

석회석미분말을 혼입한 모르타르 및 콘크리트의 내해수성 연구

A Study on the Resistance to Seawater Attack of Mortars and Concretes Incorporating Limestone Powder

이 승 태¹⁾*

정 호 섭²⁾

Lee, Seung Tae

Jung, Ho Seop

Abstract

This study aims to evaluate the resistance to seawater attack of mortars and concretes incorporating limestone powder (0, 10, 20 and 30% of cement by mass). In order to achieve this goal, both chemical resistance by seawater and chloride ions penetration resistance of mortars or concretes were regularly monitored. From the test results, it was observed that the durability of cement matrix was greatly dependent on the replacement ratios of limestone powder. In other words, performance of cement matrix with 10% limestone powder was similar to that of OPC matrix. However, it was found that a high replacement ratio of limestone powder was ineffective to resist seawater attack.

Keywords : Limestone powder, Resistance to seawater attack, Mortar, Concrete, Chloride ion penetration

1. 서 론

근래에 들어, 산업구조의 고도화에 따른 건설산업의 혁신적인 진보와 더불어 시멘트의 생산량은 크게 증가하고 있으며, 그 이용기술도 획기적으로 발전해 왔다. 뿐 만 아니라, 항 후 사회기반시설 확충에 따른 초고층빌딩, 대단면 지하심도 구조물, 장대교량, 수중도시 등의 건설 프로젝트가 증가하는 등 시멘트의 수요는 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 이와 같이 시멘트는 그동안 건설산업에 중요한 역할을 수행하였음에도 불구하고 자연 및 지구환경에 대하여 부정적인 재료로써 인식되는 경향이 높아지고 있다. 따라서, 환경문제와 결부하여 플라이애쉬, 고로슬래그미분말, 실리카흙, 메타카올린 등 시멘트 대체재료의 효능성에 대한 관심이 높아지고 있으며, 관련 연구도 많이 수행되고 있다(Wee et al., 2000; Gruber et al., 2001; Mazloom et al., 2004). 그러나, 국내의 경우, 시멘트 대체재료로써 석회석미분말에 대한 연구는 선진외국에 비하여 그 연구실적이 매우 드문 실정이다.

과거의 연구결과에 의하면 석회석미분말은 콘크리트용

재료로써 사용될 경우 화학반응이 거의 발생하지 않는 불활성 충전재료로 알려져 왔다. 그러나, 최근 연구결과에 따르면 시멘트 수화시 석회석미분말은 calcium carboaluminate로 반응하며, 시멘트 클링커 중 C_3S 와도 반응하게 되며, 석회석미분말 중 $CaCO_3$ 는 시멘트 수화물인 실리케이트 수화물의 생성을 촉진하게 되어 생성된 C-S-H의 Ca/Si의 비를 변화시킨다고 보고되고 있으며(Jean et al., 1999), 실제로 석회석미분말을 콘크리트용 재료로 사용할 경우, 플라이애쉬, 실리카흙, 메타카올린 등 광물질 혼화재료(mineral admixtures)와는 다르게 포졸란반응(pozzolanic reaction)을 일으키지 않으며 주로 충전효과(filler effect), 희석효과(dilution effect) 등 물리적 효과에 기인하여 공극구조 및 투수성이 변화된다고 보고되고 있다(Ghrici et al., 2007).

실제로, 유럽의 여러 국가에서는 석회석미분말을 시멘트 중량에 대하여 약 5~35%까지 사용할 수 있게 규정하고 있으며, 미국, 캐나다 등도 시멘트 질량의 약 5% 정도까지는 사용을 허용하고 있다. 그러나, 우리나라의 경우, 석회석미분말에 대한 연구실적 및 시공기술의 부족으로

1) 정회원, 군산대학교 토목공학과 조교수

2) 정회원, (주) 세일론 기술연구소 소장

* Corresponding author : stlee@kunsan.ac.kr 063-469-4877

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2011년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Chemical composition, mineralogical compound and physical properties of OPC and LS

Chemical composition	OPC	LS
SiO ₂ , %	21.7	0.51
Al ₂ O ₃ , %	5.7	0.22
Fe ₂ O ₃ , %	3.2	0.09
CaO, %	63.1	54.4
MgO, %	2.8	0.62
SO ₃ , %	2.2	-
L.O.I, %	1.3	43.44
Mineralogical compound		
C ₃ S, %	54.9	-
C ₂ S, %	16.6	-
C ₃ A, %	10.3	-
C ₄ A _F , %	9.1	-
Physical properties		
Specific gravity	3.15	2.71
Fineness, m ₂ /kg	328	2650

인하여 아직까지 관련 시방서 및 시공지침을 제정하지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 콘크리트용 재료로써 석회석미분말의 효능성을 실험적으로 검토하기 위한 일환으로 수행되었다. 특히, 해양환경하에서 석회석미분말 사용 콘크리트의 내구성을 평가하기 위하여 석회석미분말의 대체율을 4단계(0, 10, 20 및 30%)로 달리한 모르타르 및 콘크리트의 해수침식 저항성 및 염소이온 침투저항성을 실험적으로 고찰하였다. 본 연구에서 도출되는 결과는 향후 석회석미분말 사용 콘크리트의 실용화를 위한 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

실험에 사용된 시멘트는 ASTM C 150의 Type I 시멘트에 준하는 보통포틀랜드시멘트(OPC)이며, 시멘트의 화학성분, 클링커 조성광물 및 물리적 성질은 각각 Table 1과 같다. 또, 사용된 석회석미분말(LS)의 화학성분 및 물리적 특성은 Table 1에 나타내었다. 본 실험에서는 LS의 대체율은 시멘트 중량에 대하여 각각 0, 10, 20 및 30%의 4단계로 나누어 모르타르 및 콘크리트를 제조하였으며, 각각 OPC, LSC-10, LSC-20 및 LSC-30 모르타르(또는 콘크리트)로 명명하였다.

Table 2 Concrete mixtures

Symbols	w/b %	S/a, %	Unit weight, kg/m ³				
			W	C	LS	S	G
OPC	35	42	150	428	-	730	1012
LSC-10	35	42	150	385	43	732	1011
LSC-20	35	42	150	342	86	730	1008
LSC-30	35	42	150	299	128	728	1006

잔골재는 밀도 2.60g/cm³, 흡수율 0.98% 및 조립률 2.80인 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 비중 2.67g/cm³, 흡수율 0.85%, 최대치수 25mm인 부순 굵은골재를 사용하였다. 또, 콘크리트의 적절한 유동성 및 공기량 확보를 위하여 PC계열 고성능감수제(SP제) 및 AE제를 사용하였다.

ASTM D 1141에 준하여 특급 시약을 담수에 용해시켜 인공해수를 제조하였다. 이 때 시멘트 경화체의 해수 침식을 촉진하기 위하여 2배농도의 인공해수를 제조하였다. 또한, 재령이 증가함에 따라 농도가 묽어지는 점을 고려하여 첫 1년간은 매달, 그 이후는 3개월마다 새로운 용액으로 교체하여 사용하였다. 본 실험에 사용된 인공해수는 실험기간동안 20±3°C로 유지시켰다.

2.2 배합

결합재(OPC+LS)와 잔골재의 질량비를 1:2, 물-결합재비(w/b)가 45%인 모르타르를 제조하여 담수에서 1주일동안 표준양생을 실시한 후, 일부 공시체는 인공해수 중에 소정의 기간동안 침지시켰다. 또, XRD 분석을 위한 페이스트 시편도 모르타르 및 콘크리트와 동일한 대체율 및 w/b가 되도록 제조하였다.

한편, 콘크리트의 강도특성 및 염소이온 침투저항성을 평가하기 위하여 w/b 35%, S/a 42%, LS 대체율 0, 10, 20 및 30%인 콘크리트를 제조하였으며, 콘크리트 배합표를 Table 2에 나타내었다.

2.3 실험방법

2.3.1 모르타르의 해수침식 저항성

1) 압축강도 : 50mm 정방형 모르타르 공시체를 제조하여 1주일 동안 표준양성한 후, 담수 및 인공해수에 각각 침지하여 재령별 압축강도를 ASTM C109에 의하여 측정하였으며, 인공해수의 화학적 침식에 의

한 모르타르의 압축강도 손실율(S_{loss} : compressive strength loss)은 다음 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$S_{loss} = \frac{(f_w - f_s)}{f_w} \times 100 (\%) \quad (1)$$

여기서, f_s 는 인공해수에 침지한 모르타르의 압축강도(MPa)이며, f_w 는 담수에 양생한 모르타르의 압축강도(MPa)이다.

2) 팽창 : 2.5×2.5×28.5cm의 모르타르 공시체를 제조하여 1주일 동안 표준양생한 후, 인공해수 중에 침지시켰으며, 모르타르의 재령별 팽창량을 측정하였다.

3) XRD(x-ray diffraction) 분석 : XRD 분석시 골재에 의한 영향을 배제하기 위하여 모르타르와 유사한 배합의 페이스트를 제조하였으며, 인공해수에 540일 동안 침지한 후 생성된 반응물질을 분석하였다. XRD 측정 조건은 CuKα(Ni filter) : 30kV, 20mA, scanning speed : 2°/min, 2θ : 5~30°로 정하였다.

2.3.2 콘크리트의 강도 및 염소이온 침투저항성

1) 압축 및 휨강도 : 콘크리트의 강도발현 특성을 고찰하기 위하여 수중에서 양생한 Ø10×20cm 원주형 공시체 및 10×10×40cm 각주형 공시체를 대상으로 콘크리트의 압축 및 휨강도를 각각 측정하였다.

2) 통과 전하량 : 콘크리트의 통과전하량은 ASTM C 1202에 준하여 두께 50mm의 시험체를 대상으로 하여 측정하였다. 시험체 양단에 60V의 직류전압을 6시간 동안 통전시키면서 시험체에 흐르는 전류를 데이터 로거를 이용하여 30분 간격으로 측정하였으며, 측정된 전류로부터 시간에 대한 전류의 적분 값을 취하여 식 (2)로써 총 통과전하량을 산정하였다.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

여기서, Q = 총 통과전하량(Coulomb), I_x = x분에서의 전류값(A)이다.

3) 염소이온 확산계수 : 콘크리트의 염소이온 확산계수는 전기화학적 촉진실험법 중 Nordtest 방법인 NT BUILD 492법(1999)에 의하여 측정하였다. 콘크리트 시편의 두께는 50mm로 하였으며, 음극셀은 10%의 NaCl 수용액을, 양극셀은 0.3M의 NaOH 수용액을 사용하였다. 확산셀을 구성한 후 power supplier를 이용하여 30V의 전압을 공급하였으며, 저항에 걸리는 전류와 확산셀 내부의 온도를 일정 시간동안 측정하였다. 비정상상태의 염소이온 확산계수는 다음 식 (3)으로 계산하였다.

$$D = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad (3)$$

여기서, $E = \frac{U-2}{L}$,

$$\alpha = 2 \sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \operatorname{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2c_d}{c_0}\right)$$

D : 비정상상태에서 염소이온 확산계수 (m²/s), z : 이온의 원자가(z=1), F : 패러데이 상수, U : 전압차 (V), R : 기체상수, T : 용액의 온도(K), L : 시편의 두께(m), x_d : 염소이온의 침투깊이(m), t : 실험기간 (s), erf : error function, c_d : 비색법에 의한 반응 농도 및 c_0 : 음극셀의 염소이온 농도이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 모르타르의 해수침식 저항성

3.1.1 표면 성능저하

화학적 침식에 의한 시멘트 경화체의 표면 성능저하는 끝단(corner), 모서리(edge), 면(face)의 순으로 발생한다(Wee et al., 2000). 특히, 시멘트 경화체 표면의 투수성, 수화물량 등에 따라 외부 유해이온의 침투속도 및 침식도가 달라지게 된다.

Fig. 1은 인공해수에 720일간 침지한 4종류 모르타르의 표면 성능저하를 비교하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 모르타르의 종류에 관계없이 인공해수 중 유해이온의 침식작용으로 인하여 모르타르의 끝단 및 모서리 부분이 탈락하는 성능저하 현상이 발생하였으며,

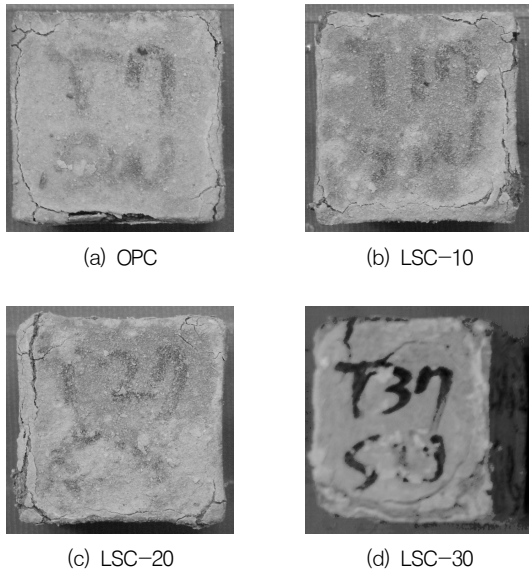


Fig. 1 Surface deterioration of mortar samples exposed to synthetic seawater(720 days)

모서리를 따라 균열이 발생하는 현상을 관찰할 수 있었다. 이러한 경향은 석회석미분말의 대체율이 높은 모르타르에서 더욱 뚜렷이 나타났다. 특히, LSC-30 모르타르의 경우, 인공해수의 화학적 침식으로 인하여 비교적 큰 단면감소 현상이 나타났으며, 모르타르의 면 부분에서도 극심한 성능저하 현상이 관찰되었다.

3.1.2 압축강도 변화

Fig. 2는 담수 및 인공해수에 침지한 4종류 모르타르의 재령별 압축강도를 정리하여 나타낸 것이다. 여기서 침지 재령 0일은 모르타르의 전양생기간(pre-curing period) 7일 후를 의미한다. 이 그림에서 알 수 있듯이 담수에 양생한 모르타르는 재령의 증가와 더불어 압축강도가 증가하는 경향을 나타낸 반면, 인공해수에 침지한 모르타르는 공통적으로 침지재령 180일에서 압축강도가 감소하는 현상을 나타내었다. 이러한 압축강도 감소 경향은 LS의 대체율이 증가함에 따라 더욱 뚜렷하게 나타났다.

LS 대체율별 모르타르의 해수침식에 의한 성능저하 정도를 식 (1)에 따라 침지재령 360일 및 720일에서의 압축강도 손실량으로써 나타낸 것이 Fig. 3이다. LS 대체율이 증가함에 따라 모르타르의 압축강도 손실량은 증가하는 경향을 나타내었다. 특히, LS를 시멘트에 대하여 30% 대체한 LSC-30 모르타르의 압축강도 손실량은 360일 및 720일에서 47.6% 및 70.3%를 나타내므로써, OPC 모르타르의 18.7% 및 42.2%에 비하여 현저하게

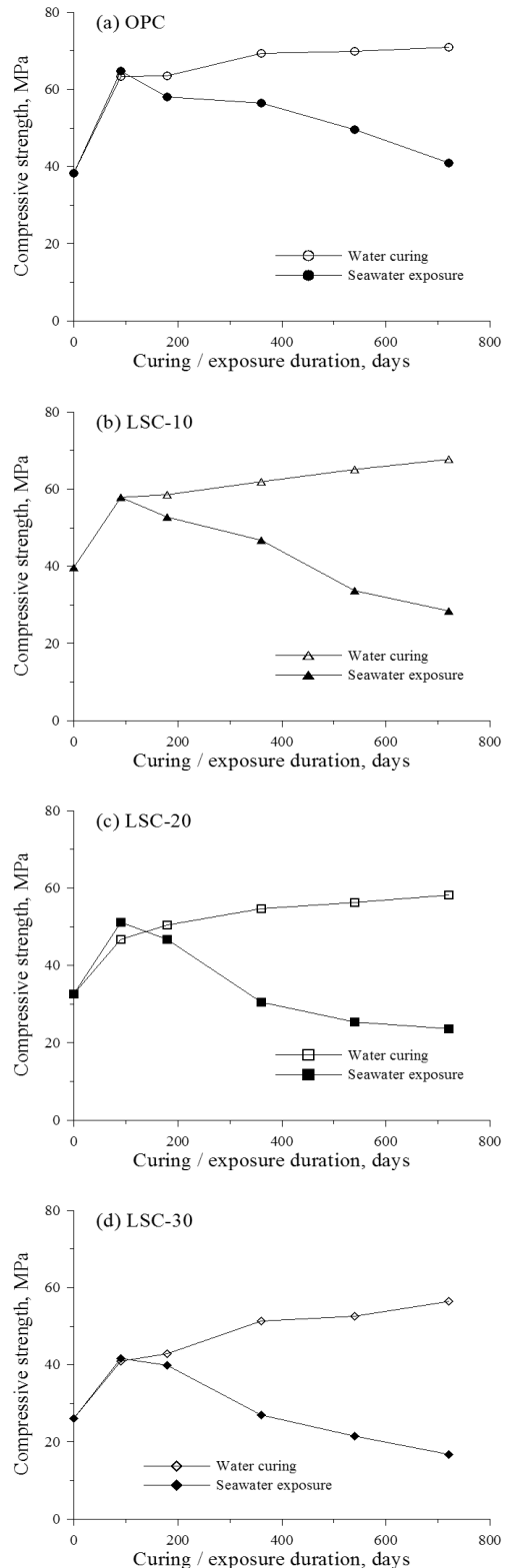


Fig. 2 Compressive strengths of mortar samples with curing of water or exposure of synthetic seawater

높은 값을 나타냄을 알 수 있다. 다시 말해서, LS를 다량으로 사용한 시멘트 모르타르는 해수침식에 대한 화학적

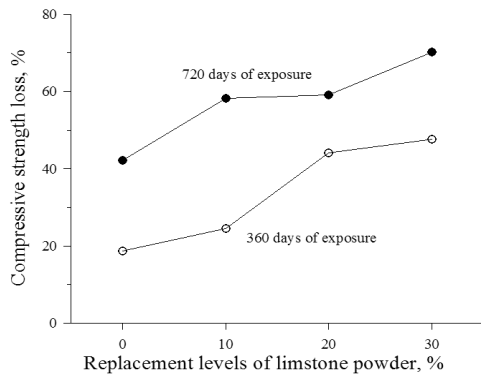


Fig. 3 Compressive strength loss of mortar samples exposed to synthetic seawater

항성이 매우 떨어지는 것을 의미하며, 이와 같은 경향은 Fig. 1에서 제시된 모르타르의 표면 성능저하 결과와 대체적으로 잘 일치하였다.

3.1.3 팽창

Fig. 4는 인공해수에 침지한 모르타르의 재령별 팽창 값을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 침지재령 240일까지 4종류 모르타르의 팽창은 거의 유사하게 나타났으나, 침지재령 360일 이후에서는 LSC-30 모르타르가 나머지 모르타르에 비하여 다소 큰 팽창 값을 나타내기 시작하였다. 특히, 침지재령 720일에서 OPC 모르타르가 약 0.274%의 팽창 값을 나타낸 반면, LSC-30 모르타르는 약 0.725% 정도 팽창하므로써 다량의 석회석 미분말을 사용한 모르타르의 해수침식 대한 저항성은 OPC 모르타르에 비하여 현저하게 떨어지는 것을 확인하였다. 그러나, 석회석 미분말을 10% 대체한 LSC-10 모르타르의 팽창은 오히려 OPC 모르타르 비하여 작은 좋은 경향을 나타내었다. 다시 말해서, 해수침식에 의한 성능저하 측면에서 볼 때, 시멘트 대체재료로써 석회석미분말을 적절하게 사용하므로써 OPC와 유사한 내구성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

그러나, 실험결과로부터 LS 대체율에 관계없이 4종류 모르타르는 해수침식 저항성이 그다지 우수하지 않음을 알 수 있으며, Tsivilis et al., (2003)의 연구결과와 마찬가지로 석회석미분말을 사용한 시멘트 경화체의 화학적 침식 저항성 향상을 위해서는 포졸란 재료 등 적절한 혼화재료를 사용하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

3.1.4 XRD

해수침식에 의한 시멘트 경화체의 화학적 성능저하 메커

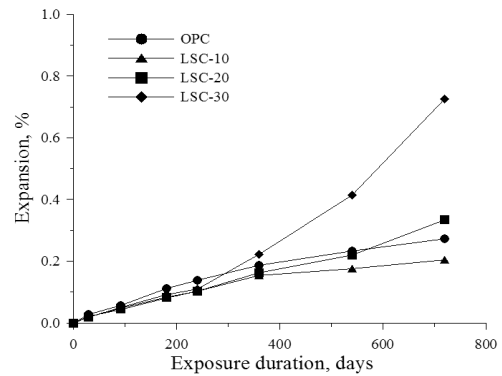


Fig. 4 Expansion of mortar samples exposed to synthetic seawater

니즘을 규명하기 하기 위하여 인공해수에 540일간 침지한 4종류 페이스트 샘플을 대상으로 XRD 분석을 실시하였으며, 그 결과를 나타낸 것이 Fig. 5이다. 분석결과에 의하면, 샘플의 종류에 관계없이 시멘트 수화물인 portlandite 뿐만 아니라 해수침식에 의한 반응생성물인 ettringite, thaumasite, gypsum 등이 생성됨을 알 수 있다 (Conjeaud, 1980). 특히, 해수 중 Cl^- 이온과 시멘트 수화물의 반응으로 인한 Friedel's salt 피크도 검출되었으며, 이 반응물질은 시멘트 경화체의 성능을 저하시키는 물질은 아닌 것으로 보고되고 있다 (Al-Amoudi et al., 1995).

XRD 분석결과에 따르면, LS의 대체율이 증가함에 따라 9.1° 2θ 부근에서 ettringite 및 thaumasite의 중첩 피크의 강도(intensity)도 증가함을 확인할 수 있었다. 또한, 15.8° 2θ에서 ettringite 단독피크 강도가 LS의 대체율에 의존적인 것으로 나타났으며, gypsum의 피크강도도 LS를 30% 대체한 페이스트 샘플에서 가장 두드러지게 나타나는 것으로 관찰되었다.

따라서, 해수의 화학적 침식에 의한 시멘트 경화체의 표면 균열, 강도감소, 팽창 등의 성능저하 현상은 해수 중 유해이온과 시멘트 수화물의 화학반응에 의한 ettringite, thaumasite 및 gypsum의 생성과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되며, LS의 대체율이 클수록 반응생성물의 피크 강도가 크게 검출되는 것으로 나타났다.

뿐만 아니라, LS를 다량으로 포함한 페이스트 샘플은 $CaCO_3$ 의 영향으로 인하여 calcite의 피크 강도(23.0° 및 29.3° 2θ)도 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

3.2 콘크리트의 강도특성 및 염소이온 침투저항성

3.2.1 강도특성

Fig. 6은 석회석미분말을 대체한 콘크리트의 재령별 압

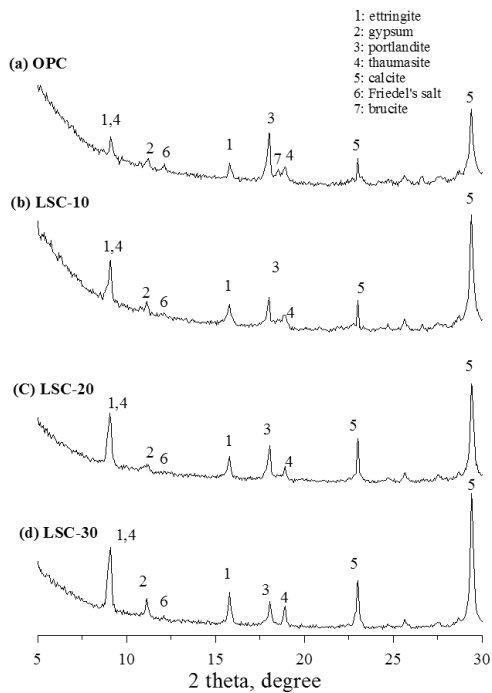


Fig. 5 XRD patterns of paste samples exposed to synthetic seawater for 540 days

축강도 특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 석회석미분말의 대체율이 증가함에 따라 압축강도는 재령에 관계없이 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나, 석회석미분말 대체율 10%까지는 그다지 큰 압축강도 감소가 나타나지 않은 반면, LS의 대체율이 큰 콘크리트 배합은 상대적으로 작은 압축강도 값을 나타내었다. 예를 들어, 재령 91일에서 LS를 시멘트 중량에 대하여 20% 및 30% 대체한 콘크리트의 압축강도는 LS를 사용하지 않은 콘크리트(OPC)의 약 92% 및 82% 정도로 작게 나타남을 확인할 수 있다. 이상의 압축강도 경향은 Ramezaniapour et al.(2009)의 실험결과와도 비교적 잘 일치하였다.

한편, 석회석미분말 대체율에 따른 재령 7일 및 28일에서 콘크리트의 휨강도를 측정하여 나타낸 것이 Fig. 7이다. 콘크리트의 휨강도 측정결과는 압축강도 결과와 매우 유사한 경향으로 나타났으며, 특히, 재령 28일에서 LS를 다량으로 사용한 콘크리트(LSC-30)의 휨강도가 OPC에 비하여 다소 작게 나타남을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 LS를 사용한 콘크리트의 압축 및 휨강도는 LS의 대체율에 따라 다르게 나타남을 확인하였다. 적절한 대체율의 LS를 사용하므로써 콘크리트 중 시멘트-LS 시스템에서 C₃A, C₃S 등의 수화반응을 촉진시키며, LS의 반응도 촉진되어 강도증진에 유발하는 결과

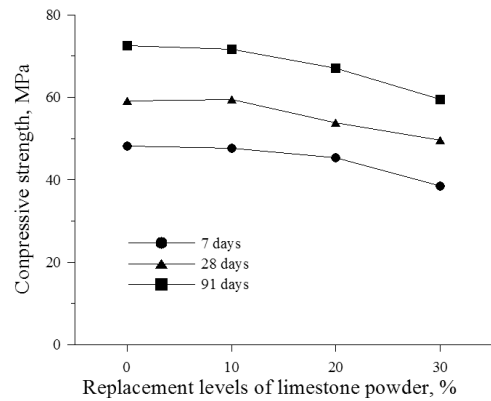


Fig. 6 Compressive strength of concrete incorporating limestone powder

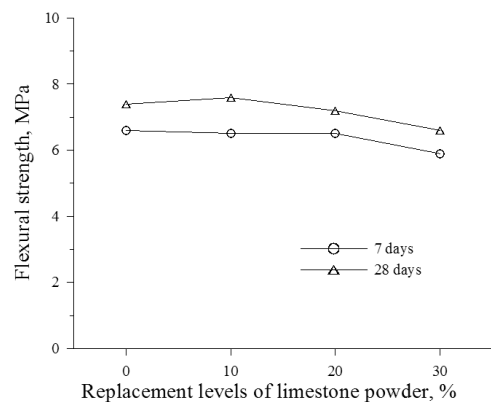


Fig. 7 Flexural strength of concrete incorporating limestone powder

를 가져오게 한다. 그러나, 지나치게 다량의 LS를 사용한 콘크리트는 LS와 bulk 페이스트의 ITZ를 많이 생성하게 되어 오히려 강도증진에 좋지 않은 영향을 미치기도 한다 (Kakali et al., 2000; Bonavetti et al., 2001).

3.2.2 총통과 전하량

Fig. 8은 ASTM C 1202 실험법에 준하여 측정된 콘크리트의 총통과전하량을 나타낸 것으로써, 재령 및 콘크리트 배합에 따라 다소 상이한 결과가 나타났다. 특히, LS의 대체율이 높은 콘크리트는 초기재령에서 OPC에 비하여 상대적으로 높은 총통과전하량 값을 나타내었다. 예를 들어, LSC-30 콘크리트의 경우, 재령 7일에서 총통과전하량이 약 4498 coulomb으로써 OPC의 약 143%인 반면 재령 28일 및 91일에서는 각각 약 2011 및 1172 coulomb으로써 동일재령 OPC 콘크리트의 약 112% 및 97% 정도으로써 나타났다. 이러한 경향은 LSC-20 콘크리트에서도 거의 유사하게 관찰되었다. 반면, LSC-10 콘크리트는 재령에 관계없이 OPC와 유사한 경향을 나타

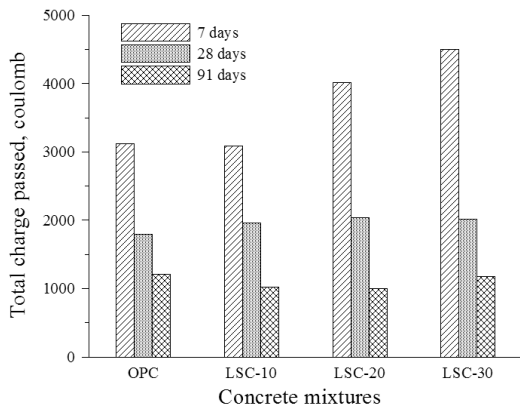


Fig. 8 RCPT results of concrete

내므로써, LS의 낮은 대체율(약 10%까지)은 콘크리트의 투수성에 그다지 큰 영향을 미치지 않음을 확인하였으며, 이와 같은 결과는 Tsivilllis et al. (2003)의 연구내용과도 매우 유사하게 나타났다.

3.2.3 염소이온 확산계수

NT BUILD 492법(1999)에 의한 콘크리트의 염소이온 확산계수를 재령 7, 28 및 91일에서 측정하여 나타낸 것이 Fig. 9이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 재령 7일에서 OPC 콘크리트의 염소이온 확산계수가 $16.4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 로 나타난 반면, LS의 대체율이 10%에서 30%로 증가함에 따라 콘크리트의 염소이온 확산계수는 OPC대비 약 2.2배~3.3배의 높은 확산특성을 나타내었다. 그러나, 재령의 증가와 더불어 LS를 대체한 콘크리트의 염소이온 확산계수는 감소하기 시작하였으며, LS를 10% 대체한 콘크리트와 OPC 콘크리트와의 확산계수 차이가 그다지 크게 나타나지 않았다. 예를 들어 비교하면, 재령 91일에서 LSC-30 콘크리트의 염소이온 확산계수는 $9.6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 로써 OPC 콘크리트의 약 $4.3 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 보다 비교적 큰 확산계수 값을 나타낸 반면, LSC-10 콘크리트의 확산계수는 약 $5.7 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 로써 OPC와 대체적으로 유사한 값을 나타내었다.

콘크리트의 염소이온 확산계수 경향은 Fig. 8에 제시된 콘크리트이 총통과전하량 경향과는 다소 다르게 나타남을 알 수 있다.

한편, 콘크리트의 압축강도 및 휨강도와 염소이온 확산계수와의 관계를 도시한 것이 각각 Fig. 10 및 11이다. 본 연구범위에서 강도특성과 확산계수와의 상관관계는 다음 식 (4) 및 (5)와 같이 지수함수의 관계를 나타내는 것으로 조사되었다. 특히, 콘크리트의 염소이온 확산계수

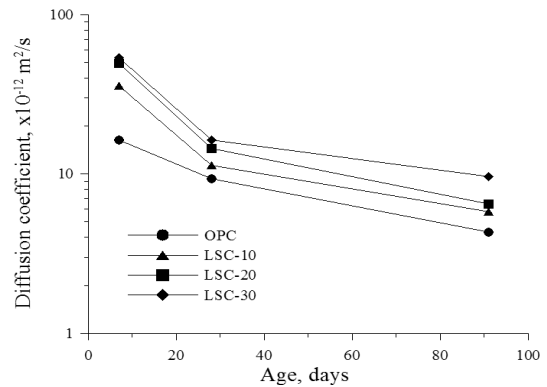


Fig. 9 Diffusion coefficient of concrete with ages

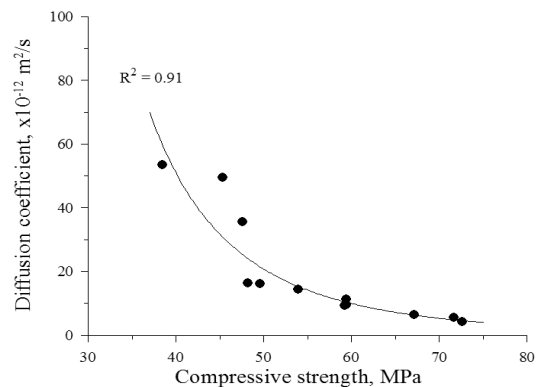


Fig. 10 Relationship between compressive strength and diffusion coefficient

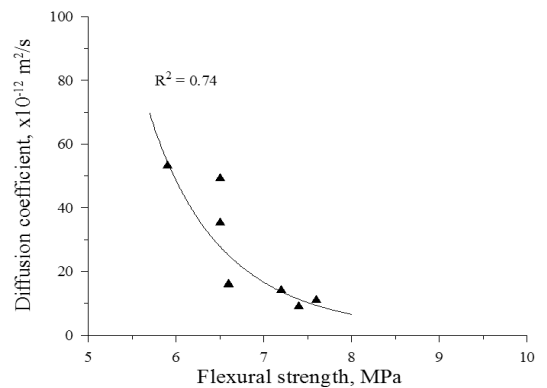


Fig. 11 Relationship between flexural strength and diffusion coefficient

는 콘크리트의 휨강도보다 압축강도와 다소 연관성이 높은 것으로 나타났다.

$$\ln(D) = -4.03 \times \ln(f_c) + 18.80 \quad (4)$$

$$\ln(D) = -6.96 \times \ln(f_f) + 16.36 \quad (5)$$

여기서, D =염소이온 확산계수($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$), f_c =콘크리트의 압축강도(MPa), f_f =콘크리트의 휨강도(MPa)이다.

4. 결론

본 연구는 석회석미분말을 사용한 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 해수에 대한 화학적 침식 저항성, 염소이온 침투 저항성 등 내해수성을 평가한 것이다. 실험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 인공해수 중에 침지한 모르타르의 균열, 단면감소 등 표면 성능저하 현상은 석회석미분말의 대체율에 따라 다르게 나타났다. 또, 모르타르의 압축강도 감소 및 팽창을 측정된 결과, 석회석미분말을 10% 대체한 모르타르는 OPC 모르타르와 유사한 성능을 나타낸 반면 30% 대체한 모르타르는 화학적 침식에 의한 성능저하가 매우 크게 나타남을 확인하였다.
- 2) XRD 분석결과에 따르면, 해수침식에 대한 시멘트 경화체의 표면 균열, 강도감소, 팽창 등의 성능저하 현상은 ettringite, thaumasite 및 gypsum 등 유해 물질의 생성과 밀접한 관련이 있으며, 유해 반응생성물의 피크강도는 석회석미분말의 대체율이 증가할수록 크게 나타났다.
- 3) 석회석미분말을 사용한 콘크리트의 압축 및 휨강도 측정 결과, 석회석미분말을 10% 대체한 콘크리트는 OPC와 유사한 강도특성을 나타낸 반면, 30% 대체한 콘크리트는 석회석미분말과 페이스트의 ITZ가 다량으로 생성된 탓으로 인하여 오히려 강도발현이 좋지 않은 결과를 나타내었다.
- 4) 콘크리트의 염소이온 침투저항성에 대한 석회석미분말의 효과는 초기재령에서 부(-)효과를 나타내었으며, 재령의 증가와 더불어 염소이온 침투저항성이 점차적으로 개선되는 현상을 나타내었다. 또, 콘크리트의 염소이온 확산계수는 콘크리트의 강도와 지수함수의 관계를 나타내었으며, 휨강도보다는 압축강도와의 연관성이 좋은 경향을 보였다.
- 5) 종합적으로, 석회석미분말을 사용한 시멘트 경화체의 내해수성은 석회석미분말의 대체율에 의존적임을 알 수 있으며, 본 실험으로부터 약 10%정도의 대체율은 OPC와 비교하여 유사한 강도 및 내해수성을 나타내는 것으로 조사되었다.

감사의 글

이 논문은 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 기초연구사업의 연구비를 지원을 받아 연구되었습니다(313-2007-2-D00794). 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Al-Amoudi, O. S. B., Maslehuddin, M., Abdul-Al, Y. A. B., "Role of Chloride Ions on Expansion and Strength Reduction in Plain and Blended Cement in Sulfate Environments", Construction and Building Materials, Vol. 9, No. 1, 1995, pp.25-33.
2. Bonavetti, V. L., Rahhal, V. F., and Irassar, E. F., "Studies on the Carboaluminate Formation in Limestone Filler Blended Cements", Cement and Concrete Research, Vol. 33, No. 6, 2001, pp.853-859.
3. Conjeaud, M. L., "Mechanism of Seawater Attack on Cement Mortar", America Concrete Institute, ACI SP-65-3, 1980, pp.39-61.
4. Ghrici, M., Kenai, S., and Said-Mansour, M., "Mechanical Properties and Durability of Mortar and Concrete Containing Natural Pozzolana and Limestone Blended Cements", Cement and Concrete Composites, Vol. 29, No. 7, 2007, pp.542-549.
5. Gruber, K. A., Ramlochan, T., Boddy, A., Hooton, R. D., and Thomas, M. D. A., "Increasing Concrete Durability with High-Reactivity Metakaolin", Cement and Concrete Composites, Vol. 23, No. 6, 2001, pp.479-484.
6. Jean P., Sophie, H., and Bernard G., "Influence of Finely Ground Limestone on Cement Hydration", Cement and Concrete Composites, Vol. 21, No. 2, 1999, pp.99-105.
7. Kakali, G., Tsivilis, S., Aggeli, E., and Bati, M., "Hydration Products of C₃A, C₃S and Portland Cement in the Presence of CaCO₃", Cement and Concrete Research, Vol. 30, No. 7, 2000, pp.1073-1077.
8. Mazloom, M., Ramezani-pour, A. A., and Brooks, J. J., "Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete", Cement and Concrete Composites, Vol. 26, No. 4, 2004, pp.347-357.
9. NT BUILD 492, "Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments", Finland, Nordtest. 1999.
10. Ramezani-pour, A. A., Ghiavand, E., Nichseresht, I., Mahdikhani, M., and Moodi, F., "Influence of Various Amounts of Limestone Powder on Performance of Portland Limestone Cement Concretes", Cement and Concrete Composites, Vol. 31, No. 10, 2009, pp.715-720.
11. Tsivilis, S., Kakali, G., Skaropoulou, A., Sharp, J. H., Swamy, R. N., "Use of Mineral Admixtures to Prevent Thaumasite Formation in Limestone Cement Mortar", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 8, 2003,

pp.969-976.

12. Tsivilis, S., Tsantilas, J., Kakali, G., Chaniotakis, E., and Sakellariou, A., "The Permeability of Portland Limestone Cement Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 33, No. 9, 2003, pp.1465-1471.

13. Wee, T. H., Suryavanshi, A. K., Wong, S. F., and Anisur Rahman, A. K. M., "Sulfate Resistance of Concrete Containing Mineral Admixtures," ACI Materials Journal, Vol. 97, No. 5, 2000, pp.536-549.

(접수일자 : 2010년 8월 2일)
(심사완료일자 : 2010년 9월 28일)

요 지

본 연구는 석회석미분말을 4단계(0, 10, 20 및 30%)로 대체한 모르타르 및 콘크리트의 내해수성을 평가하기 위하여 수행되었다. 내해수성 평가를 위하여 모르타르의 해수침식 저항성 및 콘크리트의 염소이온 침투저항성 실험을 각각 실시하였다. 실험결과에 의하면, 시멘트 경화체의 내해수성은 석회석미분말의 대체율에 의존적으로 나타났다. 다시 말해서, 석회석미분말을 10% 대체한 모르타르 및 콘크리트는 대체적으로 OPC와 유사한 내해수성을 나타낸 반면, 석회석미분말의 대체율이 큰 모르타르 및 콘크리트의 내해수성은 OPC와 비교하여 현저하게 떨어지는 것으로 조사되었다.

핵심 용어 : 석회석미분말, 내해수성, 모르타르, 콘크리트, 염소이온 침투저항성
