

화상분석법을 이용한 라텍스개질 콘크리트의 공극 구조와 투수성의 상관성 분석

정원경^{1)*}·윤경구¹⁾·홍승호¹⁾

¹⁾ 강원대학교 토목공학과

(2004년 12월 9일 원고접수, 2005년 7월 30일 심사완료)

Estimation of Air Void System and Permeability of Latex-Modified Concretes by Image Analysis Method

Won-Kyong Jeong^{1)*}, Kyong-Ku Yun¹⁾, and Seung-Ho Hong¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200-948, Korea

(Received December 9, 2004, Accepted July 30, 2005)

ABSTRACT

It is known that latex-modified concretes were increased their durability and permeability by added latex. The purpose of this study was to analysis the air void systems in latex-modified concretes using a reasonable and objective image analysis method with main experimental variables such as water-cement ratios, latex contents(0%, 15%) and cement types(ordinary portland cement, high-early strength cement and very-early strength cement). The results are analyzed spacing factor, air volume after hardened, air distribution and structure. Also, air void systems and permeability of latex-modified concretes were compared with correlation. The results are as follows; The same w/c ratio LMC showed better air entraining effect than OPC with AE water reducer. The VES-LMC showed that the number of entrained air below 100 μm increased more than four times. In the HES-LMC, micro entraining air having range from 50 to 500 μm increased above 7 times without antifoamer. Though spacing factor was measured low, latex-modified concretes were showed that permeability was good. It is considered that air void system does not have an effect on the property of latex-modified concretes but latex film is more influenced in the their durability.

Keywords : image analysis method, latex modified concrete, antifoamer, air void, permeability

1. 서 론

콘크리트의 내부 조직은 사용 재료의 복합성과 제조 과정상의 기계적 작용 등에 의해 필연적으로 공극을 형성하게 되며 이들 공극은 직간접적으로 경화 후 콘크리트의 성능 발현에 영향을 미치게 된다. 보통콘크리트에서의 내부 공극은 과도할 경우 강도저하 및 균열 발생의 원인이 될 수 있으나 그 양이 적을 경우 내구성이 저하되는 것으로 알려져 있다¹⁻³⁾. 따라서 콘크리트 제조시에는 AE제 또는 AE 감수제 등을 통하여 적정량의 공기량을 반드시 함유할 것을 규정하고 있다²⁾. 그러나 동일한 공기량을 갖는 콘크리트에서도 내부 공극 구조 즉, 갇힌공극(entrapped air void)과 연행공극(entrained air void)의 비율, 공극 크기의 분포 등에 따라 콘크리트의 내동결융해성, 표면박리 저항성, 투수성 등 내구성에 큰 차이를 보이게 된다. 그러

나 아직까지 내구성 확보를 위한 콘크리트의 평가는 단지 굳지 않은 상태에서의 전체 공기량 평가에 의존하고 있는 실정이다.

콘크리트의 내구성에 미치는 내부 공극 구조를 보다 체계적으로 접근·분석할 수 있는 방법 중 하나가 간격계수(spacing factor)라 명명된 공극 간 거리를 평가하는 것이며 내구성 확보를 위한 공극간 최대거리는 250 μm 이하로 할 것을 권고하고 있다^{3,4)}.

현재 국내에서는 2001년 이후 신설 교량의 교면포장 재료로써 라텍스개질 콘크리트(Latex-Modified Concrete; 이하 LMC)와 기존 교량의 교면포장 보수 재료로써 초속경성을 지닌 라텍스개질 초속경콘크리트(Very-Early Strength Latex-Modified Concrete, 이하 VES-LMC)가 확대 적용되고 있다^{5,6)}. 또한, 수밀성을 요하는 구조물의 보수재료로서 조강시멘트를 이용한 라텍스개질 조강콘크리트(High-Early Strength Latex-Modified Concrete, 이하 HES-LMC)가 개발되고 있다. 그러나 이들 라텍스개질 콘크리트에 대한 내구성 평가는 연구되었으나 이와 연계된 내부 공극 구조

* Corresponding author

E-mail : wonkyong@hanmail.net

©2005 by Korea Concrete Institute

에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 특히, 라텍스개질 콘크리트의 주요 적용 대상 구조물은 투수 저항성과의 관련성이 매우 높으므로 이들 내부 공극의 변화에 따른 투수성과의 상관성 분석은 매우 필요하다 할 수 있다. 하지만, 국내의 경우 라텍스 폴리머 혼입에 따른 콘크리트 내부 공극 구조의 변화를 무시한 채 보통콘크리트의 공기량 규정 등을 그대로 적용하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 시멘트 종류에 따른 라텍스개질 콘크리트의 내부 공극 구조 변화를 평가하여 라텍스 폴리머 입자의 혼입에 따른 공극 구조 변화와 특성을 보다 체계적으로 분석하고자 하였다. 이를 위하여 공기량, 공극 직경에 따른 공극 분포, 공극 구조 상태 분석 및 간격계수를 평가하였다. 또한, 이러한 내부 공극 구조와 라텍스개질 콘크리트의 투수성을 비교 분석하여 상관성을 확인하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구에서는 라텍스개질 콘크리트의 내부 공극 구조 변화에 따른 투수성과의 상관성 고찰을 위하여 주요 실험 인자로 시멘트 종류 및 라텍스 혼입 유무로 선정하였다. 경화 후 콘크리트 미세 구조 분석을 위한 방법으로는 화상분석법을 이용하였으며, 내구성 평가를 위한 투수성 실험은 염소이온 침투저항성시험을 실시하였다. 화상분석법은 콘크리트 시편 전체 단면적에 대한 공극 구조의 분석이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 화상분석법을 활용한 공극 직경의 최소 분석 범위는 약 5~10 μm 이며 이는 현재의 분석 장비가 갖는 분해능에 기인한 것이다. 이보다 작은 초미립의 공극 형성(나노미터)은 시멘트 수화 메커니즘에 기인하며, 마이크로미터(μm)이상의 공극 형성은 AE제, AE 감수제, 라텍스 등 혼화재료에 의해 임의조절이 가능하므로 본 연구에서는 화상분석법을 활용하여 AE 감수제 및 라텍스 첨가 유무에 따른 공극 구조의 변화와 특성을 분석하고자 하였다.

2.2 사용 재료

2.2.1 시멘트

시멘트 종류에 따른 공극 구조 분석을 위하여 가장 일반적으로 사용되는 보통 포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하 OPC), 초기강도 증진이 우수한 조강시멘트(High Early Strength Cement, 이하 HEC), 그리고 초 단기간 내의 빠른 강도 발현을 목적으로 하는 초속경시멘트(Very Early Strength Cement; 이하 VEC) 등 3종류의 시멘트를 사용하여 경화 후 공극 구조 변화 특성을 분석하였다. Table 1은 각 시멘트에 대한 물리적·화학적

Table 1 Physical and chemical compositions of cement used

Cement types	Chemical composition (%)					Blaine fineness (cm ² /g)	Specific gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃		
OPC	20.8	6.3	3.2	61.2	2.3	3,200	3.15
HEC	19.7	5.9	3.0	62.1	4.2	4,400	3.12
VEC	10.2	16.7	1.3	50.8	15.5	5,400	2.90

Table 2 Mix proportion of Latex-modified concretes

Type	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)					Ad. (%)	Gmax (mm)
			C	W	L	G	S		
OPC	33	58	400	132	-	795	1033	2.5*	13
LMC	33	58	400	67	125***	728	946	-	
VEC	38	58	390	148	-	789	1031	-	
VES-LMC	38	58	390	43	122	918	707	1**	13
HES-LMC	34	50	400	71	125	891	809	-	13
	35	50	400	73	125	888	806	0.5**	
	31	50	400	59	125	908	824	-	25
	32	50	400	61	125	905	821	0.5**	

* : air entrained water reducer, ** : antifoamer
 *** : Latex solid ratio for unit weight cement : 400×0.15=60 kg/m³
 Latex content = solid : water = 60 : 65 =125 kg/m³

특성을 나타낸 것이다.

2.2.2 골재

굵은 골재 최대 치수는 25mm와 13mm인 레미콘용 쇄석을 사용하였으며, 비중과 흡수율은 각각 2.6과 0.71로 평가되었다. 잔골재는 비중 2.7, 흡수율 0.97의 천연 강모래(홍천강)를 사용하였다.

2.2.3 라텍스

라텍스는 미국 D 사의 SBR 라텍스를 사용하였다. 제품의 특성으로는 스티렌(Styrene)과 부타디엔(Buadiene)이 66:34로 조성되어 있으며 전체적으로 물 52%, 폴리머 고형분 48%와 소량의 계면활성제와 안정제가 첨가되어 있는 액상의 물질이다.

2.2.4 배합 설계

본 연구에서 사용된 LMC와 VES-LMC는 현재 국내 교면포장에 적용되고 있는 지방 배합표를 사용하였으며^{6,7)}, 라텍스 15% 첨가에 따른 내부 공극 구조 변화를 확인하기 위하여 동일 지방 배합표에서 라텍스 첨가 유무를 변수로 설정하였다. 또한, 현재 일반 구조물 보수 재료로 개발 중인 조강시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트를 분석하기 위하여 물-시멘트비 변화와 소포제 첨가 유무를 통해 내부 공극 구조를 변화시켰다. 보다 자세한 배합표는 Table 2와 같다.

2.2.5 시험체 제작

미세 공극 구조 분석과 투수성 실험을 위한 시편 제작

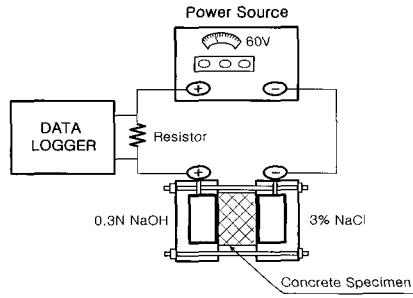


Fig. 1 Permeability equipment

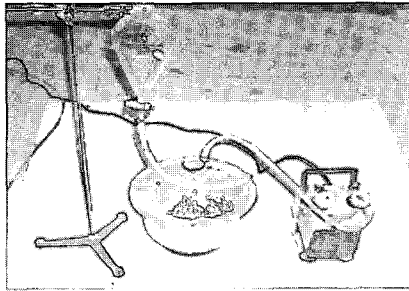


Fig. 2 Vacuum installation

은 콘크리트의 불균질성에서 오는 오차를 최소화하기 위하여 동일 시편에 대한 두 가지 평가 모듈을 수행할 수 있도록 하였다. $\phi 10 \times 20$ cm의 시편을 제작, 양생한 후 두께가 5cm가 되도록 절단하여 동일면에 대한 화학 분석과 투수성 평가를 위한 염소이온 침투저항성시험을 실시하였다. 실험을 위한 양생은 상대습도 80%, 양생온도 20 °C의 동일한 조건에서 28일간 실시하였다.

2.3 실험 방법

2.3.1 염소이온 침투저항성시험

콘크리트의 투수성 평가는 KS F 2711(2002)에 규정된 염소이온 침투저항성시험 방법에 따라 수행하였다⁸⁾. 염소이온 침투저항성시험은 강제식 투수시험과 비교하여 단기간에 투수저항성을 판단할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 즉, 물을 강제적으로 침투시켜 Darcy 법칙에 의해 투수계수를 결정하는 강제식은 장비의 대형화, 실험의 복잡화와 더불어 콘크리트의 조직이 치밀할 경우 투수량이 매우 적어 실험에 과도한 시간을 필요로 하게 된다. Fig. 1은 염소이온 침투저항성시험 장치를 나타낸 것이다.

회로에서 전원은 60 ± 0.1 V 로 안정적인 직류전압이 공급된다. 실험을 수행하는 동안 전해질 용액이 새지 않게 하기 위하여 고무제품의 방수제를 사용하였으며 무게는 20~40g 정도의 것으로 전극 용기와 시편 사이에 고정시켰다. 전류를 측정하는 방법으로는 기지의 저항체를 회로에 연결하여 전압을 측정함으로써 얻을 수 있는데 본 실험에서는 0.2Ω 를 사용하였다. 콘크리트 시편의 노출된 부분은 불투수성의 재료를 사용하여 콘크리트 표면이 건조

Table 3 Permeability rating by KS F 2711

Coulombs(Q)	Permeability rating
above 4000	High
2000~4000	Moderate
1000~2000	Low
100~1000	Very low
100 below	Negligible

되어 염소이온의 침투에 영향을 미치는 것을 방지하였다.

Fig. 2는 실험 전 시편의 내부를 진공 상태로 만들기 위한 진공 장치이다. 진공 장치는 투과실험 시 반드시 필요한 절차로 시편의 내부에 전해질 용액의 흐름에 영향을 줄 수 있는 영향 인자로 순수 공극만을 남겨 놓아야 보다 정확한 실험 결과를 얻을 수 있다.

또한 침투 실험에 사용되어지는 물은 증류수를 사용하여야 한다. 증류수가 아닌 다른 수용액을 사용할 경우에 수용액에 용해되어 있는 이물질이 전극의 흐름에 방해가 주게 되어 실험 결과에 대한 신뢰성이 저하된다. 본 연구에서는 이러한 진공장치를 이용하여 시편 내부 공극을 진공상태로 하고 증류수를 사용하여 실험하였다. KS F 2711의 규정에서는 측정된 전하량을 이용하여 Table 3과 같은 기준으로 콘크리트의 투수 등급을 정하고 있다⁸⁾.

2.3.2 공극 구조 평가를 위한 화상분석장치

화상분석을 이용한 콘크리트 미세공극 구조분석연구는 몇몇 연구자에 의해 진행되었다⁹⁻¹²⁾. 이들의 연구 성과를 보면, 기존의 ASTM C 457방법에 의한 분석보다 매우 짧은 시간 내에 정밀한 분해능으로 분석이 가능한 것으로 연구 발표되었다. 또한, ASTM방법으로는 연구될 수 없었던 공극의 직경 분포, 공극의 형상, 공극 분포 비율 등 콘크리트에 미세 구조에 대한 보다 자세한 정보가 컴퓨터를 이용하여 자동 분석되는 장점을 가지고 있다.

본 연구에 사용된 시험 장치로서 실제 현미경(국내 D사: OSM-1), 디지털 카메라(Nikon Digital Camera : Coolpix 5000), 컴퓨터와 세부 장치로서 시편의 이동을 용이하게 하는 상하좌우의 이동이 가능한 받침대를 제작하여 사용하였고, 화상 분석 프로그램(Olympus 사 : TDI Scope Eye-TDI Package)을 사용하여 분석을 실시하였다. 시편 분석을 위한 배율은 $\times 20$ 이며 이 경우, 1화면을 프로그램 상에 입력하면 2560×1704 pixels을 가진 화상으로 컴퓨터에 인식되며, 이는 $9.275 \text{ mm} \times 6.173 \text{ mm}$ 의 약 57.25 mm^2 의 면적을 나타낸다. 이 배율에서 1 pixel의 크기는 $3.6 \mu\text{m}$ 로 인식된다.

2.3.3 화상분석방법

화상 분석에 사용된 시편은 $\phi 10 \times 20$ cm의 원형 공시체를 분석이 용이하게 하기 위해 5cm의 길이로 절단하여 사용하였다. 절단 시에는 고른 면이 나오도록 수직 절단하여

야 하며, 절단 속도에 따른 표면의 단차나 표면 경사가 발생되지 않도록 주의하여야 한다. 절단 직후의 공시체는 그 표면이 매우 거칠어 기포부의 구별이 불가능하고, 다음 단계에서 행해질 표면 처리가 곤란하기 때문에 SiC 파우더를 이용하여 충분히 콘크리트의 표면을 연마하였다. 표면 연마에 사용된 SiC 파우더는 최초 60번 연마제에서 시작하여 100번, 200번, 320번, 420번의 연마제를 거쳐 최종 600번 연마제 순서로 연마를 실시하였다.

연마 작업이 끝난 후, 요구되는 단면이 얻어지면 시료 표면의 기포 안으로 들어간 이물질 제거를 위하여 강한 수압으로 표면을 깨끗이 씻어낸다. 표면 연마 작업이 끝난 후, 시편을 충분히 건조시키고 시편 표면에 흑색 수성 잉크를 도포하였다. 도포 된 흑색 잉크가 충분히 건조되면 백색 분말을 사용하여 시편의 표면에 압입함으로써 시편 표면의 공극을 백색 분말로 충전시키는 방법을 사용하였다. 그 후 디지털 카메라와 실체현미경을 이용하여 시편 표면을 분할 촬영한 후 컴퓨터상에서 분석을 실시한다. 프로그램상에서 처리가 끝난 화상은 곧바로 분석되며, 분석되는 데이터로는 실험에서 요구되는 각각의 공극 평균 직경과 최대, 최소 직경, 각 공극의 면적, 한 화상에서의 공극이 차지하는 전체 면적 및 평균 면적, 그리고 공극이 차지하는 비율 등과 같은 항목이 측정된다. 이렇게 분석된 데이터는 엑셀 파일로 저장되며, 필요한 항목의 조합으로 여러 가지 측정 변수들을 계산하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 보통 포틀랜드시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트

3.1.1 공극 구조 상태 분석

Fig. 3은 라텍스 혼입률(0, 15%)에 따른 공극 구조의 변화를 나타낸 것이다. 경화 후 공기량 분석은 공극의 직경을 1,000 μm 를 기준으로 연행공기와 갇힌공기를 구분하여 나타내었다. ASTM C 125에서는 갇힌공기의 경우 Fig. 4(a)와 같이 형상이 불규칙적이고 그 크기는 1,000 μm 이상이며 연행공기는 Fig. 4(b)와 같이 구형에 가까운 형상과 함께 그 크기가 10~1,000 μm 로 정의되어 있다³⁾. 따라서 본 연구에서는 내부 공극 구조의 평가에 있어 연행공기와 갇힌공기의 구분을 공극 직경 1,000 μm 를 기준으로 설정하였다.

결과를 살펴보면, Fig. 3에서와 같이 동일 배합 조건에 있어서 라텍스가 첨가됨으로 인하여 연행공극(공극 직경 1,000 μm 미만)의 분포가 많아지며 전체 공기량에서 차지하는 연행공극의 양 또한 매우 높아짐을 알 수 있다.

AE 감수제를 첨가한 보통 콘크리트의 경우도 전체 공기량에서는 약 5%로 규정에 적합한 것으로 평가되었으나 공극의 특성을 분석한 결과, 갇힌공기량이 연행공기량보다

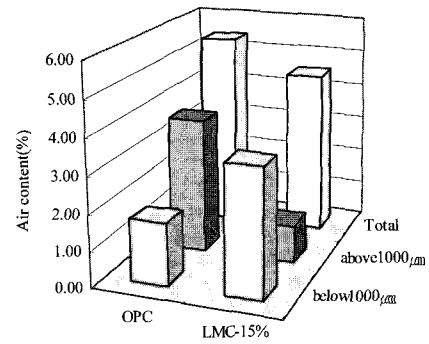
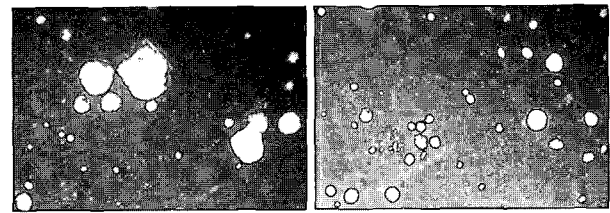


Fig. 3 Comparison of Air Content for LMC



(a) entrapped air voids (above 1000 μm) (b) entrained air voids (below 1000 μm)

Fig. 4 Distribution of air voids

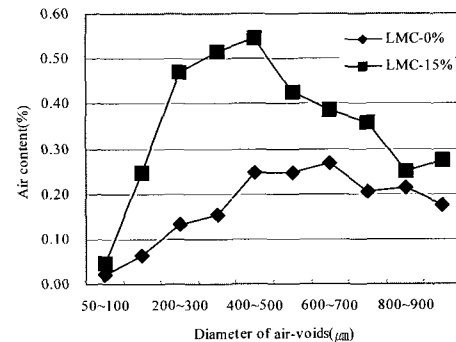


Fig. 5 Air void distribution of LMC

약 2배 이상 높게 함유되어 있는 것으로 나타났다. 이는 AE감수제의 특성보다는 본 연구에 사용된 배합 특성에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 33%의 매우 낮은 물-시멘트 비로 인하여 배합과정과 공시체 제조과정에서 충분한 계면활성 작용이 발생하지 못하여 연행공기량보다는 된배합에 따른 갇힌공기가 대량으로 발생한 것으로 판단되었다.

Fig. 5를 살펴보면, 라텍스가 첨가됨으로 인하여 약 300~700 μm 의 미세 공극이 크게 증가함을 알 수 있다. 이는 라텍스에 포함된 유화제 및 안정제와 같은 계면활성제의 작용에 의하여 많은 공기가 연행된 것으로 사료된다¹⁰⁾.

라텍스 첨가 유무에 따른 내부 공극 구조 분석 결과, 동일 배합 조건에서 라텍스의 첨가는 AE감수제의 첨가 효과보다 공기연행 능력이 매우 우수한 것으로 나타났으며 공극의 크기 분포에서도 라텍스 폴리머의 영향으로 1,000 μm 미만의 연행공극이 현격히 증가하여 전체 공기량 중 약 70% 이상을 차지하는 것으로 평가되었다.

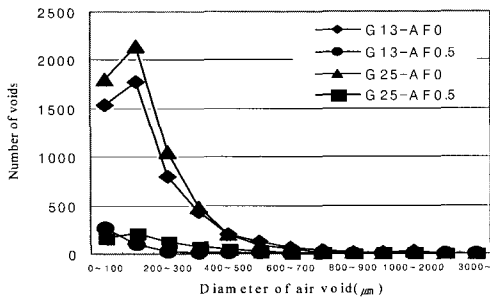
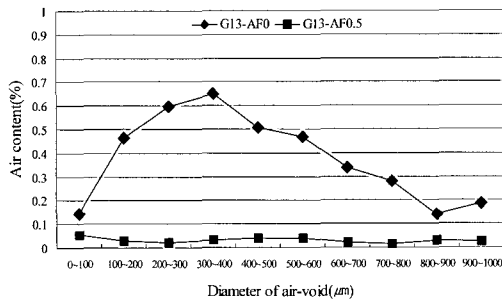
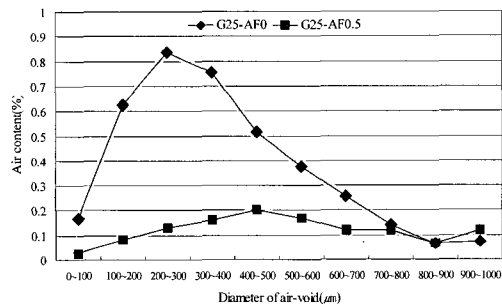


Fig. 6 Distribution of air voids in number at HES-LMC



(a) Gmax = 13 mm



(b) Gmax = 25 mm

Fig. 7 Air void distribution of HES-LMC

3.1.2 간격계수와 투수성과의 관계

Table 4는 화상분석을 통해 분석된 간격계수와 염소이온 침투저항성시험에 의한 콘크리트의 투수성을 나타낸 것이다. 재령 28일에서 OPC와 LMC의 투수성은 각각 4,000과 1,500쿨롱값을 나타내었다. 동일 배합 조건에서 라텍스의 첨가에 따라 투수저항치수가 약 3배정도 증가한 것으로 나타났다. 또한, 콘크리트 내부의 공기량은 OPC가 5.4%, LMC가 4.5%로 나타났다. 그러나, 간격계수의 경우 공기량이 더 적은 LMC의 경우가 405 μm 로 더 작은 값을 나타내었다. 이는 Table 5에서와 같이 LMC는 OPC보다 공기량은 적으나 공극수에 있어서는 OPC의 1,361개보다 3배정도 많은 3,490개로 공극이 다량으로 분포되어 공극간 거리로 대별되는 간격계수의 값이 낮게 계산되었다.

즉, 라텍스 폴리머 입자의 계면활성작용으로 미세 공극의 수가 증가하여 공극간의 간격이 좁게 계산되어진 결과이다. 그러나 이러한 공극간의 거리가 투수성 평가에서는

Table 4 Spacing factor of OPC and LMC

Types of concrete	W/C (%)	Latex (%)	Coulombs	Air content (%)	Spacing factor (μm)	Curing time (days)
OPC	33	0	4,000	5.43	601	28
LMC	33	15	1,525	4.54	405	

Table 5 Result of air void system of LMC

	OPC	LMC
Number of air void	1,361	3,490
Average area of air void (μm^2)	278,806	94,026
Air content (%)	5.43	4.54
Spacing factor (μm)	601	405

별 영향을 미치지 못하고 오히려 투수저항성이 높아진 것으로 평가되었다. 공극간의 거리가 먼 OPC의 경우보다 수분의 흐름 통로로 이용되는 공극간의 거리가 짧은 LMC의 경우가 보다 높은 투수저항성을 나타내고 있다. 이는 LMC가 갖는 특성에 기인한 것으로 콘크리트 내부에 형성된 라텍스 폴리머 입자간의 필름막이 불투수층을 형성함으로써 공극으로의 수분 이동을 억제하기 때문인 것으로 판단되어진다.

3.2 조강시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트

3.2.1 공극 구조 상태 분석

조강시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트의 공극 구조 분석 결과를 살펴보면, Fig. 6에서와 같이 라텍스의 혼입으로 직경 50~500 μm 내의 미세 연행 공극수가 급격히 증가함을 알 수 있다. 여기서 G는 굵은골재 최대치수, AF는 소포제의 첨가량을 나타낸다. 콘크리트 내부에서의 연행공극 증가는 작업성 증진, 내동결성 향상과 직접적인 연관성을 가지고 있다. 소포제를 첨가한 HES-LMC의 경우는 1,000 μm 이하의 연행공기량이 현저히 감소하는 결과를 보이고 있다. 그러나, 1,000 μm 이상의 간헐 공기량에 대한 소포 효과는 미미한 것으로 나타났다. 1,000 μm 이상의 간헐 공극은 전체 공기량의 약 1% 내외를 차지하였으나, 1,000 μm 이하의 연행공기는 라텍스의 첨가와 소포제의 첨가로 그 범위가 변화되어 임의 조절이 가능한 것으로 나타났다. Fig. 7(a), (b)는 1,000 μm 미만의 미세 공극에 대한 공기량을 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면, 라텍스 첨가 시 직경 50~500 μm 내의 미세 공극수가 증가하며 이렇게 증대된 공극수가 차지하는 비율도 상당히 커짐을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 라텍스 첨가 시 전체 공기량의 증대를 가져오며 전체 공기량 중 직경 50~500 μm 범위의 연행공극이 매우 효과적으로 분포함을 알 수 있었다.

3.2.2 간격계수와 투수성과의 관계

조강시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트의 내부 공극

구조 분석에서 라텍스의 첨가로 인하여 50~500 μm 범위 내의 미세공극수가 급격히 증가하며 그에 따라 공기량이 증가함을 알 수 있었다. 또한, 소포제의 첨가로 인한 파포, 역포 효과로 미세공극의 수가 감소하여 공기량이 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 공극 구조의 변화에 따른 투수 특성을 알아보코자 염소이온 침투저항성시험을 실시하였다.

Table 6은 HES-LMC에 대한 전체 공기량 변화와 투수성 실험 결과를 나타낸 것이다. 공극 특성에 따른 간격계수를 살펴보면, 굵은골재 최대 치수 13mm와 25mm에서 라텍스만을 혼합한 경우 공기량은 4.73%와 4.64%를 나타내었으며 공극 간 거리는 각각 318 μm , 281 μm 로 측정되었다. 그러나 동일 조건에 소포제를 첨가한 경우 전체 공기량이 3%이하로 낮아졌으며 공극 간 거리도 642 μm 와 841 μm 로 매우 크게 평가되었다.

평가된 공극 특성과 투수성과의 상관성을 분석하여 보면, 재령 7일에서 굵은골재 최대 치수에 따른 투수성의 차이를 보이기도 하지만, 재령 28일에서 있어서의 투수성은 모든 변수에 있어 큰 차이를 보이지 않고 있다. 즉, 소포제를 첨가하여 공기량을 3%이하로, 간격계수를 600 μm 이상으로 변화를 준 경우와 라텍스만을 혼합하여 간격계수를 300 μm 정도로 변화시킨 경우 모두 염소이온 침투저항성 결과는 1,000~2,000 쿨롱의 투수성을 나타내었다.

이를 보다 자세히 분석하면, Table 7에 나타낸 바와 같이 라텍스 혼합시 전체 공극수는 약 5,000개 이상으로 분포되어 있으나 소포제의 첨가로 1/10로 적어지는 현상을 관찰할 수 있었다.

이러한 공극수의 차이로 간격계수의 변화가 나타났으나 콘크리트 내부의 투수성과는 상관성이 없는 것으로 평가되었다. 이러한 것은 라텍스의 첨가로 인하여 콘크리트 내부가 공극 상태에 상관없이 독립적인 불투수층의 라텍스 필름막 형성으로 투수 자체를 억제하기 때문인 것으로 판단되었다. 이를 통해 라텍스로 개질된 콘크리트의 경우, 일반 콘크리트와는 달리 내부 공극 구조의 특성과 투수성의 상관성이 매우 낮은 것으로 판단되었다.

3.3 초속경시멘트를 이용한 초속경라텍스개질 콘크리트

3.3.1 공극 구조 상태 분석

VES-LMC는 라텍스 첨가시 적정량의 소포제가 첨가되어야 더 우수한 효과를 보인다는 것이 이미 기존 연구문헌을 통해 소개되었다⁵⁶⁾. 따라서, 본 연구에서 라텍스 혼합입물 1%에 해당하는 소포제를 첨가하여 소포제의 첨가미치는 영향에 대해서 고찰하였다. Fig. 8은 화상분석기법을 통해 분석된 VEC와 VES-LMC의 공기량을 나타낸 것이다. 라텍스를 첨가하지 않은 VEC의 경우 경화 후 단면에서 측정된 공기량은 약 3.6%였으며, 라텍스를 첨가한 VES-LMC의 경우 이보다 낮은 2.5%로 분석되었다.

Table 6 Spacing factor of HES-LMC

Type of concrete	W/C (%)	Latex (%)	Coulombs		Air content (%)	Spacing factor (μm)
			7days	28days		
G13-AF0	34	15	4,300	1,800	4.73	318
G13-AF0.5*	35	15	4,600	2,000	0.92	841
G25-AF0	31	15	1,800	1,000	4.64	281
G25-AF0.5	32	15	2,200	1,500	2.41	642

*G13 : Gmax 13mm, AF0.5 : Antifoamer 0.5%

Table 7 Result of air void system of HES-LMC

	G13-AF0	G13-AF0.5	G25-AF0	G25-AF0.5
Number of air void	5,041	452	5,888	735
Average area of air void (μm^2)	59,318	107,565	46,877	143,648
Air content (%)	4.73	0.92	4.64	2.41
Spacing factor (μm)	318	841	281	642

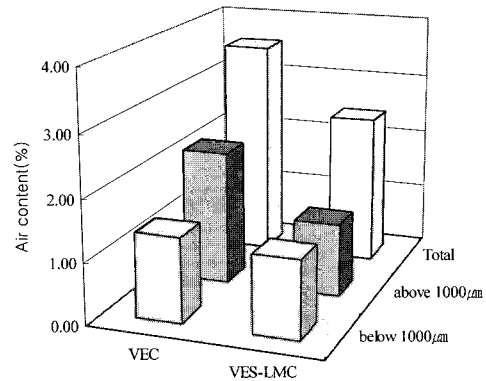


Fig. 8 Comparison of air content for VES-LMC

라텍스는 유화제 및 안정제와 같은 계면활성제에 의한 작용으로 작업성의 향상과 연행공기제의 효과가 있는 것으로 알려져 있으나, VES-LMC에서는 배합 시에 첨가되는 소포제의 영향으로 공기량이 감소된 것으로 판단된다.

AE 감수제를 사용하지 않은 VEC의 높은 공기량은 낮은 물-시멘트비로 인한 된배합 조건으로 밀실한 구조를 갖추지 못한 결과에 기인하는 것으로 판단되었다. 이는 연행공기량과 갇힌공기량을 비교분석하여 본 결과, Fig. 8에서와 같이 내부 공극 직경이 1,000 μm 이상인 공기량이 매우 크게 나타나 이러한 판단을 뒷받침하고 있다.

그러나 VES-LMC의 경우 라텍스 첨가로 유동성이 증대되고 소포제의 파포 작용으로 과다 공극의 형성이 억제되는 것으로 나타났다.

3.3.2 간격계수와 투수성과의 관계

Table 8은 VEC와 VES-LMC에 대한 염소이온 침투저항성시험 결과와 내부 공극 구조 분석 결과를 정리해 놓은 것이다. 이를 살펴보면, VEC는 내부 공기량이 3.56%,

Table 8 Spacing factor of VES-LMC

Types of concrete	Latex (%)	Coulombs	Air content (%)	Spacing factor(μm)	Curing time (days)
VEC	0	710	3.56	534.4	28
VES-LMC	15	127	2.52	274.5	

Table 9 Result of air void system of VES-LMC

	VEC	VES-LMC
Number of air voids	1,708	7,291
Average area of air void (μm^2)	147,036	25,344
Air content(%)	3.56	2.52
Spacing factor(μm)	534	274

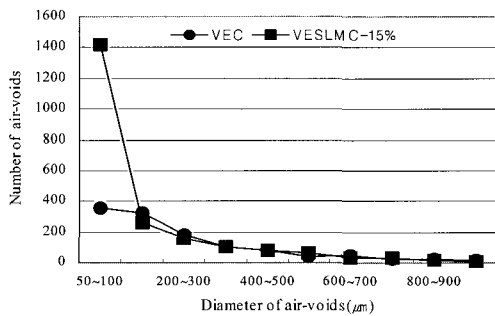


Fig. 9 Distribution of air voids in numbers at VES-LMC

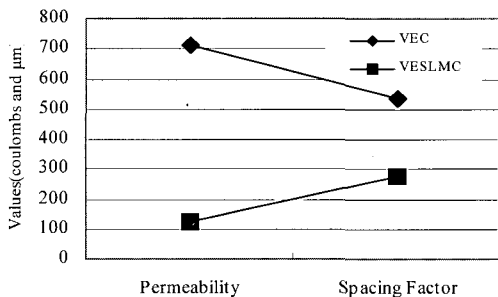


Fig. 10 Relationship of permeability and spacing factor for VES-LMC

투수성이 710쿨롱값을 나타내었다. VES-LMC는 내부 공기량 2.52%, 투수성 127쿨롱의 매우 높은 투수 저항성을 나타내었다. 이러한 결과는 VES-LMC의 내부 공기량 감소로 인한 투수성의 감소로 판단할 수 있으나, 간격계수와 상관관계를 고찰하여 볼 경우 다음과 같은 해석이 가능하다.

즉 VEC의 내부 공극 간격계수는 534.4 μm 로 측정되었으며, VES-LMC의 경우 적은 공기량에도 불구하고 약 270 μm 로 측정되었다. 이러한 내부 공극 간격계수의 차이는 단순한 공기량의 차이에 기인하는 것이 아니며 Table 9에 나타낸 바와 같이 공극수에 기인하게 된다. VES-LMC의 경우 VEC와 비교하여 소포제의 사용으로 전체 공기량은 감소하였으나, 직경 100 μm 미만의 연행공극 수는 Fig. 9와

같이 급격히 증가함을 알 수 있다.

이러한 미세연행공극 수의 증가로 인하여 전체 공기량 감소에도 불구하고 공극 간 거리인 간격계수는 VEC보다 작은 값을 갖는 것으로 평가되었다. 또한, 작은 간격계수에도 불구하고 투수성에 대한 저항성은 VEC보다 우수한 것으로 나타났다.

Fig. 10에 나타낸 투수성과 간격계수와 관계를 살펴보면, 초속경콘크리트와 라텍스개질 초속경콘크리트에서 투수성과 간격계수의 관계는 반비례로 작용함을 알 수 있다. 이러한 결과는 라텍스의 첨가에 따른 것이며, 라텍스개질 콘크리트에 있어서 간격계수와 투수성과의 상관관계는 내부 공극간의 간격계수에 의한 영향보다는 라텍스 첨가에 의한 라텍스 필름막의 불투수성에 따른 영향이 더 큰 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 시멘트 종류에 따른 라텍스개질 콘크리트의 내부 공극 구조 특성을 평가하기 위하여 경화 후 공기량, 공극 직경에 따른 공극 분포 및 간격계수 등 다양한 내부 특성을 분석하여 투수저항성과의 상관성을 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 동일 물-시멘트비 조건에서 AE 감수제를 사용한 일반 포틀랜드시멘트에 비해 라텍스개질 콘크리트의 경우가 더 우수한 연행공극 효과를 보였다. 또한, 라텍스의 혼입으로 인하여 미세 연행공극 수가 증가되어 공극간 거리는 짧아졌으나 이에 반비례적으로 투수저항성은 오히려 높게 평가되어 라텍스 첨가에 따른 내부 공극의 간격계수와 투수성과의 상관성은 크지 않은 것으로 평가되었다.
- 2) HES-LMC의 경우 굵은골재 최대 치수에 상관없이 라텍스와 소포제의 첨가에 따라 내부 공극 구조가 변화되었으나, 간격계수와 투수성과의 관계는 미미한 것으로 나타났다.
- 3) VES-LMC의 경우 소포제의 첨가로 인하여 전체 공기량에서는 라텍스를 첨가하지 않은 경우보다 다소 낮게 측정되었으나, 100 μm 미만의 미세 연행공극 수의 급증으로 인하여 간격계수는 오히려 더 낮게 측정되었다. 또한, 낮은 간격계수에도 불구하고 투수성에 있어서는 100쿨롱대의 불투수 특성을 나타내었다. 이를 통해 VES-LMC에서 소포제의 사용에 따른 전체 공기량의 특성은 경화 후 VES-LMC의 특성에 큰 영향을 주지 않으며 오히려 라텍스의 첨가에 따른 영향이 더 지배적임을 알 수 있었다.
- 4) 시멘트 종류에 따른 라텍스개질 콘크리트의 내부 공극

구조의 변화를 분석한 결과, 라텍스의 혼입 유무와 소포제의 혼입 유무에 따라 내부 공극 구조는 크게 변화되는 것으로 평가되었다. 특히, 라텍스의 첨가는 미세 공극의 연행 효과가 매우 우수하여 300 μm 이하의 낮은 간격계수를 나타내었으나 이러한 공극 구조에 따른 투수성과의 상관성은 미미한 것으로 나타났다. 즉, 라텍스개질 콘크리트에서의 투수성은 라텍스 폴리머의 필름막에 의해 직접적인 영향을 받으며 내부 공극 구조의 변화에 따라서는 큰 영향을 받지 않는 것으로 평가되었다.

이상의 결론으로부터, 시멘트 종류에 상관없이 콘크리트 제조시 라텍스의 혼입에 따른 내부 공극 구조의 변화와 투수성과의 상관성은 미미한 것으로 평가되었다. 그러나, 공극직경 마이크로미터(μm)이하의 초미립 공극 구조에 대한 평가와 라텍스 혼입비율에 따른 상관성 분석이 추후 시행되어 이에 대한 종합적 분석, 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 임정호, 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성 및 기포 조직에 관한 연구, 명지대학교, 박사학위논문, 1997, pp.1~55.
2. 한국콘크리트학회, 최신 콘크리트 공학, 한국콘크리트학회, 2001, pp.110~117.
3. Pigeon M. and Pleau R., *Durability of Concrete in Cold Climates*, E & FN SPON, 1995, pp.43~115.
4. Powers T. C., "Void Spacing as a Basis for Producing Air-Entrained Concrete", *Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association*, Vol.50, 1954, 741pp.
5. 정원경, 초속경시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트의 강도발현 및 투수 특성, 강원대학교, 석사학위논문, 2001, pp.1~60.
6. 최상릉, 초속경 SB 라텍스개질 콘크리트의 개발, 강원대학교, 박사학위논문, 2002, pp.1~100.
7. 이종명, 라텍스개질 콘크리트의 내구 특성, 강원대학교, 석사학위논문, 2001, pp.5~40.
8. KS F 2711, 전기 전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성시험 방법, 산업표준심의회 심의, 한국표준협회, 2002, pp.1~16.
9. 권혁찬, 화상분석법을 통한 경화 콘크리트의 내부 공극 구조 분석, 강원대학교, 석사학위논문, 2004, pp.1~55.
10. 김기철, 화상분석기를 이용한 경화콘크리트의 기포측정법 개발에 관한 연구, 대구대학교, 석사학위논문 1998, pp.10~35.
11. Peterson K. W, Swartz R. A, Sutter L. L, and Van Dam T. J., *Air Void Analysis of Hardened Concrete with a Flatbed Scanner*, Transportation Research Board, Washington, D.C. 2001, pp.1~24.
12. Verbeck G.J., "The Camera Lucida Method for Measuring Air Voids in Hardened Concrete", *Research Laboratories of the Portland Cement Association*, Vol.43, 1947, 1025pp.

요 약

라텍스개질 콘크리트는 라텍스의 첨가로 인하여 콘크리트의 내구성을 개선하는 것으로 알려져 있으며, 투수저항성이 크게 향상되는 것으로 연구되었다. 본 연구에서는 SBR 라텍스 혼입에 따른 콘크리트 내부 공극 구조의 변화를 연구하고자 화상분석법을 이용하여 라텍스개질 콘크리트의 W/C비, 라텍스 함량, 시멘트 종류에 변화를 주어 간격계수, 경화 후 공기량, 공극 직경에 따른 공극 분포 및 공극 구조 상태 분석 등을 파악하였다. 또한, 라텍스 첨가에 따른 내부 공극 구조 특성과 투수저항성과의 상관성을 비교하였다. 라텍스개질 콘크리트는 내부 공극 분석 결과, 동일 물-시멘트비 조건에서 AE감수제를 사용한 OPC에 비해 더 우수한 연행공극 효과가 있는 것으로 분석되었다. 초속경시멘트는 100 μm 미만의 연행공극의 수가 4배 이상 증가하였다. 조강시멘트는 SBR 라텍스로 인하여 50~500 μm 범위의 미세 연행 공기량이 약 7배 이상 증가되는 현상을 나타내었다. 그러나 투수성에 있어서는 낮은 간격계수에도 불구하고 높은 투수저항 특성을 나타내었다. 내구성에 있어서 라텍스개질 콘크리트에서는 공극 구조의 영향보다는 라텍스 폴리머 필름에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 화상분석, 라텍스개질 콘크리트, 소포제, 공극, 투수성