

울트라파인 플라이 애시 혼입률에 따른 VES-LMC의 초기거동 특성

최판길^{1*}, 박원일², 윤경구¹, 이봉학¹
¹강원대학교 토목공학과, ²(주)미래기술단

Early-Age Deformation of Very-Early Strength Latex- Modified Concrete with Ultra-Fine Fly Ash Contents

Pan-Gil Choi^{1*}, Won-Il Park², Kyong-Ku Yun¹ and Bong-Hak Lee¹

¹Department of Civil Engineering, Kangwon National University

²Future Engineering Consultants Corp.

요 약 급속경화 콘크리트의 가장 큰 단점은 단시간 내에 발생하는 급격한 수화발열 반응으로 인해 초기팽창이나 수축이 매우 크게 일어나 균열이 발생할 가능성이 높다는 것이다. 그러나 플라이 애시가 사용되면 콘크리트의 수화열을 낮출 수 있으므로 초기팽창과 수축을 현저히 줄일 수 있어 균열발생 억제에 효과적일 수 있다. 초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC)는 우수한 재료특성에도 불구하고, 재료 자체의 높은 수화열로 인해 균열이 발생하는 사례가 보고되고 있다. 따라서 본 논문에서는 플라이 애시를 VES-LMC에 적용할 수 있는 방법을 고안하여, 균열에 대한 안정성을 확보하기 위한 연구를 수행하였다. 울트라파인 플라이 애시(Ultra-Fine Fly Ash ; UFFA)를 사용하여 조기강도 저하의 단점이 극복된 조건에서, 초기 수화열을 낮추고 수축을 저감하여 균열안정성을 확보할 수 있도록 하였다. 실험결과 조기 압축강도는 UFFA 혼입률이 증가함에 따라 다소 감소하지만, 재령 28일 강도는 통계학적으로 유사한 것으로 나타났다. 초기수축 실험결과 UFFA가 단위시멘트량대비 15%에서 20%까지 치환되면 최대수축을 43~47%까지 줄일 수 있어 초기수축 억제에 매우 효과적이므로 균열에 대한 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

Abstract The main disadvantage of rapid setting concrete is the occurrence of cracking because of fast hydration reaction due to high thermal expansion and shrinkage. However, if the fly ash is used in concrete, it is possible to prevent cracking since the hydration heat can be decreased. Although Very-Early Strength-Latex Modified Concrete(VES-LMC) is an excellent material, occurrence of cracking has been reported because of high hydration heat. In the present study, new method which can apply the fly ash to the VES-LMC was developed. Research for the new method to improve the safety for the cracking was conducted. Safety was confirmed by reducing the shrinkage and hydration heat in the condition of overcoming the low early-age strength. Detailed conclusions are follows.

Early-age compressive strength was decreased a little with increase of UFFA content. However, 28-d compressive strength was statistically insignificant regardless of UFFA contents. If the UFFA is replaced 15% to 20% of unit cement weight in concrete, maximum shrinkage can be reduced up to 43% to 47%. Usage of UFFA in VES-LMC guarantees the safety for cracking since it is very effective to control of early-age shrinkage.

Key Words : Ultra-Fine Fly Ash, VES-LMC, Early-Age Shrinkage

본 논문은 국가 R&D 과제인 장수명·친환경 도로포장 설계 및 시공기술개발 연구과제로 수행되었음.

*교신저자 : 최판길(pangil@kangwon.ac.kr)

접수일 10년 02월 16일 수정일 10년 03월 11일 게재확정일 10년 03월 18일

1. 서론

플라이 애시가 콘크리트에 사용되면 워커빌리티 개선, 장기강도 개선, 수화열 저감 및 수밀성 향상 등의 장점이 있어 콘크리트의 내구성을 향상시키고, 무엇보다도 시멘트와 비교하여 경제성이 우수하다는 큰 장점이 있다. 또한 산업부산물의 재활용 측면에서 환경 친화적 재료이며, 시멘트 대체 재료로 사용되므로 시멘트 생산과정에서 발생하는 이산화탄소 배출을 줄일 수 있고[1], 플라이 애시를 사용하면 알칼리-골재반응으로 인한 파손을 예방할 수 있다[3]. 그러나 플라이 애시는 시멘트 수화물과 2차 반응을 하므로 조기강도가 저하된다는 단점이 있다. 따라서 플라이 애시는 상기에 언급된 많은 장점에도 불구하고, 조기강도 발현을 목적으로 하는 급속경화 콘크리트에 적용되지 못하고 있는 실정이다.

현재 널리 사용되고 있는 급속경화 콘크리트는 크게 에폭시 콘크리트계열과 초속경 콘크리트계열로 구분할 수 있다. 에폭시 콘크리트는 재료 자체의 내구성은 매우 우수하나 모체콘크리트와의 이질성으로 인해 조기파손이 발생하는 문제점이 있고, 초속경 콘크리트는 높은 수화열로 인해 균열에 대한 안전성이 떨어지며[5], 내구성이 저하되는 특징이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 등장한 재료가 초속경 콘크리트에 라텍스 수지를 혼입한 초속경 라텍스개질 콘크리트(very-early strength latex-modified concrete ; VES-LMC)이며, 작업성, 강도특성 및 내구성이 우수하고, 부착강도가 확보되어 현장적용성이 뛰어나다는 특징이 있다[8]. 그러나 재료 자체의 높은 수화열로 인해 균열이 발생하는 사례가 보고되고 있고, 라텍스의 사용으로 인해 내구성은 향상되지만 초기수축이 커진다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위한 방안으로 단위시멘트량을 줄이고 콘크리트 양생방법을 개선하는 등의 노력이 수행된 바 있으나, 재료 자체의 수화열을 저감시키거나 수축을 저감시킬 수 있는 근본적인 해결책은 되지 못하였다[2].

일반적으로 플라이 애시의 사용은 수화열을 저감하여 초기수축을 개선할 수 있으므로, 울트라파인 플라이 애시의 사용으로 수축저감효과를 기대할 수 있으나 현재까지 연구된 사례는 없다. 따라서 본 논문에서는 이를 평가하고 검증하기 위한 방법으로 울트라파인 플라이 애시(UFFA)를 사용한 VES-LMC(이하 UFFA VES-LMC)의 초기 수화열, 초기수축 및 자기수축 특성을 평가하여 균열 안정성을 확보하고자 하였다.

2. 실험개요 및 방법

2.1 실험개요

실험변수는 UFFA 혼입률을 단위시멘트량 대비 0%, 5%, 10%, 15%, 및 20%로 적용한 5변수를 적용하여 압축강도, 투수저항성 및 초기거동 실험을 수행하였다. 콘크리트 배합은 굵은 골재와 잔골재를 혼합하여 약 30초간 건비빔을 실시한 후, 시멘트, UFFA 및 수산화칼슘을 혼합하여 다시 1분 이상 모든 재료가 잘 분산될 수 있도록 배합을 실시하였다. 다음으로 소포제가 첨가된 라텍스와 지연제가 희석된 물을 투입한 후 30초 이상 모든 재료가 잘 섞이도록 배합하였다. 표 1은 실험변수에 따른 UFFA VES-LMC 콘크리트 배합표를 나타낸다. 모든 시험편의 양생은 온도 20±2℃, 상대습도 60±5%의 양생조건에서 실시하였고, 데이터 분석은 변수별로 3개의 시험편을 제작하여 평균값을 사용하였다.

[표 1] UFFA VES-LMC 배합표

Variables	UFFA (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m^3)						Retarder (%)
				UFFA (kg)	Latex (kg)	Cement (kg)	Water (kg)	Sand (kg)	Gravel (kg)	
U0%-L15%-C0%*	0%	38	50	0	112.5	360	77.3	838	873	0.3%
U5%-L15%-C0%	5%	38	50	18	112.5	342	77.3	836	872	0.3%
U10%-L15%-C0%	10%	38	50	36	112.5	324	77.3	835	871	0.3%
U15%-L15%-C0%	15%	38	50	54	112.5	306	77.3	834	870	0.3%
U20%-L15%-C0%	20%	38	50	72	112.5	288	77.3	833	869	0.3%
Indication of Variables										
U0%-L15%-C0%* ; UFFA0% - Latex 15% - Ca(OH) ₂ 0%										

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 울트라파인 플라이 애시(UFFA)

표 3은 국내 G사에서 생산된 울트라파인 플라이 애시(UFFA)의 물리 화학적 특성을 나타내는 것으로, 본 실험에 사용된 UFFA는 플라이 애시를 분쇄 기계(mill machine)로 분쇄하여 제조한 플라이 애시이다. 따라서 플라이 애시의 입자의 형상이 집진방식으로 생산된 플라이 애시보다 모나다는 특징이 있다.

KS L 5405에서는 플라이 애시를 분말도 및 기타 조건에 따라 1종과 2종으로 구분하고 있고, 국내에는 UFFA의 기준이 마련되어 있지 않다. 미국의 Texas DOT에서는 ASTM C 618 class F 기준을 만족하고, 3.25 μ m 이하의 입자가 50%, 8.50 μ m 이하의 입자가 90% 이상인 플라이 애시 입자를 UFFA로 규정하고 있다[8]. 본 논문에 사용된 UFFA는 Texas DOT에서 규정하는 UFFA기준에 근접한 플라이 애시이다.

2.2.3 골재

본 논문에 사용된 잔골재는 비중이 2.61인 천연 강모래를 5mm 체로 쳐서 사용하였고, 19mm 쇠석 골재를 물로 세척하여 사용하였다. 표 4는 실험에 사용된 잔골재와 굵은 골재의 물리적 특성을 나타낸다.

2.2.4 라텍스

UFFA VES-LMC의 물성변화에 가장 큰 영향을 미치는 라텍스는 미국 D사의 DL470을 사용하였으며, 스티렌-부타디엔(styrene-butadiene)라텍스로 시멘트 모르타르와 콘크리트에 적합하도록 제조된 것이다. 라텍스의 물리적 특성은 표 5와 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] UFFA의 물리 화학적 특성

Type	Chemical composition (%)					Fineness (cm^2/g)	Specific gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		
UFFA	49.4	27.5	8.43	1.621	1.12	6,934	2.58

[표 4] 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 5] 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

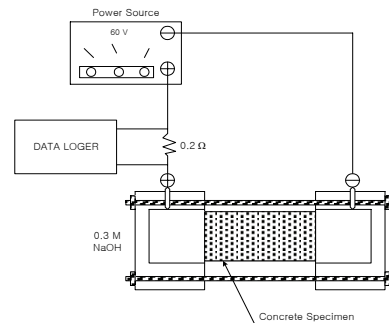
2.3.1 염소이온 투과시험

투수시험은 ASTM C 1202와 AASHTO T 259에 규정된 염소이온 투과시험방법에 따라 시험을 수행하였다. 실험은 직경 100mm, 높이 50mm 시험편을 제작하여 수행하였다. 그림 1은 염소이온 투과실험 장치로 구성된 측정회로를 나타낸다. A.V Cell의 (-) 전극에 3.0%의 염화나트륨 용액을 채우고, (+) 전극에는 0.3N의 수산화나트륨 용액을 채우고, 총 6시간동안 매 30분마다 0.2 Ω 에 걸리는 전압을 측정하고, 측정된 전압을 전류로 환산하여 회로를 통과한 총 전하량을 구하였다. 사용된 총 전하량은 다음 식과 같이 계산되며, 투수성 평가 기준은 표 6과 같다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$$

[표 6] 투수성 평가기준

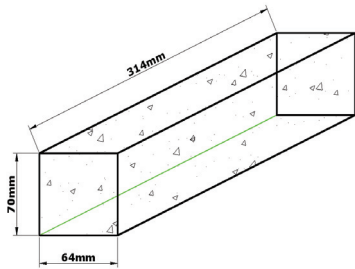
Coulomb	Permeability Rating
4000이상	High
2000~4000	Moderate
1000~2000	Low
100~1000	Very Low
100이하	Negligible



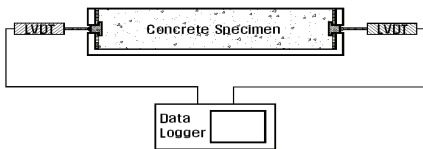
[그림 1] 염소이온 투과시험 모식도

2.3.2 초기수축 측정실험

초기수축 실험은 0.001mm감도의 10mm LVDT를 시편의 양단에 거치하여 길이변화를 측정하였다. 이 실험법의 장점은 몰드 양 측면에 부착된 스티로폼은 초기 열팽창의 평가가 가능하다는 것이다. 실험은 그림 2와 같은 시험편을 제작하여 콘크리트 타설후 24시간 동안 실시하였다. 그림 3은 초기수축 실험 모식도를 나타낸다.



[그림 2] 초기수축 시편 규격

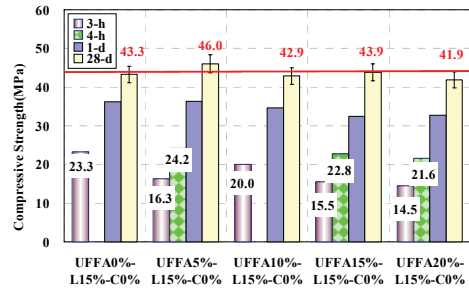


[그림 3] 초기수축 실험 모식도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 UFFA VES-LMC 압축강도 특성

그림 4는 재령 3시간, 4시간 및 24시간 압축강도 특성을 나타내는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 UFFA의 사용이 재령 1일 압축강도 변화에 미치는 영향은 혼입률 변화에 관계없이 기준콘크리트(UFFA 0%)와 비교하여 대략 10%정도 낮게 측정된 것으로 나타났다. 그러나 재령 28일 강도는 41.9~46.0MPa 범위로 측정되어(표준편차 1.53MPa, 변동계수 3.52%) 오차범위 5% 이내에서 통계학적으로 동일한 강도인 것으로 나타났다. 상기 결과에 의하면 VES-LMC에서 UFFA는 초기강도 발현을 지연시키는 단점이 있으나, 장기강도 발현에는 문제가 없음을 알 수 있었다. 결론적으로 UFFA 혼입률이 증가함에 따라 초기강도가 저하되지만 콘크리트 타설 3~4시간 이내에 콘크리트 포장 보수 후 교통개방을 가능하게 하는 21MPa 이상의 압축강도를 발현하는 데는 문제가 없는 것으로 나타났다.

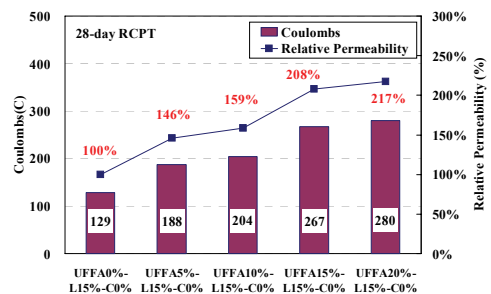


[그림 4] 압축강도 발현특성

3.2 투수저항성

폴리머 개질 콘크리트의 공극 구조는 폴리머 입자의 연속적인 폴리머 필름막 사이에 형성된다. 일반적으로, 이러한 미세 공극의 충전 효과는 폴리머 용적과 폴리머-시멘트비의 증가와 함께 증진된다. 이러한 특성은 흡수성, 투수성, 그리고 수분 증발 등을 감소시키는 역할을 하므로 궁극적으로 투수저항성 증진에 기여하게 된다[6].

그림 5는 UFFA 혼입률 변화에 따른 재령 28일 염화이온 통과전하량을 나타내는 그래프이다. UFFA가 혼입되지 않은 VES-LMC의 통과전하량은 129쿨롱으로 측정되었고, UFFA가 5~20%까지 혼입되면서 각각 188, 204, 267, 및 280쿨롱으로 측정되었다. UFFA의 혼입률이 증가함에 따라 투수저항성이 저하되는 것으로 나타났고, UFFA가 15%이상 혼입되면 염소이온 통과전하량이 UFFA가 혼입되지 않은 변수와 비교하여 2배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 상기의 원인은 UFFA의 포졸란 반응 활성도가 떨어져 나타난 결과일 수 있다. 그러나 모든 변수에서 1,000쿨롱 이하로 측정되어 투수저항성이 ASTM C 1202 기준에 의거하여 “Very Low”등급을 만족하였다. 따라서 투수저항성 측면에서 UFFA의 적정 혼입률은 재령 4시간 강도(21MPa이상)를 기준으로 단위시멘트량 대비 20%까지 치환 가능할 것으로 판단된다.



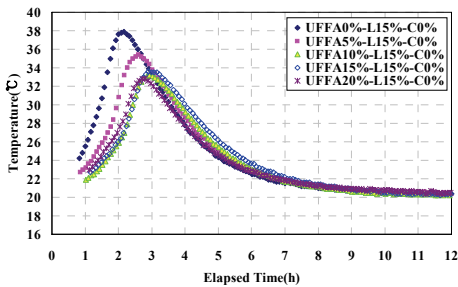
[그림 5] 투수저항성 실험결과

3.3 UFFA VES-LMC 초기거동 실험결과

3.3.1 초기 수화열 특성

그림 6은 UFFA혼입률 변화에 따른 UFFA VES-LMC의 수화열 변화를 나타내는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 재령 UFFA의 혼입률이 증가할수록 수화발열 반응이 지연되어 그래프가 우측으로 이동하고, 수화발열 최고온도가 저하됨을 알 수 있다. 또한 모든 변수에서 재령 10시간 이후에 온도하강이 완료되어 양생온도(20℃)와 같아지는 것으로 나타났다.

기준변수(U0%-L15%-C0%)의 최고 수화열은 콘크리트 타설 80분에 37.9℃로 측정된 반면, UFFA 15% 변수는 100분에 33.0℃, UFFA 20% 변수는 105분에 31.4℃로 측정되어, UFFA의 혼입이 수화발열 최고온도를 6.5℃까지 저하시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 UFFA의 혼입은 수화열 저감에 기여하여 초기 온도응력 제어에 효과적일 것으로 판단된다.



[그림 6] 초기 수화열 특성

3.3.2 초기수축 특성

콘크리트 공사에서는 종종 연속치기 과정에서 기 타설 콘크리트와의 원활한 혼합을 통하여 'Cold Joint' 생성을 방지할 목적으로 지연제를 사용하곤 한다. 1971년 Cady 등은 상기의 경우를 모사하기 위하여 지연제 혼입에 따른 콘크리트의 균열특성을 연구하였고 지연제 혼입이 균열발생에 미치는 영향은 없다고 발표하였다. 그러나 상기의 연구 결과는 일반 콘크리트에 해당하는 결과로 급속 경화 콘크리트에서는 다른 현상이 발생하게 된다[4].

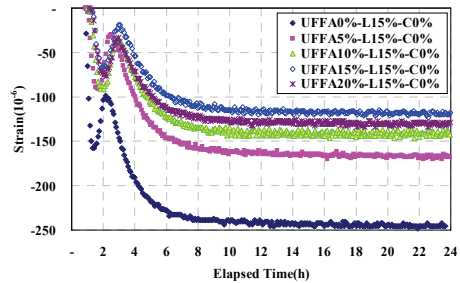
VES-LMC에서 지연제 혼입률 변화에 따른 초기수축을 평가한 결과 지연제 혼입률의 증가는 초기에 유해한 팽창을 유발할 수 있다고 보고한 바 있다[2]. 즉, 지연제의 사용은 초결 시간을 길게 확보할 수 있으므로 작업성 측면에서는 매우 유리하나, 지연제의 지속시간이 끝나고 나면 지연제에 의해 억제된 화학적 반응이 일시에 개시됨에 따라 에트링가이트 및 수산화칼슘의 급성장을 가져

와 유해한 팽창을 유발할 수 있다는 것이다. 그러나 UFFA와 같은 포졸란 재료의 사용은 수화반응 발생을 정상적으로 유지시키므로, 지연제 혼입과는 초기거동 발생 메커니즘에서 큰 차이가 있다.

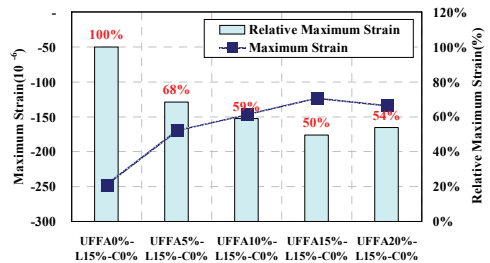
그림 7은 UFFA혼입률 변화에 따른 UFFA VES-LMC의 초기수축 특성을 나타내는 그래프이다. UFFA가 혼입되지 않은 콘크리트는 초결과 동시에 150με까지 수축이 급격히 발생한 후, 50με가량 팽창한 후 다시 248με까지 수축하는 것으로 나타났다. 그러나 UFFA가 5% 및 10% 혼입된 변수는 초기에 발생하는 급격한 수축을 90με로 감소시키고, UFFA 15% 및 20% 변수는 75με까지 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 최종적인 수축은 UFFA 0%, 5%, 10%, 15%, 및 20% 변수에서 각각, 248με, 170με, 146με, 123με, 및 134με로 평가되었다. 따라서 UFFA의 혼입이 초기수축 제어에 매우 효과적임을 알 수 있었다.

그림 8은 UFFA혼입률 변화에 따른 최대수축과 UFFA 혼입률 0% 변수를 기준으로 한 길이변화 백분율을 비교한 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이, UFFA가 15에서 20%까지 혼입되면 최대 50%까지 수축을 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

이상의 실험결과를 종합할 때, 초기수축과 수화열 측면에서 VES-LMC에 적합한 UFFA 혼입률은 15~20%가 적절할 것으로 사료되며, 교면포장 보수 후 교통개방 시기는 콘크리트 타설 후 4시간이 경과한 후 이뤄져야 할 것으로 판단된다.



[그림 7] 초기수축 특성



[그림 8] 최대수축 상대비교

4. 결론

본 논문에서는 울트라파인 플라이 애시(UFFA)를 사용한 VES-LMC의 압축강도와 초기거동 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 초기 압축강도는 UFFA 혼입률이 증가함에 따라 일부 감소하기는 하지만, 콘크리트 타설 4시간이 경과된 후에 21MPa이상 확보되었다. 그러나 재령 28일 압축강도는 UFFA 혼입률 변화에 관계없이 변동계수 5%이내에서 동일한 강도로 평가되었다.
- 2) 투수저항성은 UFFA 혼입률이 증가할수록 저하되는 경향이 나타났으나, UFFA가 20% 치환된 변수에서도 염소이온 통과전하량이 280쿨롱으로 평가되어 ASTM C 1202 기준 “Very Low”등급을 만족하여 우수한 투수저항성을 나타내었다.
- 3) 수화열 실험결과 UFFA 혼입률이 증가할수록 수화열이 저하되었고, 최고 수화열은 UFFA 0% 변수에서 37.9℃로 UFFA 20% 변수에서 31.4℃로 측정되어, 최고 수화열을 6.5℃(17%)까지 저하시킬 수 있는 것으로 나타나 온도응력 제어에 기여할 수 있는 것으로 평가되었다.
- 4) 초기수축 실험결과 UFFA가 15%에서 20%까지 사용되면 VES-LMC와 비교하여 최대수축을 43~47%까지 줄일 수 있는 것으로 나타나, UFFA의 혼입이 초기수축 저감에 효과적임을 확인하였다. 따라서 VES-LMC에서 UFFA의 사용은 균열 안정성 확보에 기여할 수 있다.

참고문헌

- [1] 국토해양부, “산업부산물 재활용 도로 포장 잠정지침”, 간행물등록번호 11-1611000- 000055-01, 2008.
- [2] 김기현, “초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC) 균열발생 원인분석 및 억제방안”, 공학박사학위 논문, 강원대학교 대학원, 2006.
- [3] 홍승호, “국내 콘크리트의 알칼리-실리카 반응에 대한 조사 및 억제 방안” 공학박사학위논문, 강원대학교 대학원, 2006.
- [4] Cady, P.D., Carrier, R. E., Bakr T., and Theisen, J., "Final Report on the Durability of Bridge Decks-Part I : Effect of Construction Practices on Durability", Department of Civil Engineering, Pennsylvania State University, 1971.

- [5] NCHRP Report 540, "Guidelines for Early-Opening-to-Traffic Portland Cement Concrete for Pavement Rehabilitation", Report Number 540, TRB, 2005.
- [6] Ohama, Y., "Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars Properties and Process Technology", NOYES PUBLICATIONS, 1995.
- [7] Texas Department of Transportation, "Quality Monitoring Program Requirement."
- [8] Yun, K.K., Kim, D.H., and Choi, S.Y., "Durability of Very-Early-Strength Latex-Modified Concrete Against Freeze-Thaw and Chemicals", Transportation Research Record 1893, TRB, pp. 1-10, 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 포장, 유지보수 재료, 초기거동

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

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

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