

시멘트 종류에 따른 SB 라텍스 개질 콘크리트의 강도 및 투수특성

Strength and Permeability Properties of SB Latex Modified Concrete for Cement Types

이 봉 학* 홍 창 우** 이 주 형** 김 동 호***
Lee, Bong-Hak Hong, Chang-Woo Lee, Joo-Hyung Kim, Dong-Ho

Abstract

This study focused on the investigation of strength development and permeability of LMC(Latex Modified Concrete) and RSLMC(Rapid-Setting Cement Latex Modified Concrete) as the latex content, cement types and w/c ratio changed. The compressive strength of latex modified concrete decreased slightly and the flexural strength increased quietly at 15% of latex content. This may be due to the flexibility of latex filled in voids and interconnections of hydrated cement and aggregates by a film of latex particles, respectively. The permeability test results showed that the permeability of LMC was considerably lower than that of conventional concrete. Results of chloride permeability test, for RSLMC indicated very low at an early age caused by the early formation of needle-shape ettringites and latex film.

키워드: 시멘트 종류, 라텍스, 투수성

Keywords: cement type, latex, permeability

1. 서론

현재 콘크리트 내구성 저하에 직접적인 영향을 주는 염해물이나 수분의 침투를 효과적으로 방지하기 위하여 제시된 방법 중의 하나가 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 기존 콘크리트에 라텍스 수지를 첨가하여 성질을 개선시킨 라텍스 개질 콘크리트(Latex Modified Concrete; 이하 LMC)를 제조하여 사용하는 것이다.¹⁾ 그러나, LMC의 경우 염화물이나 수분의 침투를 방지하여 콘크리트의 부식이나 열화에 효과가 있으나, 긴급보수용으로 사용하기에는 양생기간이 필요하므로 주로 신설교량에

적용하고 있다. 따라서, 양생기간을 단축하고 조기 교통개방이나 긴급 보수용으로 사용할 목적으로 초속경 시멘트를 사용한 콘크리트(Rapid Setting Cement Concrete; 이하 RSC)가 사용되고 있다. 그러나, RSC는 긴급 보수시 내구성 저하로 인해 내구연한이 3~4년에 불과해 유지보수비용이 증가하는 결과를 초래하고 있다.

그러므로, 본 연구에서는 기존 콘크리트포장의 교면포장 대체재료인 일반포틀랜드 시멘트를 사용한 라텍스 개질 콘크리트와 시공 후 외부적, 내부적 요인에 의해 파손된 교면포장체의 긴급보수용으로 사용할 수 있는 라텍스 개질 초속경시멘트 콘크리트(Rapid-Setting Cement Latex Modified Concrete;이하 RSLMC)에 대해 강도발현 및 투수 특성에 대해 고찰하고 이를 분석하였다.

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 토목공학과 박사후과정, 공학박사

*** 강원대학교 토목공학과 박사과정

2. 실험

2.1 실험개요

본 연구에서는 시멘트 종류에 따른 라텍스 개질 콘크리트의 역학적 메카니즘을 알아보기 위해 재료적 인자들의 영향을 실험을 통해 분석하고, 이를 바탕으로 일반 콘크리트(OPC), 라텍스 개질 콘크리트(LMC), 초속경시멘트 콘크리트(RSC) 및 라텍스 개질 초속경시멘트 콘크리트(RSLMC)의 사용성을 굳지 않은 상태와 굳은 상태의 콘크리트로 비교·분석하였다.

2.2 사용재료

일반 포틀랜드 시멘트와 초속경 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 제품을 사용하였으며, 화학적 특성은 Table 1에 나타내었다. 라텍스는 미국의 D사의 DL470을 사용하였으며, 이것은 스틸렌-부타디엔 계열로 시멘트 모르타르와 콘크리트에 사용하도록 생산된 제품이며 가장 많이 사용되고 있는 것이다. 굵은 골재는 교면포장의 덧쉬우기 목적으로 최대치수 13mm의 레미콘용 쇄석을, 잔골재는 콘지암에서 채취한 천연 강모래를 사용하였다.

2.3 배합설계

본 연구는 시멘트대비 라텍스 혼입률을 주요변수로 하여 배합계획을 하였다. 실험결과에 대한 비교평가를 위해 초기배출 슬럼프를 20±1cm 로 고정한 후, 라텍스 혼입률을 시멘트대비 0, 15%로 하여 실험을 수행하였다. 이상과 같이 시멘트 종류별에 따른 배합표를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Mix Properties of Latex Modified Concrete

Concrete	w/c (%)	S/a (%)	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	Latex (%)
RSC	49	58	390	191.1	0
	37	58	390	144.3	0
RSLMC	33	58	390	128.7	15
	37	58	390	144.3	15
OPC	45	58	400	180	0
	37	55	400	148	0
LMC	37	55	400	148	15

2.4 실험방법

슬럼프 실험은 KS F 2402에 따라 수행하였다. 슬럼프 경시변화의 측정은 초기 배출 후, 5분 간격으로 측정하였으며, 실험의 종료는 초속경시멘트의 경화로 인해 작업성이 불가능하다고 판단되어지는 2±1cm까지 측정하였다. 시멘트 종류에 따른 강도 특성을 분석하기 위한 압축강도 시험은 KS F 2405의 규정에 따라 실험하였다. 또한 휨강도 측정은 100×100×460mm뎀 공시체를 사용하여 KS F 2408의 규정에 따라 실시하였다.

염소이온 투과실험은 ASTM C 1202-91과 AASHTO T 259의 방법에 의거하여 수행되었다. 28일 동안 수중 양생한 직경 10cm의 콘크리트 시편을 두께가 5cm가 되도록 절단한 다음 실험을 수행하기 전까지 95%이상의 상대습도를 유지하도록 하였다. 실험시 시편은 양측에 위치한 전극용기에 고정시키고, 이들 용기에서 나온 전극을 단자로 해서 회로를 구성하였다. Fig. 1은 염소이온 투과실험 장치로 구성된 측정회로를 나타낸 것이며, Fig. 2는 실험 전 시편의 진공상태를 위한 장치이며, Fig. 3은 시험전경을 나타낸 것이다.

Table 1. Chemical Properties of OPC & RSC

Cement Type	Chemical Composition (%)						Blaine (cm ² /g)	Specific Gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
OPC	20.8	6.3	3.2	61.2	3.3	2.3	3200	3.12
Rapid-Setting Cement (Hauyne)	10.2	16.7	1.3	50.8	1.4	15.5	4500	3.04

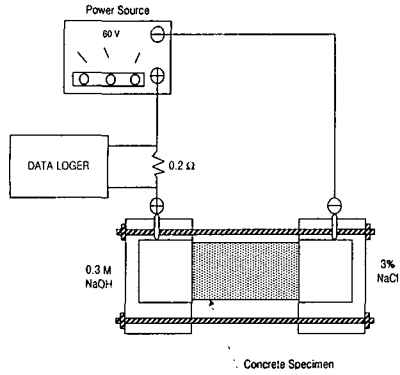


Fig. 1 Electrical Block Diagram for Chloride Permeability Test

Table 3. Chloride Permeability Ratings Based on Coulombs.

Coulombs	Permeability Rating
4000이상	High
2000~4000	Moderate
1000~2000	Low
100~1000	Very Low
100이하	Negligible

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프경시변화

동일한 물-시멘트 비와 잔골재율의 경우 OPC와 LMC를 비교하여 보면, OPC는 배합자체가 이루어지지 않아 슬럼프 측정이 불가능하나, LMC는 라텍스 혼입률 변화에 따라 최대 25cm 정도의 슬럼프 변화를 나타내었다. 즉, 라텍스 혼입률이 증가할수록 유동성이 증가하며, 소요의 워커빌리티를 얻는데 요구되어지는 단위수량을 감소시키는 것으로 나타났다.

RSLMC의 경우 급속한 경화와 더불어 라텍스 자체의 필름막 형성으로 인한 작업성 확보가 어려워질 문제가 있다. 따라서, RSLMC의 슬럼프 경시 변화 특성을 파악하여 적절한 작업시간을 확보하고자 하였다.

Fig. 4는 라텍스 혼입률 15%인 경우 LMC와 RSLMC의 슬럼프 경시변화를 나타낸 것이다.



Fig. 2 Vacuum Saturation Apparatus

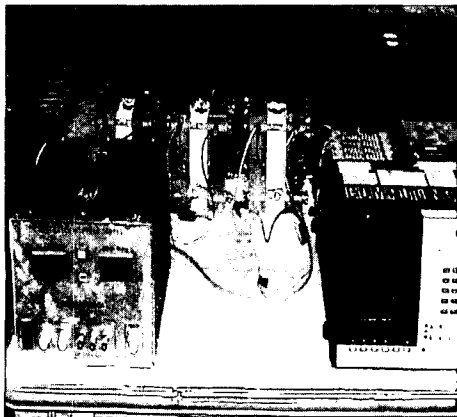


Fig. 3 Specimens Prepared for Chloride Permeability Test

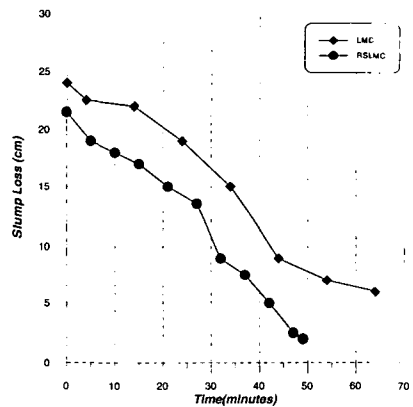


Fig. 4 Slump Loss of LMC and RSLMC with Times

보통 포틀랜드 시멘트와 초속경시멘트에 라텍스를 혼입할 경우 라텍스의 계면활성작용으로 초기 배출슬럼프가 매우 높아짐을 알 수 있었다. 이러한 높은 초기 슬럼프에도 불구하고 라텍스의 폴리머 입자의 재료접착력 증대로 재료분리, 블리딩과 같은 현상은 발생하지 않았다. 또한, 라텍스 혼입으로 인한 급격한 작업성 저하 등은 나타나지 않았으며, 초속경시멘트에 적절한 지연제를 사용할 경우 라텍스를 혼입하지 않은 초속경 콘크리트와 같은 작업조건을 가지는 것으로 나타났다. 이를 통해 굳지 않은 콘크리트상태에서 시멘트 종류에 따라 라텍스 혼입으로 인한 작업성 저하, 블리딩, 이 상용결 등과 같은 현상은 나타나지 않았으며, 작업성 증대, 재료분리 방지, 작업시간 확보 등과 같이 콘크리트의 제 성질을 향상시키는 결과를 나타냈다.

3.2 압축강도 특성

3.2.1 라텍스 혼입에 의한 영향

라텍스를 첨가하지 않은 RSC의 압축강도 발현 특성을 살펴보면, 재령 3시간에 압축강도가 298kgf/cm²이 발현되었다. 보통 포틀랜드 시멘트의 경우도 라텍스가 첨가되지 않은 경우 높은 압축강도를 나타내었다. 그러나, RSLMC는 초기 재령 3시간에서 RSC에 비해 약 30%, 28일 강도에서는 약 17%의 압축강도 저하를 나타내었다. 또한 LMC의 경우도 7일강도에서 약 7%, 28일 강도에서 약 13%가 감소되는 강도값을 나타내었다.

또한 Table 4에서와 같이 동일 물/시멘트 비에서 일반 포틀랜드 시멘트와 초속경시멘트의 경우 라텍스의 혼입으로 슬럼프가 증대되어 작업성이 현저히 증대한 반면에, 초기강도 및 장기강도는 다소 저하되는 것으로 나타났다.

Table 4. Compressive Strength of RSLMC and LMC with Latex contents

Type	Latex (%)	W/C (%)	Compressive Strength (kgf/cm ²)		
			3hrs	7day	28day
OPC	0	37	-	255	405
LMC	15	37	-	237	353
RSC	0	37	298	-	512
RSLMC	15	37	204	-	425

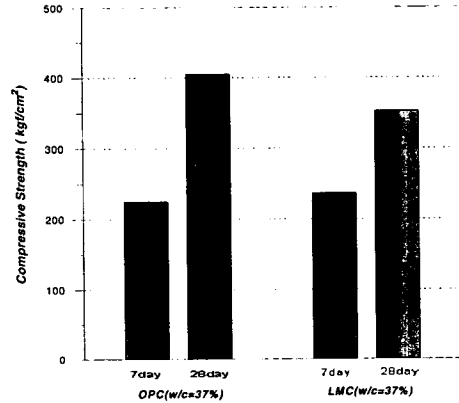


Fig. 5 Compressive Strength of OPC and LMC with Latex Contents

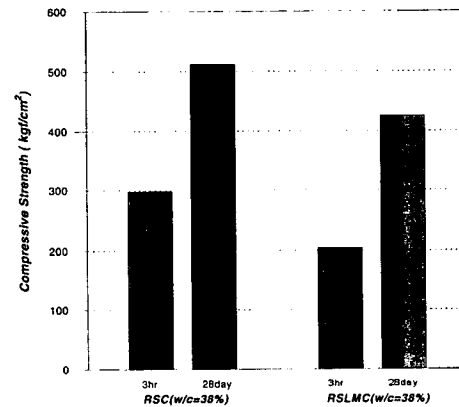


Fig. 6 Compressive Strength of RSC and RSLMC with Latex Contents

3.2.2 물-시멘트비에 의한 영향

동일 물/시멘트 비 조건에서는 라텍스의 혼입으로 약 7~17%의 강도저하를 나타내었으나, Fig. 7~8의 실험결과를 살펴보면 동일 작업조건에서는 보통 포틀랜드 시멘트를 이용한 LMC의 경우, 7일 강도와 28일 강도에서 약 30%의 압축강도 증진을 나타내었다. 또한, RSLMC도 라텍스의 혼입으로 재령 3시간 강도에서는 약 33%, 28일 강도에서는 약 20%의 강도 증진을 나타내었다.

Table 5. Compressive Strength of RSLMC and LMC with W/C Ratio

Type of Concrete	Latex (%)	W/C (%)	Slump (cm)	Compressive Strength (kgf/cm ²)		
				3hr	7day	28day
OPC	0	45	20±1	-	168	252
LMC	15	37		-	237	353
RSC	0	49		159	-	384
RSLMC	15	33		236	-	478

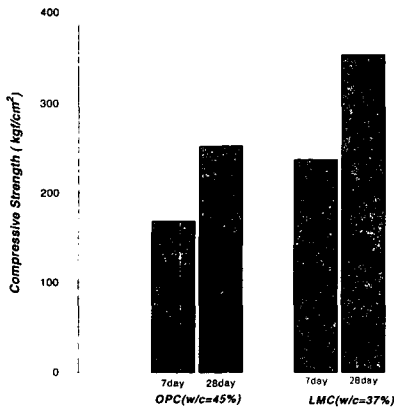


Fig. 7 Compressive Strength of OPC and LMC with W/C

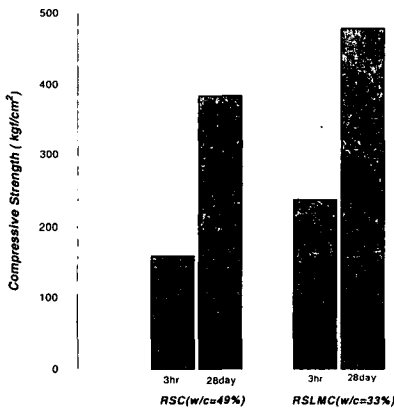


Fig. 8 Compressive Strength of RSC and RSLMC with W/C

3.3 휨강도 특성

3.3.1 라텍스 혼입에 의한 영향

라텍스를 혼입하지 않을 경우 보통 포틀랜드 시멘트와 초속경시멘트를 사용한 콘크리트의 경우 Table 6에 나타난 바와 같이 라텍스를 혼입한 경우에 비해 휨강도가 저하되는 것으로 나타났다. 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트의 경우 라텍스의 혼입으로 인한 휨강도 증진은 재령 7일에서 약 28%, 재령 28일에는 약 23%가 증대되는 것으로 나타났으며, 초속경시멘트에 라텍스를 혼입할 경우, 재령 3시간에서 약 10%, 재령 28일에서는 약 30%의 휨강도 증진을 나타내었다.

Table 6. Flexural Strength Properties of RSLMC and LMC with L/C

Type of Concrete	Latex (%)	W/C (%)	Flexural Strength (kgf/cm ²)		
			3hr	7day	28day
OPC	0	37	-	40	48
LMC	15	37	-	55	62
RSC	0	37	33	-	72
RSLMC	15	37	36	-	102

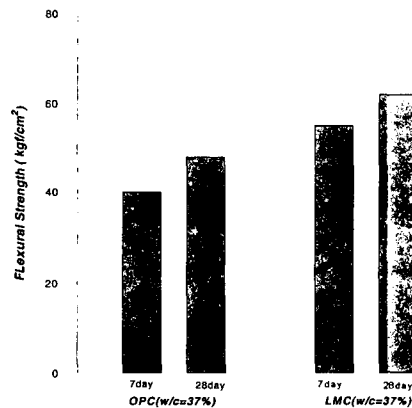


Fig. 9 Flexural Strength Properties of OPC and LMC with Latex Contents

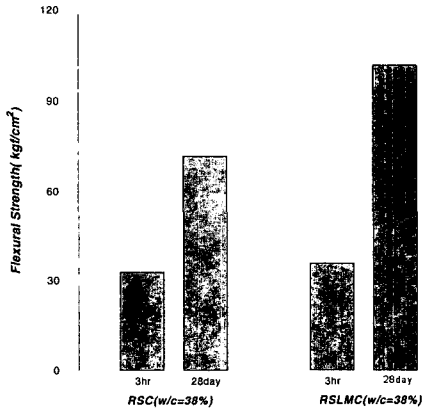


Fig. 10 Flexural Strength of RSC and RSLMC with Latex Contents

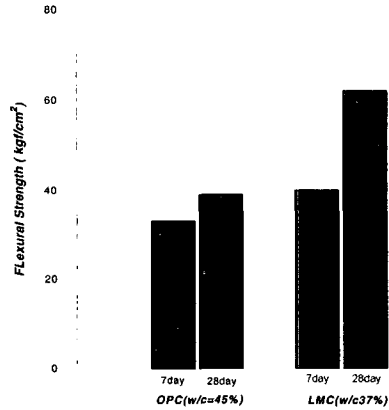


Fig. 11 Flexural Strength Properties of OPC and LMC with W/C

3.3.2 물-시멘트비에 의한 영향

동일 슬럼프 조건에서 LMC와 RSLMC의 휨강도 실험결과를 Table 7과 같다. 보통 포틀랜드 시멘트에 라텍스를 혼입하여 동일 작업조건으로 한 실험결과, 7일 강도에서는 약 15%, 28일 강도에서는 약 42%의 휨강도 증진을 나타내었으며, RSLMC의 초기 재령 3시간과 28일 강도에서도 각각 55%, 45%의 휨강도 증진을 나타내었다.

특히, RSLMC의 경우는 라텍스의 혼입으로 높은 작업성과 더불어 초기 재령 3시간 휨강도가 50kgf/cm²를 넘는 매우 높은 휨강도를 나타내어 현장적용이 가능할 것으로 판단된다.

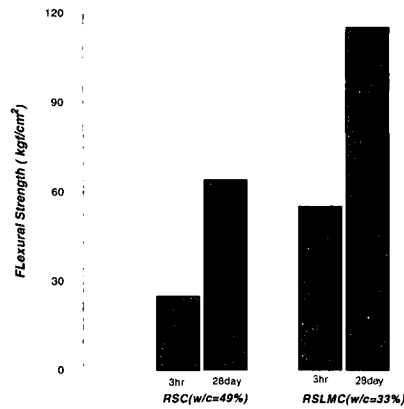


Fig. 12 Flexural Strength Properties of RSC and RSLMC with W/C

Table 7. Flexural Strength Properties of RSLMC and LMC with W/C

Type of Concrete	Latex (%)	W/C (%)	Slump (cm)	Flexural Strength (kgf/cm ²)		
				3hr	7day	28day
OPC	0	45	20±1	-	33	39
LMC	15	37		-	40	62
RSC	0	49		25	-	64
RSLMC	15	33		55	-	115

3.4 염소이온 투수 특성

3.4.1 OPC와 LMC의 투수특성

OPC와 LMC의 투수특성을 비교하기 위하여 재령 28일 압축강도가 400 kgf/cm²인 OPC와 라텍스 혼입률 15%인 LMC의 재령에 따른 투수성을 Table 8에 나타내었다. OPC의 압축강도가 400 kgf/cm²일 때 통과 전하량은 4000Q(coulombs)인 반면에 LMC는 압축강도가 300kgf/cm²로 OPC보다 작은데도 불구하고 통과전하량은 1400Q로 OPC보다 투수성이 낮은 것으로 나타났다. 또한 높은 물-시멘트 비를 가지는 OPC의 경우, 통과전하량은 6670Q의 매우 높은 투수특성을 나타내었다.

Table 8. Permeability of OPC and LMC

Type	W/C (%)	Latex (%)	Coulombs (Q)	Curing days
OPC	45	0	6670	28
	37	0	4000	
LMC	37	15	1400	

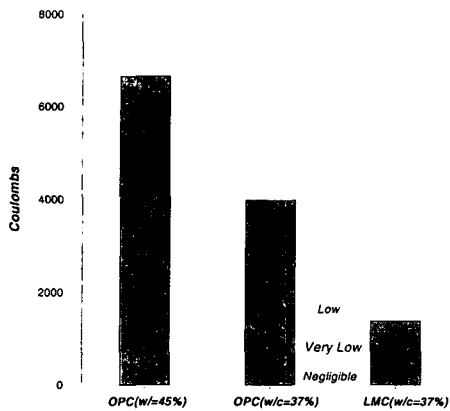


Fig. 13 Permeability of LMC and OPC

3.4.2 RSC와 RSLMC의 투수특성

Table 9에 나타난 것과 같이 라텍스의 첨가로 인해 초속경콘크리트의 투수성이 현저하게 낮아짐을 알 수 있다. 동일한 물-시멘트비 조건에서의 RSLMC와 RSC의 투수특성을 살펴보면, 라텍스가 혼입되지 않은 초속경콘크리트는 재령 28일에 높은 압축강도와 더불어 약 700Q의 매우 낮은 투수특성을 나타내었다. 초속경콘크리트에 라텍스를 혼입한 결과를 살펴보면, 라텍스의 첨가로 인해 초속경콘크리트의 낮은 투수특성은 더욱 낮아져 127Q의 값을 나타내었다. 동일 슬럼프에 따른 투수특성 결과를 살펴보면, RSLMC의 경우도 동일한 작업조건에서의 초속경콘크리트는 약 1300Q를 나타내었으나, 라텍스의 첨가로 인한 필름막 형성으로 인해 더욱 낮아져 68Q의 불투수성을 나타내었다.

Table 9. Permeability of RSC and RSLMC

Type	W/C (%)	Latex (%)	coulombs (Q)	Curing Time (days)
OPC	45	0	6670	28
	37	0	4000	
LMC	37	15	1400	
RSC	37	0	710	
	49	0	1312	
RSLMC	37	15	127	
	33	15	68	

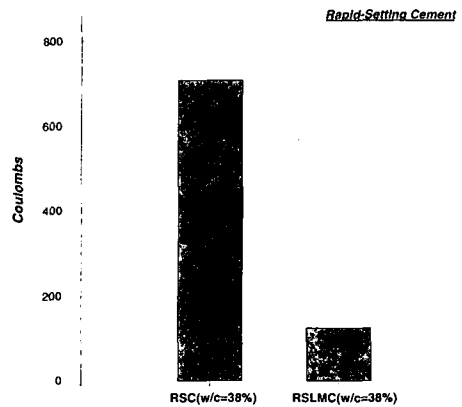


Fig. 14 Permeability of RSLMC with Latex Contents

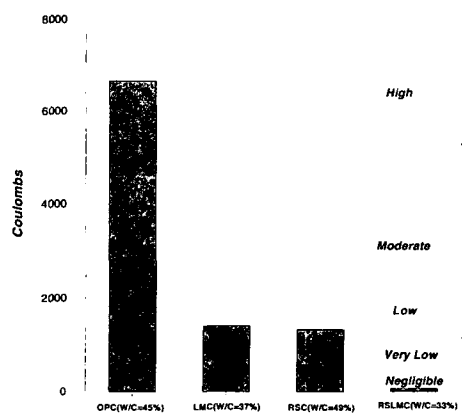


Fig. 15 Permeability of W/C ratios and Latex Contents

4. 결론

본 연구에서는 기존의 콘크리트의 내구성 저하 등의 단점을 보완하기 위한 방법으로 OPC, LMC, RSC 및 RSLMC의 거동을 경화된 콘크리트와 경화후 콘크리트에 대해 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

1) 슬럼프 경시변화 특성 결과 라텍스를 초속경 시멘트에 혼입할 경우 초속경시멘트만을 사용할 때와 같이 적량의 지연제를 사용하면, 작업에 필요한 충분한 작업성 및 작업시간 확보가 가능한 것으로 판단되어진다. 또한 보통 포틀랜드 시멘트에 라텍스를 혼입할 경우도 이상응결 등과 같은 화학적 반응의 성질은 나타나지 않았다.

2) 라텍스 혼입에 따른 압축강도 실험결과, 동일 물-시멘트 비 조건에서의 라텍스 첨가는 RSLMC와 LMC 모두에서 약 30%의 강도저하를 나타내었으나, 라텍스의 첨가로 인해 작업성은 현저히 증대되었다. 동일 작업성을 고려한 경우, 압축강도 실험결과 는 라텍스 혼입으로 보통 포틀랜드 시멘트에서 약 20%, 초속경시멘트에서 약 48%의 단위수량을 감소시키는 효과를 나타냈다.

3) 라텍스 혼입에 따른 동일 물-시멘트 비에서의 휨강도 발현 특성은 압축강도와는 달리 휨강도가 시멘트 종류와 재령에 상관없이 약 10~30% 향상됨을 알 수 있었다. 동일 작업조건에서의 휨강도 발현은 OPC의 경우에서는 라텍스의 혼입으로 약 15~42%, RSC의 경우는 약 45~55%의 휨강도 증진을 나타내었다.

4) OPC의 경우 염소이온 통과전하량이 6000 Q를 보여 매우 높은 투수성을 보인 반면에 RSC의 경우는 1312Q로 나타났다. LMC와 RSLMC의 경우 염소이온 통과전하량이 1400, 68Q로 상당히 감소되어 투수성이 매우 낮은 것으로 나타났다.

따라서, 라텍스 혼입은 콘크리트를 염화이온 및 누수 등에 의한 영향을 차단하여 콘크리트의 내구성을 증진시키는데 상당한 기여를 함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 강원대학교 부설 "석재복합신소재제품연구센터"의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 윤경구, 이주형.,(2000) "현장적용을 위한 라텍스 개질 콘크리트의 역학적 특성," 대한토목학회 가을학술발표회논문집, pp. 395-398.
- [2] 윤경구, 홍창우.,(2000) "라텍스 개질 콘크리트의 투수특성과 부차강도특성," 도로포장공학회 학술발표회논문집, pp. 191-197
- [3] 윤경구, 홍창우.,(2000) "라텍스 개질 콘크리트의 투수특성," 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, pp. 191-196
- [4] Eash, D. R. & Shafeer, H. H.(1975), "Reaction of Polymer Latexes with Portland Cement Concrete," Dow Chemical Company, Midland, Michigan.
- [5] Khulman, L. A. & Foor, N.(1984), "Chloride Permeability versus Air Content of Latex Modified Concrete," Cement, Concrete and Aggregates, Summer, ASTM
- [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.,(1984) "The Effects of Cure Time on Chloride Permeability of Latex Modified Concrete," Dow Chemical Co., Midland
- [8] Ohama, Y.,(1987) "Principle of Latex Modification and Some typical Properties of LMC," ACI Material Journal, Vol. 84, No. 6, Nov.-Dec. 1987, pp. 511-518.
- [9] Popovics, S.,(1987) "Strength Losses of Polymer-Modified Concrete under Wet Conditions," ACI SP-99 : Polymer Modified Concrete, pp. 165-190.
- [10] Walters, D. G.,(1990) "Comparison of Latex-Modified Portland Cement Mortars," ACI Material Journal, V.87, No.4, July-Aug. pp. 371-377
- [11] Waters, G. D.,(1987) "What are Latexes?," Concrete International, Vol. 9, No. 12, December, pp. 44-47
- [12] Whiting, D.,(1981) "Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete," Report No. FHWA/RD-81/119, Federal Highway Administration, Washington, D.C., Aug. pp. 174