

# 연속진동 및 간헐진동이 양생중인 라텍스개질 콘크리트에 미치는 영향

## Intermittent and Continued Vibrations Effects on Freshly Placed Latex Modified Concrete

정원경\* · 이주형\*\* · 최상릉\*\*\* · 홍창우\*\*\*\* · 윤경구\*\*\*\*\*

Jeong, Won Kyong · Lee, Joo Hyung · Choi, Sang Leung · Hong, Chang Woo · Yun, Kyong Ku

### 1. 서 론

도로포장에 있어 현장에서의 콘크리트 타설은 거의 대부분이 작업진동과 동시에 이루어진다. 또한 초속경 시멘트를 사용하여 도로포장을 시행하는 경우 보수·보강재로 쓰이는 관계로 인하여 모든 주행차선을 통제하고 작업하는 것이 아니라 주행차선을 개방한 후 다른 차선을 포장하는 것이 일반적이다. 단시간 내 경화와 강도발현이 이루어지는 초속경 시멘트 콘크리트의 경우 비록 짧은 시간이나마 주행 차량 하중에 의한 진동의 영향을 상당히 받게 되는 환경에 놓이게 된다. 이러한 진동은 초기 양생 중인 콘크리트에 미세균열 및 이상응결 등을 가져올 수 있으나, 현재 국내에서는 콘크리트에 대한 진동의 영향 평가가 제대로 연구되어지지 못하고 있으며 특수 시멘트의 경우 명확한 규정이 없는 실정이다. 차량 진동의 경우 진동의 크기가 작은 편이라 할 수 있지만 이러한 진동 하중을 양생 초기에 연속적으로 받을 경우 라텍스개질 콘크리트의 경우 라텍스 필름막 형성 등에 영향을 주어 성능을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 초기 진동에 의한 미세균열, 이상응결 및 필름막 파괴는 교량상판의 보호를 위한 덧씌우기 재료인 라텍스개질 콘크리트의 부착강도 저하 및 투수성의 저하를 가져올 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 교량 덧씌우기 재료로 사용되고 있는 라텍스 개질 콘크리트(Latex modified concrete;이하 LMC)와 긴급보수재료인 초속경 시멘트를 이용한 라텍스 개질 콘크리트(Rapid-setting cement latex modified concret;이하 RSLMC)에 대한 진동의 영향을 파악하고자 하였다.

### 2. 진동이 콘크리트에 미치는 영향

일반적으로 실제 현장에서 고려되어야 할 진동은 발파시의 진동, 파일항타시의 진동, 진동롤러 다짐기에 의한 진동, 교통하중에 의한 진동 등이다. 양생 중인 콘크리트가 받을 수 있는 진동의 종류는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 즉, 건설 현장에서 발생할 수 있는 진동으로 짧은 시간동안만 존재하는 일시 진동(순간 진동)과 일정 기간동안 계속하여 작용하는 연속 진동(일정 진동)으로 구분할 수 있다[3][4][9]. 미국토목학회(ASCE)에서는 발파진동에 대하여 다음과 같은 기준을 정하였다. 타설 후 12시간이내의 콘크리트에서는 0.254cm/sec의 낮은 기준을 사용하고, 재령시간이 길어질수록 허용할 수 있는 최대진동속도를 비례적으로 적용하도록 하였다[8]. 또한, Allen 등은 발파진동이 굳지 않은 콘크리트에 미치는 영향에 관하여 실내 및 현장 실험을 수행하여 표 1과 같은 허용진동속도를 제안하였다[5].

\*정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 (033-250-6240, E-mail : wonkyong@hanmail.net)

\*\*정회원 · (주)한국철도기술공사 · 공학박사 (02-2186-1887, E-mail : joobin2@krtc.co.kr)

\*\*\*정회원 · (주)한석엔지니어링 부사장 · 공학박사 (033-730-8853, E-mail : sangrc@sangrc.co.kr)

\*\*\*\*정회원 · 충주대학교 건설도시공학과 전임강사 · 공학박사 (E-mail : cwhong@hanmail.net)

\*\*\*\*\*정회원 · 강원대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 (033-250-6236, E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)

표 1. 콘크리트의 양생과 허용진동속도와의 관계

발파진동에 의한 영향				일정진동에 의한 영향			
미국토목학회 (ASCE)		Allen		Akins		오병환 등	
타설 후 시간	최대진동속도 (cm/sec)	타설 후 시간	최대진동속도 (in/sec)	타설 후 시간	최대진동속도 (cm/sec)	타설 후 시간	최대진동속도 (cm/sec)
0~12시간	0.254	0~3시간	4.0	1일 이내	0.508	0~12시간	0.3
12~24시간	1.27	3~11시간	1.5	1~7일 이내	5.08		
24시간~5일	1.27~5.08	11~24시간	2.0				
5일 이상	5.08	24~48시간	4.0	7일 이후	10.16		
		Over 48시간	7.0				

콘크리트가 양생 중에 받을 수 있는 또다른 진동은 차량진동, 장비에 의한 진동 등인 연속진동이다. Esteves는 진동이 균열에 나쁜 영향을 주는 시간을 11시간에서 16시간까지로 제시하였다[6]. 대한주택공사는 타설 후 3~5시간에 작용하는 진동은 콘크리트강도를 떨어뜨리고, 진동의 크기는 별다른 영향을 미치지 않는다고 보고하였다[2]. 오병환 등은 차량 등에 의한 진동이 양생 초기의 콘크리트에 미치는 영향을 연구하여 재령 12시간 이내의 콘크리트에 대하여 진동 규정치를 0.3cm/sec 정도로 할 것을 제안하였다[3]. Akins 등은 양생 중의 콘크리트에 진동을 주는 경우 타설 후 1일 이내에는 진동 속도가 0.508 cm/sec를 초과하지 않을 것을 추천하였다[7].

### 3. 사용재료 및 실험방법

#### 3.1 실험개요

본 실험에서는 일반 포틀랜드시멘트와 초속경시멘트를 이용하여 2종류의 콘크리트(LMC, RSLMC)를 제작하여 양생 중인 콘크리트에 미치는 진동의 영향을 평가하고자 하였다. 주요실험변수로는 표 2와 같이 진동 가력시점(초결, 24시간), 진동가력방법(연속, 간헐)으로 설정하였다. 결과 분석으로는 콘크리트의 압축강도, 휨강도 그리고 투수성을 고찰하여 진동 영향을 비교분석하였다.

표 2. 실험변수

종류	LMC		RSLMC	
가력시점	초결		24시간	
가력방식	초결	24시간	초결	24시간
	연속	간헐	연속	간헐

표 3. 진동영향 평가를 위한 콘크리트 배합표

Type	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )						Antifoam agent(1%)	retarder
			C	W	L	G	S			
LMC	33	58	390	65.3	122	737	958	-	-	
RSLMC	38	58	390	81.5	122	707	918	3.90	C×0.4%	

#### 3.2 사용재료 및 배합

본 연구의 실험에 사용된 라텍스는 미국 D사 제품으로 스티렌-부타디엔계열의 것을 사용하였으며, 이것은 콘크리트제품용으로 제조되어 사용되고 있는 것이다. 시멘트는 비중 3.14의 국내 S사 보통포틀랜드 시멘트와 비중 3.04의 국내 S사 초속경시멘트를 사용하였다. 굵은 골재는 덧씌우기 포장 최대치수 13mm, 비중 2.57의 레미콘용 채석을, 잔골재는 비중 2.6의 강모래를 사용하였다. 본 연구에서 라텍스 혼입율은 시멘트대비 15%로 하였으며, 보다 자세한 배합설계는 표 3과 같다.

### 3.3 실험방법

진동가력방식은 연속 및 간헐 진동 방식을 채택하였으며 이는 기존 자료[3][4]를 기초로 하여 연속진동 및 일시진동을 고려하고자 하였다. 진동최대속도는 0.25cm/sec로 고정하여 1분간 가력 후 5분간 휴면인 간헐 조건 진동과 연속 진동 방식으로 총 30분간 가력하였다. 또한 진동가력시점은 콘크리트가 굳지 않은 상태에서 진동을 받았을 때의 영향을 살펴보기 위한 초결시점에서의 가력과 콘크리트의 경화가 이루어진 후 진동에 의한 영향분석을 위해 타설 후 24시간일 때를 가력 시점으로 설정하였다. 콘크리트 강도특성을 분석하기 위한 압축강도 시험은  $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ 의 원주형 공시체를 제작하여 KS F 2405의 재규정에 따라 수행하였다. 휨 강도 측정은  $100 \times 100 \times 460 \text{mm}$ 빔 공시체를 제작하여 KS F 2408의 규정에 따라 실시하였다.

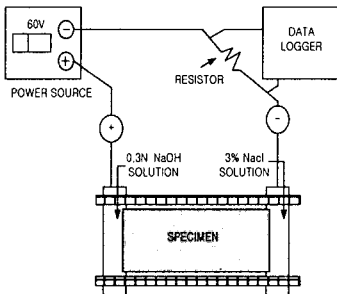


그림 1. 투수시험 회로도



그림 2. 진공장치

표 4. 염소이온투과량에 따른 투수특성(ASTM C 1202)

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

염소이온 투과실험은 ASTM C 1202-91과 AASHTO T 259의 방법에 의거하여 수행하였으며, 표 4와 같은 투과량을 기준으로 투수성을 평가하였다. 실험방법은 28일 동안 수중 양생한 직경 10cm의 콘크리트 시편을 두께가 5cm가 되도록 절단한 다음 실험을 수행하기 전까지 상대습도 95% 이상을 유지시켰다. 실험시 시편은 양측에 위치한 전극용기에 고정시키고, 이들 용기에서 나온 전극을 단자로 하여 회로를 구성하였다. 그림 1은 염소이온 투과실험의 측정회로를, 그림 2는 실험 전 시편의 진공상태를 위한 vacuum 장치의 그림이다.

## 4. 진동에 의한 콘크리트의 특성변화

### 4.1 굳지 않은 라텍스계질 콘크리트의 성질

표 5는 굳지 않은 상태의 LMC와 RSLMC의 응결시간 및 공기량을 나타낸 것이다. 초결시간은 모든 재료의 배합 후 배출된 시간으로부터의 시간을 나타낸 것이며, LMC는 초결을 6시간으로, RSLMC의 경우 초결을 20분으로하여 진동가력시간을 결정하였다. 또한, 두 종류의 콘크리트 모두 적정량의 공기량을 나타내어 공기량에 의한 투수성 및 강도변화는 없는 것으로 간주하였다.

표 5. 굳지 않은 라텍스계질 콘크리트의 성질

	W/C	초결	종결	공기량(%)
LMC	33%	6시간	9시간	5.4
RSLMC	38%	23분	35분	4.1

### 4.2 진동이 경화 후 콘크리트 압축강도에 미치는 영향

그림 3은 진동가력시점과 진동방식에 의한 LMC와 RSLMC의 압축강도 발현 특성을 나타낸 것이다. 그림 3(a)의 LMC를 살펴보면, 초결과 24시간 후의 재진동은 진동을 가하지 않은 것과 비교하여 큰 강도차이를 나



타내지는 않고 있다. 또한, 진동가력방식과도 큰 차이를 보이지 않고 있다. 그러나, 가력방식에 의한 두 변수간의 차이는 연속진동의 경우가 간헐진동의 경우보다 약 10~15% 향상된 강도값을 나타내었다. 즉, 연속진동은 콘크리트의 골재 및 페이스트 배열을 보다 조밀하게 하여 강도 발현에 더 큰 영향을 미치는 것으로 여겨지며, 응결 후 골재의 배열이 끝나 강도가 발현되는 시기인 타설 24시간 후에 가력하는 경우보다는 골재의 배열이 끝나지 않은 초결일 때 가력하는 경우가 콘크리트를 더욱 조밀하게 만들 수 있을 것으로 판단된다. 그림 3(b)는 RSLMC의 초결 후 진동방식에 따른 압축강도발현 특성을 나타낸 것으로 진동방식에 의한 강도 발현의 차이를 보이지 않고 있다. 아래의 표 6은 진동을 가하지 않은 시편(control)의 채령에 따른 강도발현을 기준으로 각 변수별 강도를 백분율로 나타낸 것이다.

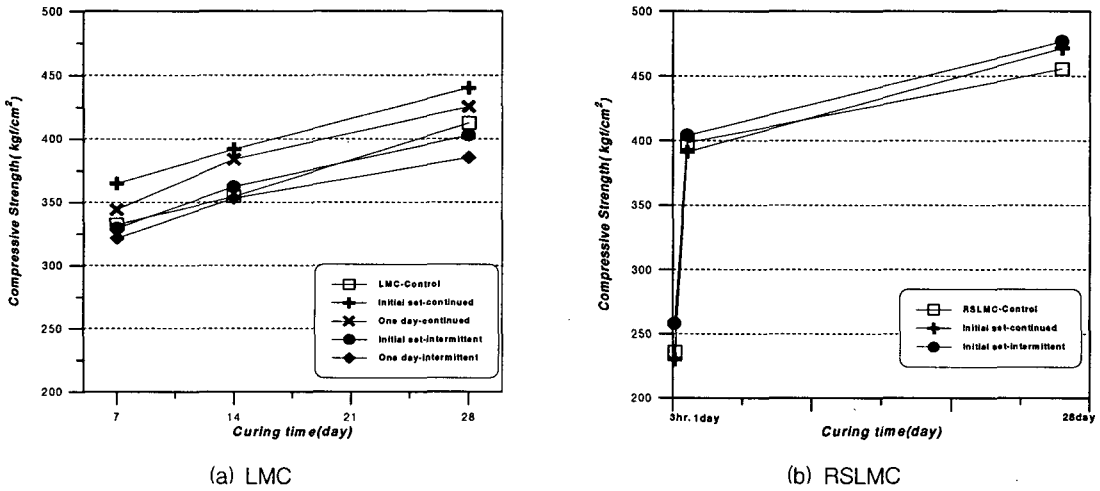


그림 3. 진동영향에 의한 압축강도

표 6. 진동가력 및 방식에 따른 강도발현 특성

종류	진동 가력 시점	진동 유지 방식	압축강도					휨강도				
			3hr.	1 day	7 day	14day	28day	3hr.	1 day	7 day	14day	28day
LMC-C	Control		-	-	100%	100%	100%	-	-	100%	100%	100%
LMC-IC	초결	연속	-	-	110%	111%	107%	-	-	104%	104%	107%
LMC-DC	1일 후	연속	-	-	104%	108%	103%	-	-	93%	112%	108%
LMC-II	초결	간헐	-	-	99%	102%	98%	-	-	102%	101%	96%
LMC-DI	1일 후	간헐	-	-	98%	99%	93%	-	-	106%	103%	101%
RSLMC-C	Control		100%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	100%
RSLMC-IC	초결	연속	97%	98%	-	-	103%	104%	98%	-	-	104%
RSLMC-II	초결	간헐	109%	101%	-	-	105%	115%	108%	-	-	103%

### 4.3 진동이 경화 후 콘크리트 휨강도에 미치는 영향

그림 4(a)는 라텍스개질 콘크리트의 채령경과에 따른 휨강도를 나타낸 것이다. 진동가력시점과 방식에 따른 휨강도는 압축강도의 경우와 유사하게 간헐 방식으로 가력하는 경우보다 연속 방식으로 가력하는 경우가 다소 높은 경향을 보이고는 있으나, 그 영향은 미비한 것으로 나타난다. 그림 4(b)의 RSLMC의 경우도 초결 이후의 진동방식에 따른 휨강도발현에 있어 뚜렷한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 채택한 진동최대속도 0.25cm/sec가 양생 중인 라텍스개질 콘크리트의 강도발현에 미치는 영향은 미비한 것으로 나타나 미국토목학회(ASCE)의 기준과 오병환 등에 의한 허용진동속도 제한은 적절한 것으로 여겨진다.

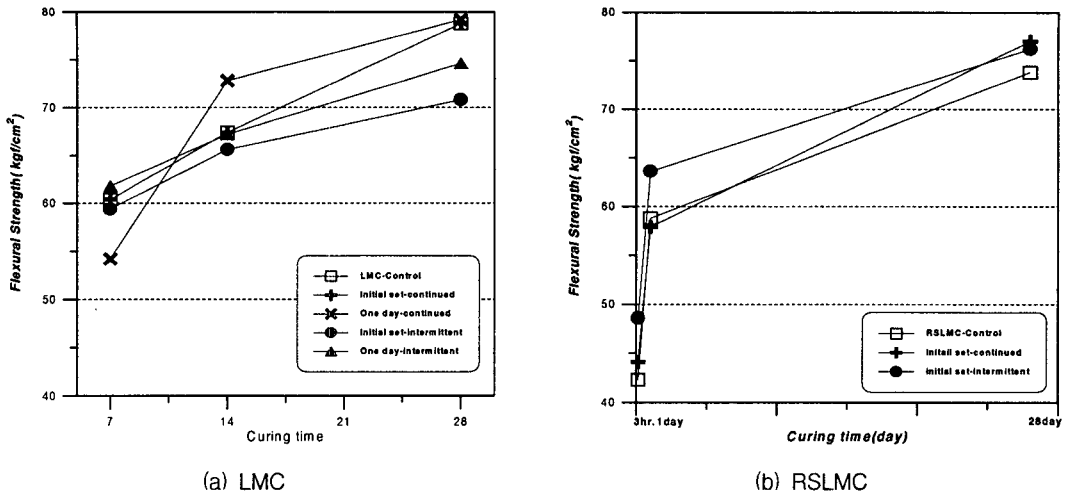


그림 4. 진동영향에 의한 휨강도

4.4 진동이 콘크리트의 투수성에 미치는 영향

그림 5~7은 진동가력시점과 방식에 따른 염소이온투과시험의 결과를 나타낸 것이다. 가력 시점이 타설 24시간 후인 경우에는 진동가력방식의 차이는 보이지 않고 있으며, 진동가력시점이 초결일 경우에는 간헐진동방식에 비해 연속진동방식이 320 쿨롱정도 더 낮은 투수특성을 나타내고 있으며, control 보다도 미소하나마 작은 투수특성을 나타내고 있다. 그러나 모든 경우에 있어 LMC의 투수 평가 등급은 모두 낮은 등급을 나타내어 양생 중 가력되는 0.25cm/sec의 진동속도는 경화중인 라텍스개질 콘크리트에 있어 라텍스 필름막 형성에 영향을 주지 않는 것으로 판단되어졌다. 그림 7은 RSLMC의 투수 특성에 대한 진동의 영향을 살펴본 그림으로서, LMC의 경우보다 그 영향이 더 적은 것으로 나타났으며, 투수 평가 등급은 모두 매우 낮은 등급을 나타내었다.

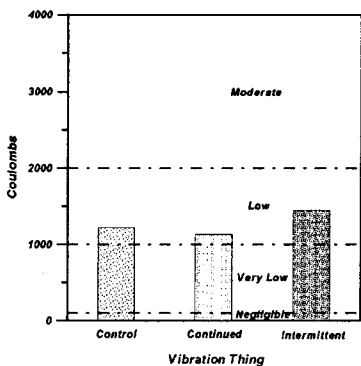


그림 5. 초결 LMC

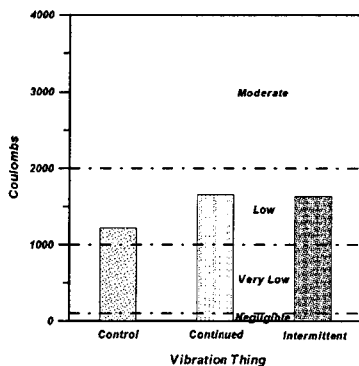


그림 6. LMC 제령 1일

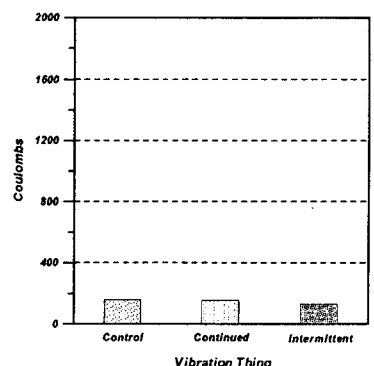


그림 7. 초결-RSLMC

5. 결론

일정한 진동의 영향을 받는 라텍스 개질 콘크리트의 역학적 특성 및 투수 저항성을 평가하기 위해 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.



1. LMC에 대한 진동 방식과 진동가력방식은 간헐 진동보다는 연속진동일 때, 그리고 가력시점은 타설 1일 후보다는 초결일 때가 다소 증진된 강도 성향을 보였으나 그 차이는 미비한 것으로 나타나 미국토목학회 및 오병환 등에 의한 허용진동속도 제한치는 타당한 것으로 판단되었다.
2. RSLMC의 경우 최대진동속도 0.25cm/sec에 대한 진동가력방식에 의한 차이는 거의 없는 것으로 나타나, 차로개방에 따른 신속한 보수보강 시 교통하중 진동에 따른 강도저하의 우려는 없을 것으로 판단되었다.
3. 최대진동속도 0.25cm/sec에 대한 LMC의 투수특성은 진동가력시점이 초결일 경우 간헐 진동 방식에 비해 연속 진동 방식의 경우 320 쿨롱 더 낮은 투수특성을 나타내었으나 진동가력시점 및 진동가력방식에 큰 차이점 없이 낮은 투수등급을 나타내었다.
4. 최대진동속도 0.25cm/sec에 대한 RSLMC의 투수특성에 대한 진동의 영향은 LMC보다 진동의 영향이 더 적은 것으로 나타났으며, ASTM C 1202에 따른 투수 평가 등급은 모두 매우 낮은 등급을 나타내어 라텍스 필름막형성에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터의 연구지원비에 의해 연구되었으며 이에 감사 를 표합니다.

### 참고문헌

1. 홍창우, 윤경구, 최상룡, 김태경(2000), "라텍스 개질 콘크리트의 투수특성과 부착강도특성", 도로포장공학회 학술발표회논문집, pp. 191-197
2. 임종석 외(1990), 진동이 주변구조물 및 콘크리트 경화에 미치는 영향, 대한주택공사주택연구소
3. 오병환, 송혜금, 조재열(1998), "진동이 양생초기 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구", 콘크리트학회지 제 10권 5호, pp. 81-87
4. 이지은, 권영웅(2000), "가력진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집 제12권 1호, pp. 97-102
5. Allen J. Hulshizer, Ashok J. Deasi(1984), "Shock Vibrations Effects on Freshly Placed Concrete", Vol.110, No.2, June
6. Esteves, J. M.(1978), "Control of Vibrations Caused by Blasting", Laboratorio De Engenharia Civil, Memoria No.498, Lisbon, Portugal.
7. Akins, Kenneth P. Jr and Dixon, Donald E.(1979), "Concrete Structures and Construction Vibrations," ACI SP-60, pp 213-247
8. ACI Committee 309(1981), "Behavior of Fresh Concrete During Vibration"(ACI 309.11R-81. ACI Journal pp.36-53, Jan-Feb.
9. Transportation Research Board(1981), "Effects of Traffic-Induced Vibrations on Bridge-Deck Repairs," TRB, National Academy of Sciences, Washington. D.C, NCHRP