보다 적은 크기의 골재로 생산된다. 본 연구에서는 일반적으로 활용되는 콘크리트 (최대치수 25mm)에 순환굵은골재 혼합

Table 2. Mix proportions of concrete

(kg/m³)

Type	W/C(%)	S/A(%)	Water	Cement	Sand	Natural coarse aggregate	Recycled coarse aggregate
NAC	35	40	205.00	585.71	645.60	950.13	-
RAC-50						475.07	427.56
RAC-100						-	855.12

콘크리트 (최대치수 13mm)가 혼합 타설될 수 있는 가능성을 평가하기 위한 목적으로 배합설계가 이루어졌기 때문에, NAC의 굵은 골재 최대치수를 RAC와 동일하게 13mm로 맞추지 않고, 25mm에 맞추어 배합설계를 진행하였다.

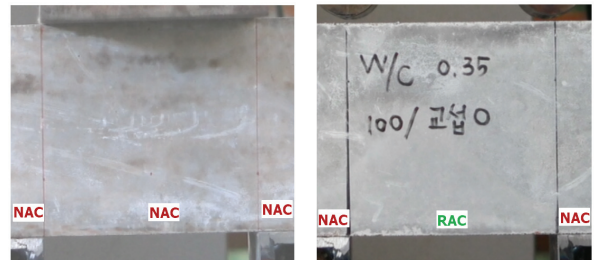
골재를 달리 사용한 RAC 및 NAC 콘크리트의 접합면 계면의 전단강도 평가를 위한 콘크리트 배합은 Table 2와 같다. 각 배합은 굵은골재의 종류 및 혼합비율만 다르게 하였으며 다른 조건은 동일하게 하였다. 물시멘트비는 35%이며 잔골재율은 40%, 및 순환 골재 콘크리트에서 천연 굵은골재 대비 순환 굵은골재의 치환비율은 50, 100%로 하였다.

2.3 압축강도

압축강도 시험체는 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)을 만족하는 Ø100mm×200mm 크기의 실린더 몰드 활용하여 제작하였다. 콘크리트를 실린더 몰드에 다져 넣은 후 24시간 후 탈형하였다. 공시체의 타설이 완료된 후 하루동안 공시체의 표면을 비닐로 덮어 수분의 증발을 억제하였다. 공시체의 탈형은 재령 1일이 되는 시점에 진행하였으며, 탈형 이후 20±2°C의 포화 수산화칼슘 수용액에 침지시켜 27일간 추가 양생하였다. 압축강도 측정은 재령 28일에 실시하였으며, KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 따라 전동식 압축강도 시험기(S1 industry Co., Korea, S1-1471D)를 사용하였다.

2.4 2면 전단강도

전단강도 시험체는 KS F 2408(콘크리트의 휨 강도 시험방법)을 만족하는 형틀을 사용하여 제작하였다. 분리타설 시험체는 양단부쪽에 NAC를 200×150×150mm로, 중앙부에 RAC를 150×150×150mm가 되도록 분리판을 두어 콘크리트를 동시에 타설하였다. 이종 콘크리트간 접합면에서의 흡수율차이에 따른 양생이나 강도에의 영향을 파악하기 위하여 (1)분리판을 수직으로 들어 올려 두 콘크리트가 자연적으로 접촉하는 시험체와 (2)분리판을 들어 올리면서 약간 흔들고 형틀을 나무망치로 약간 두드려 두



(a) NAC only(N-2) (b) NAC+RAC(R-10-Y1)

Fig. 1. Elevation view: middle portion of specimen

콘크리트의 접합면에 교섭(treatment)을 가한 시험체로 나누어 제작하였다. Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 외관상 두 콘크리트를 구분하기 어려울 정도로 접합면이 일체화 된 모양을 나타내고 있다.

전단강도 시험체 또한 압축강도 시험체와 같은 방법으로 양생하였으며, 재령 28일에 전단강도를 측정하였다. 전단강도는 구조 시험시스템(MTS, USA, MTS 244.41)을 사용하여 측정하였으며, 하중재하속도는 1mm/min으로 하였다.

콘크리트의 전단강도는 실험방법에 따라 많은 차이를 보이고 있다(Kobayashi et al. 1980). 전단강도실험은 시험체에 전단력만 작용하도록 설치하나 인장이나 휨 균열이 발생하지 않고 파괴되는 것이 어려워 전단시험방법에 대한 제안이 지속되고 있다.

Kobayashi et al.(1980)은 4가지로 분류한 전단시험방법을 적용하였는데 전단강도가 루마니아식 전단, 간접1면전단, 2면전단(Fig. 2), 편칭전단시험의 순으로 크게 나왔다. 그리고 전단시험방법으로 Fig. 2(b)는 휨의 영향이 있기에 Fig. 2(a)의 형태가 적절하다고 평가하였는데 실험에서 Fig. 2(b)의 하중상태가 Fig. 2(a)의 경우보다 전단강도는 약 6%, 전단강도 대 압축강도비는 약 10% 크게 나왔다.

Tuan et al.(2006)은 Fig. 2(a)의 하중재하방법을 채택하였는데 이 방법도 혼합모드(인장과 전단)의 파괴를 보인다고 하였다. 그리고 같은 방법을 채택한 Lee et al.(2017)의 연구에서는 Fig. 2(a)에서 양단 부위의 콘크리트는 지지되어 있지 않아 양단의 콘크리트를 잡아주는 클램프를 설치하였다. 그러나 원형강봉으로 콘크리트의 하부를 지지하고 있어 시험체의 파괴시점에 이르러서는 지지점

에 접촉된 콘크리트에 작용하는 힘이 수직 이외의 방향으로 작용할 수 있다.

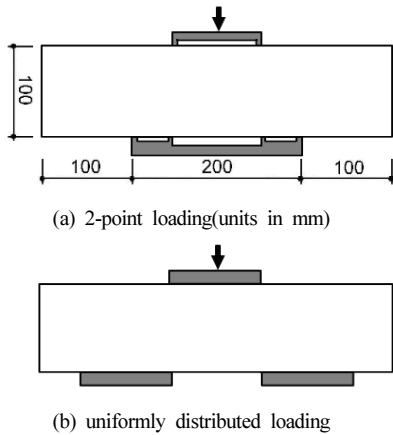
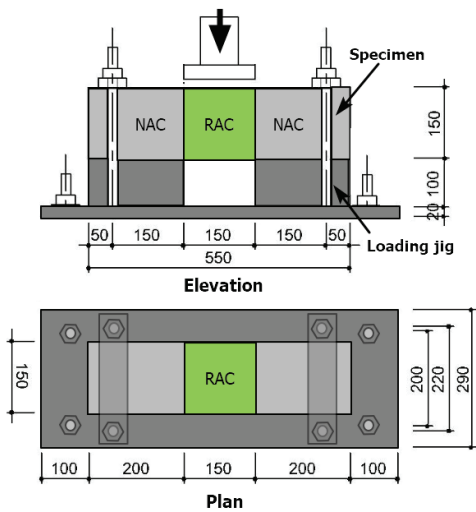
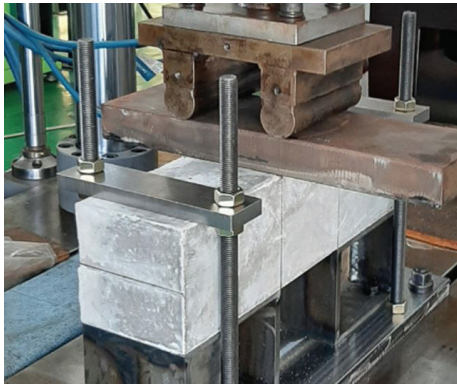


Fig. 2. Double shear loading(Kobayashi et al. 1980)



(a) Dimension of specimen and loading jig(units in mm)



(b) Test set-up

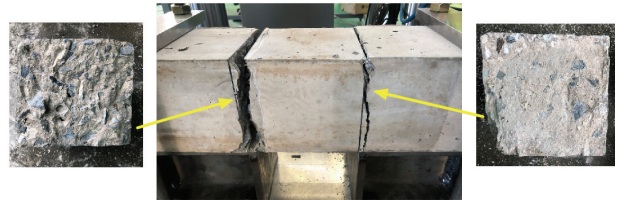
Fig. 3. Dimension of specimen and test set-up

본 연구에서는 전단강도뿐만 아니라 이종콘크리트 경계면의 거동도 알아보기 위해서 하중재하방법을 Fig. 2(a)보다는 Fig. 2(b)와 같이 하중을 분산시켜 시험체에 등분포하중으로 작용하여 경계면에서 파괴가 집중될 수 있도록 하였다. 시험체는 Fig. 3(a)와 같은 jig를 사용하여 이종 골재를 사용한 콘크리트 경계면에 하중을 가하여 전단강도를 측정하였다. 또한 시험체에 힘이 작용하는 가능성을 줄이기 위해 Fig. 3(b)와 같이 양단에 클램프를 설치하여 구속하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 전단강도 시험체의 파괴형태

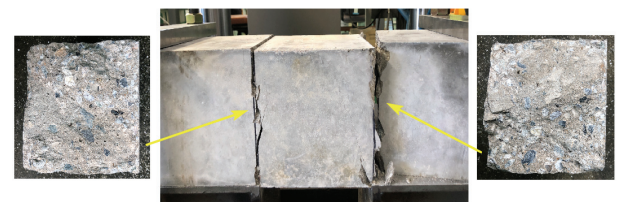
시험체는 하중이 가해지는 동안 균열이 거의 발생하지 않았고 대부분의 경우 파괴하중 근처에서 경계면 주변의 콘크리트가 부서지면서 절단되는 형태로 파괴되었다. 시험체 좌우의 콘크리트(NAC)는 하부의 지지대와 클램프에 의해 움직임이 구속되어 중앙부의 RAC가 아래방향으로만 변형이 일어날 수 밖에 없어 힘 균열



(a) No replacement(N-1, P_f : 381.6kN)



(b) 100% replacement with treatment(R-10-Y1, P_f : 441.6kN)



(c) 100% replacement without treatment(R-10-N2, P_f : 453.9kN)

Fig. 4. Specimen after failure and view of failed surfaces

Table 1. Comparison of test result

Specimen	R ¹⁾ (%)	T ²⁾	P _f (kN)	Strength(MPa)		Ratio	FP ³⁾
				σ_c	τ	τ/σ_c	
N-1	0	-	381.6	38.51	8.48	0.22	b
N-2			373.9		8.31	0.21	b
R-5-Y1	50	Yes	381.1	37.69	8.47	0.22	b
R-5-Y2			455.9		10.13	0.27	c
R-5-N1		No	355.9		7.91	0.21	b
R-5-N2			336.8		7.49	0.20	b
R-10-Y1	100	Yes	441.6	36.58	10.09	0.28	a
R-10-Y2			456.1		10.12	0.28	c
R-10-N1		No	455.4		9.81	0.27	c
R-10-N2			453.9		10.13	0.28	c

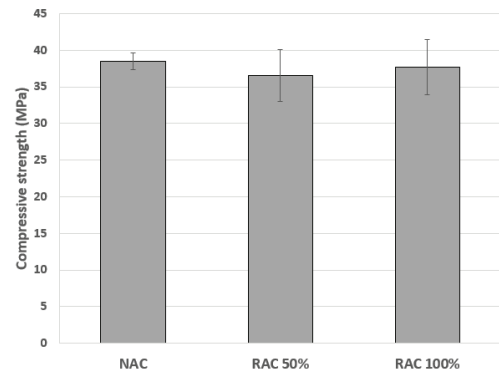
1) R - Replacement rate of coarse aggregate, 2) T - Treatment of interface, 3) FP - Failure Pattern of surface : a - very rough, b - rough, c - smooth

은 찾아볼 수 없었다. 전단지배적인 응력상태에서 파괴가 일어났다고 볼 수 있다. Fig. 4는 파괴된 시험체의 형상과 좌우 절단면의 모습을 보여 주고 있다.

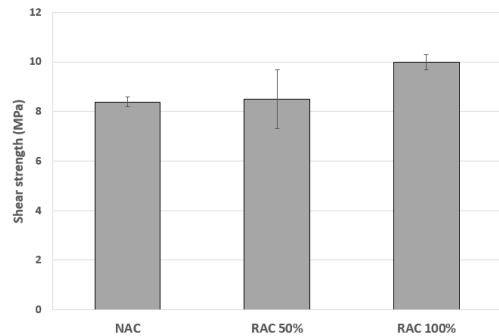
시험체의 파괴양상은 Table 10에 정리되어 있으며 절단면이 매우 거친 것, 약간의 요철이 있는 것, 매끄러운 것으로 구별이 되었다. Fig. 4와 Table 10에서 보듯이 교섭에 의해 절단면은 요철이 있는 경향을 띠었으며 오히려 교섭을 하지 않은 시험체의 절단면이 매끄러운 형상을 보였다. Fig. 4(b)에서 오른쪽은 매우 거칠게 파괴되었는데 절단면에 자갈이 많이 나와 있는 것을 볼 수 있다. 절단면에 골재의 포함정도에 따라 절단면의 조도(roughness)가 달라졌으며 또한 파괴 전단강도가 차이가 나는 것을 알 수 있다.

3.2 압축강도 및 전단강도

Fig. 5에 시험체의 압축강도 및 전단강도의 데이터를 나타내었다. Fig. 5(a)에 따르면, NAC 콘크리트의 압축강도는 38.5MPa로 순환골재 50% 및 100%가 치환된 RAC 콘크리트의 압축강도인 36.6 및 37.7MPa에 비해 다소 감소하였으나, 큰 차이를 보이지 않은 것을 알 수 있다. 이는 NAC 콘크리트의 굵은골재 최대치수인 25mm에 비해 RAC 콘크리트에서는 상대적으로 작은 크기의 골재인 13mm 골재를 사용하여 RAC 콘크리트의 강도손실율이 상대적으로 줄어들었기 때문으로 판단된다.



(a) Compressive strength



(b) Shear strength

Fig. 5. Comparison of compressive and shear strength

이러한 콘크리트를 이용하여 타설한 전단강도 시험용 각주형 시험체에서 NAC로만 구성된 콘크리트의 계면 전단강도는 8.39 MPa로 나타났으며, NAC 및 RAC-50 콘크리트의 계면강도는 8.50MPa, NAC 및 RAC-100 콘크리트의 계면강도는 10.0MPa로 오히려 RAC의 혼입률이 커질수록 계면접합강도가 상승한 것으로 나타났다. 이는 압축강도에서 관찰된 데이터와는 다른 경향이며 (RAC의 혼입률이 증가할수록 강도는 감소), 이중 골재로 타설된 콘크리트의 계면 전단강도는 상대적으로 RAC 혼입률의 영향을 적게 받을 수도 있음을 의미한다. Fig. 4에 나타난 NAC와 RAC의 경계면에서의 파괴형태를 함께 고려하면, RAC 및 NAC 콘크리트의 계면이 하중에 의해 직접적으로 절단되듯 분리되기 보다는 경계면의 골재포함여부와 계면에 위치한 골재의 크기가 전단 파괴형태를 결정짓고 전단강도에 영향을 미친 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 Tuan et al.(2006)의 연구에서 유사한 경향을 찾아 볼수 있는데 압축강도가 증가하면 전단강도가 증가하는 경향을 보였지만 전단절단면(sheared section)의 굵은골재의 분포밀도에 따라 강도 변화가 있을 수 있다고 하였다. 그리고 절단면의 조도

(roughness)가 클수록 전단강도가 작아지는 것을 알 수 있다 (Tuan et al, 2006).

Table 2. Comparison of double-shear test result

Researcher	2-point loading Fig. 1(a)			Uniform loading Fig.1(b)			W/C	
	σ_c	τ	τ/σ_c	σ_c	τ	τ/σ_c		
Kobayashi et al. (1980)	44.6	7.35	0.16	44.6	7.84	0.19	50	
Tuan et al. (2006)	65.4	8.41	0.13	-			43	
Lee et al. (2017)	31.4	3.24	0.10				45	
	36.7	3.19	0.09	-				
Gao et al. (2017)	44.9 ¹⁾	6.2	0.14				39	
This study	0 ²⁾	-			38.5	8.4	0.22	35
	50				37.7	8.5	0.23	
	100				36.6	10	0.27	

1) cube compressive strength

2) replacement rate of recycled aggregate

본 연구에서 얻은 전단강도 데이터의 신뢰성을 검증하기 위하여, 전단강도를 측정하는 방법으로 2면 전단방법을 채택한 연구들의 결과를 Table 2에 비교하였다. 각 연구문헌에서 시험에 사용된 시험체의 크기, 재료의 물성, 실험세팅의 상세 등이 동일하지 않기 때문에 직접적인 비교는 불가능하나, 일반적인 데이터에서의 상관성은 확인이 가능하다. 본 연구에서 나온 전단강도/압축강도의 비율은 다른 연구에 비해 큰 편인데, Kobayashi et al.(1980)에 의하면 2면전단 시험에 의한 일반적인 강도비가 0.17~0.25라는 것과 비교해볼 때 정상적인 범위를 벗어난 것은 아님을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 순환골재의 사용을 통한 순환골재 콘크리트의 구조물への 적용을 확산하기 위해 콘크리트의 분리타설을 통한 계면 접합면에서의 전단강도 및 경계면의 파괴형태를 알아보았다. 본 연구의 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전단강도 측정을 위해 2면전단 시험 방법을 적용하였는데 기존의 방법과는 다른 하중가력 형태를 적용하여 절단면이 비교적 수직적으로 절단되는 전단지배에 의한 파괴를 볼 수

있었다.

2. 순환굵은골재의 생산공장에서 나온 골재를 별도의 처리과정이나 첨가제를 사용하지 않고 천연골재콘크리트와 분리타설하여 만든 시험체의 외관은 재료분리나 흡수율의 차이에 의한 흔적이 거의 없을 정도였고, 이종 콘크리트의 동시타설 후 분리판의 제거 시 가해진 교섭이 강도에 영향을 미치지 못했다.
3. NAC와 RAC의 경계면에서의 파괴형태를 보면 이종의 콘크리트가 분리되기 보다는 경계면의 골재포함여부가 파괴형태를 결정짓고 강도에 영향을 미친 것으로 보이고 이와 유사한 경향을 기존연구에서도 찾아 볼 수 있었다.
4. 압축강도는 NAC가 RAC보다 5%정도 크게 나왔으나 전단강도는 골재 치환율 100%의 시험체가 NAC보다 23%정도 크게 나왔는데, 이는 전단절단면의 조도가 작을수록 전단강도가 크다는 기존연구와 일치하는 결과라 할 수 있다.

본 실험은 NAC와 RAC가 분리타설을 통한 구조체의 구성 가능성을 확인하기 위한 기초적 연구로 새로운 재료배치가 RAC의 활용도를 증가시킬 방안이 될 수도 있다고 생각된다. 본 실험의 결과를 바탕으로 다양한 변수들의 영향에 대한 연구를 추가적으로 진행하고 있으며 궁극적으로 구조용 골재로서의 순환골재 활용에 필요한 데이터를 제시하고자 한다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)에 의하여 연구되었음.

References

Ceia, F., Raposo, J., Guerra, M., Julio, E., De Brito, J. (2016). Shear strength of recycled aggregate concrete to natural aggregate concrete interfaces, *Construction and Building Materials*, **109**, 139–145.

Gao, D., Zhang, L., Nokken, M. (2017). Mechanical behavior of recycled coarse aggregate concrete reinforced with steel fibers under direct shear, *Cement and Concrete Composites*, **70**, 1–8.

- Kim, J.H., Sung, J.H., Lee, S.Y., Kwon, G.H., Lee, S.H. (2017). An experimental study on the physical and mechanical properties of concrete using recycled Sand, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **5(4)**, 359–365 [in Korean].
- Kobayashi, K., Uomoto, T., Minematsu, T. (1980). Experimental study on shear strength testing method for steel fiber reinforced concrete, *Seisan Kenkyu*, **32(4)**, 229–232.
- Lee, H.J., Suh, J.I., Yoo, S.W. (2017). An evaluation of shear strength of plain HVFAC concrete by double shear test method, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **5(3)**, 261–266 [in Korean].
- Lee, J., Lee, B.C., Cho, Y.K., Park, K.M., Jung, S.H. (2017). Carbonation properties of recycled aggregate concrete by specified concrete strength, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **5(1)**, 85–93 [in Korean].
- Lee, S.Y., Kim, G.Y., Yoon, M.H., Na, C.S., Lee, S.K., Shin, S.G., Nam, J.S. (2019). Monitoring on compressive strength and carbonation of reinforced concrete structure with 100% recycled aggregate, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **19(5)**, 383–389 [in Korean].
- Malesev, M., Radonjanin, V., Marinkovic, S. (2010). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production, *Sustainability*, **2**, 1204–1225.
- Moon, K.T., Park, S.Y., Kim, S.E. (2019). Compressive strength of concrete due to moisture conditions of recycled coarse aggregates and curing conditions, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, **39(4)**, 485–492 [in Korean].
- Pepe, M. (2015). *A Conceptual Model for Designing Recycled Aggregate Concrete for Structural Applications*, Springer.
- Rahal, K. (2017). Shear strength of recycled aggregates concrete, *Procedia Engineering*, **210**, 105–108.
- Saldanha, R., Julio, E., Dias-da-Costa, D., Santos, P. (2013). A modified slant shear test designed to enforce adhesive failure, *Construction and Building Materials*, **41**, 673–680.
- Song, H.Y., Lee, S.S., Lee, D.H., Lee, J.G., Kim, J.H., Lim, H.U. (2006). An experimental study on the drying shrinkage of concrete using high-quality recycled sand, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **2(1)**, 136–143 [in Korean].
- Tam, V.W.Y., Wang, K., Tam, C.M. (2007). Ways to facilitate the use of recycled aggregate concrete, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Waste and Resource Management*, **160(3)**, 125–129.
- Tuan, H.N., Otsuka, H., Ishikawa, Y., Takeshita, E. (2006). A study on shear strength of concrete under direct shear test, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, **28(1)**, 1529–1534.
- Verian, K.P., Ashraf, W., Cao, Y. (2018). Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production, *Resources, Conservation & Recycling*, **133**, 30–49.
- Wijayasundara, M., Mendis, P., Crawford, R.H. (2018). Integrated assessment of the use of recycled concrete aggregate replacing natural aggregate in structural concrete, *Journal of Cleaner Production*, **174**, 591–604.
- Xiao, J., Wang, C., Ding, T., Akbarnezhad, A. (2018). A recycled aggregate concrete high-rise building: Structural performance and embodied carbon footprint, *Journal of Cleaner Production*, **199**, 868–881.

천연골재 콘크리트와 순환골재 콘크리트 접합면의 전단강도

건설자원의 고갈과 콘크리트 폐기물의 증가에 따라 콘크리트 재활용은 선택적 사항이라기보다는 필수적 사항으로 되어 가고 있다. 콘크리트 재활용에 대한 연구는 오래 동안 다양한 관점에서 수행되어 왔다. 그러나 여러 나라의 기준이나 권고사항을 보면 순환골재 콘크리트의 적용에는 순환골재의 비율이나 순환골재의 사용금지 등과 같은 많은 제한사항이 있다. 본 연구에서는 구조부재에서 천연골재 콘크리트와 순환골재 콘크리트를 분리타설하는 방법에 대한 적절성을 알아보려고 하였다. 순환골재콘크리트의 제작 시 굵은골재의 치환비율은 50, 100%로 하였고 두 콘크리트의 접합면에는 교섭을 도입하였다. 순환골재 콘크리트를 제작하는 과정에서 순환골재를 처리하거나 혼화재를 첨가하지 않았다. 두 콘크리트 접합면의 전단강도를 평가하기 위해 등분포하중으로 재하한 2면전단 시험법을 채택하였다. 실험결과에 따르면 골재치환율이 큰 시험체가 전단강도 대 압축강도 비가 크게 나왔는데 이는 굵은골재의 크기와 전단절단면의 조도에 기인한 것으로 보인다. 여러 가지 변수들의 영향을 알아보기 위한 후속연구가 필요하며 그와 같은 연구 활동을 진행 중이다.