

순환/재생골재의 잔류 모르타르 성분이 알칼리 실리카 반응성에 미치는 영향 평가

The Effect of the Residual Mortar of Recycled Concrete Aggregate on Alkali Silica Reaction

김정현 Kim, Jeonghyun | 정회원 · 한국기술교육대학교 건축공학부 석사과정 (E-mail : jhk16@koreatech.ac.kr)
김남호 Kim, Namho | 정회원 · 한국기술교육대학교 건축공학부 교수 · 교신저자 (E-mail : nhkim@koreatech.ac.kr)
양성철 Yang, Sungchul | 정회원 · 홍익대학교 건축공학부 교수 (E-mail : scyang@hongik.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to evaluate the effect of the residual mortar of recycled concrete aggregate on the expansion behavior during alkali silica reaction (ASR).

METHODS : In order to evaluate the net effect of residual mortar on ASR expansion behavior, two aggregate samples with the same original virgin aggregate source but different residual mortar volumes were used. ASTM C1260 test was used to evaluate the ASR expansion behavior of these two aggregates and the original virgin aggregate.

RESULTS : The greater the amount of residual mortar in recycled concrete aggregates, the less is the induced ASR expansion. Depending on the amount of residual mortar in recycled concrete aggregate, the ASR expansion of recycled concrete aggregate may be less than half of that of the original virgin aggregate.

CONCLUSIONS : The residual mortar of recycled concrete aggregate may lead to the under estimation of the ASR expansion behavior of the original virgin aggregate.

Keywords

Recycled aggregate, Alkali-silica reaction, ASTM C-1260, Recycled mortar

Corresponding Author : Kim, Namho, Professor
Department of Architectural Engineering, Koreatech, 1600,
Chungjeol-ro, Byeongcheon-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si,
Chungcheongnam-do, 31253, Korea
Tel : +82.41.560.1332 Fax : +82.41.560.1980
E-mail : nhkim@koreatech.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Mar. 30, 2015 Revised Aug. 03, 2015 Accepted Aug. 04, 2015

1. 서론

현재 국내에서는 천연골재 수급의 어려움으로 인하여 기존의 천연골재를 순환골재로 대체하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며 국가적 차원으로는 국토해양부 고시 제 2012-652호 「순환골재 등 의무사용건설공사의 순환골재·순환골재 재활용제품 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시」에서 순환골재의 사용을 의무화하였

다. 따라서 향후 순환골재의 사용량이 늘어날 것으로 예상됨에 따라 순환/재생골재에 대한 전반적인 기초연구가 필요한 실정이다.

현재까지 발표된 연구에 따르면 순환/재생골재는 일반적으로 일정량 이상의 모르타르를 포함하고 있으며, 이러한 순환/재생골재에 붙어 있는 모르타르의 함량에 따라 골재의 비중, 흡수율 등의 기초 물성이 변하게 되

고, 이는 결과적으로 콘크리트의 강도 및 탄성계수에도 영향을 미치게 된다(Yang et al., 2015).

순환/재생골재에는 약 20~40 중량%의 잔류 모르타르가 존재하는 것으로 알려져 있다(Abbas A et al., 2007). 이러한 순환/재생골재 내의 잔류 모르타르가 콘크리트로 재활용된 이후에는 다시 콘크리트 내부에서 모르타르의 역할을 수행하며, 순환/재생골재내의 원골재(original virgin aggregate)가 새 콘크리트에서 골재의 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Fathifazl G et al., 2009). 따라서 순환/재생골재를 재활용하기에 앞서, 원골재의 내구적 특성을 파악하는 것이 매우 중요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 순환/재생골재에 포함된 잔류 모르타르가 골재의 알칼리 실리카 팽창에 미치는 영향을 평가하기 위해 국내 천연골재 2종, 동일한 모암을 가진 잔류 모르타르 함량이 다른 순환/재생골재 2종을 1M 농도의 염산 용액으로 잔류 모르타르를 제거하여 ASTM C-1260 규정에 따라 알칼리 실리카 반응성을 평가 및 분석하였다.

2. 연구계획 및 실험

2.1. 연구계획

순환/재생골재를 사용하여 ASTM C-1260의 방법으로 알칼리 실리카 반응성 평가를 진행할 때, 순환/재생골재 내의 잔류 모르타르 함량이 상당하기 때문에 원골재가 차지하는 비율은 상대적으로 줄어들게 된다. 시멘트와 골재의 특정 성분이 결합하여 형성된 겔이 알칼리 실리카 팽창을 유발한다는 사실에 근거하였을 때(Yun et al., 2008), 잔류 모르타르를 많이 포함하고 있는 순환/재생골재는 알칼리 실리카 반응 결과를 정확하게 도출해내지 못하는 경우가 발생하게 된다. 즉, 순환/재생골재에 포함된 원골재가 알칼리 반응성을 가지는 골재라 할지라도, 실내시험에서는 알칼리 반응성이 없는 골재로 나타날 수 있는 문제점을 가질 수 있다.

본 연구에서는 골재간의 마모를 유도하여 상당량의 잔류 모르타르가 제거되는 특성을 가지는 VSI Crusher(Vertical Shaft Impact Crusher)를 이용하여 Crusher 투입 전·후의 골재인 모암 골재는 동일하며 부착된 잔류 모르타르의 양이 상이한 2종의 순환/재생골재를 연구대상으로 선정하였다(Fig. 1).

본 시험에 앞서 예비조사를 통해 순환/재생골재 내의 잔류 모르타르 제거방법과 흡수율이 큰 골재의 ASR 시

편 제작방법이 결정되었으며, 동일한 모암에 부착된 잔류 모르타르의 대소에 따른 알칼리 실리카 반응성이 평가되었다.

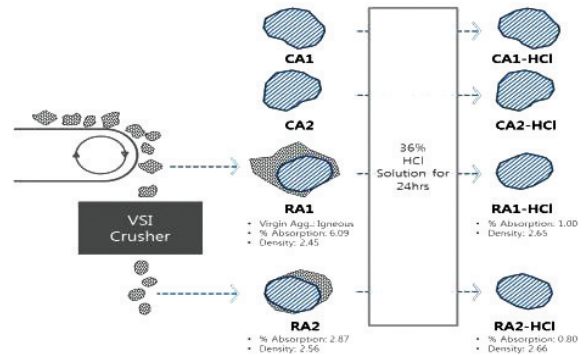


Fig. 1 Aggregates used in the Study

2.2. 실험재료

2.2.1. 골재

본 연구에 사용된 골재는 모두 화강암 골재로 국내 천연 쇄석골재 2종(CA1, CA2)과 XX지역 순환/재생골재(RA1), RA1 골재에 VSI Crusher로 추가 가공을 거친 골재(RA2)까지 포함하여 총 4종의 골재를 샘플링 하였다. 이후 샘플링한 4종의 골재를 대상으로, 예비조사를 통하여 결정된 방법으로 잔류 모르타르를 제거하기 위한 염산처리를 실시하여 4종의 골재를 추가적으로 생산하였고, 이를 실험에 사용하였다(CA1-HCI, CA2-HCI, RA1-HCI, RA2-HCI) (Fig. 1).

골재의 흡수율, 비중, 모암 구성성분을 Table 1에 나타내었으며, 8종의 골재의 조성성분을 확인하기 위해 실시한 XRF(X-ray Fluorescence Spectrometer) 분석의 결과는 Table 2와 같다. Table 2에 나타난 XRF 분석결과에 의하면 실험에 사용된 골재는 모두 실리카

Table 1. Physical Properties of Aggregate Treated with HCl

	Specific gravity(g/cm ³)	Absorption(%)	Original virgin aggregate
CA1	2.62	0.80	Igneous
CA1-HCI	2.62	0.66	
CA2	2.64	0.77	Igneous
CA2-HCI	2.64	0.76	
RA1	2.45	6.09	Igneous
RA1-HCI	2.65	1.00	
RA2	2.56	2.87	Igneous
RA2-HCI	2.66	0.80	

Table 2. Results of X-ray Fluorescence Spectrometer

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	Rb ₂ O	MnO
CA1	73.39	12.97	7.72	2.85	1.44	1.14	-	0.29	0.07	0.06
CA1-HCl	71.33	13.70	8.23	2.80	1.51	1.25	-	0.26	0.77	0.17
CA2	63.92	16.44	8.01	4.47	4.15	0.91	1.10	0.61	0.05	0.06
CA2-HCl	66.21	16.02	8.34	4.37	3.40	0.71	-	0.72	0.06	-
RA1	40.73	9.41	3.01	7.41	35.48	0.37	1.03	1.01	-	0.17
RA1-HCl	66.54	13.56	5.11	7.05	4.33	0.67	1.23	1.01	0.03	0.10
RA2	54.20	12.40	5.15	8.37	16.36	0.38	1.19	1.11	0.05	0.13
RA2-HCl	68.26	13.91	5.54	6.25	3.20	0.63	1.08	0.90	0.05	0.07

계열이며, 천연골재 2종에서 염산처리 전·후 눈에 띄는 성분 변화가 관찰되지 않아 잔류 모르타르를 제거하기 위해 계획된 염산처리 방법에 원골재는 영향을 받지 않는 것으로 판단되었다. RA1, RA2에서 CaO, SiO₂ 성분을 제외한 나머지 성분의 구성비율이 거의 비슷하며, 염산처리 이후의 골재 구성성분은 거의 동일하다. 따라서 RA1과 RA2는 동일한 모양의 골재를 사용한 콘크리트에서 발생한 순환/재생골재임을 알 수 있었다.

2.2.2. 시멘트

본 연구에는 시중에 판매중인 A사의 보통 포틀랜드 시멘트(Portland Cement, PC)를 사용하였으며, 시멘트의 기초 물성은 Table 3 및 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Physical Properties of Portland Cement

Specific gravity(g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	Stability(%)	Setting time(min)	
			Initial	Final
3.15	3380	0.13	190	285
Compressive strength(MPa)			Ignition loss(%)	
3 days	7 days	28 days		
30.3	41.4	53.8	2.4	

Table 4. Chemical Composition of Portland Cement

SiO ₂	20.84	Na ₂ O	0.14
Al ₂ O ₃	7.34	K ₂ O	0.91
Fe ₂ O ₃	2.80	MnO	0.26
MgO	2.8	TiO ₂	0.62
CaO	59.92	SO ₃	2.1

2.3. 예비조사

2.3.1. 순환/재생골재 내의 잔류 모르타르 제거방법

순환/재생골재 내의 잔류 모르타르를 제거하여 원골

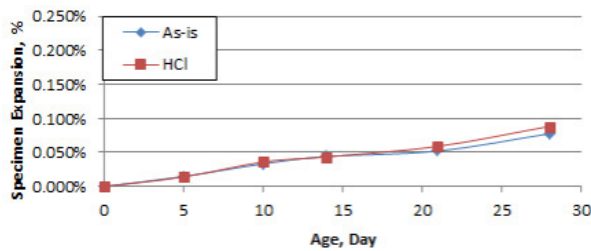
재를 확보하기 위한 방안으로 염산용액에 골재를 침전시켜 부착모르타르를 구성하는 CaO성분을 용해시키는 방법이 사용되었다. 다양한 시도를 통하여 순도 36% 염산용액과 증류수를 혼합하여 제조한 1M 농도의 염산용액에 순환/재생골재를 침전시켜 24시간동안 교반하는 방법이 사용되었다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 염산처리 후 대부분의 골재에서 모르타르가 완전히 분리되었



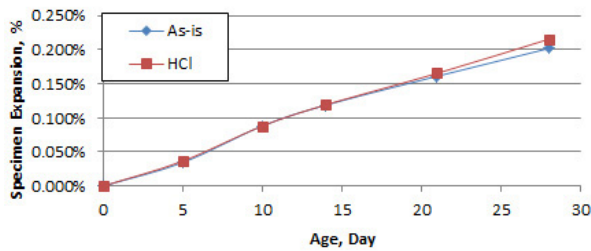
Fig. 2 Aggregates used in the Study

으나, 모르타르가 분리되지 않은 일부 골재를 육안으로 판별하여 제외하였다.

염산처리과정이 골재의 ASR 팽창성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 잔류 모르타르가 없는 천연 채석골재 2종(CA1, CA2)에 대해 동일한 염산처리를 하고 ASR 팽창성 평가를 실시하였다. Fig. 3은 그 결과를 나타낸 것으로, 염산처리 전·후의 골재가 팽창성 평가 기준인 재령 14일 이내에서는 거의 동일한 ASR 팽창거동을 나타내었다. 따라서 본 연구에 사용된 화성암 골재에 대한 염산처리과정은 ASTM C-1260에 의한 골재의 ASR 팽창거동 평가결과에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단하고, 이 방법을 사용하여 순환/재생골재의 잔류 모르타르를 제거하였다.



(a) CA1 Aggregate



(b) CA2 Aggregate

Fig. 3 Effect of HCl Treatment on Igneous Crushed Aggregate (ASTM C-1260)

2.3.2. 흡수율이 큰 골재의 시편 제작방법

ASTM C-1260의 규정에 따라 골재의 ASR 팽창성을 평가하기 위해서는 소정의 입도로 분쇄된 골재를 물 시멘트비(w/c) 47%로 배합하여 시편을 제작해야 한다. 그러나 잔류 모르타르가 많은 순환/재생골재의 경우, 분쇄된 골재의 큰 흡수율로 인하여 시편제작이 거의 불가능한 것으로 파악되었다. 이는 ASTM C-1260의 규정이 제정될 당시, 주요 관심평가대상이 일반 골재였기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 흡수율이 큰 분쇄골재의 시편 제작이 가능하도록 w/c를 58%로 조정하여 시편을 제

작하였으며(Fig. 4), 이렇게 제작된 시편의 ASR 팽창성 평가 결과를 w/c 47% 시편의 시험결과와 비교하였다(Fig. 5).

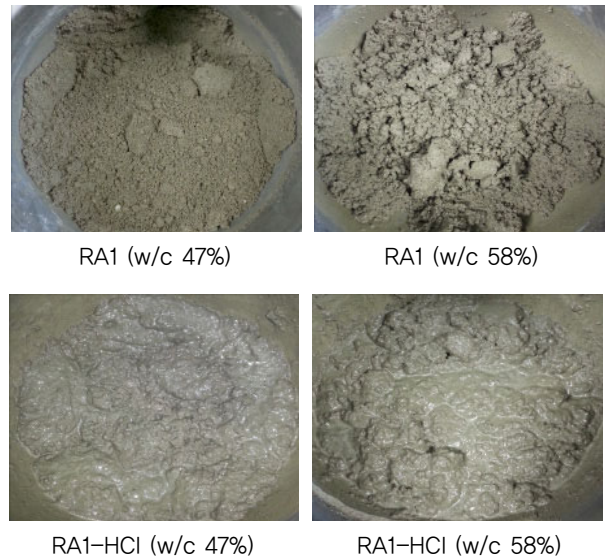
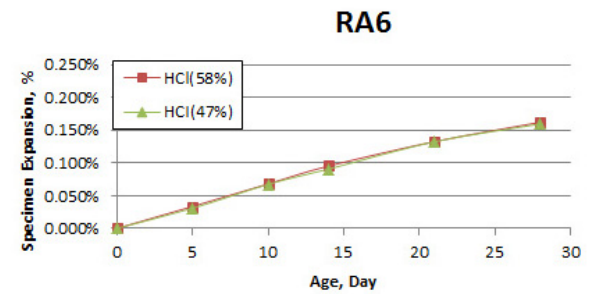
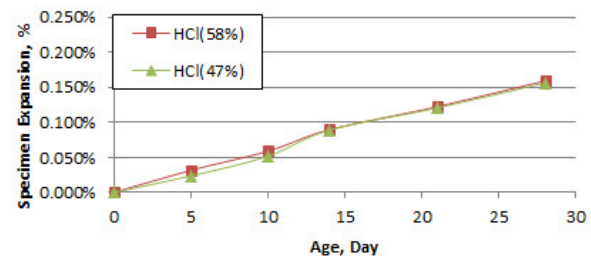


Fig. 4 Effect of w/c Ratio Consistency of ASR Specimen (ASTM C-1260)



(a) RA1-HCl Aggregate



(b) RA2-HCl Aggregate

Fig. 5 Effect of w/c Ratio on ASR Expansion Behavior (ASTM C-1260)

Fig. 5에 나타난 바와 같이 w/c 비가 상이한 두 개의 시편에 대한 팽창성은 상이한 공극구조의 특성에 따른 팽창거동의 변화가능성에도 불구하고, 거의 비슷한 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 흡수율이 큰 순환/

재생골재의 ASTM C-1260에 따른 ASR 팽창성 평가를 위하여 w/c를 58%로 조절하여 시편을 제작하였다.

2.4. 시험방법

2.4.1. 골재염산처리

순도 36% 염산용액과 증류수를 혼합하여 제조한 1M 농도의 염산용액에 순환/재생골재 RA1, RA2를 칩전시켜 마그네틱 휠을 이용하여 24시간동안 교반하여 잔류 모르타르가 제거된 RA1-HCl, RA2-HCl을 샘플링하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 잔류 모르타르가 완전히 분리되지 않은 골재를 육안으로 판별하여 제거한 후 나머지 골재를 대상으로 시험을 진행하였다.

2.4.2. 시편제작 및 측정

ASTM C-1260 규정에 따라 시험에 사용된 골재의 중량비와 배합표를 Table 5 및 Table 6에 나타내었다. 25.4×25.4×285mm시편을 3개 1조로 제작하여 25℃ 항온습기에 24시간 양생 후 탈형, 마킹하여 시편의 초기길이를 측정하였고, 폴리프로필렌 밀폐용기에 시편이 충분히 잠길 정도의 물과 시편을 넣고 밀봉하여 80℃ 오븐에 저장하였다. 24시간 경과 후 시편을 꺼내어 표면의 물기를 제거하고 지그에서 초기 길이 변화를 측정하였다. 900ml 증류수에 40g의 수산화나트륨 분말과 증류수 100ml을 첨가하여 만든 1N농도의 수산화나트륨 용액 1L와 시편을 밀폐용기에 담아 80℃ 오븐에 저장하여 재령 5일, 10일, 14일, 21일, 28일에서의 길이 변화를 측정하였다.

Table 5. Grading Requirements of Aggregates

Sieve size		Mass(%)
Passing	Retained on	
4.75mm(No.4)	2.36mm(No.8)	10
2.36mm(No.8)	1.18mm(No.16)	25
1.18mm(No.16)	600µm(No.30)	25
600µm(No.30)	300µm(No.50)	25
300µm(No.50)	150µm(No.100)	15

Table 6. Mixing Design of Specimen

	Fine aggregate(g)	Cement(g)	water(g)	W/C(%)
RA	990	440	256.8	58
RA1-HCl	990	440	256.8	58
RA2	990	440	256.8	58
RA2-HCl	990	440	256.8	58

2.4.3. ASR 판정기준

ASTM C-1260에 따른 골재의 알칼리 실리카 반응성 평가 기준은 Table 7과 같다. 시편 제작 후 16일 (NaOH 용액 침수 후 14일)을 기준으로 팽창률이 0.1% 미만일 경우 대부분의 상황에서 무해하며, 0.1% 이상 0.2% 이하의 경우에는 현장조건에 따라 무해·유해할 수 있으며, 0.2%를 초과할 경우에는 잠재적으로 유해한 것으로 판정한다.

Table 7. ASTM C-1260 Criteria for ASR

Expansions	Interpretation of test results
More than 0.2%	potentially deleterious expansion
Between 0.1~0.2%	innocuous and deleterious in field performance
Less than 0.1%	innocuous behavior in most cases

3. 순환골재의 잔류 모르타르 성분이 알칼리 실리카 반응성에 미치는 영향

모암이 동일하고 잔류 모르타르 함량이 상이한 두 종의 골재(RA1, RA2)와 그 원골재(RA1-HCl, RA2-HCl)에 대한 ASR 팽창성이 평가되었으며, 그 결과는 Table 8 및 Fig. 6과 같다.

Table 8. Expansion Results of Crushed Aggregate

Contents	Expansion, %					
	d-5	d-10	d-14	d-21	d-28	
RA1	As-is	0.018	0.031	0.042	0.055	0.063
	HCl treated	0.034	0.068	0.095	0.133	0.162
RA2	As-is	0.022	0.040	0.070	0.097	0.127
	HCl treated	0.032	0.059	0.090	0.122	0.159

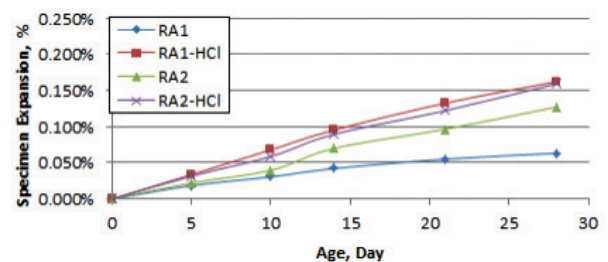


Fig. 6 Test Result (ASTM C-1260)

Fig. 6에 나타난 바와 같이, ASR 시편의 팽창거동은 잔류 모르타르의 함량에 의해 큰 차이를 나타내었다. 동

일한 원석의 잔류 모르타르가 없는 골재(RA1-HCI 및 RA2-HCI)에 비하여, 잔류 모르타르가 있는 골재의 팽창거동이 현저히 감소하였다. 또한 잔류 모르타르를 제거한 동일 모암 골재의 ASR 팽창거동은 거의 유사한 반면, 흡수율이 큰 골재, 즉 잔류 모르타르가 많은 골재일수록 ASR 팽창거동이 현저히 감소하는 것으로 조사되었다.

Fig. 7은 재령 14일의 팽창률을 기준으로 각각의 골재에 대한 상대적 팽창률을 나타낸 그림이다. 흡수율 6.09%인 재생골재 RA1의 경우 ASR 팽창거동은 44%까지 감소하였으며, 흡수율 2.87%인 순환골재 RA2의 경우 78%까지 감소하였다. 따라서 본 연구에 사용된 골재의 경우, 원골재에 부착된 잔류 모르타르 함량의 대소에 따라 ASR시편의 팽창성은 실제 골재의 팽창성에 비해 50% 이하로 감소되어 거동할 수 있는 것으로 조사되었다.

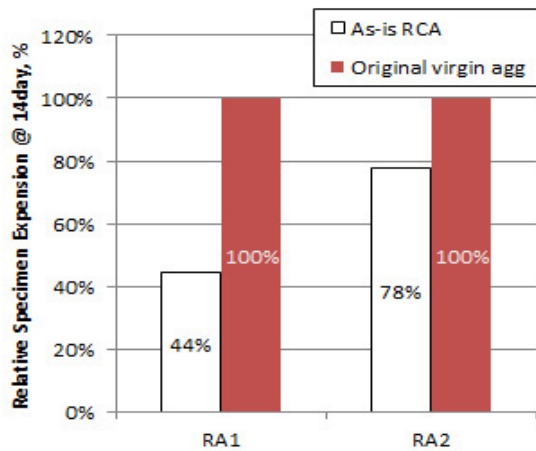


Fig. 7 Test Result (ASTM C-1260)

앞서 언급한 바와 같이, 순환/재생골재 내의 잔류 모르타르는 신규 콘크리트에서 모르타르의 역할을 하며, 순환/재생골재 내의 원골재는 신규 콘크리트에서 골재의 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Abbas A et al., 2007). 따라서 잔류 모르타르의 대소에 따른 이러한 ASR 팽창성의 변화는 신규 콘크리트 내의 재생/순환골재에 대한 ASR 팽창성을 현저하게 저평가하여 결과적으로 신규 콘크리트의 내구성 평가의 정확성에 직접적인 악영향을 미칠수도 있을 것으로 판단된다. 따라서 향후 순환/재생골재의 콘크리트 골재의 활용에 있어서 원골재의 ASR 팽창성 평가가 고려되어야 할 것으로 판단된다.

4. 연구 결론

본 연구에서 수행한 동일한 모암을 가지나 흡수율이 다른 순환/재생골재를 대상으로 As-is 상태와 잔류 모르타르를 제거한 상태에서의 시편을 생산하여 이들에 대하여 ASTM C-1260에 의한 ASR 팽창성 평가를 수행하였으며, 이에 따른 연구 결론은 다음과 같다.

1. 동일한 모암의 골재일지라도 골재에 부착된 잔류 모르타르의 함량에 따라 ASTM C-1260에 의해 유도되는 ASR 팽창성은 큰 영향을 받는다. 즉, 원골재에 부착된 잔류 모르타르가 많을수록 ASR 팽창성은 급격히 작아져 본 연구를 수행한 순환골재의 경우, 골재 팽창률은 원골재 팽창률의 50% 이하로 축소되어 거동하는 것으로 조사되었다.
2. 따라서 순환/재생골재의 ASR 팽창성을 평가하기 위해서는 잔류 모르타르가 제거된 원골재의 팽창거동을 파악하는 것이 중요할 것으로 판단된다.
3. 향후 다양한 압중을 대상으로 순환/재생골재의 잔류 모르타르 성분이 알칼리 실리카 반응성에 미치는 영향 평가가 이루어져 순환골재를 위한 별도의 알칼리 실리카 거동 평가기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

REFERENCE

Abbas, A., Fathifazl, G., Isgor, O. B., Razaqpur, A. G., Fournier, B., Foo, S. (2007), "Proposed Method for Determining the Residual Mortar Content of Recycled Concrete Aggregates." *Journal of ASTM International*, Vol. 5, No. 1.

ASTM C-1260 (2007), Standard Test Method for Potentially Alkali reactivity of Aggregates(Mortar-Bar method), American Society for Testing and Materials.

Fathifazl, G., Abbas, A., Razaqpur, A. G., Isgor, O. B., Fournier, B., Foo, S. (2009), "New Mixture Proportioning Method for Concrete Made with Coarse Recycled Concrete Aggregate." *JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING*, Vol. 21, No. 10.

Yang, S. C., Lee, H. U., Kim, N. (2015), "Measurement for Coefficient of Thermal Expansion of Concretes Made with Recycled Concrete Aggregates" *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 17, No. 1, 2015, pp. 7~16.

Yun, K. K., Hong, S. H., Han, S. H. (2008), "Expansion Behavior of Aggregate of Korea due to Alkali-Silica Reaction by ASTM C 1260 Method" *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 20, No. 4, pp. 431~437.