

라텍스 개질 콘크리트의 동결-융해 저항특성 및 표면박리 저항특성

Test Freeze-Thaw Resistance and Scaling Resistance of Latex Modified Concrete

윤경구* · 이주형** · 정원경*** · 김태경**** · 이승재*****

Yun, Kyong Ku · Lee, Joo Hyung · Jung, Won Kyung · Kim, Tae Kyung · Lee, Seung Jae

1. 서 론

콘크리트의 동결융해는 여러 가지 열화기구에 의해 작용을 받지만 동결융해에 의한 시멘트페이스트의 파괴가 복잡한 형태로 진행되어 그 작용기구를 명확히 규명하기란 쉽지 않다. 또한 겨울철 도로에 살포되는 제설제가 콘크리트 조직의 분해 및 결합력의 상실로 노화가 촉진된다. 아스팔트콘크리트 교면포장은 아스팔트와 콘크리트가 서로 다른 이질재료이기 때문에 바닥판 콘크리트와 아스팔트의 낮은 부착력으로 인해 들뜸현상을 초래하여 균열이 발생하게 된다. 또한 콘크리트 교면포장은 교량의 바닥판 콘크리트와 동시 타설로 시공성은 양호하나 교면의 평탄성 확보가 어려워 승차감이 불량하고, 반복하중으로 인하여 균열이 발생한다. 이러한 균열의 발생은 방수층의 시공을 곤란하게 하여 우수 및 염화물의 침투가 발생되어 교량의 내구성을 저하시키는 원인이 된다. 이와같은 기존의 교면포장 덧씌우기의 문제점을 극복하기 위해 국내의 경우 1900년 후반부터 라텍스 개질 콘크리트(Latex Modified Concrete ; 이하 LMC)를 이용한 교면포장에 대해서 지속적으로 연구가 진행되고 있으나^{1,2,3,4)} 동결에 따른 LMC의 내구특성은 연구가 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 동결융해 저항성과 표면박리 저항 특성에 기초하여 라텍스 개질 콘크리트의 내구특성을 평가하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 실험개요

LMC 배합설계 및 특성에 관한 국내의 규정은 아직까지 확립되지 않은 실정으로 기 연구발표된 배

* 정희원 · 강원대학교 토목공학과 조교수 · 033-250-6236 (E-mail: kkyun@kangwon.ac.kr)
** 정희원 · 강원대학교 신소재복합연구센터연구원 · 033-250-6240 (E-mail: jhlee2@kangwon.ac.kr)
*** 정희원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 · 033-250-6240 (E-mail: wonkyong@hanmail.net)
**** 정희원 · 승화이엔씨 기술연구소 소장 · 02-2277-7213 (E-mail: tkkim@seunghwa.co.kr)
***** 정희원 · 승화이엔씨 대표이사 · 02-2277-7213



합조건으로 실험하였으며 특히, LMC의 동결-융해에 관한 연구는 미비한 실정으로 단기간에 실제의 환경조건에 노출되는 콘크리트에 대해 비교적 정확하게 표현할 수 있는 동결융해시험과 표면박리저항 시험을 수행하였다. 주요 실험변수는 라텍스 혼입율 0, 5, 10, 15, 20%를 선정하였다. OPC의 배합은 고속도로포장 시험배합에 근거하여 결정하였다. 굳지 않은 콘크리트 상태에서는 초기 슬럼프 실험과 시간경과에 따른 슬럼프변화 그리고, 공기량 실험을 수행하였으며, 굳은 콘크리트에서는 LMC의 강도 특성을 고찰하기 위해 압축강도와 휨강도 시험을 하였다.

2.2 사용재료 및 배합

본 연구의 실험에 사용된 라텍스는 미국 D사 제품으로 스틸렌-부타디엔계열의 것을 사용하였으며, 이것은 콘크리트제품용으로 제조되어 사용되고 있는 것이다. 시멘트는 비중 3.14의 국내 S사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 굵은 골재는 덧섞우기 포장 최대치수 13mm, 비중 2.57의 레미콘용 쇄석을, 잔골재는 비중 2.6의 강모래를 사용하였다. 본 연구는 시멘트대비 라텍스 혼입율을 주요변수로 하였으며, 이에 따른 배합설계는 표 1과 같다.

표 1. LMC 내구특성 평가를 위한 배합표

W/C (%)	S/a (%)	L/C (%)	Mix Proportion (kg/m ³)				
			Cement	Water	Sand	Gravel	Latex
35	34	0	400	140	621	1209	0
45	30	0	400	180	517	1209	0
37	55	5	400	128	1012	834	40
		10	400	108	984	811	80
		15	400	88	956	788	120
		20	400	68	927	765	160

2.3 실험방법

2.3.1 강도시험과 슬럼프 시험

압축강도 시험은 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 사용하여 KS F 2405의 제규정에 따라 실시하였으며, 휨강도 시험은 $100 \times 100 \times 460$ mm 빔 공시체를 제작하여 KS F 2408의 규정에 따라 실시하였다. 또한, 슬럼프 경시변화를 알아보기 위하여 KS F 2402의 규정에 따라 슬럼프를 측정하였다.

2.3.2 동결-융해 및 표면박리저항 실험

(1) 동결융해 저항성 : KS F 2456(ASTM C 666) B Type에 따라 공기 중 급속동결 수중 급속융해의 방법으로 실시하였으며 이때 공시체 중심에서의 온도를 동결시 -18°C , 융해시 4°C 로 상승시키는 것을 1사이클로 4시간으로 하여 반복 수행하였다. 그림 1에 실제 동결융해시험 싸이클에서 측정된 시험기 내부 챔버와 공시체 내부의 온도 변화를 나타내었다.

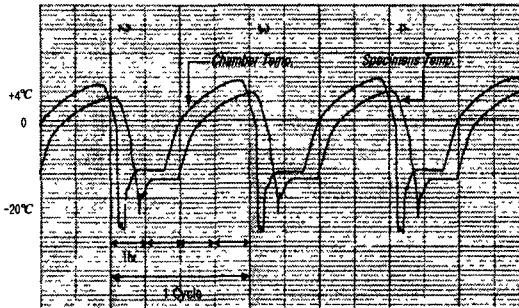


그림 1. 동결융해 저항성 온도변화

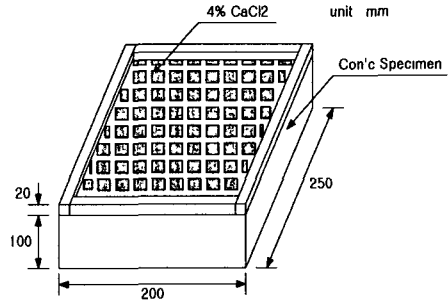


그림 2. 표면박리 저항 시편 모식도

(2) 표면박리저항 : ASTM C 672의 제 규정하고 있는 제빙염(CaCl_2)에 노출된 콘크리트 표면의 동결-융해에 의한 Scaling 저항시험 방법에 따라 실시하였다. 본 연구에서는 보통콘크리트에 라텍스를 첨가하여 제빙염에 대한 표면박리 손상정도를 비교, 이를 토대로 내구성 저하에 따른 문제점을 고찰하였다. 무게변화 측정과 ASTM에서 규정한 표 2에 따라 육안에 의한 표면손상을 관측하여 Scaling 저항성에 대한 분석을 실시하였다.

표 2. 표면박리 육안관찰 기준등급

Rating	Condition of surface
0	No scaling
1	Very light scaling (maximum dept of 3mm, no coarse aggregate visible)
2	Slight to moderate scaling
3	Moderate scaling(some coarse aggregate visible)
4	Moderate to severe scaling
5	Severe scaling(coarse aggregate visible over entire surface)

3. 라텍스 개질 콘크리트의 강도특성

3.1 라텍스 혼입율이 공기량에 미치는 영향

그림 3은 라텍스 혼입을 변화에 따른 라텍스 개질 콘크리트의 공기량을 나타낸 것으로서 공기량은 6.5~7.5%로 일반 콘크리트의 공기량보다는 높게 나타났는데, 이와 같이 라텍스를 혼입함으로써 공기량이 증가하는 것은 라텍스의 불베어링작용과 라텍스 표면의 계면활성제의 분산작용에 의한 것으로 판단된다.

3.2 슬럼프 경시변화

동일한 물-시멘트비와 잔골재율을 갖는 LMC는 라텍스 혼입을 변화에 따라 약 7~25cm정도의 슬럼프 변화를 나타내었다. 즉, 라텍스 혼입율이 증가할수록 유동성이 증가하며, 소요의 워커빌리티를 얻는데 요구되어지는 단위수량을 감소시키는 것으로 나타났다.

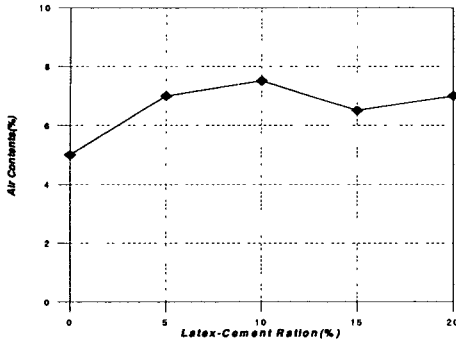


그림 3. L/C비에 따른 공기량변화

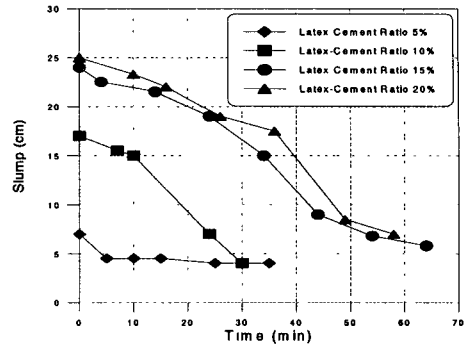


그림 4. L/C비에 따른 슬럼프경시변화

그림 4에서 라텍스 혼입율이 5%와 10%의 경우 배출 후 약 30분 후 슬럼프값이 4cm로 감소한 반면에 라텍스 혼입율이 15%, 20%의 경우 배출 후 약 50분이 경과한 후에도 7, 8cm의 슬럼프를 유지하는 것으로 나타났다. 또한 라텍스 혼입율 15%와 20%의 슬럼프는 차이를 보이지는 않아, 라텍스를 15% 이상 혼입하면 라텍스 혼입량이 증가해도 슬럼프 증가는 크게 나타나지 않는 것을 알 수 있었다.

3.3 압축강도 및 휨강도

그림 5는 라텍스 혼입율에 따른 재령 28일 압축강도로서 라텍스 혼입율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으며, OPC의 경우 일반적인 높은 물-시멘트비에 따라 압축강도가 저하되는 경향을 보였다. 라텍스 혼입에 따른 강도 저하 원인은 라텍스가 유연성을 지니고 있고, 압축에 의한 파괴가 골재주위의 필름막에서 이루어져 라텍스 혼입율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 것으로 판단된다.

그림 6은 라텍스 혼입율 변화에 따른 재령 28일 휨강도로 라텍스 혼입율이 증가할수록 휨강도는 증대되어 라텍스를 첨가하지 않은 OPC의 경우보다 최대 53%의 휨강도 증진을 보였다. 이처럼 라텍스 혼입율 증가에 따라 휨강도가 증진되는 이유는 라텍스 혼입으로 인한 미세공극의 충전효과와 더불어 라텍스 필름막이 재료들간의 접착력을 증가시켜 주기 때문이다^{6),7)}.

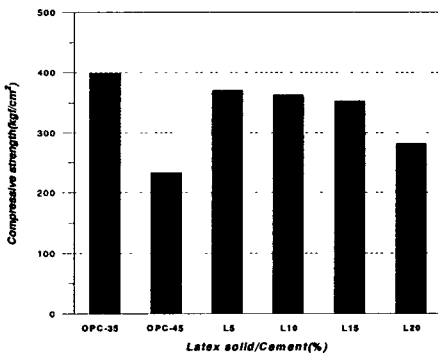


그림 5. L/C비에 따른 압축강도 특성

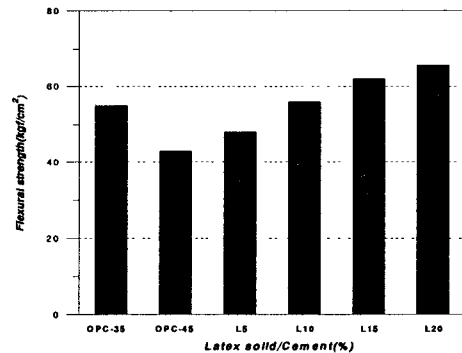


그림 6. L/C비에 따른 휨강도 특성



4. 내구특성실험 및 결과고찰

4.1 동결융해 저항특성

라텍스 혼입율에 따른 LMC의 동결융해 저항성을 실험한 결과, 그림 8과 같이 라텍스 혼입율이 5% 이상인 경우에는 동결융해 반복주기 300사이클까지 상대동탄성계수가 90% 이상 유지되는 것으로 나타나 내구성 저하는 발견되지 않았으며, 추가적인 증진현상 또한 발견할 수 없었다.

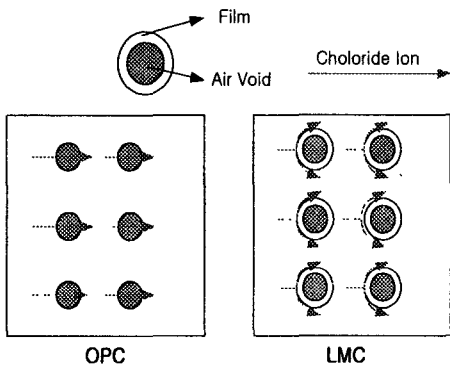


그림 7. 라텍스 필름막 모식도

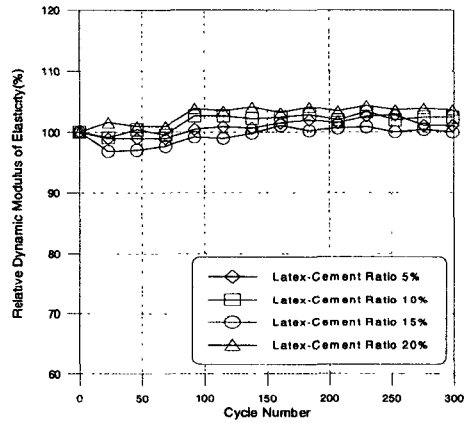


그림 8. 동결융해에 의한 동탄성계수의 변화

4.2 표면박리저항 특성

4.2.1 증량변화

각 동결-융해 사이클에 대한 무게변화를 표 3에 나타내었다. 물-시멘트비 45%의 OPC 시험체 시편을 100%로 보았을 경우, 낮은 물-시멘트비의 보통 콘크리트에서 21%의 감소를 나타내 고강도의 경우 표면박리 저항성이 우수함을 알 수 있었다. 또한, 라텍스 개질 콘크리트의 경우 물-시멘트비 45%의 보통 콘크리트에 비해 무려 1/140~1/309의 아주 낮은 표면박리량을 보여 제빙염에 의한 표면박리 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다. 특히 LMC의 라텍스 혼입율이 증가할수록 무게 손실량은 매우 적어져 혼입율 20%의 경우 거의 초기상태 그대로의 표면상태를 유지하는 것으로 나타났다.



표 3. 표면박리 실험에 의한 무게손실량 (Unit: g/m^2)

Specimen	Cycles									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
O-35	1.9	10.4	13.0	39.0	72.80	189.80	510.12	1035.32	1693.12	2480.92
O-45	15.6	54.6	72.8	135.2	327.60	611.0	1087.3	1673.88	2357.68	3150.68
L-5	0.00	0.00	6.4	9.99	13.25	14.45	16.73	19.12	21.18	22.48
L-10	0.00	0.00	5.8	8.8	11.51	12.38	14.34	15.75	17.27	18.47
L-15	0.00	0.00	3.2	4.24	6.30	7.17	8.15	10.21	11.73	13.25
L-20	0.00	0.00	0.7	2.61	3.58	4.45	5.76	6.84	9.67	10.21

4.2.2 표면박리 저항특성

동결-융해 작용에 따른 LMC의 무게 손실량을 ASTM C 672 기준과 비교하여 설정하였다. 연구에서 수행된 표면박리저항 실험을 토대로 2종류의 콘크리트에 대해 판단하였다. 그림 9와 같이 50 사이클에서의 결보기 등급은 OPC 시편에서 4~5 등급이었으나, 라텍스의 모든 혼입율에서 결보기 등급이 0 등급으로 나타나 라텍스의 일정량 첨가만으로도 콘크리트의 표면 손상이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 LMC가 추가적인 혼화재료의 사용 없이도 동결에 대해 매우 우수한 것을 확인할 수 있었고, 동결에 따른 콘크리트의 손상을 현저하게 줄일 수 있는 것으로 판단되어진다.

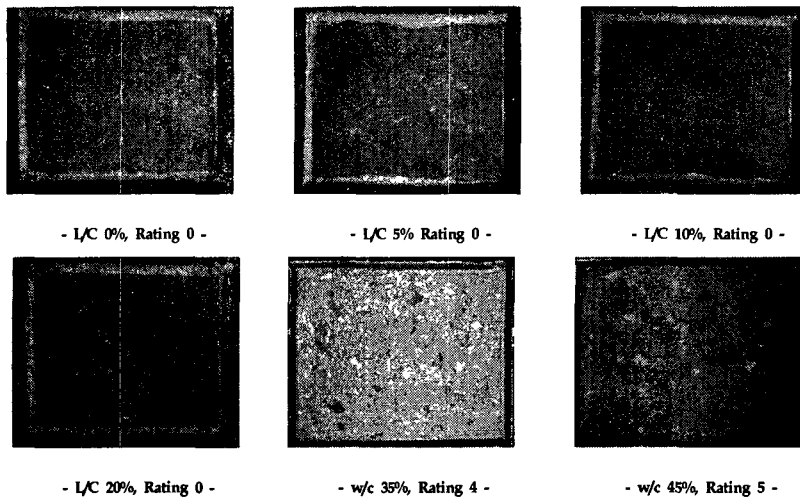


그림 9. OPC와 LMC 표면박리 육안관찰 등급

5. 결 론

라텍스 개질 콘크리트의 역학적 특성 및 화학적 제빙제의 동결-융해에 노출된 콘크리트의 박리저항성과 동결융해 저항성을 평가하기 위해 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.



1. 라텍스 혼입율이 증가할수록 폴리머 입자의 불베어링 작용과 계면활성제의 분산작용에 의하여 라텍스 개질 콘크리트의 작업성은 증가하는 것으로 나타났다.
2. 압축강도는 라텍스 혼입율이 증가할수록 감소한 반면에 휨강도는 증가하는 것으로 나타났다. 이와같은 결과는 라텍스가 콘크리트 내부의 공극을 충전시켜 주고 골재주위에 필름막을 형성함으로써 휨강도는 증가하지만, 골재주위의 유연성을 갖는 라텍스 필름막에서 압축파괴면이 형성되기 때문에 압축강도는 감소하는 것으로 판단된다.
3. 동결융해 저항성 실험 결과로부터 라텍스가 5% 이상 첨가되면 라텍스의 충전작용과 필름막 형성으로 인해 동결융해에 대한 저항성을 충분히 확보한다는 것을 알 수 있었다.
4. 라텍스 개질 콘크리트는 라텍스의 혼입에 의한 내부 필름막 형성으로 매우 효과적인 표면박리 저항특성을 나타내었으며, 라텍스 혼입율에 의한 차이는 미세한 것으로 나타나 일정량 이상의 혼입으로도 충분한 표면박리 저항성을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.
5. 결보기 등급은 라텍스 혼입율 5, 10, 15, 20%의 라텍스 개질 콘크리트에서 0등급이었으나 물-시멘트비가 낮은 경우와 높은 경우의 보통 콘크리트는 각각 4~5 등급으로 나타나 표면손상과 박리저항에 라텍스의 혼입이 매우 효과적인 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터와 승화E&C의 연구지원비에 의해 연구되었으며 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 홍창우, 윤경구, 최상룡, 김태경(2000), "라텍스 개질 콘크리트의 투수특성과 부착강도특성", 도로포장공학회 학술발표회논문집, pp. 191-197.
2. 이종명, 윤경구, 최상룡, 홍창우, 전인구(2000), "라텍스 개질 콘크리트의 투수특성", 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, pp. 191-196.
3. 김기현, 홍창우, 박상일, 양희용(2000), "LMC를 이용한 교면포장의 현장 적용성 평가", 대한토목학회 가을학술발표회논문집, pp. 99-102.
4. Bishara, A. G.,(1979), "Latex Modified Concrete Bridge Deck Overlays Field Performance Analysis", Ohio Department of Transportation, Report No. FHWA/ OH/79/004, pp. 96.
5. Clear, K. C. and Chollar, B. H.,(1978), "Styrene- Butadiene Latex Modifiers for Bridge Deck Overlay Concrete", Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Research and Development, April.
6. Kuhlmann, L.A.,(1990), "Experiments to Evaluate Factors Effecting the Permeability of Portland Cement Mortar and Concrete Modified with Styrene-Butadiene Latex," Presented at the Research Session, ACI Annual Meeting, Toront, Canada.
7. Kuhlmann, L. A.,(1981), "Performance History of Latex -Modified Concrete Overlays", ACI Publication SP-69 : Application of Polymer Concrete, pp. 205-218.