

高爐슬래그 微粉末을 사용한 라텍스改質 콘크리트의 化學的 浸蝕 및 탄산화 特性[†]

[†]洪昌佑 · 鄭元京* · 沈度植**

忠州大學校 工科大學 土木工學部, *(株)三友IMC 技術研究所, **江原道立大學 建設土木科

Chemical Attack and Carbonation Properties of Latex-Modified Concrete Using Blast-furnace Slag[†]

[†]Chang-Woo Hong, Won-Kyong Jeong* and Do-Sik Sim**

Division of Civil Engineering, Chungju National University

**SAMWOO Innovation Maintenance Construction*

***Department of Civil Engineering, Gangwon Provincial College*

요 약

본 연구에서는 고로슬래그 미분말 혼입률에 따른 라텍스개질 콘크리트의 역학적 특성과 탄산화 특성을 평가하였다. 이를 위해 라텍스 혼입률 변화(0%, 15%)와 고로슬래그 혼입률 변화(0%, 30%, 50%)를 실험변수로 하였으며, LMC와 BS-LMC의 특성분석을 위하여 압축강도, 황산, 염산에 대한 화학저항성 및 탄산가스에 의한 탄산화 촉진 시험을 실시하였다. 실험결과, 고로슬래그 혼입률이 30%일 경우 일반콘크리트와 동일한 강도발현 특성을 나타내었다. 고로슬래그 혼입률 50%의 조건은 탄산화에 의한 구조적 품질 저하가 예상되었으나 혼입률 30%이하에서는 일반콘크리트보다 우수한 탄산화 억제 효과가 있는 것으로 평가되었다. 특히 황산 및 염산용액 침지에 따른 강도저하 문제는 라텍스를 혼입함으로써 저감할 수 있었으며 탄산가스에 의한 중성화 진행도 라텍스를 혼입함으로써 개선되는 것으로 나타났다.

주제어 : 라텍스개질 콘크리트, 고로슬래그 미분말, 탄산화, 화학적 침식

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effects of blast-furnace slag on chemical attack and carbonation of latex-modified concrete (LMC) and ordinary portland cement concrete as slag contents. Main experimental variables were performed latex contents (0%, 15%) and slag contents (0%, 30%, 50%). The compressive strengths, chemical attacks resistance and carbonation depth were measured to analyze the characteristic of the developed LMC and BS-LMC(latex-modified concrete added blast-furnace slag) on hardened concrete. The test results showed that compressive strength of BS-LMC with blast-furnace slag content 30% was quite similar to it of OPC without slag content. The structural quality deterioration was concerned when blast slag content was up to 50%. However, carbonation restraint of BS-LMC with blast-furnace slag 30% was bigger than that of OPC. Also, the effects of added latex on OPC and BS-LMC were increased on the carbonation restraint and chemical attacks resistance.

Key words : latex modified concrete(LMC), blast furnace slag, carbonation, chemical attack

1. 서 론

국내에서는 2003년에 KS F 4009의 레디믹스트 콘

크리트의 한국산업규격을 확정하여 고로슬래그의 레디믹스트 콘크리트 사용을 인정하였다.⁴⁾ 이러한 고로슬래그 미분말의 사용 확대는 산업부산물의 재활용에 따른 환경오염방지와 시멘트 대체 재료로서의 가능성에 따른 경제적 이익 그리고 내구적인 콘크리트 생산에 따른 건

[†] 2008년 3월 19일 접수, 2008년 9월 8일 수리

*E-mail: cwhong@cjnu.ac.kr

설산업의 경쟁력 향상 등에 기인한 것이라 할 수 있다. 그러나 고로슬래그의 사용은 현재까지 그 타당성에 있어 두 가지의 상반된 의견을 가지고 있다. 즉, 콘크리트 혼화재로서 고로슬래그 미분말의 사용은 고로슬래그의 품질상의 문제점, 고로슬래그 미분말 혼입률에 따른 콘크리트 구조물의 품질 영향 그리고 초기강도 저하에 의한 공사기간 연장 등 아직까지 검증하고 해결되어야 할 사항이 많다고 주장하고 있다.⁹⁾ 특히 고로수쇄슬래그의 잠재수경성으로 콘크리트 공극수 중의 알칼리도가 저하되는 탄산화 및 그에 따른 문제점이 가장 크게 지적되고 있다. 또한 일본에서는 피폭두께가 작은 건축구조물에서의 고로슬래그 미분말은 거의 사용되지 않고 있으며¹³⁾ 토목공사에서도 공기 중에 직접 노출되는 구조물의 경우 그 사용을 엄격히 제한하고 있다는 의견을 제시하고 있다.⁹⁾

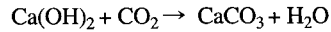
또 다른 의견으로는 오히려 고로슬래그 미분말은 시멘트의 수화과정에서 발생한 알칼리와 반응하여 치밀한 구조의 수화물 경화체를 형성함으로써 콘크리트의 내구성을 대폭 증진시킨다는 연구결과도 제시되고 있다.⁴⁾ 따라서 고로슬래그를 사용한 콘크리트는 치밀한 미세구조가 형성되어 수밀성이 높아지기 때문에 수분 및 화학물질의 이동이나 확산을 억제시킬 수 있어, 내해수성과 염해에 대한 저항성이 높은 것이 요구되는 구조물용 콘크리트에 사용될 수 있다고 한다.^{6,8)} 이처럼 콘크리트에서의 산업부산물인 고로슬래그의 사용은 매우 상반된 의견을 가지고 있으나 고로슬래그의 포졸란 반응에 의해 수산화칼슘이 감소되어 콘크리트의 pH도가 낮아지는 탄산화 문제에 대해서는 의견을 같이하고 있다. 따라서 본 연구에서는 고로슬래그 미분말의 사용에 따른 탄산화 특성을 다양한 방법으로 분석하고 탄산화 촉진을 억제하기 위한 방안으로 콘크리트의 투수저항성 및 염화물에 대한 저항성이 크게 개선되는 것으로 알려진 수용성 폴리머의 일종인 라텍스^{5,10)}를 첨가한 고로슬래그 미분말 라텍스개질 콘크리트(Latex-Modified Concrete using Blast-furnace Slag, 이하 BS-LMC)의 특성에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구의 목적은 고로슬래그 미분말 사용에 따른 탄산화 문제의 해결책을 제시하여 효과적인 산업부산물의 재활용 방안을 모색하고자 한다.

2. 콘크리트의 탄산화 및 화학적 침식

2.1. 중성화에 의한 침식

콘크리트는 경화된 후 표면으로부터 공기중의 이산화탄소(CO₂)가 침투하여 수화반응시 생성된 수산화칼슘

(Ca(OH)₂)이 다음식과 같이 탄산칼슘(CaCO₃)으로 변화하여 알칼리성을 잃게 된다.



이러한 반응은 콘크리트에 수축과 균열을 일으킬 위험성이 있으며 특히 철근콘크리트의 경우 철근 주위를 둘러싸고 있는 콘크리트가 중성화하여 물과 공기가 침투하면, 철근이 산화제1철에서 산화제2철로 되어 붉은 녹이 발생하고 철근에 녹이 발생하면 체적이 팽창하게 되고 이로인해 균열이 발생하며 콘크리트의 피복이 박락하여 파괴되는 등의 구조물의 내력과 내구성을 상실하게 된다. 이러한 탄산화의 속도는 대기의 CO₂농도, 상대습도, 온도, 압력 등과 콘크리트의 함수율, 시멘트 종류, 골재 종류, 혼화재료, 단위시멘트량에 좌우되는 것으로 알려져 있다.¹⁾

2.2. 황산염에 의한 콘크리트의 침식

콘크리트 구조물이 흙이나 물과 접하고 있는 경우 가장 일반적이고 광범위하게 발생하는 콘크리트 구조물의 성능저하 현상은 대부분 황산염 반응(sulfate attack)에 의한 것인데, 이 반응의 결과로 그 구성물보다 더 큰 체적을 가진 고체생성물인 에트링가이트(ettringite)가 생성되어 콘크리트의 마모와 팽창균열 및 조직붕괴를 유발하게 된다. 이러한 황산염을 함유한 지하수나 토양에 콘크리트가 접하여 황산염에 노출되는 경우 반복된 건조과정을 통하여 상당량의 황산염이 콘크리트에 축적되며 축적된 황산염과의 화학반응이 계속하여 일어나게 되어 결국 콘크리트의 성능저하를 가속화하게 된다.³⁾

3. 실험

본 연구에서는 현재 콘크리트 교면포장 재료로 널리 사용되고 있는 라텍스개질 콘크리트에 고로슬래그 미분말을 혼입하여 황산, 염산 및 탄산가스에 의한 탄산화 특성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 LMC의 시방배합¹²⁾을 기준으로 단위시멘트량에 따른 고로슬래그 미분말의 혼입률(0%, 30%, 50%) 변화와 라텍스 혼입률 변화(0, 15%)를 주요 변수로 하여 균지 않은 콘크리트에 대해서는 슬럼프 및 공기량에 대한 실험을 수행하였다. 경화 콘크리트에 대해서는 재령에 따른 압축강도 증진 및 황산, 염산 침지 후 압축강도 변화를 측정하였다. 또한, 황산, 염산 및 탄산가스에 노출된 콘크리트의 시간에 따른 탄산화 진행을 관찰하였다.

3.1. 사용재료 및 배합설계

실험에 사용된 SB 라텍스는 국내 K사의 콘크리트 전용 혼화제이며 라텍스 고형분 48%와 물 52%로 혼합된 Styrene-Butadiene계열의 것을 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 13 mm인 레미콘용 쇄석(비중:2.6)을 이용하였고, 잔골재는 천연 강모래(비중:2.55)를 사용하였다. 본 실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며 고로슬래그 미분말의 주요 특성은 Table 1과 같다. 고로슬래그 미분말 사용에 따른 라텍스개질 콘크리트의 배합은 Table 2와 같으며 현재 사용되고 있는 LMC 시방배합을 기초로 설정하였다. 이때 초기 슬럼프는 17±1cm로 설정하고 동일한 조건의 작업성을 만족하기 위해 예비실험을 통해 설정하였다. 또한, 라텍스개질 콘크리트에 미치는 고로슬래그 미분말의 영향만을 고려하기 위하여 기타의 혼화재료 공기연행제 및 유동화제는 사용하지 않았다.

Table 1. Properties of blast-furnace slag

General description		Unit	KS Type I	Results of test	
Physical Properties	Density	kg/m ³	above 2.80	2.90	
	Specific surface	cm ² /g	3000~5000	4,387	
	Activity Index	7days	%	above 55	80
		28days		above 75	113
		91days		above 95	115
Rate of fluid flow	%	above 95	103		
Chemical Properties	MgO	%	below 10.0	4.98	
	SO ₃	%	below 4.0	1.78	
	Loss on ignition	%	below 3.0	0.49	
	Chloride ion	%	below 0.02	0.001	
Remark	CaO/SiO ₂	-	above 1.60	1.87	

3.2. 실험계획 및 방법

본 연구는 고로슬래그 미분말 사용에 따른 라텍스개질 콘크리트의 탄산화 특성을 연구하여 고로슬래그 미분말 혼입 라텍스개질 콘크리트의 내구성을 확인하고자 하였다. 이를 위하여 굳지 않은 상태에서는 동일한 작업성 확보를 위한 물-결합제비 변화와 KS F 2421에 의거하여 공기량 변화를 측정하였다. 그리고 양생조건은 20±1°C, 상대습도 80%의 양생실에서 기건양생을 실시한 후 각 재령에 따라 KS F 2403에 의거하여 압축강도 실험을 수행하였다.

3.2.1. 화학적 침식

경화 후 기초물성에서는 재령에 따른 압축강도를 단기재령 및 장기재령으로 구분하여 각각 측정하였다. 또한, 2% 염산과 5% 황산 용액에 28일 동안 침지하면서 침지재령에 따른 압축강도를 측정하여 내약품성에 따른 강도저하를 분석하였다.²⁾ 그리고 화학약품 침지시 중성화의 영향을 분석하고자 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 분석하였다.

3.2.2. 촉진탄산화

촉진탄산화 시험은 28일간 기건양생(20°C, 80% R.H)을 실시한 5×5×5cm의 정사각형 공시체를 침투면 1곳을 남기고 에멀전 페인트로 코팅한 후 촉진탄산화 시험장치를 이용하여 실험하였다. 실험은 CO₂농도 10%, 상대습도 30~35%, 온도 35~40°C조건에서 탄산화가 촉진되도록 하였다.

또한 공시체 노출재령 7일, 14일, 28일에 공시체를 단부로부터 직각으로 할렬한 후 이 할렬면에 JIS K 8006의 규정에 따라 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하고 버니어캘리퍼스를 이용하여 4부위를 2회씩 측정하고 그

Table 2. Mixture proportions of concrete

Types	Latex (%)	BS (%)	W/(C+BS) (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)					
					C	W	L	S	G	BS
L0B0	0	0	53	50	400	212	0	791.8	807.3	0
L0B30		30	53	50	280	210	0	790.2	805.7	120
L0B50		50	53	50	200	210	0	787.4	802.8	200
L15B0	15	0	34	50	400	68.3	127.7	813.0	828.9	0
L15B30		30	32	50	280	61.1	127.7	817.9	834.0	120
L15B50		50	32	50	200	60.3	127.7	816.2	832.2	200

주) L : 라텍스, BS : 고로슬래그 미분말

평균값을 구하여 탄산화 깊이를 산정하였다.¹⁾ 이러한 실험결과를 종합하여 탄산화 면적지수를 통한 각 변수별 탄산화 특성을 분석하였다.

4. 고로슬래그 미분말 혼입에 따른 라텍스 개질 콘크리트의 특성 분석

4.1. 굳지않은 상태에서의 특성

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 사용한 라텍스개질 콘크리트의 기초물성 변화 중 작업성 변화에 미치는 고로슬래그 미분말의 영향을 알아보기 위하여 초기 배출 슬럼프를 동일작업성 조건인 $17 \pm 1\text{cm}$ 로 하여 평가하였다.

Table 3은 BS-LMC의 굳지않은 상태에서의 특성을 나타낸 것이다. 이를 살펴보면, 동일 작업성을 만족하기 위한 시멘트-결합재의 비율은 고로슬래그 미분말의 혼입률 변화보다 라텍스 혼입에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 그리고 공기량은 라텍스 혼입으로 증가하였으나 고로슬래그 미분말 혼입으로 미세공극의 충전효과에 의해 공기량은 다소 감소하는 경향을 보였다.

Table 3. Properties of fresh concretes

Latex (%)	BS (%)	W/(C+BS) (%)	Slump (cm)	Air (%)
0	0	0.53	17	2.5
	30	0.53	17	2.3
	50	0.53	17	2.2
15	0	0.34	17	5.0
	30	0.32	18	3.9
	50	0.32	18	3.5

4.2. 강도발현 특성

Table 4는 라텍스 및 고로슬래그 미분말 혼입률 변화에 따른 강도발현 특성을 나타낸 것이다. 초기재령에서 고로슬래그 미분말 혼입률 증가에 따른 강도발현 특성을 살펴보면, 고로슬래그 미분말 혼입률이 증가할수록 초기 압축강도는 다소 저하되었으나 장기재령에 있어서 고로슬래그 미분말 첨가에 따른 압축강도의 차이는 크게 나타나지 않아 기존의 연구결과와 일치하는 것으로 나타났다. 그리고 라텍스와 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우 초기재령에서는 유사한 압축강도를 보였으나, 재령 28일 이후 압축강도는 증가하는 경향을 보이며, 이는 낮은 물-결합재비의 영향으로 판단된다. 따라서 고로슬래그 미분말을 라텍스 개질 콘크리트의 혼화제로 활용할 경우 초기 강도저하 현상을 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3. 황산 및 염산용액 침지에 따른 강도변화

화학적 침식에 따른 강도저하 특성을 분석하고자 28일 동안 기건 양생(20°C, 80% RH)을 실시한 후 5% 황산 및 2% 염산 용액에 28일 동안 침지하여 침지재령별 압축강도를 측정하였다. Table 5는 침지재령에 따른 압축강도와 압축강도비를 나타낸 것이다.

재령 28일 후 황산 및 염산용액 침지에 따른 압축강도 발현 특성을 살펴보면, 고로슬래그만을 혼입할 경우 전체적으로 염산에 의한 압축강도 저하 현상보다는 황산에 의한 압축강도 저하 현상이 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 고로슬래그 미분말을 50% 혼입할 경우 침지재령 28일 후 황산에 의한 압축강도비는 64.6%로 나타나 고로슬래그 미분말 혼입률 0% 및 30%의 45.6%, 44.2%와 비교하여 상대적으로 황산에 대한 강도 저항성이 높은 것으로 나타났다.

염산용액에 따른 압축강도비도 고로슬래그 미분말을 50% 혼입한 경우 89.1%로 나타났으며, 혼입하지 않은

Table 4. Results of compressive strength by curing ages

Spec.	Latex (%)	BS (%)	W/B (%)	Compressive strength (MPa)					
				7days	28days	35days	42days	56days	90days
L0B0	0	0	0.53	24.0	29.1	29.9	31.0	32.9	39.3
L0B30	0	30	0.53	22.2	30.3	31.8	32.5	34.6	37.7
L0B50	0	50	0.53	19.4	28.5	28.3	30.8	31.4	34.6
L15B0	15	0	0.34	29.4	37.2	38.1	41.5	42.4	46.9
L15B30	15	30	0.32	29.2	40.2	41.0	45.0	45.4	50.9
L15B50	15	50	0.32	28.9	38.3	40.0	43.0	43.5	50.2

Table 5. Compressive strength ratio by chemical immersion ages

Spec.		Compressive Strength (MPa)								
		C _S (35day)	C _W (28+7day)	C _W /C _S (%)	C _S (42day)	C _W (28+14day)	C _W /C _S (%)	C _S (56day)	C _W (28+28day)	C _W /C _S (%)
L0B0	Sulfuric acid	29.9	26.9	90.0	31.0	17.9	57.7	32.9	15.0	45.6
	Hydro-chloric acid	29.9	26.8	89.6	31.0	25.0	80.6	32.9	21.9	66.6
L0B30	Sulfuric acid	31.8	27.9	87.7	32.5	24.2	74.5	34.6	15.3	44.2
	Hydro-chloric acid	31.8	28.5	89.6	32.5	28.5	87.7	34.6	30.6	88.4
L0B50	Sulfuric acid	28.3	25.8	91.2	30.8	21.5	69.8	31.4	20.3	64.6
	Hydro-chloric acid	28.3	25.5	90.1	30.8	26.8	87.0	31.4	28.0	89.1
L15B0	Sulfuric acid	38.1	33.2	87.1	41.5	31.0	74.7	42.4	28.9	68.2
	Hydro-chloric acid	38.1	34.7	91.1	41.5	36.9	88.9	42.4	37.7	88.9
L15B30	Sulfuric acid	41.0	36.0	87.8	45.0	37.0	82.2	45.4	30.0	66.0
	Hydro-chloric acid	41.0	38.2	93.2	45.0	41.6	92.4	45.4	42.2	92.9
L15B50	Sulfuric acid	40.0	34.3	85.8	43.0	33.4	77.7	43.5	31.2	71.7
	Hydro-chloric acid	40.0	37.3	93.3	43.0	39.9	92.8	43.5	40.1	92.2

주) 압축강도비 = C_W (기건양생 28일+화학용액 침지재령 압축강도) / C_S (동일재령에서의 기건양생 압축강도)

경우의 66.6%보다 높게 나타나, 고로슬래그 미분말 혼입에 따른 화학적 침식 저항성이 크게 향상되는 것으로 나타났다. 이러한 화학적 침식 저항성의 증가는 고로슬래그 미분말 혼입을 통한 시멘트 경화체의 치밀한 구조 형성에 기인하는 것으로 판단된다.

고로슬래그 미분말과 라텍스를 혼입한 라텍스개질 콘크리트의 경우 황산 및 염산용액 침지에 따른 재령별 압축강도 특성은 고로슬래그 미분말만을 혼입한 경우보다 더욱 크게 향상되는 것으로 나타났다. 특히 라텍스 15% 및 고로슬래그 미분말 50%의 경우 황산 및 염산용액 침지에 따른 압축강도비가 침지재령 28일에 있어 71.7% 및 92.2%로 나타났으며, 고로슬래그 미분말만을 혼입한 경우의 64.6%, 89.1% 보다 높게 나타나, 가장 우수한 화학약품 저항성을 보였다.

4.4. 황산, 염산 및 탄산가스에 의한 탄산화 특성

화학적 침식에 의한 탄산화 실험은 28일 동안 기건양생(20°C, 80% R.H)을 실시한 후 2% 염산과 5% 황산의 용액에 각각 28일 동안 침지한 후 침지재령 7일, 14일 및 28일에 각각 1%의 페놀프탈레인용액을 분부하여 적색으로 변화하지 않은 부분의 깊이를 측정하여 Fig. 1과 같이 중성화 변화를 나타내었다. 또한, 탄산가스에 의한 촉진 탄산화를 측정하기 위해 탄산가스 농도 10% 및 상대습도 30~35%, 온도 35~40°C조건인 촉진 중성화 장비를 이용하여 실험하였다. Table 6은 시편을

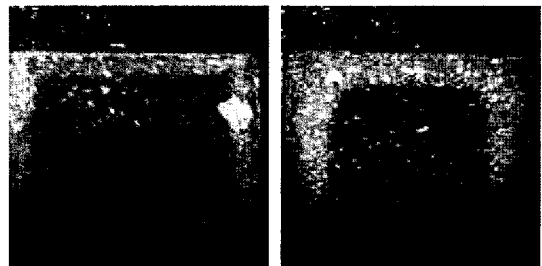


Fig. 1. Carbonation Depth of BSC (50%) by Carbonic acid gas.

Table 6. Carbonation depth at 28days

Spec.	Carbonation depth (mm)		
	Sulfuric acid	Hydro-chloric acid	Carbonic acid gas
L0B0	7.11	6.25	9.04
L0B30	7.84	6.08	8.58
L0B50	7.08	6.36	17.43
L15B0	5.20	5.76	1.00
L15B30	7.98	6.11	4.92
L15B50	7.99	5.72	5.44

황산 5%, 염산 2% 및 탄산가스에 각각 노출시킨 후 침지 및 노출재령 28일에 측정된 탄산화 깊이를 나타낸 것으로 시편 중앙을 기준으로 4면에 대한 탄산화 깊이를

버니어캘리퍼스로 8회 측정 후 이를 평균한 결과이다.

황산과 염산용액 침지재령 및 탄산가스 노출재령에 따른 각 변수별 탄산화 진행을 살펴보면, 황산용액에 따른 탄산화 진행은 라텍스 혼입률 15%를 제외하고는 모든 변수에서 큰 차이를 보이지 않았으며 염산용액 및 탄산가스 노출시의 중성화 진행은 고로슬래그 혼입률 50%에서 가장 빠르게 진행되는 것으로 나타났다. 특히 탄산가스에 의한 탄산화 깊이는 노출재령 28일에 17 mm로 나타나 LOB0의 탄산화깊이 9 mm와 라텍스개질 콘크리트 L15B0의 탄산화 깊이 1 mm보다 매우 빠르게 탄산화가 진행되는 것으로 나타났다.

고로슬래그 미분말 혼입에 의한 탄산화 진행은 시멘트의 수화생성물인 수산화칼슘과 관련지어 분석할 수 있다. 고로슬래그는 시멘트 대체 재료로 혼입되어 시멘트 첨가량을 줄이게 된다. 이러한 시멘트의 감소는 콘크리트의 강알칼리성을 결정짓는 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘을 감소시키며 특히 고로슬래그 미분말의 포졸란반응을 위해 수산화칼슘을 소비시킴으로서 콘크리트 자체의 강알칼리성을 크게 낮추어 전체적인 pH가 낮게 형성되는 것이다. 이러한 조건에서 황산 및 염산에 노출될 경우 콘크리트 자체의 pH는 더욱 낮아져 결국 페놀프탈렌에 의한 탄산화 측정치가 크게 나타난 것으로 판단된다. 그리고 고로슬래그 미분말 혼입률 50%에서 화학적 침식에 대한 강도 저항성은 가장 우수한 것으로 나타났으나 탄산화 진행에 있어서는 매우 취약한 것으로 나타났다. 이는 고로슬래그 미분말 첨가에 따른 콘크리트 자체의 낮은 알칼리성에 기인하는 것이며 이러한 pH 농도가 외부 조건에 의해 더욱 빠르게 탄산화가 진행되는 결과를 나타내지만 조직자체의 치밀성으로 인하여 화학적 침식에 의한 강도저하 현상은 크게 억제되는 것으로 평가되었다. 또한 라텍스의 혼입은 경화한 콘크리트 내에서의 라텍스 필름막에 의한 높은 수밀성으로 안정적인 구조형태를 유지하는 것으로 나타났다.

4.5. 탄산화 면적지수에 의한 탄산화 분석

고로슬래그 미분말 혼입 라텍스개질 콘크리트에 대한 황산, 염산 및 탄산가스에 의한 침지재령별 압축강도 저하 및 탄산화 깊이를 확인한 결과, 고로슬래그 미분말 혼입률 50%의 경우 황산 및 염산용액 침지에 따른 압축강도비가 높아 내화학약품성이 우수한 것으로 평가되었으나 탄산화 진행 속도는 이와 반대로 매우 빠르게 진행되는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 이들 변수에 따른 강도저하 및

탄산화 특성을 정량적으로 분석하기 위하여 탄산화 면적지수를 제시하고자 한다. 탄산화 면적지수란 화학물질에 노출된 콘크리트의 강도저하비와 황산, 염산 및 탄산가스에 의한 탄산화 깊이를 각 축으로 설정하여 도식한 후 그 면적을 산출하여 결과를 비교하는 것이다. 각 축에 연결된 면적의 크기가 탄산화 특성을 나타내는 절대지수는 아니며 각 변수에 따른 탄산화 특성을 수치적으로 분석하고자 제시한 방법이다.

면적지수는 강도저하비, 탄산화 깊이비 등의 인자에 대한 측정값들을 최대 1로 계산하여 Fig. 2와 같이 황산침식에 의한 탄산화 깊이비, 염산침식에 의한 탄산화 깊이비, 탄산가스에 의한 탄산화 깊이비, 화학약품에 의한 압축강도저하비를 각 축에 도식하게 된다. 이때 침식에 대한 강도저하비, 탄산화 깊이비가 최대 1로 나타날 경우 최대면적지수는 2로 계산된다. 즉 각 인자별 면적지수가 1에 가까울수록 화학적 침식 및 탄산화에 따른 구조적 품질 저하의 가능성이 높은 것으로 분석되는 특성을 지니게 된다. 이러한 면적지수는 고로슬래그 미분말 혼입을 50%의 경우 다음과 같이 계산된다. 황산 침지재령 28일에 있어 압축강도비는 64.6%이므로 강도저하비는 $1-0.646=0.354$ 이며 황산 침지에 따른 탄산화 깊이의 평균은 7.08 mm이므로 시편의 중앙점을 기준으로(25 mm) 한 탄산화 깊이비는 $7.08/25=0.283$ 으로 계산된다. 이와 같은 방법으로 염산 침지에 따른 탄산화 깊이비와 탄산가스 노출에 따른 탄산화 깊이비를 계산하면 각각 0.254, 0.697로 계산된다. 따라서 이를 각 축에 Fig. 3과 같이 도식한 후 면적을 산출하게 되

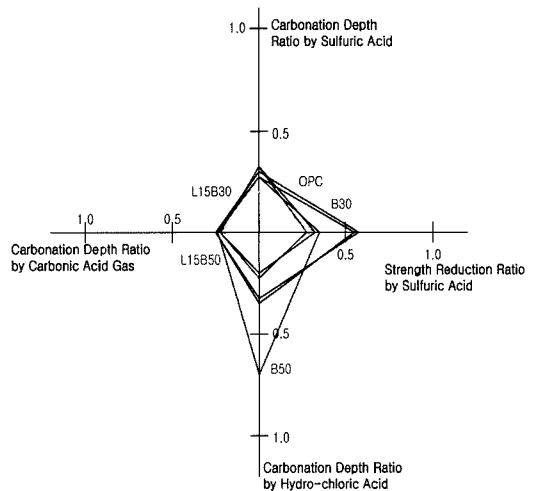


Fig. 2. Carbonation Area of BS-LMC by Sulfuric Acid.

Table 7. Carbonation Area Index

Spec.	Strength Reduction Ratio		Carbonation Depth Ratio			Carbonation Area Index	
	Sulfuric Acid	Hydro-chloric Acid	Sulfuric Acid	Hydro-chloric Acid	Carbonic acid gas	Sulfuric Acid	Hydro-chloric Acid
LOB0	0.544	0.334	0.284	0.250	0.362	0.242	0.186
LOB30	0.558	0.116	0.314	0.243	0.343	0.251	0.128
LOB50	0.354	0.109	0.283	0.254	0.697	0.283	0.217
L15B0	0.318	0.111	0.208	0.230	0.040	0.078	0.033
L15B30	0.340	0.071	0.319	0.244	0.197	0.151	0.075
L15B50	0.283	0.078	0.320	0.229	0.218	0.137	0.081

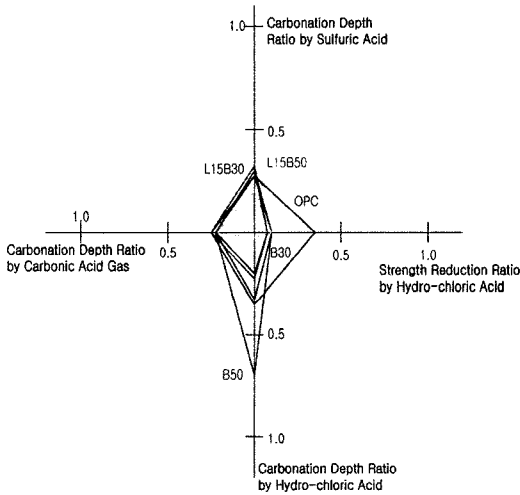


Fig. 3. Carbonation Area of BS-LMC by Hydro-chloric acid.

면 면적지수는 0.283으로 계산된다.

Table 7은 강도저하비, 탄산화 깊이비, 면적지수를 제시한 방법에 의해 계산한 것이다. 이를 종합적으로 분석하여 보면 황산에 대한 면적지수는 고로슬래그 미분말 혼입률 50%(LOB50)에서 0.283으로 가장 큰 값을 나타내고 있으며, 라텍스 혼입률 15%(L15B0)의 경우 면적지수가 0.078로 가장 낮은 값을 보이고 있다. 즉, 이는 고로슬래그 미분말 혼입률 50%의 경우, 강도저하비는 낮으나 기타 황산, 염산 및 탄산가스에 의한 탄산화 깊이가 매우 크게 나타나 탄산화에 따른 구조물 품질 저하의 원인이 되는 것으로 분석할 수 있다.

또한 고로슬래그 미분말과 라텍스를 혼입한 BS-LMC의 경우 황산에 대한 면적지수는 황산 침식의 경우고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가할수록 0.078에서 0.137로 증가되었으나 고로슬래그 미분말만을 혼입한 상태보다는 내구성 저하에 대한 면적지수가 작게 나타나 고로

슬래그의 탄산화 촉진을 라텍스 혼입으로 억제할 수 있는 것으로 평가되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 산업폐기물의 일종으로 콘크리트 혼화재로 사용되는 고로슬래그 미분말을 사용한 라텍스개질 콘크리트의 탄산화 특성을 분석하였다. 이를 위하여 굳지 않은 콘크리트와 경화 후 콘크리트의 강도발현 및 탄산화 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 황산용액에 침지한 경우와 동일재령의 압축강도비를 분석한 결과, 라텍스를 혼입하지 않은 고로슬래그 미분말 혼입률 0%, 30%, 50%의 경우 46%, 44% 및 65%의 압축강도비를 보여, 황산에 의한 열화가 매우 큰 것으로 나타났다. 그러나, 라텍스를 15% 혼입한 경우는 고로슬래그 미분말 혼입률 변화에 따라 68%, 66%, 72%의 압축강도를 보여 라텍스 혼입으로 황산저항성을 향상시키는 것으로 나타났다.

2. 염산용액에 침지한 경우 라텍스를 혼입하지 않은 고로슬래그 미분말 혼입률 0%, 30%, 50%에서 압축강도비는 67%, 88%, 89%로 나타났으며 라텍스를 15% 혼입함으로써 89%, 93%, 92%로 나타나 염산에 의한 열화 또한 억제할 수 있는 것으로 나타났다.

3. 황산 및 염산에 의한 탄산화 진행은 모든 변수에 있어 큰 차이를 보이지 않았으나 탄산가스에 의한 촉진 탄산화는 고로슬래그 미분말 혼입률이 증가할수록 빠르게 진행되는 것으로 나타났다.

4. 화학저항성 및 탄산가스에 의한 탄산화 특성을 보다 정량적으로 분석하고자 탄산화 면적지수를 제안하였으며 이를 적용하여 분석한 결과, 고로슬래그 미분말 혼입률 50%의 경우 탄산화 면적 지수가 가장 크게 나타

나 상대적으로 탄산화에 의한 열화가 촉진되는 것으로 나타났다. 그러나 라텍스를 혼입할 경우 면적 지수는 일반 콘크리트보다 낮게 나타나 라텍스 혼입에 의한 고로슬래그의 탄산화 진행을 크게 억제할 수 있을 것으로 판단되었다.

따라서 라텍스 개질 콘크리트에 고로슬래그 미분말의 사용에 따른 화학적 침식 및 탄산화의 문제는 개선될 수 있을 것으로 평가되었다.

감사의 글

이 논문은 충주대학교 대학구조개혁지원사업비(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구임

참고문헌

1. 김은겸, 長瀧重義, 1987 : 플라이 애쉬 및 고로수쇄슬래그를 혼합한 콘크리트의 중성화에 관한 연구, 대한토목학회지, 제7권 3호, pp. 229-240.
2. 문한영, 이승태, 김홍삼, 김성수, 2002 : 화학적 침식을 받은 포틀랜드계 시멘트 모르타르의 저항성 평가, 대한토목학회논문집, 제22호 1-A호, pp. 181-191.
3. 박영식, 서진국, 이재훈, 신영식, 1998 : 황산염의 침해를 받는 고강도 콘크리트의 강도특성과 물성변화, 콘크리트학회지, 제10권 5호, pp. 117-127.
4. 신건식, 최 룡, 2003 : 레미콘에서 혼화제로 고로슬래그

미분말을 사용하는 당위성에 대하여, 한국콘크리트학회지, 제15권 2호, pp. 8-12.

5. 윤경구, 정원경, 홍창우, 장홍균, 2002 : SB라텍스 개질 콘크리트의 동결융해 내구특성, 대한토목학회논문집, 제22권 제5-A호, pp. 1003-1010.
6. 이창수, 설진성, 윤인석, 박종혁, 2002 : 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 복합사용한 콘크리트의 내구성능 향상효과, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, pp. 23-26.
7. 주명기, 김남길, 연규석, 2002 : 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 강도 및 내구성, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 14, No. 2, pp. 164-170.
8. 최 항, 이상수, 원철, 정한웅, 2000 : 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 특성 및 경제적인 효과에 관한 연구, 대우건설기술 연구보고서, pp. 61-73.
9. 한중선, 2003 : 레미콘 공장에서 고로슬래그 미분말 사용 문제점과 개선방안, 한국콘크리트학회지, 제15권 2호, pp. 6-7.
10. Fontana, J. J. and Farrell, L. J., 1993 : Standard Specification for Latex-Modified Concrete(LMC) Overlays, ACI 548.4-93.
11. Kuhlmann, L. A. and Moldvan, D., 1989 : Experiments to Evaluate Factors Effecting the Permeability of Latex Modified Concrete, Dow Chemical Company. Form No. 574-089-003.
12. LMC 교면포장 전문 시방서, 2005.
13. 日本建築學會, 2001 : 高爐セメントを使用するコンクリートの調合設計率の概? 概同解説, pp. 30.

洪昌佑

- 현재 충주대학교 토목공학부 교수
- 당 학회지 제15권 2호 참조

鄭元京

- 1992. 2. 강원대학교 토목공학과 공학사
- 2005. 2. 강원대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 (주)삼우 IMC 기술연구소 선임연구원

沈度植



- 1991년 강원대학교 토목공학과 공학사
- 1993년 강원대학교 토목공학과 공학석사
- 1997년 강원대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 강원도립대학 건설토목과 부교수