

重質炭酸칼슘을 혼합한 시멘트 硬化體의 耐久特性 評價†

鄭昊燮 · 李承泰 · †金鍾弼 · 朴光弼 · 金成秀

漢陽大學校 産業科學研究所

Evaluation of Durability of Cement Matrix Replaced with Ground Calcium Carbonate†

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

The Research Institute of Industrial Science, Hanyang University

요 약

본 연구에서는 중질탄산칼슘을 콘크리트용 혼화제로 활용하기 위한 연구의 일환으로 중질탄산칼슘을 시멘트 중량의 0, 5, 10 및 15%의 4단계로 혼합한 시멘트 경화체를 제조한 후 시멘트 경화체의 염소이온 침투저항성, 탄산화 및 황산염침식 저항성 등과 같은 내구 특성을 평가하였다. 실험결과 본 연구 범위내에서 혼합율에 관계없이 중질탄산칼슘을 혼합한 시멘트 경화체의 경우 염소이온 침투저항성, 탄산화 저항성, 황산염침식 저항성은 중질탄산칼슘의 충전효과에 의하여 중질탄산칼슘을 혼합하지 않은 시멘트 경화체에 비하여 저항성이 다소 향상된 것으로 나타났다.

주제어 : 중질탄산칼슘, 내구성, 염소이온, 탄산화, 황산염침식

Abstract

In this article, we would like to investigate a durability characterization of cement mortar with inert filler, which is ground calcium carbonate(GCC). The kinds of techniques to evaluate cement mortar are chloride ion ingress, carbonation and sulfate attack. For the experimental result of the resistance of chloride ion ingress, carbonation and sulfate attack, as the addition of GCC makes decreasing the permeability by micro-filler effect, the specimens of 5~15% ratio of replacement are superior to the GCC0 mortar specimen with respect to durability of cement matrix in this scope.

Key words : Ground Calcium Carbonate, Durability, Chloride ion, Carbonation, Sulfate attack

1. 서 론

최근 부가가치가 높은 고품질의 콘크리트를 제조하기 위한 목적으로 콘크리트의 고유동, 고강도 및 고내구성을 포함한 고성능화에 대한 관심이 크게 증가되면서, 각종 광물질혼화제 및 화학혼화제의 개발에 따른 연구 성과들이 발표되고 있다¹⁻⁴⁾. 특히 자원고갈과 환경오염에 대한 사회적 관심이 집중되면서 산업부산물이나 산업폐기물 등을 건설재료로 활용하는 방안이 다각도로 검증되는 가운데, 광물질혼화제 중 플라이애시, 고로슬래그

및 실리카흄 등과 같은 산업부산물을 재활용함으로써 콘크리트의 물성 및 내구성의 개선뿐만 아니라 제조 원가에도 크게 기여하는 고품질의 콘크리트를 제조하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다⁵⁻⁷⁾.

Haruya 등은⁸⁾, 초미립의 중질탄산칼슘 슬러리를 소량 시멘트에 첨가함으로써 콘크리트의 작업성을 대폭 개선한 고유동 및 고강도콘크리트를 제조한 바 있다. 중질탄산칼슘은 불활성으로 인하여 경화 시의 수화열을 저감할 수 있어 온도 상승량을 억제하는 배합설계가 가능하므로 매스콘크리트의 대상구조물에 적합하여 교각, LNG탱크의 저판, 측벽, 지중 연속벽 등에 시공한 예가 있다⁹⁾.

† 2006년 2월 14일 접수, 2006년 5월 4일 수리

* E-mail: kjp0307@ihanyang.ac.kr

한편, 석회석 광물은 콘크리트를 제조하기 위한 재료로서 시멘트의 원료, 콘크리트용 잔골재 및 굵은 골재 등으로 사용되었다. 그러나 최근 해외에서는 석회석 미분말을 고강도, 고유동 콘크리트 제조에 이용하거나 CO₂ 발생량이 적고 환경친화적인 충전시멘트의 기본적인 재료로 사용하고 있다. 특히, 석회석은 국내에서 자급 가능한 자원으로 이것을 이용하여 새로운 기능을 도출한다는 것은 부존자원의 유효이용이라는 관점에서 매우 중요하다.

따라서 국내에서 비교적 용이하게 입수할 수 있는 석회석을 수중에서 평균입경 1.5 μm 정도로 미분쇄한 중질탄산칼슘 슬러리를 콘크리트용 혼화재로 활용하기 위한 연구에 착안하게 되었다. 주지하는 바와 같이 석회석 미분말은 시멘트 페이스트 중에서 거의 화학반응을 일으키지 않는 불활성으로서 강도발현에는 기여하지 않지만 유동성이 향상되며 블리딩 저감 및 수화열억제 등에 우수한 효과를 나타낸 것으로 알려져 있다¹⁰⁾.

본 연구에서는 중질탄산칼슘을 콘크리트용 혼화재로 활용하기 위한 연구의 일환으로 중질탄산칼슘을 시멘트 중량의 0, 5, 10 및 15%의 4단계로 혼합한 시멘트 경화체를 제조하여 염소이온 침투저항성, 탄산화 및 황산염침식 저항성 등에 대한 내구 성능을 비교 평가하였다.

2. 실험개요

2.1. 사용재료

2.1.1. 시멘트: 국내의 S사에서 생산되는 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 화학성분, 클링커 조성광물 및 물리적 성질은 Table 1에 나타내었다.

2.1.2. 중질탄산칼슘: 중질탄산칼슘(이하 GCC)은 탄산칼슘을 수중에서 분쇄하고 폴리카르본산계의 분산제를 사용하여 슬러리상으로 제조한 주성분이 칼사이트인 것을 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 2에 정리하였다.

2.1.3. 잔골재: 비중 2.60, 흡수율 0.80% 그리고 조립률 2.80인 강모래를 사용하였다.

2.1.4. 고성능감수제: 주성분이 폴리카르본산계인 Malialim A-20을 결합재 중량에 대하여 1.8% 사용하였으며 물리적 성질은 Table 3에 나타내었다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 염소이온 침투저항성 시험¹¹⁾: 콘크리트의 염소이온 침투저항성을 평가하기 위하여 KS F 2711(전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온투과저항성시험 방법)

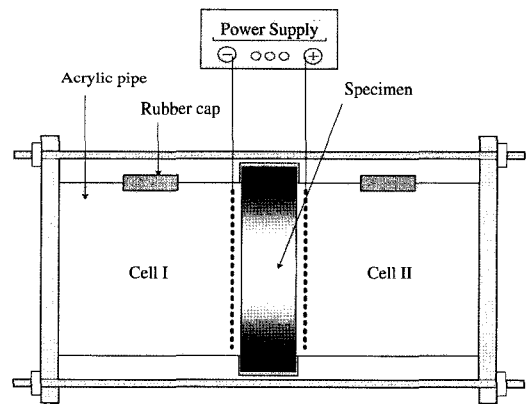


Fig. 1. Schematics of rapid chloride permeability test.

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

Chemical composition (%)							Mineralogical components (%)				Physical properties	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Specific gravity	Specific surface area (cm ² /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

Table 2. Physical properties of ground calcium carbonate

Solid content (%)	Whiteness (%)	Viscosity (B-type, 60rpm, cps)	pH	Specific gravity
≥ 75	≥ 94	≤ 200	10±0.5	2.74

Table 3. Physical properties of superplasticizer

Main component	Appearance	Solid content	pH	Specific gravity
Polycarbonic acid based compound	Dark brown liquid	20%	2.5±1.0	1.04±0.02

에 의거하여 Fig. 1과 같은 확산셀을 구성하였으며, 음극셀(Cell I) 용액은 0.5 M의 NaCl, 양극셀(Cell II) 용액은 포화수산화칼슘(sat. Ca(OH)₂)을 사용하였다. 이때 전위차는 DC 60V로서 6시간 동안 통전시켰으며, 데이터로거(TDS 601)를 이용하여 시험편에 흐르는 전류를 30분 간격으로 측정하여 시간에 대한 전류의 적분값을 취하고 총 통과전하량은 식(1)로 계산하였다.

$$Q_{total} = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + I_{360}) \quad \text{식(1)}$$

여기서, Q: 총통과전하량 (Coulomb), I_x: x분에서의 전류값 (A)

그리고 통과전하량을 측정한 시험편을 쪼개어 표면에 0.1 N의 AgNO₃용액을 분부하면 염소이온이 없는 부위에서는 갈색으로 변화하지만, 염소이온이 침투한 부위에서는 은색의 AgCl을 침전시킴으로 콘크리트의 음극 측 표면으로부터 은색으로 변하는 지점까지를 JIS A 6203¹⁸⁾에 의하여 염소이온 침투 깊이로 하였다. 염소이온의 침투깊이로부터 식(2)를 이용하여 비정상 상태의 촉진염소이온 확산계수를 구하였다.

$$D_{cpd} = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad \text{식(2)}$$

여기서, R: 기체 상수(J/mol·K), L: 시편두께(m), F: 패러데이 상수(J/V·mol), X_d: 비색법에 의한 침투 깊이(m), α: 실험 상수, T: 절대 온도(K), U: 전위차(V), z: 이온 전자가, t: 전위차의 적용 시간(sec)

2.2.2. 촉진탄산화 시험: 제작된 시멘트 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%, CO₂농도 10%로 설정하였다. 촉진 시험 후 중성화 깊이의 측정은 촉진개시부터 28일

에 측정하였다. 중성화 깊이 평가는 콘크리트 경화체를 할렬인장 후에 할렬면에 1% 페놀프탈레인 용액(KS M 0015)을 분부하고 분홍색으로 변색되지 않은 미착색의 콘크리트 탄산화 부분을 측정하였다.

2.2.3. 촉진 황산염침식 시험: ASTM C 1012에 준하여 담수 및 5% 황산나트륨 용액을 제조한 후 시멘트 경화체를 시험 용액에 침지시켜 외관조사, 상대강도 및 팽창 특성을 이용하여 황산염침식에 대한 특성을 평가하였다. 한편, 상대강도와 팽창은 식(3)과 식(4)에 의하여 계산하였다.

$$\text{상대강도} = \frac{f'_s}{f'_w} \quad \text{식(3)}$$

여기서, f'_s, f'_w: 수중양생 및 황산염용액에 침지한 모르타르의 압축강도 (MPa)

$$\text{팽창(\%)} = \frac{l_t - l_0}{l_0} \times 100 \quad \text{식(4)}$$

여기서, l_t: 침지재령에서 모르타르의 길이, l₀: 침지전 모르타르의 길이

2.3. 모르타르의 배합

중질탄산칼슘의 혼합율에 따른 시멘트 경화체의 내구성 성능을 비교·평가하기 위하여 물-결합재비를 35%로 고정시키고, 혼합율을 시멘트 중량에 대하여 0(GCC0), 5(GCC5), 10(GCC10) 및 15% (GCC15)의 4단계로 변화시켜 시멘트 모르타르를 제조하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 중질탄산칼슘을 혼합한 경화체의 염소이온 침투 저항성

중질탄산칼슘을 혼합한 모르타르 경화체의 염소이온 침투저항성을 알아보기 위하여 전위차에 의한 촉진 염

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

Items Types	Total passed charge (Coulomb)		Penetration depth (mm)		Diffusion coefficient (m ² /sec)	
	28days	91days	28days	91days	28days	91days
GCC0	3,985	2,709	17.0	14.7	1.69E-11	1.42E-11
GCC5	4,092	3,020	16.8	15.2	1.66E-11	1.47E-11
GCC10	3,987	2,958	15.5	14.6	1.51E-11	1.41E-11
GCC15	3,790	2,880	14.5	13.6	1.39E-11	1.23E-11

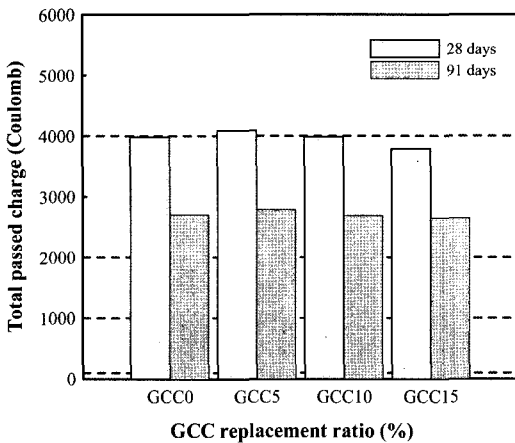


Fig. 2. Total passed charge of mortar specimens.

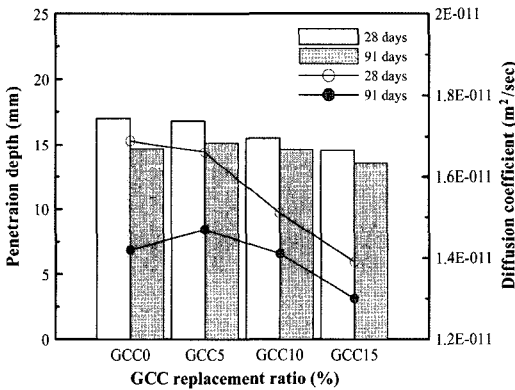


Fig. 3. Penetration depth and diffusion coefficient of mortar specimens.

소이온 침투확산 시험법에 의하여 구한 총 통과전하량과 염소이온 침투깊이를 측정 후 확산계수를 산정한 결과를 Table 4 및 Fig. 2~3에 정리하여 나타내었다.

Table 4 및 Fig. 2에서 알 수 있듯이, 중질탄산칼슘을 혼합한 모르타르 경화체의 경우 재령이 증가할수록 염소이온의 총 통과전하량은 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 중질탄산칼슘의 혼합율에 따른 총 통과전하량은 재령 28일의 경우 중질탄산칼슘의 혼합율이 증가할수록 다소 감소하는 경향이 나타났지만, 재령 91일의 경우는 중질탄산칼슘의 혼입 여부와 관계없이 모든 경화체에서 거의 동일한 결과를 나타내었다.

이런 결과는 문한영⁶⁾, 고경택 등¹⁰⁾의 연구에서도 알 수 있듯이, 중질탄산칼슘은 다른 광물질혼화제와는 상이하게 시멘트의 수화생성물과 반응을 일으키지 않는다.

Table 5. Chloride ions penetrability according to total passed charge (KS F 2711, ASTM C 1202)

Total passed charge (coulomb)	Chloride ions permeability
>4000	High
2000~4000	Moderate
1000~2000	Low
100~1000	Very low
<100	Negligible

따라서 재령 28일의 초기 재령에서는 충전효과(micro-filler effect)에 의하여 중질탄산칼슘을 혼합한 모르타르의 염소이온 침투저항성이 다소 향상되었으나, 재령 91일에서는 28일의 경우와는 상이하게 중질탄산칼슘을 혼합한 모르타르의 경우는 시멘트 양의 감소로 인하여 염소이온 침투저항성이 미미한 증가만을 나타내었다. 또한, Table 5와 같이 염소이온 침투저항성을 총 통과전하량에 대하여 분류하면 모든 모르타르 경화체의 경우 재령에 관계없이 총 통과전하량이 2,000~4,000(Coulomb) 범위에 존재하여 염소이온의 침투저항성이 보통에 해당함을 알 수 있었다.

Fig 3은 중질탄산칼슘을 혼합한 모르타르 경화체의 재령 28 및 91일의 염소이온 침투깊이와 침투깊이에 따른 확산계수를 정리하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 중질탄산칼슘을 혼합한 모르타르 경화체의 재령 28일의 염소이온 침투깊이는 중질탄산칼슘을 혼합하지 않은 GCC0 모르타르에 비하여 다소 작게 나타났다. 그러나 재령 91일의 염소이온 침투깊이는 중질탄산칼슘의 혼합에 관계없이 모든 모르타르 경화체에서 거의 유사한 침투깊이를 나타내었다.

또한, 재령 28 및 91일의 염소이온 침투깊이를 이용하여 산정한 확산계수를 나타낸 결과에서는 중질탄산칼슘을 혼합하지 않은 공시체의 재령 28일의 확산계수는 1.69E-11을 나타냈었지만, 재령 91일의 확산계수는 1.42E-11을 나타내어 확산계수가 다소 감소하는 것으로 나타났다. 이런 이유는 중질탄산칼슘의 충전효과(micro-filler effect)에 의하여 중질탄산칼슘을 혼합한 시멘트 경화체의 공극구조가 중질탄산칼슘을 치환하지 않은 경화체보다 훨씬 치밀해진 탓으로 생각된다.^{1,5)}

3.2. 중질탄산칼슘을 혼합한 경화체의 탄산화 특성

중질탄산칼슘을 혼합한 모르타르 경화체의 탄산화에 대한 특성을 알아보기 위하여 촉진 탄산화 시험을 실시

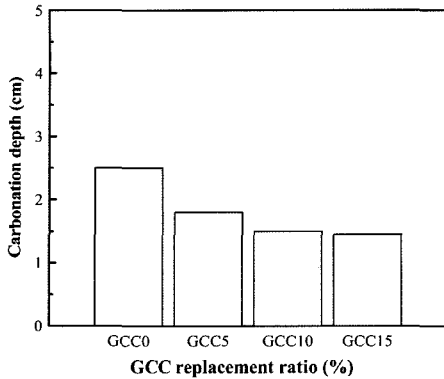


Fig. 4. Carbonation depth of mortar specimens.

한 후 촉진 재령 28일 후 페놀프탈레인 용액을 공시체에 분무하여 탄산화 깊이를 측정된 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 중질탄산칼슘을 혼합하지 않은 GCC0 모르타르의 경우 탄산화 깊이는 2.5cm 정도를 나타낸 반면, 중질탄산칼슘을 혼합한 GCC5, GCC10 및 GCC15 모르타르의 탄산화깊이는 각각 1.80, 1.50 및 1.45cm 정도를 나타내었다. 중질탄산칼슘을 혼합함으로써 GCC0 모르타르에 비하여 탄산화 저항성이 다소 우수하게 나타남을 알 수 있었다. 이는 염소이온 침투저항성 결과와 유사하게 중질탄산칼슘의 충전효과 및 시멘트 양의 감소로 인하여 수산화칼슘 생성이 줄어들어 탄산화저항성이 우수하게 나타나는 것으로 판단된다.

3.3. 중질탄산칼슘을 혼합한 시멘트 경화체의 황산염 침식 저항성

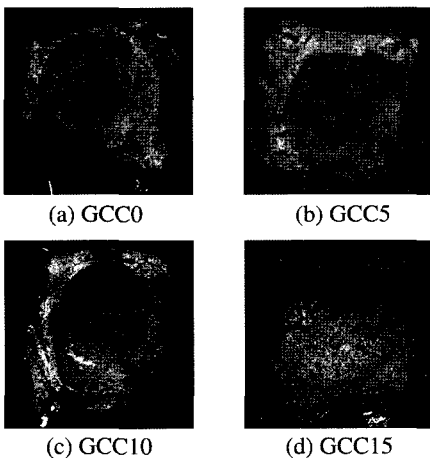


Fig. 5. Visual appearance of mortar specimens.

3.3.1. 외관 평가

황산염 침식을 받은 중질탄산칼슘 혼합 모르타르 경화체의 성능저하를 시각적으로 관찰하기 위하여 중질탄산칼슘 혼합율이 상이한 4종류 모르타르를 황산나트륨 용액에 510일간 침지한 공시체의 외관 상태를 나타낸 것이 Fig. 5(a)~(d)이다. 이들 그림에서 알 수 있듯이 모르타르의 황산염침식에 의한 성능저하 현상은 육안으로도 명확하게 관찰할 수 있었으며, GCC15 모르타르의 성능저하가 가장 작게 나타났다. 반면, GCC0, GCC5 및 GCC10 모르타르는 모서리 및 가장자리 부분에 비교적 많은 모르타르가 탈락하는 큰 성능저하 현상을 관찰할 수 있었다.

3.3.2. 상대강도 및 팽창특성

황산나트륨 용액에 침지한 모르타르의 압축강도를 수중 양생한 모르타르의 압축강도와 비교하여 상대강도로써 나타낸 것이 Fig. 6이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 침지재령 초기에 모르타르의 종류에 관계없이 상대강도가 1.0을 초과하는 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 황산나트륨 침식에 의하여 형성된 반응 생성물이 모르타르의 공극을 메우는 효과로 인하여, 오히려 담수에 침지한 모르타르에 비하여 더 큰 강도발현에 기인한 탓으로 생각되며 기존의 연구결과와도 유사하게 나타났다^{2, 12, 13}. 그러나 침지재령이 증가함에 따라 모르타르의 상대강도는 감소하기 시작하였으며, 침지재령 510일에서 GCC0, GCC5, GCC10 및 GCC15 모르타르의 상대강도는 각각 0.36, 0.47, 0.53 및 0.62의 값을 나타내었다. 또한 Fig. 6의 결과는 침지재령 180일후부터 GCC15 모르타르의 상대강도가 GCC0 모르타르보다

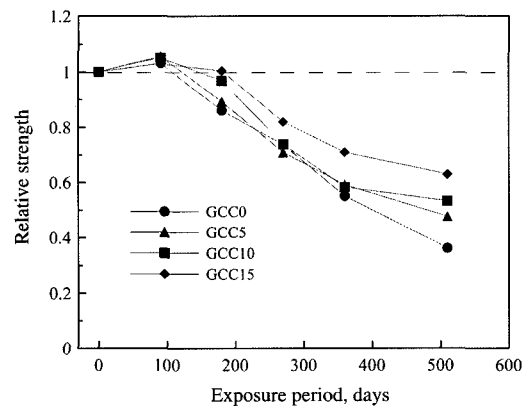


Fig. 6. Relative strength of mortar specimens.

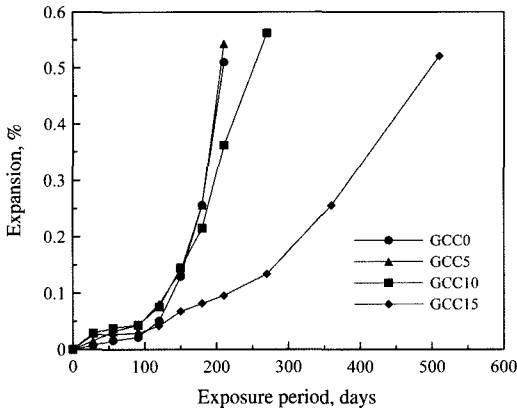


Fig. 7. Expansion of mortar specimens.

15~30% 정도 증진되어 황산나트륨 침식에 대한 저항성이 우수함을 알 수 있었다. 그 이유는 증질탄산칼슘의 시멘트 경화체 중에서 생기는 충전효과로 인하여 SO₄²⁻ 이온이 모르타르의 내부로 침투하기가 어려워진 탓으로 판단된다.

황산나트륨 용액에 침지한 증질탄산칼슘 혼합 모르타르의 재령별 팽창특성을 나타낸 것이 Fig. 7이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 증질탄산칼슘 혼합율에 따라 팽창량이 다르게 나타났으며, 전반적으로 재령이 증가함에 따라 팽창량도 크게 나타남을 확인할 수 있었으며, 또한 증질탄산칼슘의 혼합율에 관계없이 침지재령 약 91일 이후부터 팽창이 급격하게 일어나음을 알 수 있었다.

특히, GCC0 및 GCC5 모르타르의 경우 침지재령 210일에서 Tuthill¹⁴⁾ 및 Cohen and Mather¹⁵⁾가 제안한 시멘트 경화체의 한계 팽창량인 0.4%를 초과하는 0.510% 및 0.543%의 값을 각각 나타내었으며, 그 이후의 재령에서는 모르타르의 과도한 팽창으로 인하여 공시체가 파괴되어 측정이 불가능하였다. 또, 증질탄산칼슘을 시멘트 중량에 대하여 10% 대체한 GCC10 모르타르도 침지재령 270일에서 시멘트 경화체의 한계 팽창량을 초과한 0.562%의 팽창량을 나타냄을 확인할 수 있었다. 반면, GCC15 모르타르의 경우, 침지재령 210일에서 0.1% 미만의 적은 팽창량을 나타내므로써 팽창에 대한 저항성이 비교적 우수하게 나타났다.

4. 결 론

초미립분인 증질탄산칼슘을 콘크리트용 혼화재료로서 활용하기 위한 연구의 일환으로 혼합율을 달리하여 제

조한 모르타르의 염소이온 침투저항성, 탄산화 저항성, 황산염침식 저항성 등 내구 성능을 비교 평가하였다. 그 결과 증질탄산칼슘을 혼합한 시멘트 모르타르의 내구 특성은 혼합율에 관계없이 증질탄산칼슘의 충전효과에 의하여 저항성이 다소 향상되는 것으로 나타났다.

따라서 부존자원의 유효 이용, 자원절약 및 경제성 향상 측면에서 증질탄산칼슘을 콘크리트용 혼화재료로 활용하는 것은 긍정적으로 평가되나, 고강도 및 고내구성을 확보하기 위하여 보다 심도 깊은 추가 연구가 계속 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Nagataki Shigeyosi, *et al.*, 1995: A Study on the characterization of silica fume and the evaluation of properties of concrete containing silica fume, *Proceedings of JSCE*, **28**(520), pp. 87-98.
2. Irassar, F. and Batic, F., 1989: Effect of Low Calcium Fly Ash on Sulfate Resistance of OPC Cement, *Cement and Concrete Research*, **19**(2), pp. 194-202.
3. 平田 隆祥, 竹田 宣典, 十河 茂幸, 1998 : 石灰石微粉末を多量添加したコンクリートの強度と耐久性, *セメント・コンクリート*, **611**, pp. 51-58.
4. Tarun R. Naik *et al.*, 1995: Properties of high performance concrete systems incorporating large amounts of high-lime fly ash, *Construction and Building Materials*, **9**(4), pp. 195-204.
5. Hassan, K. E. *et al.*, 2000: The effect of mineral admixtures on the properties of high-performance concrete, *Cement and Concrete Composites*, **22**, pp. 267-271.
6. 문한영, 정호섭, 최두선, 2001: 증질탄산칼슘 슬러리를 사용한 모르타르의 기초물성, *한양대학교 건설연구소 건설공학논문집*, **7**, pp. 19-26.
7. Ampadu, K. O. *et al.*, 1999: Beneficial effect of fly ash on chloride diffusivity of hardened cement paste, *Cement and Concrete Research*, **29**, pp. 585-590.
8. Haruya Sawara and Tadashi Yamamura, 2000: Concrete properties which contain heavy calcium slurry carbonate crushed by wet process, *Proceedings of the JCI*, **22**(2), pp. 37-42.
9. 青木茂, 十河茂幸, 1995: 石灰石微粉末の多量添加がコンクリートの強度特性に及ぼす影響, *セメント・コンクリート論文集*, **49**, pp. 204-213.
10. 고경택, 유원위, 한상목, 2004: 석회석미분말 혼합 모르타르의 강도발현 및 황산염 침해에 대한 저항성에 관한 연구, *한국콘크리트학회 논문집*, **16**(3), pp. 303-310.
11. Dhir, R. K. *et al.*, 1990: Rapid Estimation of Chloride Diffusion Coefficient in Concrete, *Magazine of Concrete*

Research, **42**(152), pp. 177-185.

12. Brown, P. W., 1981: An Evaluation of Sulfate Resistance of Cements in a Controlled Environment, *Cement and Concrete Research*, **11**, pp. 719-727.

13. Al-Amoudi, O. S. B. *et al.*, 1994: Influence of Chloride Ions on Sulfate Deterioration in Plain and Blended Cements, *Magazine of Concrete Research*, **46**(167), pp. 113-123.

14. Tuthill, L. H., 1966: ASTM Standard Testing Publications, 169-A, pp275.

15. Cohen, M. D. and Mather, B., 1991: Sulfate Attack on Concrete Research Needs. *ACI Materials Journal*, **88**, pp. 62-69.

16. AASHTO Designation T 277-80: Standard Method of Test for Resistance of Concrete to Chloride ions Penetration, AASHTO, Washington D.C.

17. ASTM C 1202, 1997: Standard Method of Test for

Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride ions Penetration, American Society for Testing and Materials, PA.

18. JIS A 6203, 1996: セメント混和用ポリマーチイスパーション及び再乳化形粉末樹脂 8.12 鹽化物いおん浸透深さ.



李 承 泰

- 2003 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 現, 군산대학교 토목공학과 교수



金 鍾 弼

- 2005 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 現, 한양대학교 산업과학연구소 선임연구원



朴 光 弼

- 2003 대진대학교 토목공학과 공학석사
- 現, 대진대학교 토목공학과 박사과정



金 成 秀

- 1994 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 現, 대진대학교 건설시스템공학과 교수