

석회석미분말 혼입 모르타르의 강도발현 및 황산염 침해에 대한 저항성에 관한 연구

고경택^{1)*} · 유원위²⁾ · 한상묵³⁾

¹⁾ 한국건설기술연구원 ²⁾ (주)R.T.Korea ³⁾ 금오공과대학교

(2003년 1월 23일 원고접수, 2004년 5월 21일 심사완료)

A Study on Strength Development and Resistance to Sulfate Attack of Mortar Incorporating Limestone Powder

Kyung-Taek Koh^{1)*}, Won-Wi Yoo²⁾, and Sang-Mook Han²⁾

¹⁾ Korea Institute of Construction Technology, Goyang, 411-712, Korea

²⁾ Div. of R&D, R.T.Korea, Seoul, Korea

³⁾ Dept. of Civil Engineering, Kumoh National University of Technology, Gumi, 730-701, Korea

(Received January 23, 2003, Accepted May 21, 2004)

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of using method and replacement ratio of limestone powder and water-cement ratio on the compressive strength and the resistance to sulfate attack of mortar incorporating limestone powder as fundamental study to use limestone powder as an addition for concrete. As a results, The method using limestone powder as a part of cement showed decrease of the compressive strength of mortar. The strength of mortar incorporating limestone powder almost decided upon unit cement content. It was recognized that the method replacing limestone powder as a part of cement was effective to decrease the heat of hydration in concrete. The method using limestone powder as a part of fine aggregate showed the considerable increase of the strength and resistance to sulfate attack of concrete. Furthermore, it was recognized that the method using limestone powder as a part of fine aggregate were effective materials as an addition for concrete in view of the improvement of strength and resistance to sulfate attack.

Keywords : limestone powder, compressive strength, resistance to sulfate attack, mortar

1. 서 론

석회석미분말은 국내 각지에 풍부하게 존재하는 석회석을 비교적 용이하게 분쇄함으로써 얻을 수 있으므로 비교적 입수가 쉬운 건설재료라고 할 수 있다. 국내에서 석회석미분말은 시멘트페이스트 중에서 거의 화학반응이 발생하지 않아 강도발현에 기여하지 않으므로 지금까지는 적극적으로 이용되지 않았다. 그러나 석회석미분말을 콘크리트에 혼입한 경우, 레올로지 특성이 개선될 뿐만 아니라 블리딩의 저감, 수화열 억제, 초기강도의 증가 및 저온에서 강도발현이 우수한 것으로 보고되고 있다^{1,4,8)}. 특히 일본에서는 세계에서 최대의 사장교인 明石海峡대교의 앵커에 적용된 이래로 LNG 탱크 저장시설 등에 자기충전형 고유동콘크리트와 매스콘크리트에 석회석미분말을 사용하는 사례가 증가하는 추세에 있다^{5,6)}. 이상과 같이 석회석미

분말은 우수한 특성을 가지고 있으므로 국내에서도 콘크리트의 혼화재료로서 사용이 기대되나, 석회석미분말 첨가가 콘크리트에 미치는 영향에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다¹¹⁻¹³⁾.

따라서 본 연구에서는 국내에서 생산되는 석회석미분말을 콘크리트의 혼화재료로서 사용하기 위한 기초 연구로의 일환으로 석회석미분말의 첨가방법, 첨가율 및 물-분체비 등이 강도발현 및 황산염 침해에 대한 저항성에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 실험개요

2.1.1 사용재료

Table 1에 본 실험에 사용한 시멘트의 특성을 나타내었으며, 보통포틀랜드 시멘트인 I종 시멘트와 내황산염 시멘트인 V종 시멘트 2종류를 사용하였다. Table 2에 석회석

* Corresponding author

Tel : 031-910-0537 Fax : 031-910-0715

E-mail : ktgo@kict.re.kr

미분말의 특성을 나타내었으며, 석회석미분말은 분말도 6,325cm²/g인 국내산을 사용하였다. 그리고 잔골재는 낙동강에서 채취한 강모래를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같다. 모르타르의 유동성을 조절하기 위해 폴리카폰산계 고성능감수제를 사용하였다.

2.1.2 배합

본 연구는 석회석미분말을 사용한 콘크리트의 강도발현 및 황산염 침투에 대한 저항성을 검토하기 위한 것이지만, 콘크리트 대신 모르타르 대상으로 배합을 설정한 이유는 양질의 골재를 사용한 경우에는 콘크리트와 모르타르 모두 골재가 강도발현에 미치는 영향은 크지 않고, 콘크리트의 강도를 포함한 품질에 지배적인 영향을 끼치는 것은 시멘트 결합체로 판단되어 기초연구로서 모르타르를 대상으로 하였다.

석회석미분말의 첨가방법은 물-분체비를 일정하게 하여 석회석미분말을 시멘트에 대해 치환하는 방법(이하 시멘트 치환)과 물-시멘트비를 일정하게 하여 석회석미분말을 잔골재에 대해 치환하는 방법(이하 잔골재 치환) 2 가지로 모르타르를 제조하였다. 모르타르의 배합은 Table 4에 시멘트 치환인 경우, Table 5에 잔골재 치환인 경우를 나타내었으며, 모두 시멘트 질량에 대한 상대비로 나타내었다. 이 배합은 단위수량이 175kg/m³을 가진 콘크리트의 배합 조건으로부터 굵은골재를 제외시켜 결정된 것이다.

Table 1 Properties of cement

Item	Unit	Type I	Type V		
MgO	%	2.38	2.8		
SO ₃		2.3	1.9		
Loss on ignition		1.4	1.3		
Insoluble residue		0.29	0.28		
C ₃ A		-	2.7		
Fineness(blaine)	cm ² /g	3,333	3,290		
Time of setting initial	min	250	255		
Time of setting final		400	430		
Compressive strength	MPa				
7days				30	24
28days				39	37

Table 2 Properties of limestone powder

Item Type	Surface area (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Ig. loss (%)	Chemical composition (%)		
				MgO	CaO	SiO ₂
LS	6,325	2.70	43.34	0.79	54.07	0.82

Table 3 Properties of fine aggregate

Item Type	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M	Unit weight (kg/m ³)
Sand	2.60	1.27	2.64	1.537

시멘트 치환인 경우, 시멘트에 대해 질량으로 석회석미분말을 0, 5, 10, 15, 20, 30%로 치환하였으며, 잔골재 치환인 경우, 잔골재에 대해 중량으로 석회석미분말을 0, 10, 20, 30%로 치환하였다. 그리고 황산염 침해 시험은 강도 증진 효과가 있는 잔골재 치환한 경우에 대해서만 실시하였으며, 비교를 위해 내황산염 시멘트를 사용한 물-시멘트비 40%인 모르타르에 대해서도 황산염 침해 시험을 실시하였다.

2.1.3 실험방법

모르타르의 믹싱은 3리터 용량의 모르타르 믹서를 사용하여 실시하였다. 먼저, 시멘트, 배합수 및 석회석미분말을 믹서에 넣고 제1속으로 30초 동안 혼합한 다음, 모래를 넣고 다시 제2속으로 30초 동안 혼합하였다. 그 사이의

Table 4 Mortar mix of cement replacement

W/B (%)	W/C (%)	Replacement (%)	Mass ratio				SP (B×wt %)
			W	B		S	
				C	LS		
30	30	0	0.30	1	0	1.16	1.10
	32	5	0.32		0.05	1.22	1.08
	33	10	0.33		0.11	1.28	1.08
	35	15	0.35		0.18	1.36	1.05
	37	20	0.37		0.25	1.41	1.02
	43	30	0.43		0.43	1.62	1.02
40	40	0	0.40	1	0	1.66	1.02
	42	5	0.42		0.05	1.78	0.95
	44	10	0.44		0.11	1.84	0.91
	47	15	0.47		0.18	1.95	0.87
	50	20	0.50		0.25	2.06	0.85
	57	30	0.57		0.43	2.33	0.83
50	50	0	0.50	1	0	2.17	0.83
	53	5	0.53		0.05	2.28	0.80
	56	10	0.56		0.11	2.40	0.73
	59	15	0.59		0.18	2.54	0.70
	63	20	0.63		0.25	2.68	0.67
	71	30	0.71		0.43	3.05	0.62

Table 5 Mortar mix of fine aggregate replacement

W/C (%)	Replacement (%)	Mass ratio				SP (B×wt %)
		W	C	LS	S	
30	0	0.3	1	0	1.16	1.10
	10			0.12	1.05	1.12
	20			0.23	0.93	1.15
	30			0.35	0.81	1.19
40	0	0.4	1	0	1.66	1.02
	10			0.17	1.50	1.05
	20			0.33	1.33	1.10
	30			0.50	1.16	1.13
50	0	0.5	1	0	2.17	0.85
	10			0.22	1.95	0.89
	20			0.43	1.73	0.93
	30			0.65	1.52	0.95

90초 동안에 믹서에 부착한 모르타르를 스크레이퍼를 이용하여 긁어내린 다음 다시 제2속으로 1분 동안 혼합하였다. 모르타르의 유동성은 플로우 시험을 통해 평가하였으며 플로우가 110~115 범위 안에 들도록 고성능감수제를 사용하여 조절하였다. 압축강도용 시편은 KS L 5105에 규정된 모르타르 압축강도용 큐빅몰드(5×5×5 cm)를 이용하여 제작하였고, 양생은 23±2 °C로 유지된 수조에서 수중양생을 실시하였으며, 재령 7, 14, 28, 56일에서 압축강도를 측정하였다. 황산염 침해 시험용 시편은 5×5×5 cm의 몰드(압축강도용)와 4×4×16 cm의 몰드(질량변화용, 길이변화용)를 이용하여 제작하였고, 23±2 °C로 유지된 수조에서 수중양생을 28일간 실시한 다음에 10% 황산나트륨 수용액에 침지시켜 일정기간마다 길이변화, 질량변화 및 압축강도를 측정하였다.

시멘트 치환인 경우, 물-결합재비 40%인 콘크리트에 대해 단열은도상승 실험을 실시하여 석회석미분말을 혼합한 콘크리트의 수화열을 분석하였다. 그리고 잔골재 치환인 경우, 물-시멘트비 40%인 모르타르에 대해 재령 28일에서 수은압입식 포로시메타(porosimeter)를 이용하여 측정을 하였으며, 모세관 공극을 원통형으로 가정하고, 수은의 표면장력을 485 dyne/cm, 접촉각을 130°로 하여 공극분포를 계산하였다. 측정용 시료는 압축강도용 시편으로부터 다이아몬드 절단 등을 사용하여 5 mm 정도의 크기로 절단하였다. 절단한 시료는 1일 동안 아세톤에 넣어 수화를 정지시켜 건조시킨 다음 공극분포 측정에 이용했다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 석회석미분말 사용이 압축강도에 미치는 영향

3.1.1 석회석미분말의 시멘트 치환

Fig. 1에 석회석미분말을 시멘트에 대해 치환한 경우, 석회석미분말의 치환율과 물-분체비가 강도발현에 미치는 영향을 나타내었다. 물-분체비에 상관없이 석회석미분말의 첨가율이 증가할수록 압축강도가 저하되는 것으로 나타났다. 이것은 석회석미분말의 치환율이 증가할수록 시멘트 양이 감소되었고, 석회석미분말은 시멘트 수화반응에 거의 기여 하지 못하므로 압축강도 발현에 영향을 주지 못했기 때문으로 사료된다. Fig. 2는 단위 분체량에서 석회석미분말을 제외시킨 단위시멘트량과 재령 28일에서의 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 단위시멘트량과 압축강도의 관계는 결정계수가 0.95이상으로 매우 양호한 것으로 나타났다. 이것은 석회석미분말을 시멘트에 대해 치환한 경우, 압축강도는 단위시멘트량에 거의 좌우되며, 석회석미분말은 수화반응에 거의 기여하지 못하는 결과라고 사료된다.

이상과 같이 석회석미분말을 시멘트에 대해 치환한 경우, 압축강도가 저하되는 것으로 나타났으나, 이것은 석회

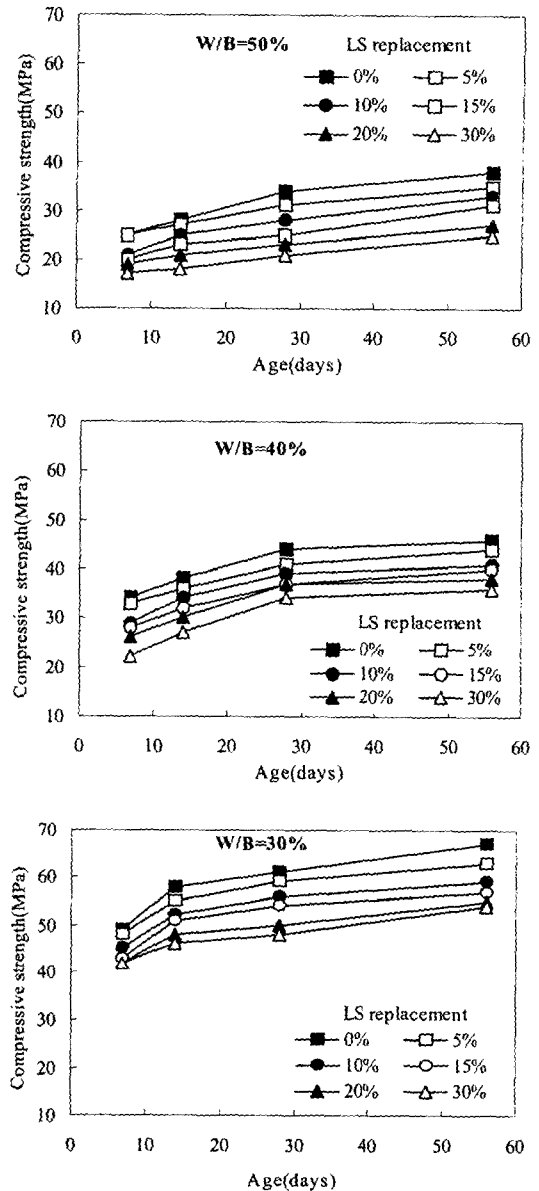


Fig. 1 Results of strength development (replacement of cement)

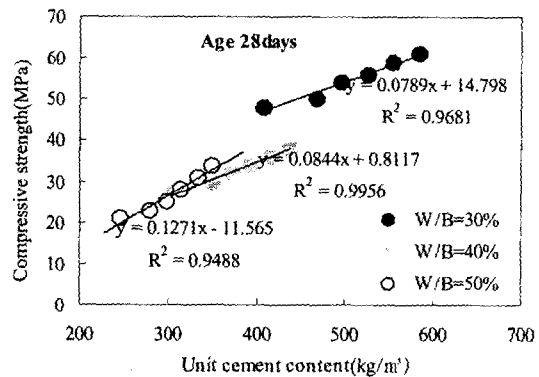


Fig. 2 Relationship between compressive strength and unit cement content

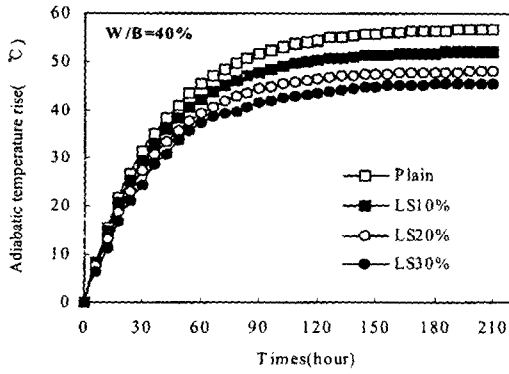


Fig. 3 Results of adiabatic temperature rise

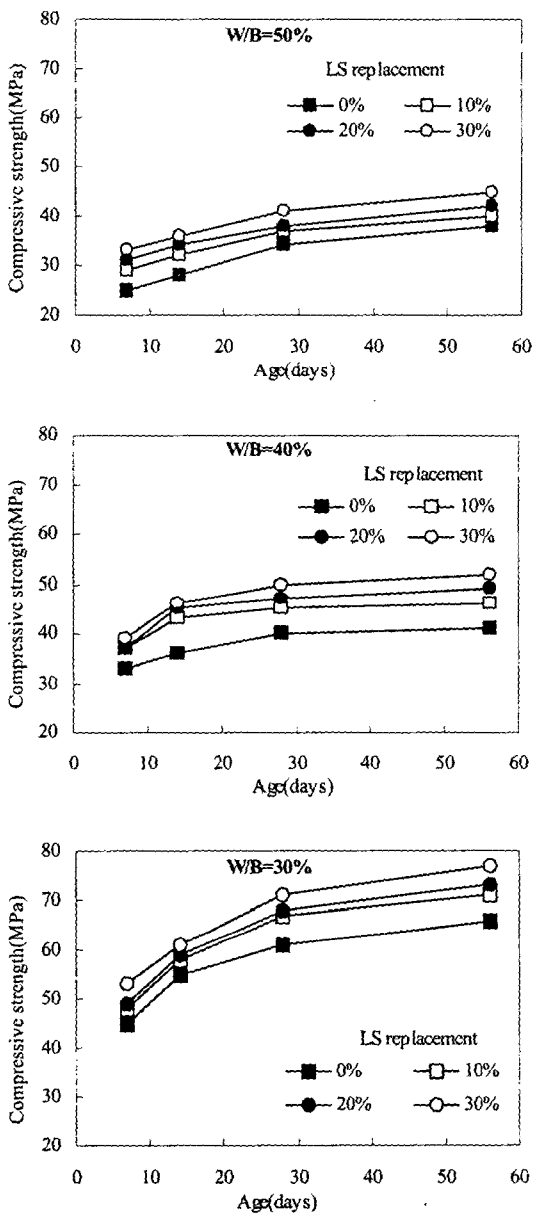


Fig. 4 Results of strength development (replacement of fine aggregate)

석회분말이 첨가되면서 압축강도가 저하되기보다는 단위 시멘트량이 감소된 데서 원인을 찾을 수 있다.

Fig. 3은 물-결합재비 40%인 콘크리트에 대해 단열은 도상승 실험을 실시한 결과이다. 석회석미분말의 치환율이 증가할수록 콘크리트의 단열온도 상승량이 크게 감소함을 알 수 있으며, 이 결과는 기존의 연구결과와 거의 일치하다⁷⁸⁾. 이것은 석회석미분말을 치환한 만큼 시멘트량이 감소하고, 또한 석회석미분말이 수화반응에 기여하지 못하기 때문이다. 따라서 석회석미분말을 시멘트에 대해 치환하여 사용하는 경우, 콘크리트의 수화열 방지에 매우 효과적이므로 매스 콘크리트에 유효하게 사용 가능할 것으로 판단된다.

3.1.2 석회석미분말의 잔골재 치환

Fig. 4는 석회석미분말을 잔골재로 치환한 경우, 석회석미분말의 치환율과 물-분체비가 강도발현에 미치는 영향을 나타내었다. 석회석미분말을 잔골재로 치환하여 사용한 모르타르의 강도는 재령에 상관없이 강도가 향상되는 것으로 나타났으며, 그 효과는 석회석미분말의 치환율이 증가할수록 더욱 커지는 것으로 나타났다. 석회석미분말의 잔골재 치환율 30%인 경우, Plain에 비해 물-분체비 30%에서 17%, 40%에서 24%, 50%에서 23% 정도의 강도가 증진되는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 물-시멘트비 40%의 모르타르에 대해 공극분포를 측정된 결과이다. 그 결과, 석회석미분말의 치환율이 증가할수록 전체 공극량과 0.05 μ m 이상의 공극량이 감소하고, 0.05 μ m 이하의 공극량은 증가하였다.

이처럼 석회석미분말을 사용한 모르타르의 조직이 치밀해지는 것은 석회석미분말을 사용함으로써 공극이 충전되는 필러(filler) 효과에 의한 것¹⁻³⁾이며, 이로 인해 강도가 증진된 것으로 판단된다. 이상과 같이 석회석미분말을 잔골재로 치환할 경우에 석회석미분말의 필러 효과에 의해 시멘트 경화체의 공극 조직이 치밀해짐으로써 강도증진에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다.

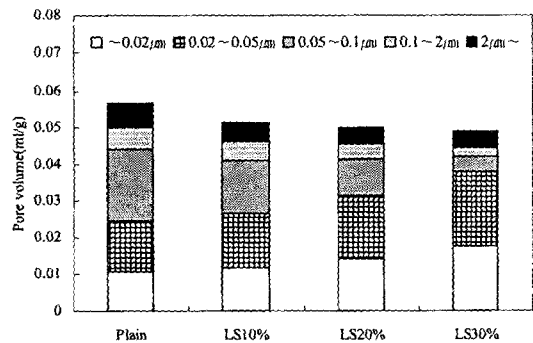
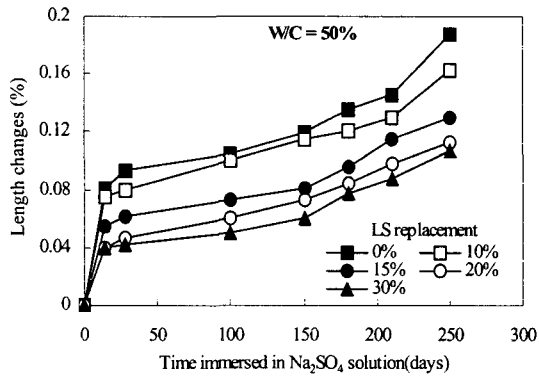


Fig. 5 Results of pore size distribution

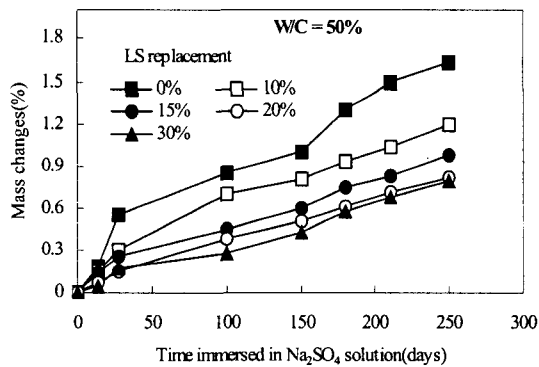
3.2 석회석미분말 사용이 황산염 침해에 대한 저항성에 미치는 영향

3.2.1 석회석미분말의 첨가율에 따른 영향

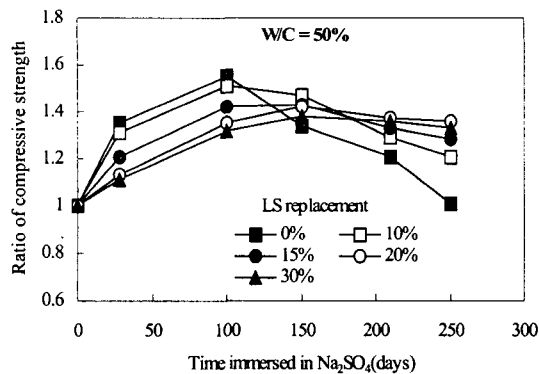
Fig. 6는 석회석미분말 첨가율이 황산염 침해에 대한 저항성에 미치는 영향을 검토하기 위해 물-시멘트비 50%인 모르타르에 대해 황산나트륨 10% 수용액에 침지실험을 실시한 결과이다. 길이변화율의 결과에 의하면, 석회석미분말의 첨가율이 증가할수록 황산염 침해에 대한 저항성이 향상되는 것으로 나타났으며, 특히 석회석미분말 첨



(a) Length changes



(b) Mass changes



(c) Ratio of compressive strength

Fig. 6 Influence of limestone powder replacement on the resistance to sulfate attack

가율 15% 이상부터 황산염 침해에 대한 저항성 향상이 탁월한 것으로 나타났다. 질량변화율의 결과도 길이변화율과 마찬가지로 석회석미분말의 첨가율이 증가할수록 질량변화율이 감소하는 것으로 나타났다.

압축강도비는 황산나트륨 수용액 침지 재령 100일까지는 석회석미분말의 첨가 유무에 상관없이 강도가 증진되고 있으나, 압축강도 증가율은 석회석미분말 첨가율이 높을수록 낮다. 이것은 황산염 침지 초기에는 공시체 내부에 황산나트륨이 침투되어 시멘트 수화물과 반응하여 에트링가이트를 생성하여 모르타르 공시체가 팽창하여 모르타르 조직이 치밀해져 강도가 증진되고, 석회석미분말 첨가율이 높을수록 모르타르 조직이 밀실하여 황산염 수용액이 모르타르 내부에 침투하기 어려워 에트링가이트 생성이 적어 강도 증진이 작게 나타난 것으로 판단된다^{14,15}. 그리고 황산염 침지 재령 100일 이후에는 석회석미분말을 사용하지 않은 Plain 경우에는 강도저하가 현격히 발생한 것으로 나타났으나, 석회석미분말을 첨가한 경우에는 압축강도의 저하정도가 완만히 발생하는 경향이 있으며, 그 경향은 석회석미분말 첨가율이 높을수록 현저하다. 이처럼 석회석미분말을 첨가하지 않은 Plain인 경우, 강도 저하 정도가 큰 것은 팽창성 물질인 에트링가이트가 생성되어 더 이상 모르타르 내부에서 에트링가이트가 생성할 공간이 없어 내부 조직이 파괴되기 때문으로 판단된다.

이상과 같이 석회석미분말을 잔골재로 치환한 경우, 공극 충전 효과로 모르타르 조직이 치밀해져 황산염 침투가 억제되어 황산염 침투에 대한 저항성이 향상되고, 특히 석회석미분말 첨가율 15% 이상부터 황산염 침투에 대한 저항성 향상이 탁월한 것으로 나타났다.

3.2.2 물-시멘트비에 따른 영향

Fig. 7은 물-시멘트비가 황산염 침해에 대한 저항성에 미치는 영향을 검토하기 위해 석회석미분말의 첨가율 0%와 30%인 모르타르 대해 황산염 침해에 대한 저항성 실험을 실시한 결과이다. 길이변화율 시험결과에 의하면, 물-시멘트비에 상관없이 석회석미분말을 30% 첨가한 경우가 석회석미분말을 첨가하지 않은 Plain에 비해 황산염 침해에 따른 팽창 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 그리고 물-시멘트비가 작을수록 즉 강도가 높을수록 황산염 침해에 대한 저항성이 향상되는 것으로 나타났다. 질량변화율 시험결과에 의하면, 석회석미분말의 첨가 유무에 관계없이 물-시멘트비가 클수록 질량변화율도 증가하는 것으로 나타났다. 압축강도비는 물-시멘트비에 관계없이 석회석미분말을 첨가한 모르타르가 석회석미분말을 첨가하지 않은 Plain에 비해 황산염 이온 침투에 따른 압축강도 변화가 완만히 발생하는 경향을 나타내었다. 그리고 석회석미분말을 첨가하지 않은 물-시멘트비 50%인 경우에는 황산염 이온 침지 재령 100일까지는 압축강도가 크게 증가하고,

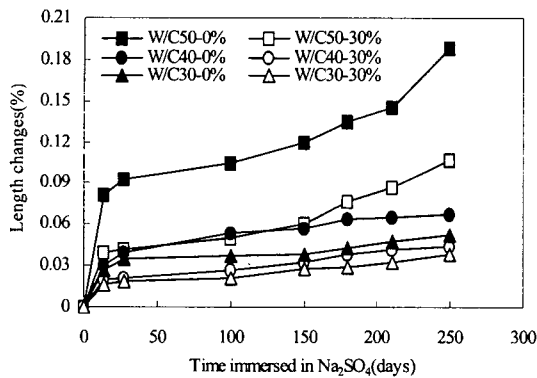
그 이후부터는 다시 압축강도가 크게 저하는 것으로 나타났으나, 물-시멘트비 40%, 30%인 경우에는 침지 재령 200일까지 압축강도가 완만히 증가하여 그 이후에 압축강도가 조금씩 저하되는 것으로 나타났다. 이처럼 물-시멘트비 40%, 30%인 모르타르가 황산염 침해에 대한 저항성이 우수한 것은 고강도에 의해 시멘트 경화체 조직이 밀실하여 황산염 이온의 침투가 어려워 팽창성 에트링가이트 생성을 억제시키기 때문으로 사료된다.

이상과 같이 물-시멘트비가 황산염 침해에 대한 저항성에 미치는 영향을 검토한 결과, 물-시멘트비에 상관없이

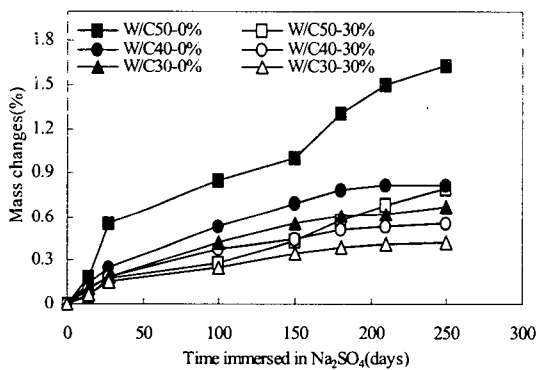
석회석미분말을 첨가함으로써 황산염 침해에 대한 저항성이 향상되고, 또한 물-시멘트비가 작을수록 즉 고강도일수록 황산염 침해에 대한 저항성이 향상되며, 특히 물-시멘트비 40%이하에서 황산염 침해에 대한 저항성 향상이 현저한 것으로 나타났다.

3.2.3 내황산염 시멘트와의 비교

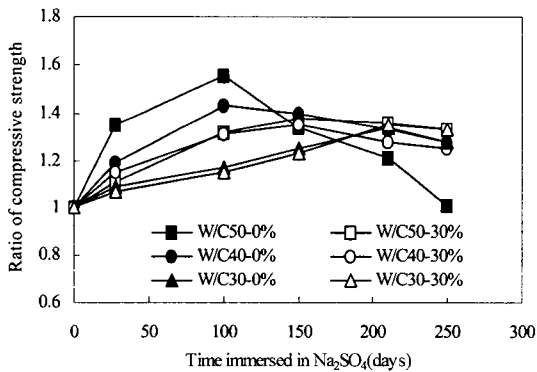
Fig. 8에 황산염 침해에 대한 저항성에 대해 내황산염 시멘트와 석회석미분말을 비교한 결과이다. 길이변화율, 질량변화율 및 압축강도 비에 상관없이 석회석미분말을



(a) Length changes

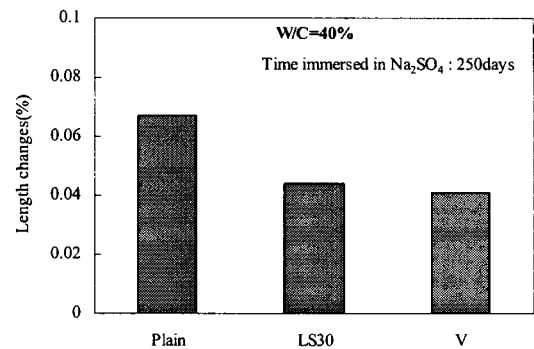


(b) Mass changes

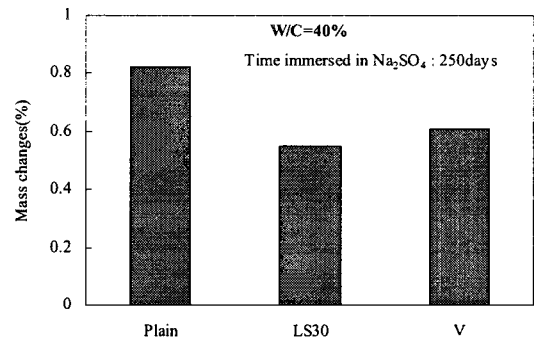


(c) Ratio of compressive strength

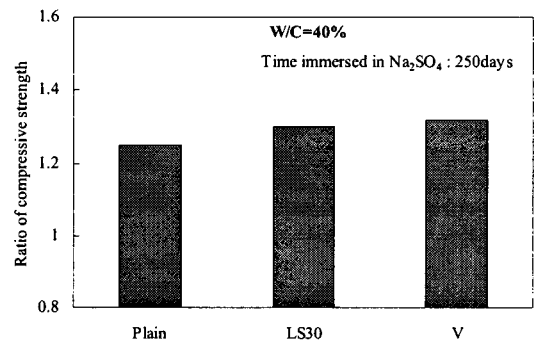
Fig. 7 Influence of water-cement ratio on the resistance to sulfate attack



(a) Length changes



(b) Mass changes



(c) Ratio of compressive strength

Fig. 8 Comparison of the resistance to sulfate attack between limestone powder and type V cement

첨가한 L30과 내황산염 시멘트를 사용한 V는 보통 포틀랜드 시멘트만을 사용한 Plain에 비해 황산염 침해에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났으며, L30과 V는 거의 동등한 황산염 침해에 대한 저항성을 가지는 것으로 나타났다.

이상과 같이 석회석미분말을 잔골재에 대해 치환하여 사용한 경우에는 내황산염 시멘트를 사용한 경우와 유사한 황산염 침투에 대한 저항성을 가지는 나타났으며, 내황산염 시멘트는 염해 저항성이 저하되는 이유 등으로 국내 콘크리트 표준시방서 규정¹⁷⁾에서 제외된 점을 고려한다면 석회석미분말은 기존의 고로슬래그, 플라이애쉬, 실리카폼 등의 팽물질 혼화재와 같이 강도 및 황산염 침해에 대한 저항성 측면에서 콘크리트의 재료로서 유효한 것으로 사료된다.

4. 결 론

국내에서 생산되는 석회석미분말을 콘크리트의 혼화제로서 사용하기 위한 기초연구의 일환으로 석회석미분말의 첨가방법, 첨가율 및 물-분체비 등이 강도발현 및 황산염 침해에 대한 저항성에 미치는 영향에 대해 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 석회석미분말을 시멘트에 대해 치환하여 사용하는 경우, 치환율이 증가할수록 강도는 저하되나, 단위시멘트 량에 의해 강도가 거의 결정된다. 이런 석회석미분말의 시멘트 치환인 경우는 콘크리트의 수화열 방지에 효과적이다.
- 2) 석회석미분말을 잔골재에 대해 치환하여 사용하는 경우, 석회석미분말의 필러 효과에 의해 시멘트 경화체의 공극 조직이 치밀해짐으로써 강도증진에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 3) 석회석미분말을 잔골재에 대해 치환하여 사용하는 경우, 석회석미분말의 첨가량이 증가할수록 공극 충전 효과로 시멘트 경화체 조직이 치밀해져 황산염 침투가 억제됨으로써 황산염에 대한 저항성이 향상되고, 특히 석회석미분말 첨가율 15% 이상부터 황산염 침해에 대한 저항성 향상이 탁월한 것으로 나타났다.
- 4) 석회석미분말을 잔골재에 대해 치환하여 사용하는 경우와 기존에 황산염 침투에 대한 저항성이 우수하다고 알려진 내황산염 시멘트와 비교한 결과, 석회석미분말을 사용하는 경우는 내황산염 시멘트와는 동등한 것으로 나타났다.

이상과 같이 석회석미분말은 사용방법에 따라 콘크리트의 수화열 방지 및 강도 증진에 효과가 있음을 알 수 있으며, 향후 석회석미분말을 콘크리트의 혼화제로 사용하기 위해 다양한 콘크리트의 배합을 통해 시공성, 역학적 성능, 내구성 및 경제성 등에 대해 검토할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 금오공과대학교 자유공모과제 연구비와 한국건설기술연구원의 기본과제(Bridge 200)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 石灰石微粉末研究委員會, “石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に關するシンポジウム”, 日本コンクリート工學協會, 1998, pp.3~130.
2. Soroka, I. and Stern, N., “Calcareous Fillers and Compressive Strength of Portland Cement,” *Cement and Concrete Research*, Vol.6, 1976, pp.367~376.
3. Gutteridge, W. A. and Dalziel, J. A., “Filler Cement : The Effect of the Secondary Component on Hydration of Portland Cement,” *Cement and Concrete Research*, Vol.20, 1990, pp.778~782.
4. 山崎寛司, “鑛物微粉末をコンクリートのウォーカーピリチーにおよぼす効果に關する基礎研究”, 日本土木學會論文集, No.84, 1962, pp.98~120.
5. 青木茂, 十河茂幸, “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*, No.49, 1995, pp.204~130.
6. 糸日谷淑光, 徳永剛平, “明石海峡大橋1Aアンカレイジにける高流動コンクリートの施工と品質管理”, *コンクリート工學*, Vol.33, No.2, 1995, pp.38~46.
7. 小林孝一, 官川豊章, 藤井學, “石灰石微粉末の混和がセメントの初期水和に與える影響”, *セメント・コンクリート論文集*, No.50, 1996, pp.570~575.
8. 岩城一良, 三浦尙, “低溫環境下における石灰石微粉末を添加したコンクリートの強度發現性に關する基礎的研究”, 日本土木學會論文集, No.655/V-48, 2000, pp.83~95.12.
9. 李琮攬, 大場陽子, 板井悦郎, “C₃A-CaO₃-H₂O系の水和反應”, *セメント・コンクリート論文集*, No.51, 1997, pp.38~43.13.
10. 内川活, “セメントペーストと骨材の界面の構造組織がコンクリートの品質に及ぼす影響”, 日本コンクリート工學, Vol.33, No.9, 1995, pp.5~17.
11. 한상묵, 윤원위, 고정택, “석회석미분말을 혼입한 콘크리트의 강도발현”, 대한토목학회 학술발표회, 2002, pp.129~133.
12. 박대균, 오병환, 박재명, 이종화, “석회석미분말을 사용한 3성분계 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성능 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 14권 1호, 2002. 5, pp.569~574.

13. 구봉근 외 5인, "석회석미분말 혼입 콘크리트의 염소 이온 침투 저항 특성", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 14권 2호, 2002. 11, pp.75~80.
14. Piasta, W. G. and Hebda, L., "Sulphate Expansion and Permeability of Concrete with Limestone Aggregate," *Magazine of Concrete Research*, No. 155, 1991, pp.81~85.
15. Sawicz, Z. and Heng, S. S., "Durability of Concrete with Addition of Limestone Powder," *Magazine of Concrete Research*, No.175, 1996. pp.131~137.
16. 고경택, 윤원위, 한상목, "석회석미분말을 혼입한 모르타르의 황산염 침해 저항성", 한국구조물진단학회 가을학술발표회 논문집, 6권 2호, 2002. 11., pp.325~330.
17. 한국콘크리트학회, "콘크리트 표준시방서", 한국콘크리트학회, 1999, 178~179.

요 약

본 연구는 국내에서 생산되는 석회석미분말을 콘크리트의 혼화재료로서 사용하기 위한 기초연구로의 일환으로 석회석미분말의 첨가방법, 첨가율 및 물-분체비 등이 강도발현 및 황산염 침해에 대한 저항성에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과, 석회석미분말을 시멘트에 대해 치환하여 사용하는 경우, 치환율이 증가할수록 강도는 저하되나, 단위시멘트량에 의해 강도가 거의 결정된다. 이런 석회석미분말의 시멘트 치환인 경우는 콘크리트의 수화열이 저감되어 매스 콘크리트에 유효하게 이용 가능할 것으로 판단된다. 그리고 석회석미분말을 잔골재에 대해 치환하여 사용하는 경우, 치환율이 증가할수록 강도와 황산염 침투에 대한 저항성이 증가하며, 이와 같은 석회석미분말을 사용하는 방법은 고강도콘크리트 및 황산염 침투에 대한 저항성이 우수한 콘크리트를 제조하는 데 유효하게 이용 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 석회석미분말, 강도발현, 황산염 침해에 대한 저항성, 모르타르