

실내실험에서 VES-LMC의 성숙도 적용

Laboratory study of Maturity for VES-LMC

이진범*

최판길**

정원경***

윤경구****

Lee, Jin Beom

Choi, Pan, Gil

Jeong, Won, Kyong

Yun, Kyong Ku

1. 서 론

초속경 라텍스개질 콘크리트(Very Early Strength-Latex Modified Concrete : 이하 VES-LMC)는 현재 유효도로 가설이나 교통차단이 어려운 교면포장콘크리트 긴급보수용 보수재료로 사용되고 있다. VES-LMC는 초속경시멘트의 급속경화 특성으로 보수 후 교통개방시간을 단축시키고, 라텍스의 첨가로 인해 베이스콘크리트와의 부착성이 향상되며, 동결융해저항성, 투수저항성 등이 우수한 장점을 가지고 있다. 콘크리트 타설후 3시간 만에 압축강도가 21MPa 이상으로 발현되어 교통개방이 가능하게 되는데, 현장에서의 콘크리트 강도를 비파괴 방법인 성숙도(Maturity)개념을 적용하여 평가 가능하다면, 보수체의 온도측정만을 통해서도 압축강도를 예측할 수 있게 됨으로 현장 콘크리트의 품질관리가 보다 명확해 진다. 그러나 현재까지 VES-LMC의 강도발현 특성을 성숙도개념을 도입하여 평가한 연구는 아직까지 수행되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 현장에서의 성숙도를 적용하기에 앞서 20±1℃, RH 60±5%의 항온항습 조건에서 VES-LMC의 성숙도를 평가하여 직접법을 통해 측정된 강도와 비교 검토하여 성숙도개념의 적용가능성을 평가하였다. 향후 현장에서의 온도와 압축강도를 비교하여 실내실험을 통해 얻어진 성숙도-강도 관계식을 적용할 수 있는 방안에 대한 연구가 진행될 예정이다.

2. 이론적 배경

2.1 성숙도의 이론적 배경

시멘트 콘크리트의 강도발현과 깊은 관계가 있는 적산온도 이론은 1951년 Saul에 의해서 제안되었으며, 1953년 Bergstrom 에 의해 수정된 후 많은 연구자들에 의해 연구되었다. 현재는 한중콘크리트에 관한 일본 건축학회시방서 및 토목학회 시방서, RILEM지침서, ACI보고서 등에 제시되어 있다. 시멘트 콘크리트에서의 적산온도 이론은 강도발현율, 양생온도 및 양생시간을 함수로하여 양생시간 Δt 일때 강도발현율(ds/dt)은 강도(S) 및 양생온도(T)와의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$M_V = \sum (T - T_0) \cdot \Delta t \quad (1)$$

여기서 M_V : VES-LMC의 성숙도(°C · h)

T : VES-LMC의 양생온도(°C)

T_0 : 기준온도 (°C)

2.2 압축강도 추정의 이론적 배경

본 연구에서는 VES-LMC의 압축강도와 성숙도의 관계를 추정하기 위해 Linear Curve, Logistic Curve 등 2가지 식을 사용하여 제안된 성숙도 이론식을 검토하였다.

* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 석사과정 (033-250-6240, E-mail : ljb186@nate.com)

** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 공학석사 · 박사과정 (033-250-6220, E-mail : panjil@kangwon.ac.kr)

*** 정회원 · 충주대학교 토목공학과 겸임교수 · 박사 (033-250-6240, E-mail : wonkyong@gw.ac.kr)

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



1) Liner Curve(Plowman Model)

이 식은 1950년대의 Plowman 등이 증기양생한 시멘트 콘크리트의 압축강도와 적산온도의 관계에 적용하여 압축강도를 추정하는데 사용한 것으로 일반식은 적산온도에 대수를 취하여 다음과 같이 표시한다.

$$S = a + b \cdot \log M_V \tag{2}$$

여기서, S : VES-LMC의 압축강도

M_V : VES-LMC의 성속도

a,b : 실험상수

2) Logistic Curve(Lew&Reichard Model)

Logistic Curve는 인구증가를 등을 표시할 때 사용되는 것으로 이 곡선으로 표현되는 강도발현 형태는 변곡점 $S = S_u/2$ 까지는 발현속도가 가속적이고 증가하고 변곡점 이상에서는 그 속도가 둔화되면서 최종도달강도에 이르게 되면, 이 곡선은 변곡점을 중심으로 좌우대칭이 된다.

$$S = \frac{S_u}{[1 - \exp(a - b \cdot \log M_V)]} \tag{3}$$

여기서 S: VES-LMC의 압축강도

S_u : Logistic Curve에 의한 VES-LMC의 최종도달 압축강도

M_V : VES-LMC의 성속도

a,b : 실험상수

3. 실험계획

3.1 배합설계

초속경 시멘트는 국내 생산 S사 초속경 시멘트를 사용하였다. 교면포장의 덧씌우기 재료로 사용되는 굵은 골재는 최대치수가 13mm인 레미콘용 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 천연 강모래를 사용하였다. 라텍스는 물 52% 폴리머 고형분 48%로 구성되어 있는 미국 D사의 라텍스를 사용하였다. 또한, 소포제는 국내에서 생산되는 실리콘 계열의 라텍스 첨가용 소포제를 사용하였고, 배합은 표 1과 같다.

표 1. VES-LMC 배합표

Slump (cm)	S/a(%)	Latex(%)	W/C	Unit Weight(kg/m ³)				
				C	W	S	G	Latex
21±1	58	15	38	390	82	918	707	122

3.2 공시체의 제작 및 내부온도측정

현재 교면포장 보수·보강 공법에 사용되고 있는 VES-LMC의 라텍스 혼입률 15%를 그대로 사용하였고 압축강도는 재령 2hr, 3hr, 6hr, 12hr, 1day, 3day, 7day, 28day에 측정하였고, 온도는 I-Button을 사용하여 공시체 중앙의 내부온도를 측정하였다.

3.3 VES-LMC의 기준온도

일반적인 시멘트 콘크리트의 적산온도 이론식에 사용되는 기준온도는 시멘트의 수화반응이 일어날 수 있는 최저 온도로서 -10℃가 사용되고 있으며, 내한성 혼화제가 사용되었을 겨우는 그 농도에 따라 -10~15℃로 낮아진다. 본 논문에서 사용한 기준온도는 일반적으로 사용하는 -10℃로 선택하여 성속도를 계산하였다.



4. 결과 및 고찰

4.1 VES-LMC의 압축강도

표 2는 재령에 따른 VES-LMC의 압축강도를 나타낸다. 표에서 볼 수 있듯이 초기강도가 매우 급속하게 발현되는 특성을 보이고 있다. 따라서 현장콘크리트의 압축강도를 적절하게 평가할 수단이 없는 경우에 콘크리트의 온도측정을 통해 압축강도를 예측하는 성숙도-강도 관계식은 매우 유용하게 사용될 수 있으며, 초기 재령 콘크리트의 품질관리 지표로 활용될 수 있다.

표 2. 재령에 따른 압축강도

	2hr	3hr	6hr	12hr	1day	3day	7day	28day
Strength(Mpa)	18.9	23.7	27.1	28.1	29.3	33.3	38.2	42

4.2 재령에 따른 압축강도와 성숙도의 관계

식(2), (3)에서 제시된 2종류의 회귀식을 이용하여 표 2에 나타낸 VES-LMC의 압축강도와 식(1)에 의해 계산된 표 3은 각각의 재령에 따른 성숙도와와의 관계를 나타내면 그림 1, 2와 같이 표현된다. 표 4는 압축강도 예측식을 Linear curve와 Logistic Curve로 구분하여 회귀 분석한 결과에 대한 실험상수와 상관계수를 나타낸다.

VES-LMC의 강도 예측식은 Linear curve를 적용한 경우 상관계수가 97.9%로써 실제 강도 측정치와 매우 유사한 것으로 나타났고, 그와 비교하여 Logistic Curve를 적용했을 경우 또한 93.8%의 매우 높은 상관성을 가지기는 하지만 Linear curve에 비해 다소 적용성이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 VES-LMC의 강도 예측식은 Linear curve를 적용하는 것이 바람직하리라 사료된다.

표 3. 재령에 따른 성숙도

Ambient temperature(°C)	To (°C)	Maturity(°C*h)							
		Curing period(h)							
		2	3	6	12	24	72	168	672
20	-10	63	137	231	360	720	2124	4956	19824

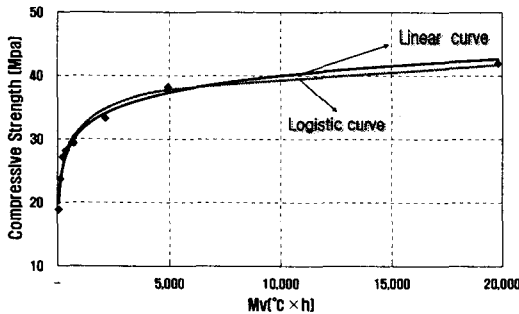


그림 1. 성숙도-강도함수 관계

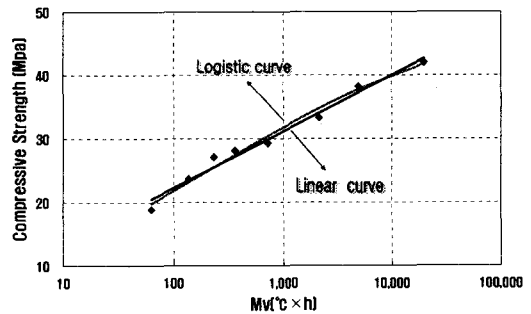


그림 2. 성숙도-강도함수 관계 (log scale)



표 4. 회기분석 결과

Linear curve			Logistic Curve		
a	b	Y	a	b	Y
4.582	3.848	0.979	0.818	1.893	0.938

5. 결론

본 연구는 교면포장 긴급보수에 적용되는 초속경 라텍스개질 콘크리트의 압축강도를 성숙도 개념을 적용하여 평가할 목적으로 수행되었으며, 실내실험결과 성숙도-강도관계식에서 예측된 압축강도와 직접법을 통해 측정된 압축강도가 상당히 유사하게 나타났다. 이상에 대한 내용을 간략히 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서는 성숙도를 계산하기 위해 기준온도 T_0 를 -10°C 로 가정하여 사용하였는데, 특정 배합에 대한 정확한 성숙도를 알아내기 위해서는 기준온도 결정이 필요하며, 향후 기준온도를 결정하는 연구가 수행되어야 한다.
- 2) 일반적인 경우 Plowman이 제시한 Liner Curve는 상관계수가 Logistic Curve보다 상대적으로 낮아 적용성에 있어 문제가 있지만 초기강도발현이 매우 큰 VES-LMC의 경우는 Logistic Curve($Y=0.938$)보다 Linear Curve($Y=0.979$)에서 상관계수가 더 높은 것으로 나타났다. 하지만 28일 이후의 장기강도 발현 추정경우는 Linear Curve의 특성상 성숙도의 증가에 따라 강도가 계속 증가하는 형태의 모델이기 때문에 성숙도 값이 많이 작거나 크면 정확성 문제가 있기 때문에 범위를 제한해야 한다.
- 3) 본 연구에서 적용한 성숙도 이론식은 VES-LMC에 적용 가능함을 확인 할 수 있으며 이상의 결과는 VES-LMC로 시공된 교량의 조기 교통개방을 위한 강도 예측과 품질관리에 있어서 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 현장타설된 VES-LMC의 성숙도 적용을 위한 연구가 진행 될 예정이다.

참고문헌

1. Sprinkel, M.M. (1999) Very early strength latex modified concrete overlays, Report of Virginia Transportation Research council, No. VTRC99-TAR3.
2. 강성철, 조운호, 임채용.(2003). "성숙도 개념을 이용한 Whitetopping 포장의 현장 적용"
3. 이윤수, 연구석(1998). "적산온도법에 의한 경량 폴리머 모르타르의 초기강도 예측에 관한 연구"
4. 윤경구, 이주형, 김기현, 김대호(2000), "현장 적용성을 위한 라텍스개질 콘크리트의 역학적 특성", 대한도목학회 학술발표회 논문집, pp.395-398
6. 최상릉(2002), "초속경 SB 라텍스개질 콘크리트의 개발", 강원대학교 토목공학과 박사학위논문
7. 한국콘크리트학회(1996), "성숙도 개념을 이용한 콘크리트 초기강도 예측 모델 개발 연구". pp. 197-207