

## 循環骨材를 混入한 모르타르 硬化體의 耐久 特性†

†金鍾弼\* · 李承泰\*\* · 鄭昊燮\*\*\* · 朴光弼\* · 金成秀\*

\*大眞大學校 건설시스템공학과, \*\*群山大學校 土木工學科, \*\*\*한국건설기술연구원

## Durability of Mortar Matrix Replaced with Recycled Fine Aggregates†

†Jong-Pil Kim\*, Seung-Tae Lee\*\*, Ho-Seop Jung\*\*\*  
Kwang-Pil Park\* and Seong-Soo Kim\*

\*Daejin University

\*\*Kunsan National University

\*\*\*Korea institute of construction technology

### 요 약

순환골재를 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 연구의 일환으로 2종류의 순환골재를 천연골재 중량의 0, 25, 50, 75 및 100%의 5단계로 혼입한 시멘트 경화체를 제조한 후 시멘트 경화체의 내구 특성을 평가한 결과, 골재의 특성에 따라서 시멘트 경화체의 성능이 상이하게 나타나는 것으로 확인되었다. RAB의 경우 RAA에 비하여 부착 모르타르 및 흡수율이 작아서 혼입율 50%까지는 모든 시험 항목에서 천연골재와 거의 유사하거나 약간 작은 값을 나타내었으며, 향후 순환골재를 콘크리트 구조용 골재로 사용하기 위해서는 순환골재에 부착된 모르타르량을 최대한 제거하고, 천연골재에 25% 까지 혼입하여 사용해도 무관할 것으로 판단된다.

주제어 : 천연골재, 순환골재, 잔골재, 내구성, 부착모르타르

### Abstract

This paper presents a detailed experimental study on the durability properties of mortar matrix made with two kind of recycled fine aggregates(RAA, RAB) and five replacement levels (0, 25, 40, 75 and 100) of the recycled fine aggregates as a partial replacement of natural fine aggregate (NA). The durability properties of mortar matrix was evaluated using compressive strength, chloride ion ingress, sulfate attack and carbonation. The test results indicated that the water absorption and Adhered mortar of the recycled fine aggregate was a major factor controlling durability properties. Hereafter, when using built recycled fine aggregate is expected, appropriate removal Adhered mortar and reasonable replacement ratio of recycled fine aggregates was 25% weight of cement are advised to apply to the concrete materials.

**Key words :** Natural aggregate, Recycle aggregate, Fine aggregate, Durability, Adhered mortar

### 1. 서 론

최근 도시의 재개발, 생활환경의 개선 및 콘크리트 구조물의 노후화, 성능저하 등으로 인하여 콘크리트 구조물을 해체하여 재건설하는 경우가 늘어나면서 건설폐기물의 일종인 폐 콘크리트의 발생량이 급증하고 있는 추세이다. 그러나 현재까지 폐 콘크리트는 도로 포장용 또는 매립용 재료 등으로 사용되어 왔을 뿐, 부가가치가 높은 자원으로 재사용되지 못하고 있는 실정이다.<sup>1)</sup>

한편, 유럽, 스페인 및 일본 등 선진국에서는 해체 콘크리트 구조물에서 발생하는 폐 콘크리트 구조물을 지구환경보존 및 자원 유효이용의 차원에서 재활용하기 위하여 콘크리트용 골재로 환원하고자 하는 리사이클링 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>5-6)</sup>

국내의 경우는 1980년 이후 급속한 경제성장에 힘

† 2007년 6월 29일 접수, 2007년 8월 27일 수리

\* E-mail: kjp0307@hanyang.ac.kr

입어 콘크리트 구조물이 우후죽순 같이 축조되었으며, 이때 건설된 콘크리트 구조물들 중에는 부실시공 등으로 인하여 성능이 크게 떨어졌거나, 급변하는 시대 변화에 적응하지 못한 기능으로 제구실을 하지 못하므로써 상당량 해체되고 있다. 건설폐기물 일일 평균발생량은 1996년 23,000톤 이던 것이 2002년에는 약 4배인 120,000톤으로 급격하게 늘어났다. 환경부에 따르면 오는 2020년에는 1억톤이 넘을 것으로 예상하고 있다. 그러므로 자원이 부족한 우리나라에서 순환골재를 콘크리트용 골재로 재활용할 경우, 양질의 골재부족 현상을 극복하는데 큰 도움이 될 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 현재 콘크리트 제조시 사용되고 있는 하천, 강 및 석산 등 골재의 산지의 무분별한 채굴을 방지하여 환경파괴를 줄일 수 있으므로 자연생태계를 보존하는 데도 기여를 할 수 있을 것으로 기대 된다<sup>1-3)</sup>.

실제로 국내의 경우 순환골재를 콘크리트용 골재로 재활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으나, 대부분 순환골재의 기초 물성 및 역학적 특성을 파악하는 것이 대부분이다. 그러나 외국의 경우는 순환골재의 부착모르타르에 의한 작업성 저하 및 내구성 저하에 대한 연구가 주를 이루고 있다<sup>10-12)</sup>.

따라서 본 연구에서는 순환골재를 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 연구의 일환으로 2종류의 순환골재를 천연골재 중량의 0, 25, 50, 75 및 100%의 5단계로 혼합한 모르타르 경화체를 제조한 후 모르타르 경화체의 내구 특성을 알아보기 위하여 압축강도, 염소이온 침투저항성, 탄산화 및 황산염침식 저항성에 대한 성능을 평가한 후 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1. 사용재료

2.1.1. 시멘트

국내의 S사에서 생산되는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 화학성분, 클링커 조성광물

및 물리적 성질은 Table 1에 나타내었다.

2.1.2. 골재

천연골재(이하 NA로 약함)는 비중 2.60, 흡수율 0.80% 및 조립률 2.80인 강모래를 사용하였으며, 순환골재(이하 RAA 및 RAB로 약함)는 Table 2와 같은 특성을 가진 국내에서 생산되는 2종류의 순환골재를 사용하였다.

한편, 2종류의 순환골재 생산 과정은 폐콘크리트를 파쇄공정에 따라 조 파쇄기(Jaw crusher)로 파쇄한 후 철금속과 비철금속으로 분리하였으며, 이후 임팩트 파쇄기(Impact crusher)에 의하여 2차적으로 파쇄하여 폐골재를 분리하였다. 또한 파쇄공정을 마

Table 2. Properties of fine aggregates

	NA	RAA	RAB
Specific gravity	2.60	2.28	2.39
Absorption(%)	0.80	10.35	6.59
Adhered mortar(%)*	-	7.10	6.95
Fineness modulus	2.80	3.42	2.89

\*Acid-soluble values

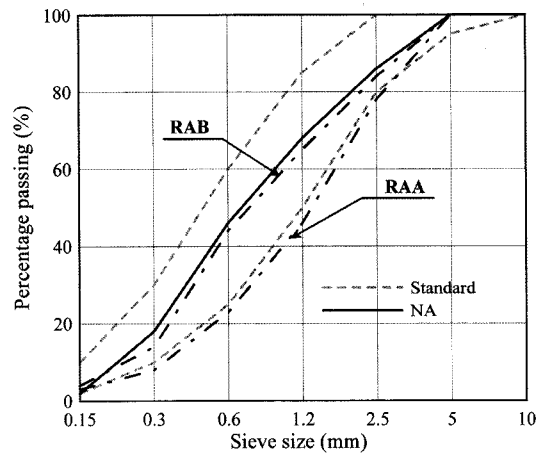


Fig. 1. Sieve curve of fine aggregates.

Table 1. Chemical composition, mineralogical composition and physical properties of ordinary portland cement

Chemical composition (%)							Mineralogical compound (%)				Physical properties	
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig.loss	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)
20.2	5.8	3.0	63.3	3.4	2.1	1.2	54.9	16.6	10.3	9.1	3.15	3,280

친 폐골재를 비중선별법에 의하여 골재에 부착된 모르타르를 제거하여 순환골재로 이용하였다. Fig. 1은 천연골재 및 순환골재의 입도분포 곡선을 나타낸 것이다.

### 2.1.3. 고성능감수제

주성분이 폴리카르본산계인 Malialim A-20을 결합재 중량에 대하여 1.8% 사용하였다.

## 2.2. 실험방법

### 2.2.1. 모르타르의 압축강도 시험

KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험)에 준하여 모르타르 압축강도 시험을 실시하였다.

### 2.2.2. 염소이온 침투저항성 시험

모르타르 경화체의 염소이온 침투저항성을 평가하기 위하여 KS F 2711(전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온투과저항성시험 방법)에 의거하여 Fig. 2와 같은 확산셀을 구성하였으며, 음극셀(Cell I) 용액은 0.5M의 NaCl, 양극셀(Cell II) 용액은 포화수산화칼슘(sat. Ca(OH)<sub>2</sub>)을 사용하였다. 이때 전위차 DC 60V로서 6시간 동안 통전시켰으며, 데이터로거(TDS 601)를 이용하여 시험편에 흐르는 전류를 30분 간격으로 측정하여 시간에 대한 전류의 적분값을 취하여 총 통과전하량은 식(1)로 계산하였다.

$$Q_{total} = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (식 1)$$

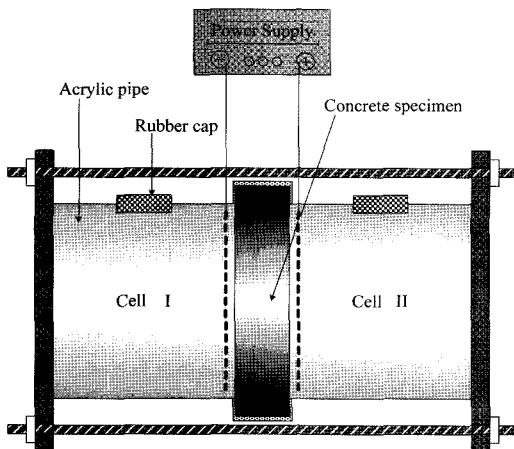


Fig. 2. Schematics of rapid chloride permeability test.

그리고 통과전하량을 측정된 시험편을 쪼개어 표면에 0.1N의 AgNO<sub>3</sub>용액을 분무하면 염소이온이 없는 부위에서는 갈색으로 변화하지만, 염소이온이 침투한 부위에서는 은색의 AgCl을 침전시킴으로 콘크리트의 음극측 표면으로부터 은색으로 변하는 지점까지를 JIS A 6203(1996)에 의하여 염소이온 침투 깊이로 하였다.

### 2.2.3. 촉진 황산염침식 시험

ASTM C 1012에 의거하여 담수 및 5% 황산나트륨 용액을 제조한 후 모르타르 경화체를 시험 용액에 침지시켜 팽창 특성을 이용하여 황산염침식에 대한 특성을 평가하였다. 한편 모르타르 경화체의 팽창은 25×25×285mm의 길이변화용 모르타르 공시체를 제조하여 7일 동안 표준양생을 실시한 후 시험 용액에 침지시킨 모르타르 경화체의 재령별 팽창율을 KS F 2424의 다이얼게이지 방법에 의하여 측정하여 식 (2)로 계산하였다.

$$\text{팽창}(\%) = \frac{l_t - l_0}{l_0} \times 100 \quad (식 2)$$

여기서,  $l_t$ : 침지재령에서 모르타르의 길이

$l_0$ : 침지전 모르타르의 길이

### 2.2.4. 촉진탄산화 시험

제작된 모르타르 경화체를 20±1°C의 수중에서 14일간 양생 후 한 면만을 남기고 경화체의 표면에 콘크리트 보호용 도장재를 코팅하여 탄산화 촉진 시험을 실시하였다. 촉진실험 조건은 온도 30°C, 상대습도 60%, CO<sub>2</sub>농도 10%로 설정하였다. 촉진 시험 후 탄산화 깊이의 측정은 촉진개시부터 28일에 측정하였다. 탄산화 깊이가 평가는 모르타르 경화체를 할렬인장 후에 할렬면에 1% 페놀프탈레인 용액(KS M 0015)을 분무하고 분홍색으로 변색되지 않은 미착색의 탄산화 부분을 측정하였다.

## 2.3. 시멘트 경화체의 배합

순환골재의 종류 및 혼입율에 따른 모르타르 경화체의 기초물성과 내구 성능을 평가하기 위하여 물-결합재비를 45%로 고정시키고, 2종류의 순환골재를 천연골재 중량에 대하여 0, 25, 50, 75 및 100%의 5단계로 혼입하여 총 9종류의 모르타르 경화체를 제조하였다. Table 3은 모르타르 경화체의

Table 3. Mixture proportions of cement mortar

Types	Replacement ratio (%)	W (g)	C (g)	Aggregates (g)		
				NA	RAA	RAB
NA	0	450	1000	2000	-	-
RAA25	25	450	1000	1500	500	-
RAA50	50	450	1000	1000	1000	-
RAA75	75	450	1000	500	1500	-
RAA100	100	450	1000	-	2000	-
RAB25	25	450	1000	1500	-	500
RAB50	50	450	1000	1000	-	1000
RAB75	75	450	1000	500	-	1500
RAB100	100	450	1000	-	-	2000

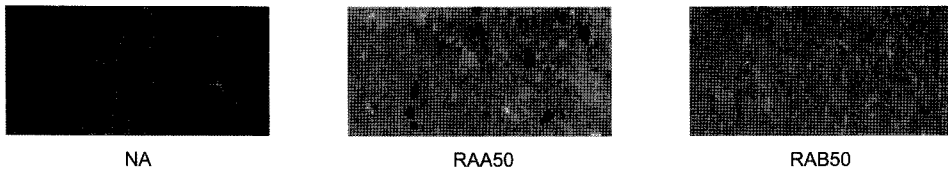


Fig. 3. Visual appearance of cement mortar.

배합을 나타낸 것이며, Fig. 3은 천연골재와 순환골재의 모르타르 경화체 표면 조직구조를 나타낸 것이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 모르타르 경화체의 압축강도 시험

2종류의 순환골재를 5단계의 혼입률에 따라 혼입한 모르타르 경화체의 압축강도 측정 결과를 정리하여 나타낸 것이 Fig. 4 및 Fig. 5이다.

이들 그림에서 알 수 있듯이, 재령 7일의 경우 순환골재의 혼입률 50%까지는 NA 경화체와 거의 유사한 강도 발현을 나타내었으나, 재령이 증가할수록 순환골재의 압축강도 발현율이 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 2종류의 순환골재를 혼입한 모르타르 경화체의 압축강도가 천연골재를 사용한 모르타르 경화체에 비하여 감소하는 것으로 나타났다. 이는 순환골재의 경우 천연골재에 비해서 흡수량이 커서 시멘트의 수화반응시 필요한 단위수량을 증가시키게 되며, 부착 모르타르의 다공성에 의하여 골재와 시멘트 페이스트의 치밀한 결합을 저해하는 요

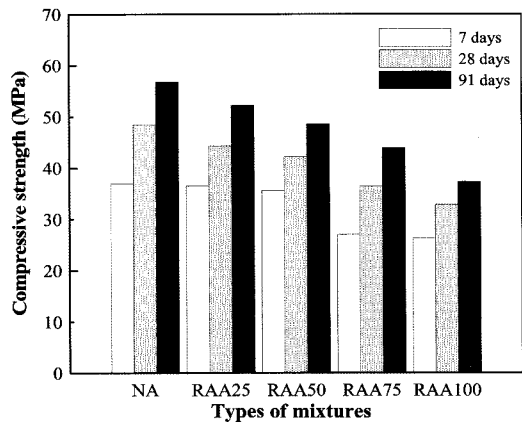


Fig. 4. Compressive strength of cement mortar replaced with RAA.

소로 작용하게 되어 압축강도가 감소하는 것으로 판단된다.

그러나, RAA 및 RAB를 25% 혼입한 모르타르 경화체의 압축강도는 각각 52MPa 및 54MPa로 NA 경화체에 비하여 8%와 6% 정도로 감소하여 압축강도 발현율이 매우 양호한 것으로 나타났다.

한편, 순환골재의 종류에 따른 압축강도 결과를

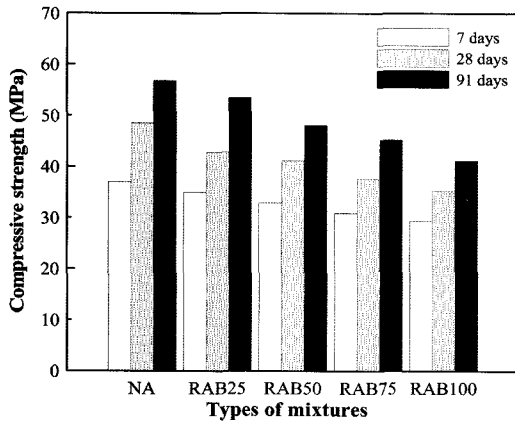


Fig. 5. Compressive strength of cement mortar replaced with RAB.

비교해 보면, 재령 91일의 RAA를 100% 혼입한 모르타르 경화체의 압축강도는 39MPa인 반면 RAB를 100% 혼입한 모르타르 경화체의 압축강도는 41MPa로 RAB가 RAA 보다 약 10% 정도의 압축강도 향상 효과가 있는 것으로 확인되었다. 순환골재의 종류에 따라서 압축강도 결과가 상이한 결과는 위에서 언급한 것과 같이 순환골재의 종류에 따라서 흡수율 및 부착 모르타르의 양이 상이하게 나타난 결과에 기인한 것으로 판단된다.

3.2. 순환골재를 혼입한 모르타르 경화체의 염소이온 침투저항성

순환골재를 혼입한 모르타르 경화체의 염소이온

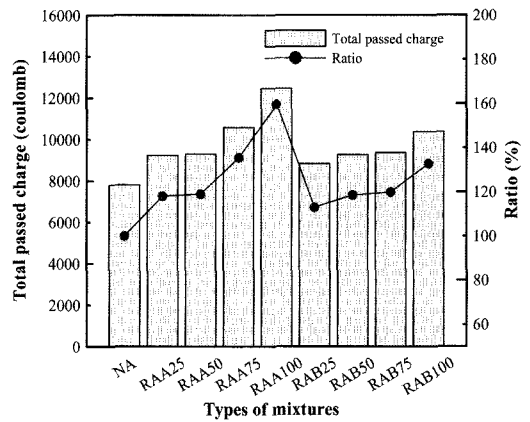


Fig. 6. Total passed charge of cement mortar.

침투저항성을 알아보기 위하여 전위차에 의한 촉진 염소이온 침투확산 시험법에 의하여 구한 총 통과 전하량과 염소이온 침투깊이 및 확산계수를 재령 28일에서 측정하여 나타낸 것이 Table 4 이고 이들을 정리한 것이 Fig. 6 및 Fig. 7이다.

Fig. 6에서 2종류의 순환골재를 혼입한 모르타르 경화체의 경우 혼입률이 증가함에 따라 총 통과전하량은 증가하는 경향을 나타내었으며, 순환골재의 혼입률에 관계없이 모든 시험체에서 천연골재 보다 큰 총 통과전하량을 나타내었다.

모르타르 경화체의 염소이온 침투저항성을 총 통과전하량에 대하여 분류하면 천연골재를 혼입한 NA 경화체의 경우 재령 28일에서는 총 통과전하량이

Table 4. Total passed charge and diffusion coefficient of cement mortar

Types	Total passed charge			Penetration depth		
	Coulomb	Ratio*	Permeability	Penetration depth (mm)	Diffusion coefficient (m <sup>2</sup> /sec)	Ratio*
NA	7810	100	Very low	16.05	1.58E-11	100
RAA25	9221	118	Very low	17.40	1.74E-11	110
RAA50	9294	119	Very low	17.45	1.75E-11	111
RAA75	10580	135	Low	18.00	1.81E-11	115
RAA100	12461	159	Low	20.00	2.05E-11	130
RAB25	8827	113	Very low	16.18	1.67E-11	105
RAB50	9259	118	Very low	17.15	1.71E-11	108
RAB75	9364	119	Very low	17.80	1.79E-11	113
RAB100	10369	132	Low	18.30	1.85E-11	117

\* NA를 100으로 한 값

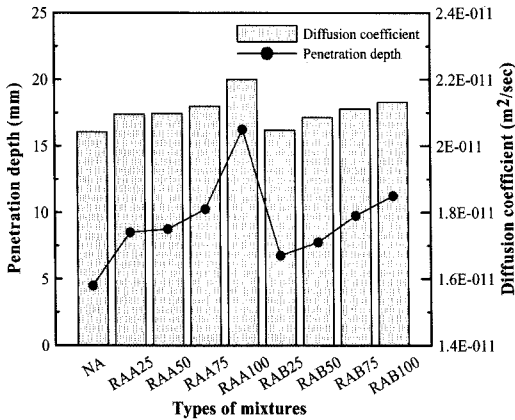


Fig. 7. Penetration depth and diffusion coefficient of cement mortar.

7,800 Coulomb으로 염소이온의 침투성이 매우 높은 영역으로 나타났으며, 순환골재를 혼입한 경우도 8,000~12,000 Coulomb 범위로 총 통과전하량이 매우 높은 상태임을 알 수 있었다.

한편, Fig. 7은 염소이온 침투깊이 및 침투깊이에 따른 확산계수를 나타낸 결과로써, 순환골재를 혼입한 모든 시험체의 경우 천연골재에 비하여 다소 큰 염소이온 침투 깊이를 나타내었다. 또한 2종류의 순환골재의 염소이온 확산특성을 평가한 결과, RAB 경화체에 비하여 RAA가 다소 큰 염소이온 침투 깊이를 나타내었다. 이는 압축강도 결과와 유사하게 부착 모르타르에 기인한 결과로 골재에 부착된 모르타르와 시멘트 페이스트의 천이영역(Interfacial Transition Zone)의 치밀하지 못한 조직 구조로 인하여 염소이온의 확산을 용이하게 만든 것에 따른 결과로 판단된다.

3.3. 순환골재를 혼입한 모르타르 경화체의 황산염 침식 저항성

황산염침식 저항성을 평가하기 위하여 황산나트륨 용액에 침지한 순환골재 혼입 모르타르 경화체의 침지재령별 팽창특성을 나타낸 것이 Fig. 8 및 Fig. 9이다. 이들 그림에서 알 수 있듯이, 순환골재 혼입율에 따라 팽창량이 상이하게 나타났으며, 전반적으로 침지재령이 증가함에 따라 팽창량도 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 RAA 경화체의 팽창량을 나타낸 것으로 100%를 혼입한 경우 침지 재령 260일에서 파괴되

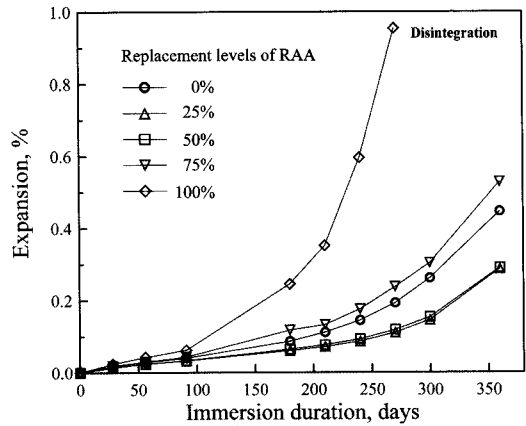


Fig. 8. Expansion of cement mortar.

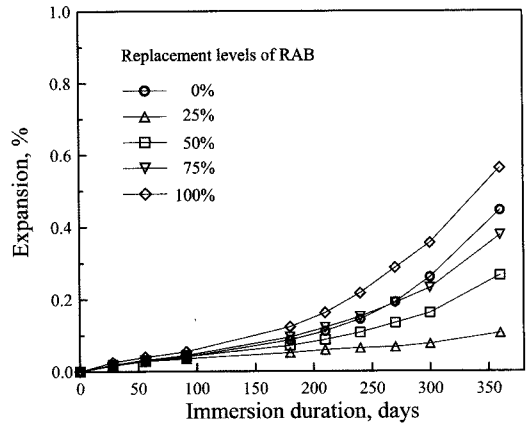


Fig. 9. Expansion of cement mortar.

어 측정이 불가능하였으나, 25% 및 50%를 혼입한 경우는 NA 경화체 보다 작은 팽창량을 나타내어 팽창에 대한 저항성이 비교적 우수하였다.

또한, Fig. 9는 RAB 경화체의 팽창량을 나타낸 것으로 RAA 경화체의 팽창량 결과와는 상이하게 25%, 50% 및 75% 까지도 NA 경화체 보다 작은 팽창량을 나타내어 팽창에 대한 저항성이 비교적 우수하였다. 특히, RAB 25%를 혼입한 경우 침지 재령 360일에서 팽창량이 0.1%로 미미한 수준의 팽창량을 나타내어, 황산염에 대한 침식 저항성이 다소 우수하게 나타났다.

이는 순환골재에 부착된 모르타르와 시멘트 페이스트의 천이영역(Interfacial Transition Zone)의 치밀하지 못한 조직 구조로 인하여 황산염과 시멘트 페이스트의 화학반응에 의하여 생성되는 반응생성

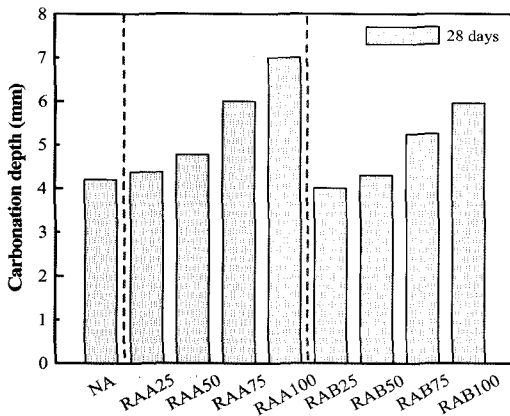


Fig. 10. Carbonation depth of cement mortar.

물이 팽창을 다소 완화시킨 것에 따른 결과로 사료된다.

#### 3.4. 순환골재를 혼입한 모르타르의 탄산화에 대한 저항성

순환골재를 혼입한 모르타르 경화체의 탄산화 저항성을 알아보기 위하여 촉진 탄산화 시험을 실시한 후 촉진 재령 28일 후 페놀프탈레인 용액을 공시체에 분무하여 탄산화 깊이를 측정된 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 10에 나타낸 바와 같이, 순환골재를 혼입하지 않은 NA 경화체의 경우 탄산화 깊이가 4.2 mm 정도를 나타내었다. 반면 순환골재를 혼입한 경화체의 탄산화 깊이는 NA 경화체에 비하여 모두 크게 나타났다. 특히, 순환골재를 50% 이상을 혼입한 경화체의 경우 25% 및 50%에 비하여 현저하게 탄산화 깊이가 크게 발생하였다.

한편, RAB를 50% 혼입한 경화체의 경우는 NA 경화체의 탄산화 깊이에 비하여 0.1 mm 증가하였으며, 25%를 혼입한 경우는 NA 경화체와 거의 유사한 탄산화깊이를 나타내어 다른 경화체에 비하여 탄산화 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

순환골재를 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 연구의 일환으로 2종류의 순환골재를 천연골재 중량의 0, 25, 50, 75 및 100%의 5단계로 혼입한 모

르타르 경화체를 제조한 후 모르타르 경화체의 내구 특성을 알아보기 위하여 압축강도, 염소이온 침투저항성, 탄산화 및 황산염침식 저항성에 대한 성능을 평가한 결과, 골재의 특성에 따라서 모르타르 경화체의 성능이 상이하게 나타나는 것으로 확인되었다. 특히, RAB 경화체의 경우 RAA 경화체에 비하여 부착모르타르 및 흡수율이 작아서 혼입율 50%까지는 모든 시험 항목에서 천연골재와 거의 유사하거나 약간 작은 값을 나타내었다. 더욱이 황산염침식의 경우는 오히려 천연골재보다 더 큰 저항성을 나타내었다.

이상의 결과를 종합해 보면, 향후 순환골재를 콘크리트 구조용 골재로 사용하기 위해서는 순환골재에 부착된 모르타르량을 최대한 제거하고, 천연골재에 25% 까지 혼입하여 사용해도 무관할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김무한, 1998: 폐기물 및 순환골재 콘크리트, 한국콘크리트학회지, 10(6), pp.55-60.
2. 이세현, 2001: 건설폐기물 재활용 기술개발 현황 및 촉진 방안, 건설폐기물의 효율적 처리 및 순환골재 사용의 활성화 방안에 대한 심포지엄, pp.135-166.
3. 임남웅, 2001: 폐콘크리트는 자원이다, 월간녹색21, 12월호. 한국자원순환공사(1995)폐콘크리트 재활용 기술개발 방안에 관한 연구.
4. 심종성, 박철우, 문일환, 이희철, 2005 :순환골재 및 플라이애쉬 혼입률에 따른 순환골재 콘크리트의 압축강도, 염소이온 투과 및 중성화 저항성 평가, 한국콘크리트학논문집, 17(5), pp.793-801.
5. Anders Henrichsen, 2000: Use of Recycled aggregates in Europe, International Workshop on Recycled Concrete, JSPS 76 Committee on Construction Materials, pp.1-8.
6. Eric Vazquez, 2000: Recycling of Aggregates in Spain, International Workshop on Recycled Concrete, JSPS 76 Committee on Construction Materials, pp.27-41.
7. Forster, S. W., 1996: Recycled Concrete as Aggregate, Concrete International, American Concrete Institute, 8(10), pp.34-40.
8. Hansen, T. C. and Narud, H., 1983: Strength of Recycled Concrete made from Crushed Concrete Course Aggregate, Concrete International Design and Construction, 5(1), pp.79-83.
9. Katz, A., 2003: Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete, Cement

and Concrete Research, **33**, pp. 703-711.

- 10. Sagoe-Crentil, K.K., Brown, T. and Taylor, A.H. 2001: Performance of Concrete Made with Commercially Produced Coarse Recycled Concrete Aggregate, Cement and Concrete Research, No.31, pp.707-712.
- 11. Nagataki, S., Gokce, A., Saeki, T. and Hisada, M., 2004: Assessment of Recycling Process Induced Damage Sensitivity of Recycled Concrete Aggregates, Cement and Concrete Research, **34**, pp.965-971.
- 12. Lee, S. T., Moon, H. Y., Swamy, R. N., Kim, S. S. and Kim, J. P., 2005: Sulfate Attack of Mortars Containing Recycled Fine Aggregate, ACI Materials Journal, **102**, pp. 224-230.
- 13. Wainwright, P. J., Trevorrow, A., Yu, Y. and Wang, Y., 1994: Modifying the Performance of Concrete Made with

Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregate, Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonary, Odense, Denmark, pp.319-330.



金 鍾 弼

- 2005 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 現, 大眞大學校 건설시스템공학과 時間 講師



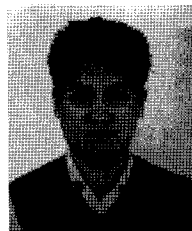
李 承 泰

- 2003 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 現, 群山大學校 土木工學科 교수



鄭 昊 燮

- 2004 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 現, 한국건설기술연구원 선임연구원



朴 光 弼

- 2003 대진대학교 토목공학과 공학석사
- 現, 대진대학교 건설시스템공학과 박사 과정



金 成 秀

- 1994 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 現, 대진대학교 건설시스템공학과 교수