

요인 실험분석에 의한 SB 라텍스 개질 콘크리트의 강도예측

Strength Estimation of Styrene-Butadien Latex Modified Concrete by Factorial Experimental Design

윤 경 구* 이 주 형** 홍 창 우**
Yun, Kyong-Ku Lee, Joo-Hyung Hong, Chang-Woo

Abstract

The purpose of this study was to provide the evaluation and prediction of strengths of SB latex modified concrete(LMC) using a statistical method and factorial experimental design method. The main experimental variables were as follows ; W/C (4 levels ; 31, 33, 35, 42%), S/a(2 levels ; 55, 58%) and L/C(2 levels ; 5, 15%). The compressive strength and flexural strength of LMC were selected as a factor of response. The statistical method was carried out to analyze the results, together with factorial experimental design method and response surface method.

The analysis showed that if L/C had been 15%, W/C appeared to be around 33% to achieve the design strength of 350kgf/cm². In this case, the flexural strength and the slump came to around 68kgf/cm² and 18cm, respectively. Eventhough the L/C varied, the design strength and W/C could be predictable together with slump value and flexural strength. As a result of series of experiments in this study, W/C and L/C were proved to be the main factors influencing on the compressive and flexural strength of LMC. Both of strength and slump values could be predictable from the mixing proportion of LMC.

키워드 : 평가, SB, 요인실험계획

Keywords : *estimation, Styrene-Butadien, factorial experimental design*

1. 서론

구조체에 사용되는 특수한 개념의 콘크리트 중 기존 콘크리트와의 부착성능, 특수 및 내구특성을 보완하기 위한 SB 라텍스 개질 콘크리트의 사용이 증가하고 있다. 그러나, SB 라텍스 개질 콘크리트의 상용에 있어 현실적인 측면에서는 아직까지 국내에 정착단계로 라텍스 개질 콘크리트를 실내실험 및 현장실험을 통해 강도 및 적용성을 경험적으로 활용하고 있다. 이런 여건 하에 SB 라텍스 개질 콘크리트 조건을 만족하는 적절한 강도식이 확립되고 규정되지 않았으며 이런 연구는 아직까

지 미미한 실정이다.폴리머 라텍스의 혼입으로 인해 콘크리트는 보통 콘크리트와는 다른 강도 거동을 보이게 된다. 따라서, 폴리머 라텍스를 혼입한 콘크리트의 강도발현은 기존의 콘크리트 강도예측식을 사용해서는 올바른 값을 얻을 수 없게된다. 현재 라텍스 개질 콘크리트는 실험을 통해 확인된 강도발현을 추정하고 있는 실정이다. 교량의 덧씌우기 구조체로 사용되는 라텍스 개질 콘크리트의 강도예측이 가능하다면, 매우 폭넓게 적용되어질 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 종래의 라텍스 개질 콘크리트의 강도 자료와 실험을 통해 통계적 기법에 의한 요인분석을 실시해 SB 라텍스 개질 콘크리트의 강도발현특성 및 강도추정에 대해 연구하고자 하였다.

* 강원대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

** 강원대학교 토목공학과, 박사후과정, 공학박사

2. 실험결과 분석법 및 콘크리트 강도 추정 고찰

2.1 개요

본 장에서는 SB 라텍스 개질 콘크리트의 특성과 요인분석 실험계획법에 대하여 파악하였다. 실험계획법에서는 요인분석실험과 반응표면분석을 고찰하였다. 또한, SB 라텍스에 의한 콘크리트의 개질 효과를 파악하고, 본 연구에서 사용하고자 하는 실험계획법에 대한 이론적 배경을 기술하였다.

2.2 요인 실험법

요인 실험법(Factorial Experimental Design)이란 두 개 이상의 인자에 대해 한 실험에서 동시에 분석하는 실험방법으로, 본 연구에서 다루고자 하는 특성들에 대해 실험적으로 분석하고 실험목적의 달성에 가장 효율적인 분석방법이다. 요인 분석은 몇 가지의 인자를 포함한 반응변수에 있어 인자들의 상호관계를 연구하는데 필요한 분석에서 광범위하게 사용되고 있다. 각 인자에 대해 2가지 수준에 의해 결정되며, 선택한 인자의 반응은 수준에 의해 결정되며, 선택한 인자의 반응은 수준의 범위를 넘어서는 예측 값은 대략 선형적이라는 가정이 필요하다. 실험분석의 전형적인 형태는 찾고자 하는 응답비를 y_{ijk} 로 하면 인자 A에 대한 i 수준($i=1, 2, \dots, a$), 인자 B에 대한 j 수준($j=1, 2, \dots, b$), 그리고 인자 A와 B에 의해 중복되는 k 의 변화($k=1, 2, \dots, n$)의 대표적인 경우로 나타낼 수 있다. 선형적인 통계모델을 이용하여 찾고자 하는 반응값을 나타내면 다음과 같다,,

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad \begin{matrix} i=1,2,\dots,a \\ j=1,2,\dots,b \\ k=1,2,\dots,n \end{matrix}$$

여기서, μ 는 인자들 사이의 포괄적 영향, τ_i 는 j 의 수준에 의한 A 행 인자, β_j 는 B 인자열의 j 수준에 대한 영향, $(\tau\beta)_{ij}$ 는 τ_i 와 β_j 의 상호관계의 영향, 그리고 ϵ_{ijk} 는 인자들의 조합에 의한 불규칙한 에러로 나타낸다. 인자들의 전체적인 편차들에 대한 영향의 판별은 인자들 사이의 초기가정을 불규칙하지 않게, 따라서 $\sum_{i=1}^a \tau_i = 0$ 그리고 $\sum_{j=1}^b \beta_j = 0$ 으로 고정시키며, 유사하게 $\sum_{i=1}^a (\tau\beta)_{ij} = 0$ 와 같이 하여 상호작용에 대한 영향을 판단한다.

2.3 반응표면 분석법

최적화를 위한 반응표면분석(Response Surface Analysis)은 통계적인 기술을 이용하여 몇 가지의 변수에 의해 영향을 받는 반응과 이와 관련된 문제의 해석과 모델링에 사용되며, 이와 같은 방법의 목표는 반응에 의해 결정되는 영향을 최적화 하는 것이다. 모형진행에 있어 독립인자(X_1)와 반응인자(X_2)를 알고자 한다면, 진행항목은 고정인자와 반응인자의 함수로 다음과 같이 말할 수 있다.

$$y = f(x_1, x_2) + \epsilon$$

여기서 ϵ 은 두 요인사이의 교호작용 또는 반응치 y 에 있어 관찰된 Error이다.

만일, $E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$ 에 의한 기대되는 응답을 나타낸다면 반응변수 $\eta = f(x_1, x_2)$ 에 의한 표면응답을 반응표면(Response Surface)이라 한다.

대부분의 반응표면분석은 응답과 독립변수사이에 연관 형식이 밝혀지지 않고 있다는 것이다. 따라서, 반응표면분석에서 첫 번째 단계는 반응치와 독립변수 사이의 올바른 함수적 관계를 적합하게 찾아내는 것이다. 반응표면분석의 궁극적인 목표는 작업조건 최적화를 결정하고, 시방서에 시행되는 재료상수들의 영역을 만족하는 구간을 결정하는 것이다.

본 연구에서는 라텍스 개질 콘크리트의 강도발현 특성에 영향을 미칠 수 있는 주요영향인자들을 정량적으로 해석하기 위하여 요인분석실험법을 사용하였으며 이 중에서 중요인자들의 영향뿐만 아니라 2차 상호작용까지 가능한 완전요인 실험설계법을 선택하였다.

2.4 SB 라텍스 개질 콘크리트

라텍스란 콜로이드같은 작은 구형의 유기체 폴리머입자가 물속에 분산되어 있는 것을 말한다. 이러한 입자들은 표면이 계면활성제로 코팅되어 물속에서 부유 상태로 존재한다. 이러한 라텍스가 시멘트 수화반응이 일어날 때 라텍스의 필름막이 형성된다. 라텍스는 미세균열 사이에 다리역할을 하여 접합력을 높이고 외부하중과 환경의 영향하에서 미세균열의 전파를 억제한다. 콘크리트 내에서의 이러한 라텍스의 거동으로 인해 콘크리트의 불침투성, 내구성 그리고 강도 특성에 있어 상당한 개선을 보인다. 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 라텍스의 첨가는 LMC의 작업성을 증가시킨다. 이것은 폴리머 입자들의 불배어림작용, 연행된 공기 및 라텍스 안에 있는 계면활성제의 분산영향에 의한 것이다.

2.5 요인분석에 따른 강도추정

본 논문에서는 SB 라텍스 개질 콘크리트의 강도발현에 큰 영향을 주는 요인인자를 확인하여 요인분석에 따른 강도를 추정하고자 한다. 라텍스 개질 콘크리트 구조물의 강도는 여러 가지 요인에 의해 변이를 보이고 있다. 주요 요인들은 콘크리트와 라텍스의 수화반응관계 및 역학적 특성의 변이, 덧씌우기 두께오차, 라텍스 혼입율의 차이 등이다. 이들 중 콘크리트의 강도는 상대적으로 매우 높은 불확실성을 가지며, 다양한 요인에 의해 변화정도가 영향을 받는다. 불확실성의 요인이 되는 사항을 살펴보면, 골재, 라텍스, 시멘트 등의 기본재료의 품질변화, 배합비의 변화, 라텍스 혼입율, 배합 및 타설방법, 양생과정 등이다. 이외에도 실제 구조물 내에서의 콘크리트 강도는 실험공시체의 결과와는 현실적으로 차이를 가지고 있다. 이러한 SB 라텍스 개질 콘크리트를 비롯한 폴리머 개질 콘크리트의 경우는 강도발현에 있어 조건 및 여건에 상당히 민감하게 반응하므로 이들 재료의 강도추정은 아직까지 많은 경험적 식에 의해 결정되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 폴리머 개질 콘크리트의 강도추정을 국내 생산 재료를 사용하여 우리 나라 실정에 적합한 식을 도출하고자 하였다.

또한, 이러한 도출과정에서 보다 과학적이고 합리적인 분석을 위하여 기존 자료 및 실험자료를 토대로 통계적 분석기법은 요인분석과 표면반응분석을 실시하여 추정치에 대한 신뢰도를 높이고자 하였다.

3. 실험

본 연구에서 계획된 요인분석실험은 방대한 실험을 축소시키기 위해 통계학적 기법을 사용하며 가능한 간편한 실험과 분석을 하도록 하여 적은 회수의 실험으로부터 많은 요인들의 효과를 알아낼 수 있도록 하였다. 요인분석을 위한 계획은 주요 인자로 물-시멘트비(W/C=A, 4수준 : 31, 33, 35, 42%), 잔골재율(S/a=B, 2수준 : 55, 58%), 폴리머-라텍스 혼입률(Latex=C, 5, 15%)로 하여 실험을 수행하였으며 반응변수로 압축강도와 휨강도를 측정하였다.

3.1 실험계획

폴리머 첨가 콘크리트는 폴리머의 첨가량에 따라 매우 큰 강도변화 및 성질변화를 나타내게 된다. 또한, 일반 콘크리트와 같이 물-시멘트비에 따라서 시멘트풀의 경화정도가 달라지므로 강도에 큰 영향을 미치게 된다. 실험에 의한 요인분석을 실시하기 위한 기초자료로 활용할 실험변수로는

경제성을 고려한 라텍스 혼입률, 작업성 향상을 위한 잔골재율 그리고, 최적의 강도발현을 고려한 물/시멘트비로 세분하여 실험하였다. 표 3.1과 3.2는 요인실험분석 중 이원분산분석과 반응표면분석을 위한 실험계획을 보여주고 있다. 또한 통계적 분석을 위하여 각인자들의 수준과 그에 따른 반응 변수인 압축 및 휨강도에 대한 실험 순서는 인자들의 수준을 무작위로 추출하여 실험을 실시하였다. 이것은 실험 순서에 있어 서로간의 결과값에 영향을 미치지 않게 하기위한 것이었다.

표 3.1 이원분산분석을 위한 실험계획

W/C (%)				
S/a (%)	31		42	
Latex Contents (%)	55	58	55	58
	5	7	3	6
	15	2	1	4
				5
				8

표 3.2 반응표면분석을 위한 실험계획

W/C (%)								
S/a (%)	31		33		35		42	
Latex Contents (%)	55	58	55	58	55	58	55	58
	5	10	4	6	3	14	15	9
	15	2	1	13	8	11	16	5
								12

3.2 사용재료 및 배합설계

본 연구의 실험에 사용된 SB 라텍스는 Styrene-Butadien계열의 것을 사용하였으며, 그 화학적 특성은 표 3.3에 나타내었다. 골재의 경우 굵은 골재는 최대치수 13mm인 레미콘용 채석을 이용하였고, 잔골재는 천연강도래를 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 KS 규정에 의한 실험을 통하여 표 3.4에 그 결과를 나타내었다.

3.3 실험방법

콘크리트 시험체는 압축강도 시험을 위해 각 요인별로 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 3개씩 제작하였고, 그리고 휨강도 시험은 시험체의 단면을 각각 $100 \times 100 \times 400$ mm로 각 변수 당 3개씩 제작하였다. 제작된 시험체는 실온에서 양생한 후에 탈형하여 강도 특성을 규명하기 위하여 KS F2408 및 KS F 2405의 규정된 시험방법에 의해 휨강도와 압축강도 실험을 실시하였다.

표 3.3 라텍스의 조성과 물성

Percent Solids	Specific Gravity (25°C)	PH	Surface Tension dynes/cm at 25°C
46%-48 %	1.01	10.5	32
Self Life	Viscosity cps at 20°C	Freeze thaw stability (-15°C to 25°C)	stabilizer type
> 2 years	24	5 cycle	anionic

표 3.4 골재의 물리적 특성

Type	Max. Size (mm)	Specific Gravity	Absorption (%)	F.M
Fine Aggregate	>5	2.60	1.74	2.8
Coarse Aggregate	13	2.62	1.1	6.9

4. 요인분석을 통한 SB 라텍스 개질 콘크리트의 특성 분석

본 장에서는 동일작업조건에서 SB 라텍스 첨가로 인한 강도변화를 물-시멘트비, 잔골재비, 라텍스 혼입률을 주 요인으로 분석하였다. 실험결과와 각 인자들의 요인분석을 통해 통계적으로 유의한 수준을 고찰하였으며, 영향인자에 따른 강도평가 및 강도추정을 요인실험법에 의해 평가하였다.

4.1 요인 실험 분석

실험 결과를 분산분석(ANOVA : Analysis Of Variance)을 통하여 주요 변수의 영향과 변수들 간의 상관관계를 분석하였다. SB 라텍스 개질 콘크리트의 실험 계획에 따른 강도 실험 결과를 표 4.1에 나타내었다.

표 4.1은 SB 라텍스 개질 콘크리트의 강도 특성에 각 인자들이 미치는 영향을 ANOVA 분석하였다. 여기서 SB 라텍스 개질 콘크리트의 인자들의 실험 변수로 A는 물-시멘트비, B는 잔골재율, C는 라텍스 혼입률로 나타내었다. SB 라텍스 개질 콘크리트의 ANOVA 분석 결과를 표 4.2에 나타내었다.

표 4.1 완전요인실험계획

Run order	W/C Ratio (%)	S/a Ratio (%)	Latex Ratio (%)	Compressive Strength (kgf/cm ²)	Flexural Strength (kgf/cm ²)
1	31	58	15	381	69
2	31	55	15	382	70
3	33	58	5	385	55
4	31	58	5	376	68
5	42	55	15	210	59
6	33	55	5	379	50
7	42	58	5	223	52
8	33	58	15	376	64
9	42	55	5	225	56
10	31	55	5	390	55
11	35	55	15	343	72
12	42	58	15	209	50
13	33	55	15	397	78
14	35	55	5	352	77
15	35	58	5	350	76
16	35	58	15	341	72

표 4.2 강도 실험 결과의 분산 분석

Test results	Source	Sum of Squares	DF	Mean of Square	F-Value
Compressive Strength (kgf/cm ²)	Model	69667.7	6	11611.3	45.92
	A*	69411.9	1	69411.9	274.5
	B	68.3	1	68.3	0.27
	C	148.1	1	148.1	0.59
	A×B	6.0	1	6.0	0.02
	A×C	94.8	1	94.8	0.37
	B×C	11.4	1	11.4	0.05
	Residual	2022.7	8	252.8	
Total	75801.1	15			
Flexural Strength (kgf/cm ²)	Model	659.6	6	109.9	1.79
	A*	580.3	1	580.3	9.46
	B	34.4	1	34.4	0.56
	C	3.5	1	3.5	0.06
	A×B	1.1	1	1.1	0.02
	A×C	24.7	1	24.8	0.40
	B×C	2.1	1	2.1	0.03
	Residual	490.9	8	61.4	
Total	1788.8	15			

* : Statistically significant at 95% level of confidence

요인 실험분석에 의한 SB라텍스 개질 콘크리트의 강도예측

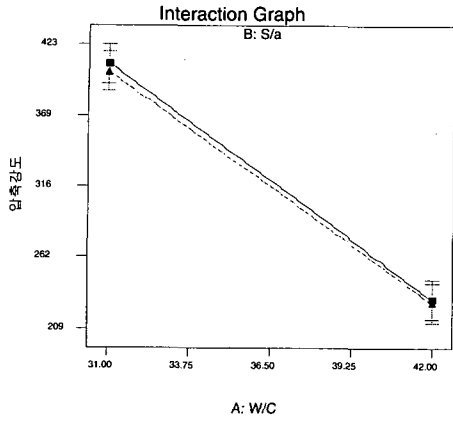


그림 4.1 물-시멘트비와 잔골재율 상관관계(압축강도)

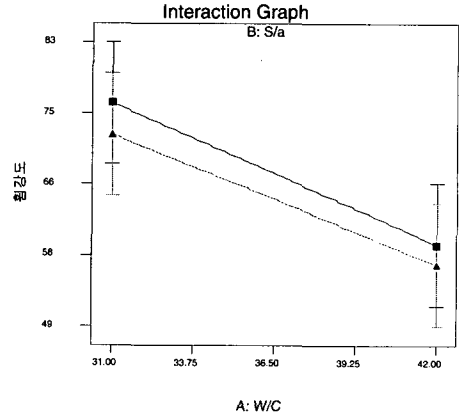


그림 4.4 물-시멘트비와 잔골재율 상관관계(휨강도)

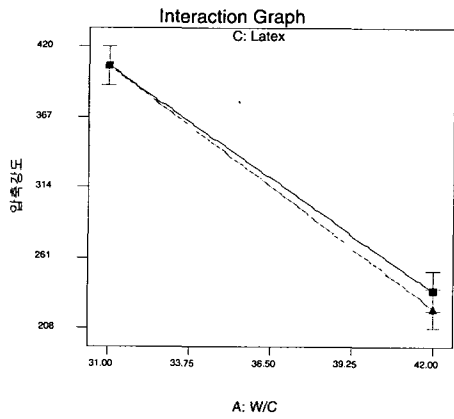


그림 4.2 물-시멘트비와 라텍스 혼입율 상관관계(압축강도)

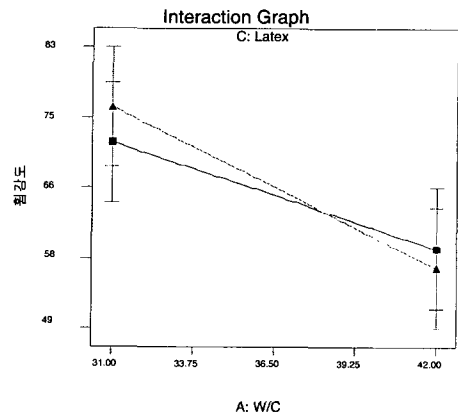


그림 4.5 물-시멘트비와 라텍스 혼입율 상관관계(휨강도)

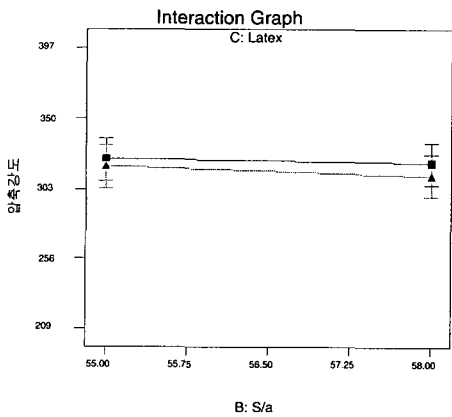


그림 4.3 라텍스 혼입율과 잔골재율 상관관계(압축강도)

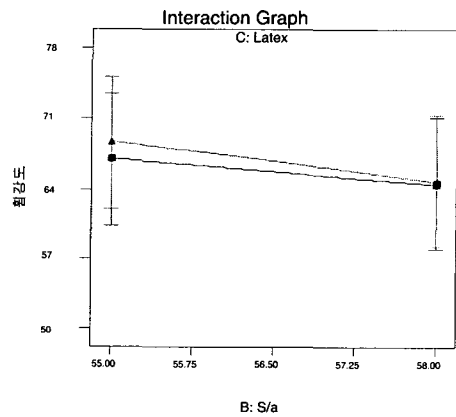


그림 4.6 라텍스 혼입율과 잔골재율 상관관계(휨강도)

ANOVA 분석을 통하여 인자들이 SB 라텍스 개질 콘크리트의 강도에 미치는 영향을 살펴보면, 압축강도나 휨강도 모두 물-시멘트 비에 가장 큰 반응을 보이는 것으로 나타났다. 그리고 반응변수에 가장 적은 영향을 미치는 인자는 잔골재 혼입율이라는 것이 판명되었다. 또한 실험변수에 대한 검정 결과 물-시멘트비, 라텍스 혼입율은 변수간의 상호관계의 실험변수에 적합한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 상호 관계에 대한 F 검정 결과 유의하게 나타나 실험변수와 반응변수간의 변화에서도 유의수준(Significance level)이 큰 것으로 나타났다.

이러한 통계결과는 라텍스 내에 일정량 첨가되어져있는 수분의 영향으로 물-시멘트비의 변화를 가져올 수 있으므로 이에 따른 강도 발현에 유의수준을 보이는 것으로 판단되어진다. ANOVA 분석 결과로 볼 때 압축강도에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 물-시멘트비이며, 다음은 물-시멘트비에 영향을 주는 라텍스 혼입률임을 확인할 수 있었다.

압축강도, 휨강도에 대한 실험인자들의 영향을 ANOVA를 통한 분석 결과를 바탕으로 하여 SB 라텍스 개질 콘크리트의 실험설계에 대한 주요 변수들 간의 상관관계를 그림 4.1 ~ 그림 4.6에 나타내었다. 그림 4.1 ~ 4.6은 각 인자들의 관계 중 두 변수의 2차 상호 관계를 통하여 압축 강도를 평가한 것이다. 이 그림을 통하여 인자의 2차 상호관계는 물-시멘트비와 라텍스 혼입에 따른 상호관계가 서로 접근하면서 압축강도에 대해 상관관계가 큰 것을 알 수 있으나 낮은 물-시멘트비와 라텍스 혼입률이 교차작용에 의해 반응점의 예측이 난해하다. 또한, 그림 4.4 ~ 4.6은 각 인자들의 상호 관계를 통하여 휨강도를 평가한 것이다. 휨강도 역시 인자의 2차 상호관계는 물-시멘트비와 라텍스 혼입에 따른 상호 관계가 서로 교차하며 인자가 휨강도에 대한 상관관계가 큰 것을 알 수 있었다. 이러한 경우는 압축 강도보다는 휨강도에 있어 그 상관관계성이 더 큰 것으로 판명된다. 그러나, 비교적 높은 수준의 물-시멘트비와 라텍스 혼입률의 교차작용에 의해 반응점의 예측이 어려운 것 또한 압축강도와 마찬가지로 하는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 압축과 휨강도의 반응변수에 있어 물-시멘트비가 두 경우의 강도에 가장 큰 영향인자인 것이 드러났다. 또한, 비록 물-시멘트비의 경우보다는 영향이 작지만 라텍스 혼입율에 따라 강도 발현에 영향을 준다고 판명되었다. 반면, 잔골재율은 강도발현에 다른 두 인자들에 비해 상대적으로 강도발현에 영향을 미치지 못하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과로 볼때, 물-시멘트비와 라텍스의 혼입률이 압축강도와 휨강도에 영향을 미치

는 인자임을 확인 할 수 있었다. 하지만, 본 연구에 있어 라텍스의 경우 수준의 차이가 적기 때문에 강도에 미치는 상대적인 영향분석이 미비하였다. 따라서, 라텍스의 수준을 크게 하여 실험과 분석을 함으로써 이를 바탕으로 하여 최적의 적정배합구간의 실험설계를 통한 인자분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4.2 강도에측을 위한 분석

다음은 본 연구에서 SB 라텍스 개질 콘크리트의 강도평가 및 예측을 위한 주요 영향인자로 간주한 물-시멘트비, 슬럼프, 압축강도, 라텍스 혼입률에 따른 각각의 영향인자간의 상관관계를 반응표면분석으로 평가하여 목표의 조건을 나타내고자 하였다.

4.2.1 슬럼프 조건에 따른 영향인자 변화

일반적으로 단위수량이 약 1.2% 증가하면 슬럼프가 1cm 정도 증가하는 것으로 알려져 있으나, 단위수량을 계속 증가시키면 재료분리가 생기기 쉽고, 그에 따른 강도발현 저하 등이 나타난다. 그러나, SB 라텍스 개질 콘크리트의 경우 보통 콘크리트와는 달리 동일 작업조건을 만족시키기 위해 라텍스 혼입률을 증가시키면 단위수량을 감소시킬 수 있다. 따라서, 보통 콘크리트에서 사용되는 단위수량과 슬럼프와의 상관관계를 그대로 도입할 수가 없게 된다.

본 연구에서 실시한 연구자료와 기존의 자료를 토대로 작업조건 슬럼프 20cm을 갖추기 위한 라텍스 첨가율과 그에 따른 물-시멘트비의 변화, 그리고 이 경우에 있어서의 예상되는 압축강도와 휨강도를 반응표면 방법을 사용하여 평가하였다.

SB 라텍스의 혼입으로 개질 효과가 가장 우수하다고 보고되고 있는 혼입율 15%의 경우 다음과 같이 나타났다. 아래의 표 4.3은 수치해석과정에 필요한 조건들을 보여주는 것이며, 표 4.4은 결과를 요약한 것이다. 이를 살펴보면, 라텍스 혼입율 10%와 20%에서 확보는 작업성을 얻기 위한 물-시멘트비가 36%로 95% 신뢰구간은 최소 34%에서 최대 38%로 나타났으며, 이때의 표준편차는 1로 나타났다. 또한, 압축강도와 휨강도는 309kgf/cm²와 67kgf/cm²로 매우 높은 강도 특성으로 분석되었다. 그러나, 95%에 대한 신뢰구간이 다소 크고 표준편차도 높게 나타났다. 이는 SB 라텍스 개질 콘크리트에 대한 자료가 충분치 않고 단순히 동일작업조건에 의해서 강도추정을 하기에는 많은 어려움이 있는 것으로 판단되어진다. 그러나, 라텍스 혼입율에 따른 목표슬럼프 조건을 얻기 위한 물-시멘트비의 산출과 그에 따른 압축강도 및 휨강도의 추

정이 가능한 것으로 나타나 SB 라텍스 개질 콘크리트의 합리적인 사용이 가능함을 알 수 있었다.

표 4.3 동일작업조건을 위한 라텍스 혼입률 15%의 반응표면조건

Constraints		Low	Up	Low	Up
Name	Goal	Limit	Limit	Weight	Weight
Latex	is target = 15	0	20	1	1
W/C	is in range	31	60	1	1
압축	is target = 320	205	343	1	1
휨	is in range	35	83	1	1
Solutions	조건에 만족하는 가장 큰 기대치의 반응값				
Number	Latex	W/C	압축	휨	Desirability
1	15.00	36.2	309	67	0.9578

표 4.4 동일작업조건을 위한 라텍스 혼입률 15%의 통계추정

	Prediction	SE Mean	95% CI	
			low	high
W/C	36	1	34	38
Slump	20	0	20	20
압축	309	10	287	331
휨	67	3	59	75

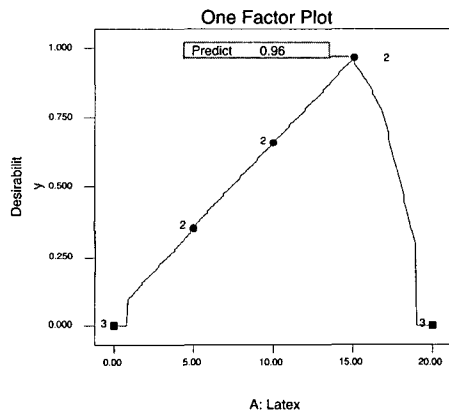


그림 4.7 라텍스 혼입률 변화에 대한 예측신뢰도변화

또한 그림 4.7은 주어진 조건인 작업성 20cm를 만족시키기 위한 라텍스 혼입률 변화에 따른 신뢰도를 나타내고 있다. 이를 보다 자세히 살펴보면, 라텍스 혼입률 15%와 동일작업조건 20cm를 기준으로 이를 만족하기 위한 라텍스 혼입률 변화에서 신뢰도를 나타내는 것이다.

4.2.2 압축강도발현 조건에 따른 영향인자 변화

보통 콘크리트는 강도발현의 조건에 있어 가장 큰 영향인자가 물-시멘트비이나, SB 라텍스 개질 콘크리트는 강도발현에 있어 가장 큰 영향을 미치는 것이 물-시멘트비와 더불어 SB 라텍스의 혼입율이다. 따라서, 본 연구에서는 동일작업조건 하에서 설계강도를 만족시키기 위한 라텍스의 혼입률과 그에 따른 물-시멘트비의 상관관계를 분석하였다. 표 4.5는 라텍스 혼입에 따라 슬럼프 20cm를 확보하고 설계기준 압축강도 320kgf/cm²를 만족하기 위한 물-시멘트비와 라텍스 혼입률을 통계처리방법으로 분석한 것이다.

표 4.5와 4.6을 살펴보면, 슬럼프 조건 20cm에 있어 고강도 설계기준인 320kgf/cm²를 만족하기 위한 라텍스의 혼입률은 약 16.8%에 물-시멘트비는 34%, 95% 신뢰구간은 최소 31%에서 최대 36%로 나타났다. 이를 통해 SB 라텍스 개질 콘크리트를 사용한 구조체의 설계에 있어 설계기준강도에 따른 적합한 라텍스 혼입률과 물-시멘트비의 선정이 가능할 것으로 판단된다. 또한 그림 4.8은 주어진 조건인 작업성 20cm과 목표압축강도 320kgf/cm²를 만족시키기 위한 라텍스 혼입률 변화에 따른 신뢰도를 나타내고 있다.

4.2.3 휨강도발현 조건에 따른 영향인자 변화

SB 라텍스의 첨가는 보통 콘크리트의 강도 개질 중 특히, 휨강도의 증진이 매우 우수한 것으로 보고되고 있다. 국내의 경우에 있어서도 이러한 기초자료를 토대로 높은 휨강도가 요구되는 교량의 교면 포장체로 SB 라텍스 개질 콘크리트를 적용하고 있다. 따라서, 라텍스 혼입에 따라 슬럼프 20cm를 확보하고 도로포장 설계기준 휨강도 45kgf/cm²를 약 50% 상회하는 휨강도 68kgf/cm²를 만족하기 위한 물-시멘트비와 라텍스 혼입률을 다음과 같이 통계처리방법으로 분석하였다. 표 4.7과 4.8을 살펴보면, 라텍스 혼입률 15%에 있어 목표 휨강도 67kgf/cm²를 얻기 위한 영향인자들의 조건은 95%의 신뢰구간에서 최소 물-시멘트비 34%에서 최대 38%로 나타났으며, 물-시멘트비 36%와 슬럼프 20cm에서 달성됨을 나타내고 있다.

표 4.5 동일작업조건에서 강도발현을 위한 반응표면조건

Constraints		Low	Up	Low	Up
Name	Goal	Limit	Limit	Weight	Weight
Latex	is in range	0	20	1	1
W/C	is in range	31	60	1	1
압축	is target = 320	205	343	1	1
휨	is in range	35	83	1	1
Solutions	위 조건에 만족하는 가장 큰 기대치의 반응값				
Number	Latex	W/C	압축	휨	Desirability
1	16.83	33.780	320	71.1432	1

표 4.6 동일작업조건에서 강도발현을 위한 통계추정

	Prediction	SE Mean	95% CI low	95% CI high
W/C	34	1	31	36
Slump	20	0	20	20
압축	320	11	295	345
휨	71	4	62	80

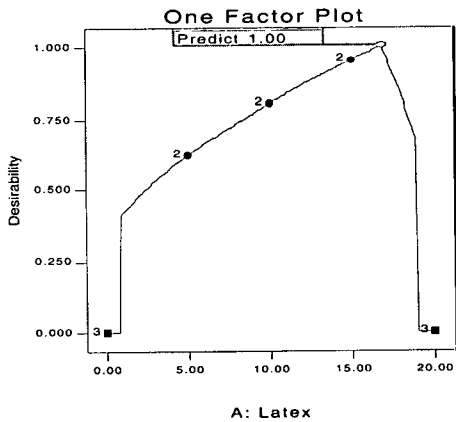


그림 4.8 라텍스 혼입률에 대한 목표강도 발현 예측신뢰도변화

표 4.7 휨강도발현조건에서 대한 영향인자 반응표면조건

Constraints		Low	Up	Low	Up	
Name	Goal	Limit	Limit	Weight	Weight	Importance
Latex	is target = 15	0	20	1	1	4
W/C	is in range	31	60	1	1	3
Slump	is target = 20	20	20	1	1	3
압축	is in range	205	343	1	1	3
휨	is target = 68	35	83	1	1	4
Solutions	위 조건에 만족하는 가장 큰 기대치의 반응값					
Number	Latex	W/C	Slump	압축	휨	Desirability
1	15.00	36.2	20	309	67	0.9888

표 4.8 휨강도발현조건에서 대한 영향인자 통계추정

	Prediction	SE Mean	95% CI low	95% CI high
W/C	36	1	34	38
Slump	20	0	20	20
압축	309	10	287	331
휨	67	3	59	75

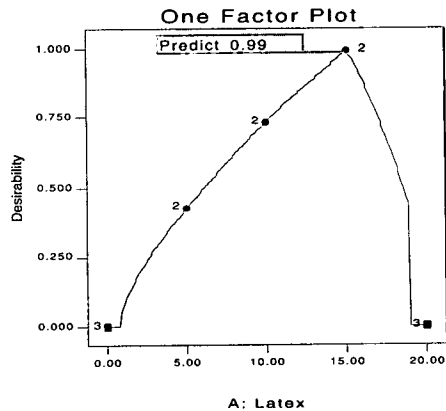


그림 4.9 휨강도발현조건을 위한 영향인자값의 예측신뢰도

이러한 결과로부터, 현재 가장 널리 사용되고 있는 라텍스 혼입률 15%에 있어 도로 및 휨강도를 설계기준 강도를 사용하는 구조체에 SB 라텍스 개질 콘크리트의 사용이 보다 과학적이고 합리적으로 이루어질 수 있을 것으로 판단되어진다.

그리고 그림 4.9는 주어진 조건인 작업성 20cm 과 목표 휨강도 67kgf/cm²을 만족시키기 위한 라텍스 혼입을 변화에 따른 신뢰도를 나타내고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 SB 라텍스 개질 콘크리트의 강도특성과 예측 평가를 위해 요인 실험법을 수행하였다. 주요 인자에 대한 상호영향과 통계처리를 통해 강도 추정 및 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 요인 분석실험의 주요 인자들 중 물-시멘트비, 라텍스 혼입률이 SB 라텍스 개질 콘크리트의 압축강도, 휨강도에 유의한 영향을 나타냄을 확인하였다.

(2) 인자들의 상호작용은 압축강도 보다는 휨강도에서 그 영향이 뚜렷한 것으로 나타났다. 이는 라텍스 혼입으로 인한 충전효과로 콘크리트 내부 재료들 간의 접착력을 증가시켜주기 때문인 것으로 판단된다.

(3) 라텍스 혼입률 15%에 있어 설계기준강도 350 kgf/cm²을 달성하기 위한 물-시멘트비는 약 33%로 나타났으며 이때의 휨강도와 슬럼프는 각각 약 68 kgf/cm²과 18cm로 95%의 신뢰구간의 휨강도의 경우 최소 61 kgf/cm²에서 최대 75 kgf/cm², 슬럼프의 95% 신뢰구간은 최소 17cm에서 최대 19cm로 나타났다.

(4) 라텍스 혼입률 15%의 경우 현장 적용에 있어 필요한 작업성 조건에 따라 물-시멘트비 산정과 그에 따른 압축강도 및 휨강도의 추정이 가능한 것으로 나타났다.

(5) 기존 연구자료의 축적과 보다 많은 인자들의 분석을 통하여 적절한 설계강도의 예측 식이 명확히 확립되면 타 구조물의 확대 적용도 광범위하게 설정할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 박성현, "工業統計學", 민영사, 1994.

[2] 윤경구, 김태경, "모빌믹서와 개량조합장비를 이용한 LMC 현장적용," 한국콘크리트학회 학술발표회논문집, pp. 1215-1218, 2001

[3] 윤경구, 이주형. "현장적용을 위한 라텍스 개질 콘크리트의 역학적 특성," 대한토목학회 가을 학술발표회논문집, pp. 395-398. 2000.

[4] 윤경구, 김기현, 이주형, "라텍스 개질 콘크리트를 이용한 고속도로 교면포장의 현장적용," 도로포장공학회 학술발표회논문집, pp. 117-123, 2000.

[5] D. C. Montgomery., "Design and Analysis of Experiments", JOHN WILEY&SONS, 3rd Edition, pp.270-334,521-538, 1991.

[6] L. A. Kuhlmann,, "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, 1990

[7] J. A. Manson,, "Overview of Current Research on Polymer Concrete : Material and Future Needs," ACI Publication SP-69. pp. 1-20, 1981

[8] Ohama, Y., "Principle of Latex Modification and Some typical Properties of LMC," ACI Material Journal, Vol. 84, No. 6, Nov.-Dec. 1987, pp. 511-518, 1987

[9] G. D. Waters,, "What are Latexes?," Concrete International, Vol. 9, No. 12, December, pp. 44-47, 1987