

라텍스함량 변화에 따른 VES-LMC의 자기수축

박원일¹, 최판길^{2*}, 이봉학², 윤경구²
¹(주)미래기술단, ²강원대학교 토목공학과

Autogenous Shrinkage of Very-Early Strength Latex-Modified Concrete with Latex Contents

Won-Il Park¹, Pan-Gil Choi^{2*}, Kyong-Ku Yun² and Bong-Hak Lee²

¹Future Engineering Consultants Corp.

²Department of Civil Engineering, Kangwon National University

요약 초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC)는 공용중 교량바닥판 콘크리트 긴급 덧씌우기를 목적으로 개발되었으며, 콘크리트타설 후 3시간 만에 교통개방이 가능하도록 작업성, 내구성 및 강도특성을 만족하도록 특성화된 콘크리트이다. VES-LMC 배합은 고유의 급속경화 특성으로 인해 콘크리트 타설 초기에 높은 수화열을 수반하고, 상대적으로 낮은 물시멘트비로 인해 자기수축에 민감하게 반응할 수 있다.

본 논문에서는 간이수화열과 초기수축 실험을 수행하여 동일슬럼프 조건과 서로 다른 슬럼프 조건에서 라텍스함량 변화가 VES-LMC의 자기수축에 미치는 영향을 평가하였다. 실험결과는 다음과 같다.

라텍스는 콘크리트 내구성 향상에만 기여할 뿐 수화열에 미치는 영향이 매우 작게 나타났다. 서로 다른 슬럼프 조건에서 자기수축은 라텍스함량 증가에 따라 증가하였고, 증가추세는 로그함수의 형태로 나타났다. 그러나 동일 슬럼프 조건에서 라텍스함량 변화는 두 가지 실험변수가 동시에 변화하므로 자기수축 특성에 미치는 상관성이 작게 나타났다.

Abstract Very-early strength latex-modified concrete (VES-LMC) was developed for the purpose of fast-track overlay of a concrete bridge deck under heavy traffic, concentrated on the workability, durability, and strength gain so that it can be opened to the traffic only three hours after its placement. The mixture of VES-LMC might accompany very high heat of hydration at early-age because of its inherent rapid hardening property and could have susceptibility to autogenous shrinkage because of its relatively low water-cement ratio. This study evaluated the effect of the latex-cement ratio(L/C) both of the constant and variable slumps on the autogenous shrinkage of VES-LMC by carrying out simple temperature rise test and early-age shrinkage experiment. Test results are as follows:

The latex contributes on the enhancement of the concrete durability but has little effect on its hydration and the accompanied heat of hydration in VES-LMC. Autogenous shrinkage increased with the increase in latex-cement ratio at variable slumps and its pattern followed regularly a logarithmic increase. However, the influence of water-cement ratio and latex-cement ratios for the test specimens at constant slump on early-age autogenous shrinkage property was found to be minor due to the simultaneous effect of the two experimental variables.

Key Words : Autogenous Shrinkage, Very-early Strength Latex-Modified Concrete, Latex Content

1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 초고층화 교량의 장대화 추세는 콘크리트의 고성능·고강도화를 요구하였고, 이와 발

맞추어 각종 재료들이 개발되고 있다. 콘크리트 도로포장 유지보수 분야에서도 포장 보수 후 교통개방시간을 단축하여 사용자비용을 최소화 할 수 있는 고성능콘크리트가 요구되었고, 이러한 목적으로 개발된 재료가 초속경 라텍

*교신저자 : 최판길(pangil@kangwon.ac.kr)

접수일 10년 2월 22일

수정일 10년 03월 09일

게재확정일 10년 03월 18일

스개질 콘크리트(Very-Early Strength Latex-Modified Concrete : VES-LMC)이다[1,7].

VES-LMC의 특징은 콘크리타설 3시간 만에 21MPa 이상의 압축강도가 발현되므로 콘크리트 포장 보수시간이 최소화되어 교통차단으로 인한 사용자비용을 최소화할 수 있다는 것이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 콘크리트 타설 초기에 급격하게 발생하는 수화열과 초기 수축은 균열을 유발하여 내구성을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다[1].

특히, VES-LMC는 급속강도발현을 목적으로 개발된 고성능콘크리트의 일종으로써 결합재량이 매우 크기 때문에, 고성능·고강도 콘크리트에서 나타나는 자기수축이 크게 발생할 수 있는 조건을 갖추고 있다[2]. 그러나 VES-LMC의 자기수축 평가에 대한 연구는 현재 초기단계에서의 적용가능성평가 수준에 있으며 아직까지 체계적인 연구가 진행된 바 없다[3].

본 논문에서는 자기수축을 정량적으로 평가할 수 있는 방법에 대해 기술하였고, 제안된 방법을 이용하여 라텍스 함량 변화에 따른 VES-LMC의 자기수축 특성을 평가하였다.

2. 실험개요 및 방법

2.1 실험개요

VES-LMC 제조시 가장 우선적으로 고려되는 것은 라텍스의 첨가량이다. 라텍스의 첨가는 콘크리트 내부에 라텍스 필름막을 형성시켜 VES-LMC를 보다 수밀성과 내구성 등을 갖게 한다[6]. 따라서 본 연구에서는 VES-LMC의 주요특성에 큰 영향을 미치는 라텍스의 첨가량 변화에 따른 특성을 평가하고자 하였다. 라텍스함량 변화에 따른 특성 평가는 두 가지 측면에서 접근할 수 있으며, 첫 번째는 동일 물시멘트비 조건에서 라텍스첨가량만을 변화시키는 방법이고, 두 번째 방법은 현장적용성 측면에서 사용가능한 콘크리트에 대한 평가로써 동일 슬럼프를 기준으로 라텍스첨가량을 변화시키는 방법이다. 본 논문에서는 전자의 경우 라텍스함량을 각각 5, 10, 15%로 선정하여 라텍스고형분이 시멘트중량대비 중량백분율로 첨가되는 혼화재임에 기인하여 물시멘트비에 따른 영향을 평가하였고, 후자의 경우는 동일 슬럼프를 기준으로 하여 라텍스 함량을 각각 0, 5, 15%로 변화하여 실험을 수행하였다. 표 1은 실험에 사용된 콘크리트 배합표를 나타낸다. 실험은 온도 20±1℃, 상대습도 60±5% 조건에서 수행하였다.

[표 1] VES-LMC 배합표

Classification	w/c (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					Retarder (%)
			Cement	Water	Latex	Sand	Gravel	
W/C38 -L/C 5	38	58	390	126	0	974	761	0.3
W/C38 -L/C 10	38	58	390	105	81	950	742	0.3
W/C38 -L/C 15	38	58	390	83	122	920	718	0.3
W/C49 -L/C0	49	58	390	191	0	938	733	0.3
W/C46 -L/C5	46	58	390	158	41	928	725	0.3
W/C38 -L/C15	38	58	390	83	122	920	718	0.3

2.2 사용재료

2.2.1 초속경 시멘트(VES-Cement)

VES-Cement는 VES-LMC전용 초속경시멘트를 사용하였다. 표 2는 VES-Cement의 물리·화학적 특성 실험 결과를 나타낸다.

2.2.2 골재

잔골재는 비중이 2.61인 천연 강모래를 5mm 체로 쳐서 사용하였고, 19mm 쇄석 골재를 물로 세척하여 사용하였다. 표 3은 실험에 사용된 잔골재와 굵은 골재의 물리적 특성을 나타낸다.

2.2.3 라텍스

라텍스는 미국 D사의 DL470을 사용하였으며, 스티렌-부타디엔(styrene-butadiene)라텍스로 시멘트 모르타르와 콘크리트에 적합하도록 제조된 것이다. 라텍스의 물리적 특성은 표 4와 같다.

[표 2] VES-Cement의 물리화학적 특성

Cement type	Chemical composition (%)						Fineness (cm ² /g)	Specific gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
VES-Cement	10.2	16.7	1.3	50.8	1.4	15.5	5,700	2.95

[표 3] 골재의 물리적 특성

Type	Max. size(mm)	Specific gravity	Absorption rate (%)	F.M
Fine aggregate	≤ 5	2.58	0.71	2.76
Coarse aggregate	19 mm	2.69	0.68	6.60

[표 4] 라텍스의 물리적 특성

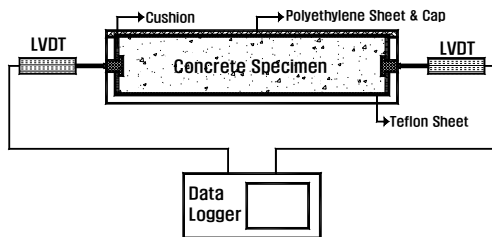
Solids content (%)	pH	RVT brookfield viscosity (mPa · s)	Surface tension (dynes/cm)	Particle size (nm)	Stabilizer type	Minimum film forming temperature (°C)
45~48	9.5~11.0	40	30~35	180~210	anionic	< 4

2.3 실험방법

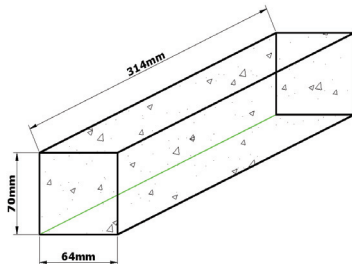
2.3.1 자기수축 측정

자기수축 실험은 그림 1과 같이 외부로의 수분증발을 억제하기 위하여 폴리에틸렌 시트와 캡으로 밀봉하고, 마찰의 영향을 최소화하기 위하여 테플론(Teflon)으로 형틀을 제작하여 수행하였다. 또한 초기팽창과 구속의 영향을 최소화하기 위하여 시험편 양단에 쿠션(cushion)을 설치하여 시험편이 자유롭게 수축팽창 거동을 할 수 있도록 하였다. 초기수축은 시험편 양단에 스타드(stud)를 매립하고 LVDT를 거치하여 측정하였다.

그림 2는 시험편 규격을 나타내며, 굵은 골재 최대치수(19mm)보다 3배 이상으로 하여 콘크리트의 특성이 나타날 수 있는 최소크기를 확보하였다.



[그림 1] 자기수축 실험 모식도



[그림 2] 자기수축 시험 규격

2.3.2 자기수축 평가방법

자기수축의 정의는 물질의 손실 또는 침투, 온도변화, 외부하중 또는 구속에 의한 수축의 영향은 포함하지 않

으므로, 상기의 요인들을 적절하게 제거할 수 있는 방법을 구현하면 정량적 평가가 가능하게 된다[4,5,7]. 이를 위하여 본 논문에서는 다음의 세 가지 과정을 통해서 자기수축을 평가하는 방법을 고안하였다. 첫째로, 외부로의 수분증발 억제하여 건물질의 손실 또는 침투 억제하였고, 둘째로, 열변형률을 산정하여 온도변화의 영향을 제거하였고, 셋째로, 시편과 형틀과의 마찰의 영향을 최소화하여 외부하중 및 구속에 의한 영향을 제거하였다.

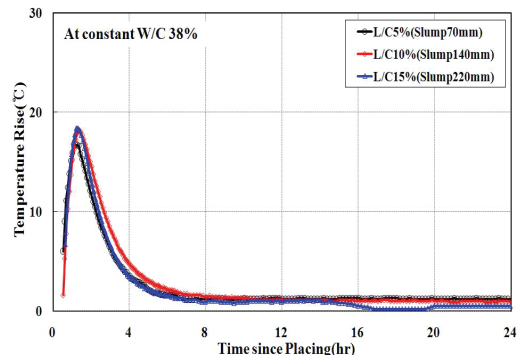
본 논문에서는 이러한 실험조건에서 측정된 초기수축에서 열 변형을 제거하여 최종적으로 자기수축을 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 동일 물시멘트비 변수 실험결과

3.1.1 온도경사

간이수화열 실험은 원형공시체 중심부 온도를 열전도대(thermocouple)를 매립하여 콘크리트 타설 후 초결 시작과 함께 온도데이터를 수집하였고, 실험은 항온항습(20±2°C, RH 60%±5%) 조건에서 수행하였다. 온도경사는 시험편 중심온도와 대기온도(20°C)의 차를 나타낸다. 그림 3은 라텍스함량 변화에 따른 온도경사를 나타내는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 콘크리트 타설 후 대략 1시간 30분경에 최대 온도차가 발생하였고, 라텍스함량 변화는 수화열에 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있다.



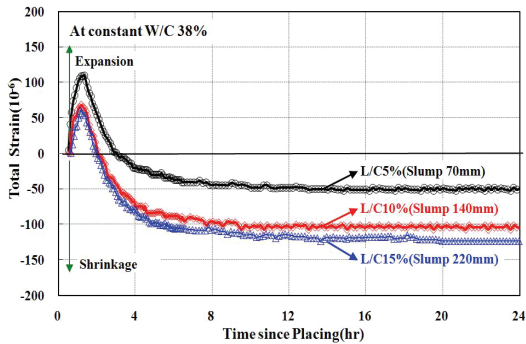
[그림 3] 간이수화열(at constant W/C)

3.1.2 초기수축

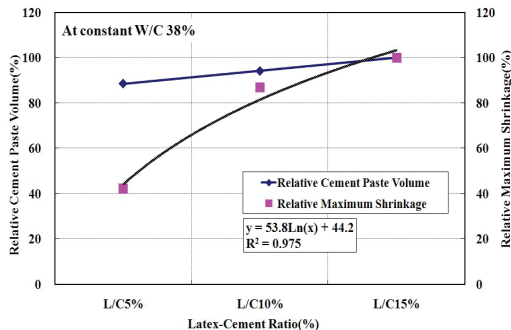
일반적으로 라텍스는 수화 반응에 관여하지 않으며 내구성 개선에 기여하는 혼화제이다[6]. 그러나 라텍스는

시멘트 페이스트 체적변화를 야기하므로 초기수축에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다. 라텍스 변수에 따른 시멘트 페이스트의 체적을 계산하면, 각각 라텍스 15% 변수에서 $0.338m^3$ (100%), 10% 변수는 $0.319m^3$ (94.4%) 및 5% 변수는 $0.300m^3$ (88.8%)이 된다.

그림 4는 동일 물시멘트비 조건에서 라텍스함량 변화에 따른 초기 길이변화를 나타내는 그래프로써, 라텍스함량 15%에서 초기수축이 가장 크고, 5%에서 가장 작은 것으로 나타났다. 상기의 결과를 시멘트 페이스트의 체적비와 비교하여 분석한 결과를 그림 5에 나타내었다. 페이스트의 체적 감소량은 1차 직선인 반면에 초기수축은 로그함수($R^2 = 0.9755$, $y = 53.814\ln(x) + 44.27$)를 따르는 것으로 나타나, 시멘트 페이스트 체적증가가 초기수축 증가요인으로 작용함을 확인하였다. 실험결과 VES-LMC에서 결합재량의 증가는 초기 자기수축을 현저하게 증가시키는 요인으로 작용하므로, 결합재량을 줄일 수 있도록 배합을 개선하여 균열안전성을 확보할 필요가 있는 것으로 분석되었다.



[그림 4] 초기수축(at constant W/C)



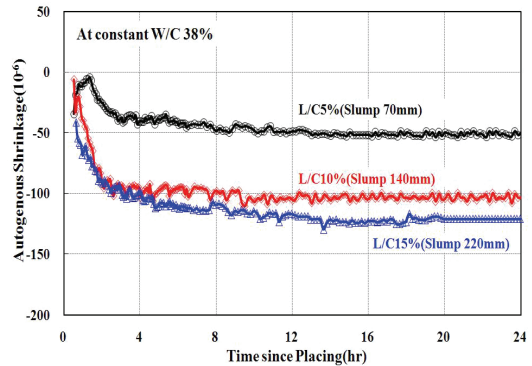
[그림 5] 시멘트 페이스트 체적비와 최대수축과의 비교 (at constant W/C)

3.1.3 자기수축

실험에서 측정된 수축은 외부로의 수분 증발이 없는 상태에서 구속의 영향(하중포함)을 포함하지 않으므로 수화반응으로 인한 열변형의 영향만을 제거하게 되면 자기수축의 평가가 가능하게 된다[5]. 본 논문에서는 열팽창계수가 재령에 관계없이 일정하다고 가정하고 온도변화(시험편 내-외부 온도차)를 곱하여 열변형률을 산정하는 방식을 적용하였다.

열팽창계수는 실험값($7.16 \times 10^{-6}/^{\circ}C$)을 사용하고[1], 간이수화열 실험에서 얻어진 공시체 내부 중심온도와 양생실 온도와의 차를 온도경사(ΔT)로 가정하여 열팽창계수와 ΔT 와의 곱으로 변형률을 산정하였으며, 최종적으로 초기수축에서 열변형률을 배제하여 자기수축을 산정하였다.

그림 6은 동일 물시멘트비 조건에서 라텍스함량 변화에 따른 초기 자기수축을 비교한 그래프이다. 자기수축은 시멘트 페이스트의 체적이 가장 큰 L/C 15% 변수에서 가장 크고, 가장 작은 L/C 5% 변수에서 가장 작게 평가되어 초기수축의 대부분이 자기수축에 기인함을 확인할 수 있다.

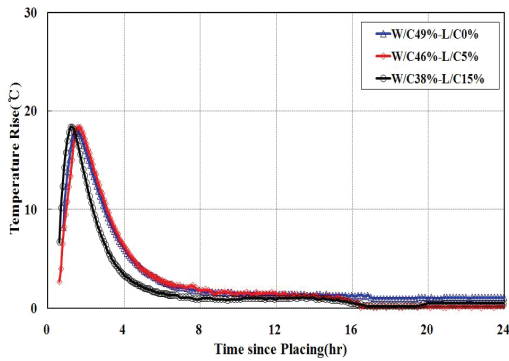


[그림 6] 자기수축(at constant W/C)

3.2 동일 슬럼프 변수 실험결과

3.2.1 온도경사

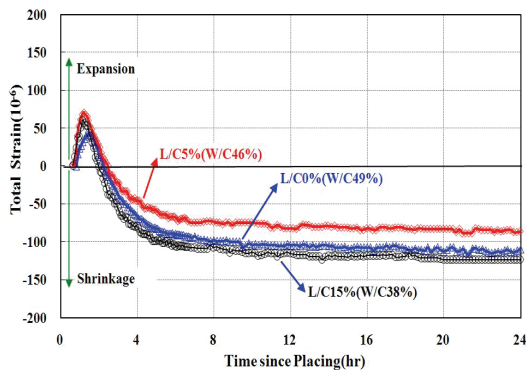
그림 7은 동일 슬럼프 기준 라텍스함량 변화에 따른 온도경사를 나타내는 그래프이다. 물시멘트비가 증가함에 따라 응결이 일부 지연되어 수화반응시기가 늦춰지는 하였으나 최고 온도차는 세 변수 모두 유사하게 나타났다.



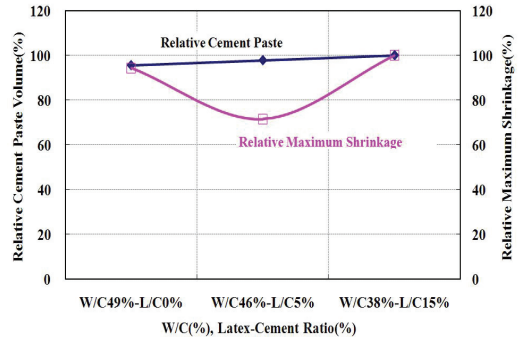
[그림 7] 온도경사(at constant slump)

3.2.2 초기수축

그림 8은 동일 슬럼프 기준 라텍스함량 변화에 따른 초기수축을 나타내는 그래프이다. 라텍스가 첨가되지 않은 W/C49-L/C0 변수에서 초기팽창이 가장 작게 평가되었고, 재령 8시간에서 최대수축의 약 90% 이상이 수축하는 것으로 나타났으며, 콘크리트타설 12시간이 경과한 후에 거의 대부분의 수축이 발생하였음을 알 수 있다. 그러나 물시멘트비와 라텍스 함량이 동시에 변화하여 각각 변수에 따른 추세를 확인할 수 없었다. 그림 9는 페이스트체적대비(W/C49-L/C0 ; 0.323m³-97.6%, W/C49-L/C0 ; 0.331m³-97.9%, W/C38-L/C15 ; 0.338m³-100%)최대길이비를 나타내는 그래프이다. W/C49-L/C0과 W/C38-L/C15 변수는 페이스트 체적대비 수축비가 유사하게 평가된 반면에, W/C46-L/C5 변수는 이와 같은 경향을 따르지 않았는데, 기타 두 변수보다 초기팽창이 크게 평가되어 최종수축이 작게 나타났기 때문이다.



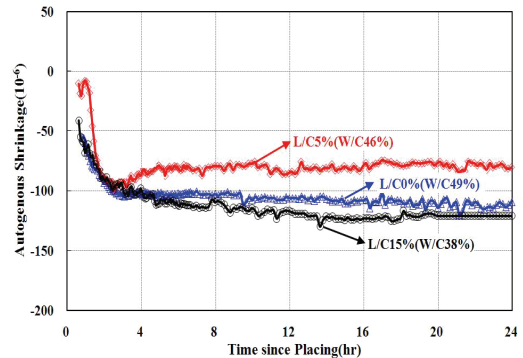
[그림 8] 길이변화(at constant slump)



[그림 9] 시멘트 페이스트 체적비와 최대수축과의 비교(at constant slump)

3.2.3 자기수축

그림 10은 동일 슬럼프 기준 라텍스함량 변화에 따른 자기수축을 나타내는 그래프로서, 각각의 특성을 살펴보면 W/C49-L/C0과 W/C38-L/C15 변수는 유사한 특성을 나타내는 반면에 W/C46-L/C5 변수는 초기 자기팽창의 경향이 나타나며, 급속도로 수축한 이후 다시 일정량만큼 팽창하는 경향을 나타낸다. 물시멘트비가 가장 작은 변수에서 가장 큰 자기수축을 나타내어, 비교적 낮은 물시멘트비 범위에서 물시멘트비의 감소는 자기수축의 증가요인으로 작용한다는 기존 연구결과와 잘 부합하였다[2].



[그림 10] 자기수축(at constant slump)

4. 결론

본 논문에서는 동일 물시멘트비와 동일 슬럼프 조건에서 초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC)에 사용되는 라텍스함량 변화가 자기수축에 미치는 영향을 평가하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 간이 수화열 실험결과 라텍스함량 변화는 슬럼프 조건에 관계없이 VES-LMC의 수화열에 미치는 영향이 매우 작은 것으로 나타났다.
- 2) 동일 물시멘트비 조건에서 라텍스함량의 증가는 시멘트 페이스트의 증가를 초래하여 초기수축 증가의 원인으로 작용하였다.
- 3) 동일 물시멘트비 조건에서 라텍스함량 증가에 따른 초기수축 증가현상은 대부분 자기수축에 기인하는 것으로 나타나 시멘트 페이스트의 증가가 자기수축 증가요인으로 작용함을 확인하였다.
- 4) 동일 슬럼프 기준 라텍스함량 변화는 두 가지 변수가 동시에 변화하여 자기수축 추세변화에 미치는 영향이 작게 나타났다. 그러나 물시멘트비 38%, 라텍스함량 15% 변수의 자기수축이 가장 크게 평가되어 물시멘트비의 감소가 자기수축의 증가요인임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 김기현, “초소경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC) 균열발생 원인분석 및 억제방안”, 공학박사학위 논문, 강원대학교 대학원, 2006.
- [2] 이희근, 이광명, 김병기, 고성능 콘크리트의 자기수축, 대한토목학회 2001학술발표회 논문집, pp. 1-4, 2001.
- [3] 최상희, “VES-LMC의 열 특성을 고려한 자기수축” 공학석사학위 논문, 강원대학교 산업대학원, 2005.
- [4] Aitcin, P. C., "Autogenous Shrinkage Measurement", Proceedings of the International Workshop on Autogenous Shrinkage, Edited by E. Tazawa, June 13-14, Hiroshima, Japan, pp.257-268, 1998.
- [5] Japan Concrete Institute Technical Committee Report on the Autogenous Shrinkage, "Autogenous Shrinkage of Concrete ; Proceedings of the International Workshop." ed. Tazawa, E&FN Spon, London, pp.3~63, 1998.
- [6] Ohama, Y., "Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars Properties and Process Technology", NOYES PUBLICATIONS, 1995.
- [7] Yun, K.K, Kim, D.H, Choi, S.Y., “Durability of Rapid-Setting Latex Modified Concrete Against Freeze-Thaw and Chemicals”, Journal of TRB, TRR 1869, Washington D.C. pp1-10, 2004.

최 판 길(Pan-Gil Choi)

[정회원]



- 2005년 2월 : 강원대학교 일반대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : 강원대학교 일반대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 2008년 3월 : 강원대학교 토목공학과 조교
- 2010년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 박사후 연구원

<관심분야>

콘크리트 재료, 유지보수 재료

박 원 일(Won-Il Park)

[정회원]



- 1991년 2월 : 강원대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1999년 8월 : 강원대학교 산업대학원 토목공학전공 (공학석사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 박사과정
- 1995년 4월 ~ 현재 : (주)미래기술단 대표이사

<관심분야>

토목설계, 콘크리트 재료

이 봉 학(Bong-Hak Lee)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 일반대학 토목공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 한양대학교 일반대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1987년 1월 ~ 1988년 01월 : Clemson Univ. 객원교수
- 1981년 4월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토목구조, 콘크리트 재료

윤 경 구(Kyong-Ku Yun)

[정회원]



- 1993년 12월 : Michigan State Univ. (MS)
- 1995년 12월 : Michigan State Univ. (Ph.D)
- 1996년 3월 ~ 2000년 2월 : 한국도로공사 도로연구소 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

콘크리트 포장, 유지보수 재료