

다양한 기후변화에 따른 콘크리트 구조물의 성능중심형 설계 평가

Evaluation of Performance Based Design Method of Concrete Structures for Various Climate Changes

김태균¹ · 심현보² · 안태송² · 김장호^{1*}

Tae-Kyun Kim¹ · Hyun-Bo Shim² · Tae-Song Ahn² · Jang-Ho Jay Kim^{1*}

(Received May 6, 2013 / Revised June 5, 2013 / Accepted June 20, 2013)

Currently, global warming has advanced by the usage of fossil fuels such as coal and petroleum. and the atmosphere temperature in the world of 100 years(1906~2005) has been risen $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$, IPCC announced that the global warming effect of last decade was nearly doubled compared to the changes($0.07^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}/10\text{year}$) in the past 100 years. Moreover, due to the global warming, heat wave, heavy snow, heavy rain, super typhoon, were caused and are increasing to happen in the world continuously causing damages and destruction of social infrastructures, where concrete structures are suffering deterioration by long-term extreme climate changes. to solve these problems, the new construction technology and codes are necessary. In this study, to solve these problems, experiments on a variety of cases considering the temperature and humidity, the main factors of climate factors, were performed, and the cases are decided by temperature and humidity. The specimens were tested in compressive strength test and split tensile test by the curing age(3,7,28 days) moreover, performance based design(PBD) method was applied by using the satisfaction curve developed from the experiment date. PBD is the design method that gathers the current experimental analysis and past experimental analysis and develops the material properties required for the structure, and carries out the design of concrete mix, and it is recently studied actively worldwide. Also, it is the ultimate goal of PBD to design and perform on structures have sufficient performance during usage and to provide the problem solving for various situations, Also, it can achieve maximum effect in terms of functionality and economy.

키워드 : 성능중심설계평가, 만족도 곡선, 베이지안 방법, 극한기후

Keywords : Performance based design, Satisfaction curve, Bayesian method, Extreme-Climate

1. 서론

현재 전 세계적으로 석탄, 석유 등 화석연료의 사용으로 지구 온난화가 진행되고 있으며, IPCC(IPCC Technical Summary 2007)는 지난 100년간(1906~2005년) 지구 지표기온이 $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ 상승하였으며 최근 50년간의 온난화 증가 추세($0.13^{\circ}\text{C} \pm 0.03^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)를 살펴보면 과거 100년간의 변화($0.07^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)에 비해 거의 2배가 증가 하였다고 발표하였다. 이러한 원인으로 폭염, 폭설, 폭우 및 슈퍼태풍 등과 같은 이상기후, 극한기후 현상이 지속적으로 증가 하고 있다. 이로 인하여 사회기반시설의 파괴, 손상 및 인명피해가 급증하고 있다.

국내의 경우 기후변화에 따라 공사기간이 연장되어 경제적 손실이 증가하는 경우도 있고, 국내업체의 해외 건설공사가 증가하면서 극한, 극서지역, 해안 그리고 사막지역과 같은 다양한 기후환경조건에서의 공사가 진행되고 있으나, 기후변화를 고려하지 못하고 무리한 시공을 진행하여 콘크리트의 품질저하로 인해 부실시공이 발생하기도 한다. 현재 국내외에서는 다양한 기후변화에 대하여 적합한 기준 및 시공기술 연구가 부족한 상황이다(Jun et al. 2011).

본 연구에서는 세계적으로 발생하고 있는 이상기후에 대하여 단순히 콘크리트 구조물의 특성을 연구하는 것이 아니라, 적극적인 대응책을 마련하기 위하여, Fig. 1과 같이 온도조건, 습도조

* Corresponding author E-mail: jjhkim@yonsei.ac.kr

¹School of Civil and Environmental Engineering (Yonsei University, Seoul, 120-794, South Korea)

²Rm, 1009 The Korea Science&Technology Center, New Bidg, 635-4 Yoksam-dong (Seoul 135-703 Korea)

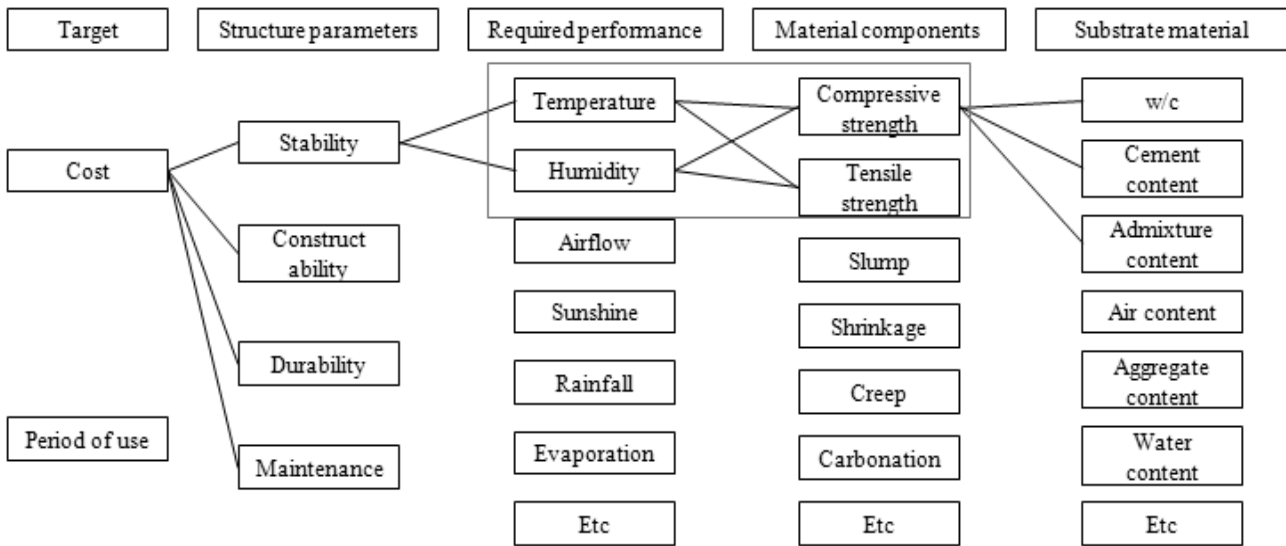


Fig. 1. Parameters for various levels of concrete

건, 강우조건, 풍향조건, 일조량 등 콘크리트 구조물의 시공에 영향을 미칠 수 있는 다양한 환경조건 중 가장 큰 영향을 미치는 온도와 습도의 조건을 선택하여 실험 데이터를 확보하고 만족도 곡선을 사용하는 성능중심형 설계법(PBDM : Performance Based Design Method)을 구축하고자 한다.

2. 성능중심형 설계

2.1 성능중심형 설계방법

성능기반형 설계방법 (PBDM : Performance Based Design Method)은 과거와 현재의 실험과 해석을 통하여 확보한 여러 결과들을 결합하여, 구조물에서 요구되는 성능을 만족시키는 성능 중심형 설계법으로써, 최근 전세계적으로 연구가 활발히 진행 중이다. PBDM의 최종 목적은 사용기간중 구조물이 충분한 성능을 갖추게 시공, 설계하는 것이며, Fig. 2는 Bayesian방법을 이용한 PBD설계과정이다.

본 연구에서는 기온, 습도의 다양한 조건에 따른 콘크리트의 압축강도, 할렬인장강도, 슬럼프의 성능을 평가하는데 적용하고자 한다. 성능중심형 설계방법을 이용하면 배합에 사용되는 콘크리트의 재료는 최적으로 설계될 수 있으며, 효과적으로 구성할 수 있다. 일반적으로 한계상태설계법(LSD), 강도설계법(USD), 허용응력설계법(WSD)과 시방서에 있는 설계방법은 여러 가지 요구조건을 만족시키는데 하나의 방법에만 제한되어 사용되고 있다. 이

런 경우 설계규정이 유연하지 못하여 설계자들을 제한하고, 혁신적이고 효율적인 설계를 할 수 없다. 하지만 PBD 설계방법을 사용할 경우 문제 해결에 있어서 다양한 방법을 제시할 수 있으며, 경제성과 기능성 면에서도 최대한의 효과를 이끌어 낼 수 있다. PBD 설계방법은 모든 기준과 사용기간 동안 재료와 구조물의 요구조건을 만족시키는 것을 목적으로 하고 있으므로 구조물의 중요성과 요구 성능에 맞추어 설계, 시공하고 유지할 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 그리고 Bayesian(Ang and Tang 2006; Box and Tiao 1992) 방법을 통하여 만족도 곡선을 나타낼 경우 설계자가 요구하는 콘크리트 재료의 성능에 따라 최소, 보통, 우수, 매우 우수와 같은 등급으로 분류하여 설계에 적용할 수 있다. 만족도 곡선을 통하여 요구 확률에 대한 설계 요소를 수월하게 결정할 수 있으며, 만족도 곡선 작성시 기후 환경 요소는 실제로 재료성능에 영향을 미치는 변수로 작용을 할 수 있다.

만족도 곡선의 경우 fragility 방법으로 구하게 되는데, fragility 곡선의 경우 교량과 구조물에 지진하중이 작용할 경우 취약성을 확률론적인 방법으로 평가하는데 이용된다.

Shinozuka(Shinozuka et al. 2001; Singhal and Kiremidjian 1996; Shinozuka 2000)에 의해 개발된 이 방법은 지반의 진동 강도에 대해 구조물 파괴와 같은 현상이 발생할 조건부 확률을 정규분포함수의 곡선으로 나타내며, 그 평균값과 log 표준편차값을 maximum likelihood방법을 통해 추산하는 방법이다. 현재 목적에 부합하는 likelihood 함수는 식 (1)과 같다.

$$L = \prod_{i=1}^N [F(a_i)]^{x_i} [1 - F(a_i)]^{1-x_i} \quad (1)$$

여기서, F(.)는 특정 손상단계의 Fragility 곡선을 의미하고, a는 교량 L를 대상으로 한 최대 지반 진동 가속도 (Peak Ground Acceleration, PGA)값이며, x_i는 a_i와 같은 PGA값 이하의 교량 손상에 따라 0 혹은 1로 결정된다. N은 지진 후 조사된 총 교량의 수로 정한다. 통용되는 로그정규분포의 가정 하에서는 F(a)는 식 (2)와 같은 형태를 취한다.

$$F(a) = \Phi \left[\frac{\ln\left(\frac{a}{c}\right)}{\zeta} \right] \quad (2)$$

여기서, a는 PGA를, Φ[.]는 표준화된 정규분포 함수를 나타낸다. 식 (2)에서 c와 ζ는 식(3)으로 나타낸 lnL를 최대화하기 위해 계산된 값이다.

$$\frac{d \ln L}{dc} = \frac{d \ln L}{d\zeta} = 0 \quad (3)$$

본 연구에서는 콘크리트의 재료와 다양한 기후 환경의 특성을 기반으로 만족도 확률을 이용하는데 사용 하며, 여기서 나오는 확률 곡선을 만족도 곡선이라 하며, Table 1과 같은 순서로 진행되게 된다.

Table 1. Procedures of Satisfaction Curve

Step	Instruction
1	Sufficient data collection of concrete material, complementary data development by using standard normal distribution function for insufficient data set
2	Determination of satisfaction state of each data (success / failure) by the pre-established provisions of the material performance
3	Create satisfaction curve of using the Bayesian method

2.2 콘크리트 양생을 위한 기후인자 설정

콘크리트는 배합과 양생(Concrete standard specifications)의 과정에서 민감하게 반응이 이루어진다. 예를 들어 4°C이하의 기온에서 콘크리트를 타설 양생하게 되는 경우 경화 전 콘크리트가 동결하거나 수차례 동결융해 작용을 받으면 쉽게 동결 팽창하여 초기동해가 발생 할 수 있다. 콘크리트가 동결하지 않더라도 5°C정도 이하의 저온에 노출되면, 응결 및 경화반응이 상당히 지연되어 재령 내에 소정의 강도 발현이 이루어 지지 않는 경우가 발생하게 된다. 이러한 시기에 하중을 받게 되면 균열이나 잔류변형이 발생하게 된다. 그리고 이와 반대로 높은 온도에서의 배합과 양생의 경우 슬럼프 저하, 연행 공기량 감소, 온도균열의 발생, 장기강도의 저하 및 콘크리트 표층부의 밀실성 저하와 같은 위험성이 증가하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 콘크리트의 온도가 낮아지도록 재료의 취급, 비비기, 운반, 타설 및 양생 등에 대하여 조치가 필요하다. 이와 같이 콘크리트는 일조량, 풍량, 온도, 습도, 강우량 등 다양한 기후 인자가 영향을 받는 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 여러 조건들 중에서도 무엇보다 온도와 습도가 가장 크게 영향을 미치는 것으로 판단하여 양생과정에서의 온도와 습도를 다양한 경우로 비교 분석 하였다. 이 논문에서는 온도와 습도에 관하여 대한민국(서울) 지역에 대하여 조사를 하였다 (Kim et al. 2013). Table 2와 같은 기온의 경우 2002년~2011년 동안 매월 평균기온을 조사한 결과 4월~9월 사이가 콘크리트 타설하기에 가장 적당한 시기로 나타났으며, 평균기온은 20°C로 나타났다. 그리고 Table 3과 같은 습도의 경우 온도와 동일하게 지난 10년 동안의 자료를 살펴보면 4월~9월의 평균습도는 65%로 나타났다. 온도의 경우 최고온도와 최저온도를 ±5°C~±6°C로 설정하여 최적 배합비를 설정 하고, 경화온도를 17°C, 21°C, 26°C로 선정 하였다. 습도의 경우 최고습도와 최저습도를 ±12%로 설정하여, 경화상대습도를 53%, 65%, 77%로 설정하였다.

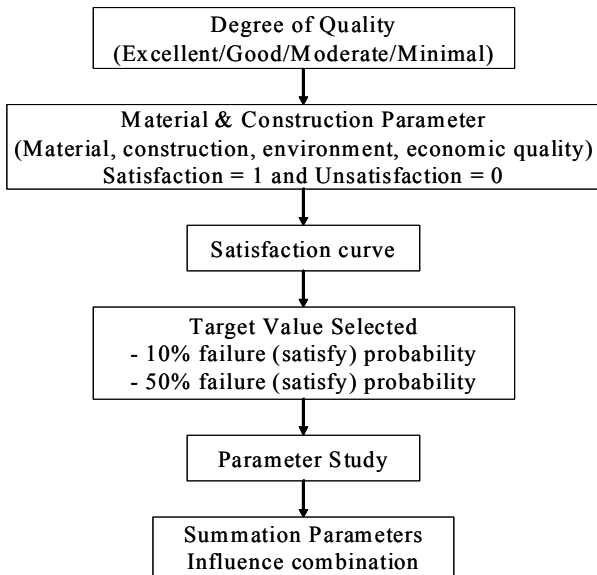


Fig. 2. Procedures of PBD Method

Table 2. Monthly mean temperature over the past 10 years of the Korea(Seoul) - (Korea Meteorological Administration)

	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	평균
1월	-7.2	-4.5	-2	-1.7	0.4	-0.2	-2.5	-1.5	-2.5	0.3	-2.14
2월	1.2	1.4	2.9	-1.2	4	0.1	-1.9	2.3	2.7	2.9	1.44
3월	3.6	4.3	6	7.3	6.1	5.2	4.1	6.3	6.5	7.6	5.7
4월	10.7	9.8	12.7	14.1	11.4	11.6	13.2	13.1	13.2	13.6	12.34
5월	17.9	17.2	19.1	17.7	18.1	18.4	17.7	17.6	19.6	18.2	18.15
6월	22	23.4	22.4	21.5	23.2	21.8	22.7	23.2	21.5	22.2	22.39
7월	24.6	25.8	24.3	25.1	24.2	23.1	25.3	24.8	23.8	25.2	24.62
8월	25.8	26.5	25.7	25.3	26.5	27	25.1	26.1	24.1	24.2	25.63
9월	21.8	21.8	21.8	22	21.5	21.1	21.8	21.7	20.9	21.6	21.6
10월	14.2	14.5	16	16.1	15.1	17.9	14.7	15.2	13.9	12.8	15.04
11월	10.7	6.5	6.8	7.6	6.7	0.4	8.6	9.1	9.5	4	6.99
12월	-0.9	-1.3	-1	1.1	1.8	1.4	-3.9	1.9	0.7	1.7	0.15

Table 3. Monthly mean humidity over the past 10 years of the Korea(Seoul) - (Korea Meteorological Administration)

	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	평균
1월	54	65	50	50	56	57	52	59	60	63	56.6
2월	55	59	57	46	53	53	49	56	62	55	54.5
3월	51	59	52	56	60	51	54	49	58	55	54.5
4월	54	54	54	50	53	55	53	51	60	53	53.7
5월	56	62	59	58	62	57	55	68	57	62	59.6
6월	67	62	66	65	61	68	69	64	69	61	65.2
7월	79	73	76	78	75	82	76	82	75	74	77
8월	74	78	69	69	75	69	75	70	77	79	73.5
9월	58	72	64	64	74	58	71	69	72	67	66.9
10월	55	61	62	62	63	62	65	54	61	60	60.5
11월	60	55	64	58	55	58	55	66	66	55	59.2
12월	50	56	60	56	60	59	51	56	59	59	56.6

Table 4. Climate factors

Temperature, Humidity Condition								
17℃			21℃			26℃		
53%	65%	77%	53%	65%	77%	53%	65%	77%

그리고 Table 4와 같이 다양한 케이스 별로 실험을 실시하며, 압축강도와 할렬인장강도의 결과 값을 통하여 PBD에 적용하여 가상데이터를 도출하여, 만족도 곡선(Kim et al, 2010)을 작성하였다.

3. 만족도 곡선을 위한 실험

3.1 실험재료

본 연구에서는 배합설계를 하기 전에 골재의 특성을 파악하기



Fig. 3. Experimental Procedure

위하여 KS F 2502(Korea industrial standard)에 의해 체가름시험, KS F 2503(Korea industrial standard)에 의해 굵은골재의 밀도 및 흡수율 시험, KS F 2504(Korea industrial standard)에 의해 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험을 수행하였다. 그리고 시멘트의 경우 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 굵은골재는 최대치수 20mm 골재를 사용하였다.

3.2 실험방법

콘크리트 구조물에 영향을 미치는 온도와 습도를 선정하여 양생조건에 따라, 성능을 평가한다. 우선 배합조건으로 Table 5와 같이 슬럼프는 13cm, 공기량 5%, w/c는 55%로 선정하였으며, 설계기준강도는 22MPa로 설정하였다. 그리고 실험과정의 경우 Fig. 3과 같이 진행하게 된다. 첫 번째로 타설 전 최대한 온도, 습도 조건을 맞추기 위하여 항온항습기에 재료를 반나절 정도 넣어둔다. 그리고 KS F 2403(Korea industrial standard)에 따라 100×200의 원기둥형 공시체를 제작하여 콘크리트를 채워 타설을 한다. 타설이 완료되면, 다시 항온항습기에 넣어두고 각 케이스 별로 압축강도(3,7,28일), 할렬인장강도(3,7,28일) 실험을 실시하였다. 그리고 만족도 곡선을 작성하기 위하여 충분한 데이터 확보를 위해 각각의 케이스에 따라 공시체는 3개씩 확보하였다.

4. 실험결과 및 만족도 곡선 작성

4.1 압축강도, 인장강도 결과

본 연구의 실험 결과로 Table 6과 같이 압축, 할렬인장강도의 결과를 얻을 수 있다. 압축강도의 경우 온도가 높고 습도가 높을수록 28일 강도 발현이 높게 일어나는 것을 알 수 있다. 그리고 온도가 높을수록 초기 강도도 높은 것을 알 수 있다. 인장강도의 경우 보통 압축강도의 1/9~1/13정도로 나오는 것을 알 수 있으며, 압축강도와 동일하게 인장강도도 온도, 습도가 높을수록 강도가 높게 나오는 것을 알 수 있다.

4.2 만족도 곡선 작성

만족 확률을 계산하기 위해서 log 정규누적분포법이 사용된다. log 정규누적분포법은 재료변수 값, 평균값, 표준편차, 이 세 가지 변수들을 필요로 하는 확률함수이다. 본 연구의 경우 최우도함수(maximum likelihood function)식에서 a값(Peak Ground Acceleration, PGA)대신에 콘크리트 재료 변수를 넣고, N값에는 재료 변수 데이터의 수를 넣었다. 또한 교량 손상에 따라 0 혹은 1 값을 넣는 것 대신에 재료 변수가 기준 성능을 만족하면 1, 불만족하면 0을 넣고, 이 세 가지 변수데이터들을 베이지안 확률 계산 프로그램 코드에 넣어 계산하면 log 정규분포로부터 평균값과 표준편차를 구할 수 있으며, 최종적으로 만족도 곡선을 얻어낼 수 있다. 그리고 이 곡선을 이용해 특정 변수값에서의 만족확률을 구할 수 있다. Fig. 4~16은 위에서 언급한 방법으로 온도와 습도의 조절에 의해 압축강도, 인장강도(3일-40~50%, 7일-70~80%)를 기준으로 하여 초과하면 성공, 넘지 못한다면 실패의 확률을 나타낸다.

만족도 곡선에서의 유의해야 할 사항으로는 확률 값이 1~0, 또는 0~1구간에서는 연속적인 데이터가 나타나야 한다. 하지만 중간중간 비현실적인 값들이 나오기도 하는데 이런 경우 어쩔 수 없이 해당구간을 제거 해야만 한다.

4.3 PBD에 적용한 만족도 곡선 사용

보통 만족도 곡선은 1 parameter 또는 2 parameter 이상을 사용하여 작성하게 된다. 본 연구에서 사용된 만족도 곡선의 경우 온도와 습도 두 가지 parameter를 Bayesian 방법을 사용하여 작성하였다. 예를 들어 Fig. 5에서는 양생 온도에 대한 만족도 곡선으로 7일째 압축강도를 나타내는 것으로서, 18MPa를 기준으로 50% 이상 만족하기 위해서는 온도가 18℃이상이어야 한다.

4.4 압축강도 만족도 곡선

Fig. 4~6의 경우 3, 7, 28일 강도에 대한 온도의 영향을 나타낸 만족도 곡선이다. Fig. 4 의 경우 확률값이 1에 거의 가까운 것을 알 수 있다. 이것은 3일 강도의 11MPa를 기준으로 하여 대부분의 값들이 모두 그 이상을 나타내는 것을 알 수 있다. 그리고 그래프의

Table 5. Mix proportion of concrete

Coarse Aggregate (mm)	Slump (cm)	Air (%)	w/c	s/a	Unit(kg/m ³)				f _{ck}
					w	c	s	g	MPa
20	13	5	55	45	189.44	344.436	755.19	961.03	22

Table 6. Compressive strength, Splitting tensile strength result

Case	Curing temperature (°C)	Curing humidity(%)	W/C(%)	Compressive strength (MPa)			Tensile strength (MPa)		
				3days	7days	28days	3days	7days	28days
1	17	53	55	12.76	15.77	18.41	1.52	1.88	2.12
2		65	55	10.41	13.32	16.9	1.38	1.64	1.74
3		77	55	13.08	16.62	18.76	1.23	1.48	1.91
4	21	53	55	12.93	17.19	23.41	1.73	1.80	1.91
5		65	55	15.93	20.67	25.06	1.67	2.02	2.00
6		77	55	14.44	19.5	24.32	1.35	1.75	2.05
7	26	53	55	17.74	21.05	23.03	1.91	1.94	2.23
8		65	55	15.57	19.04	22.94	1.79	2.14	1.99
9		77	55	13.86	18.80	20.64	1.49	1.85	1.94

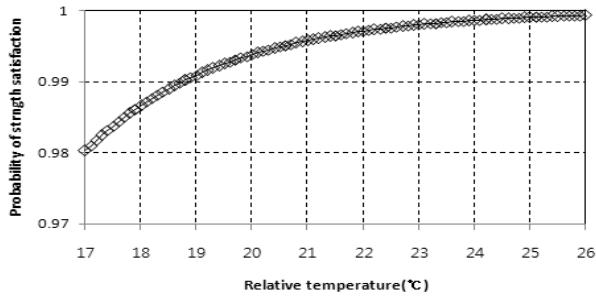


Fig. 4. Satisfaction curve for temperature (strength-3days)

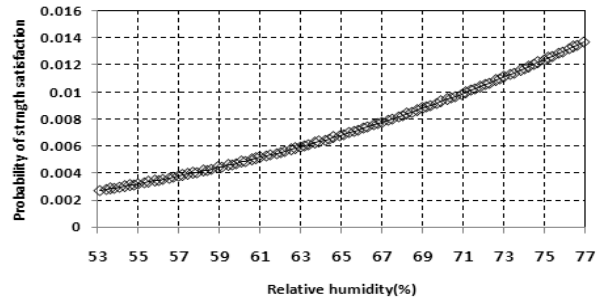


Fig. 7. Satisfaction curve for humidity (strength-3days)

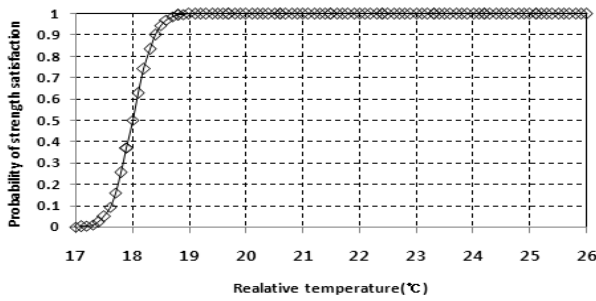


Fig. 5. Satisfaction curve for temperature (strength-7days)

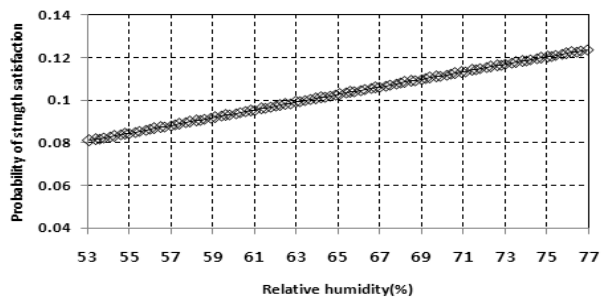


Fig. 8. Satisfaction curve for humidity (strength-7days)

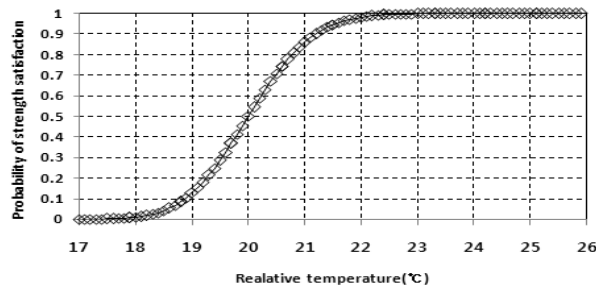


Fig. 6. Satisfaction curve for temperature (strength-28days)

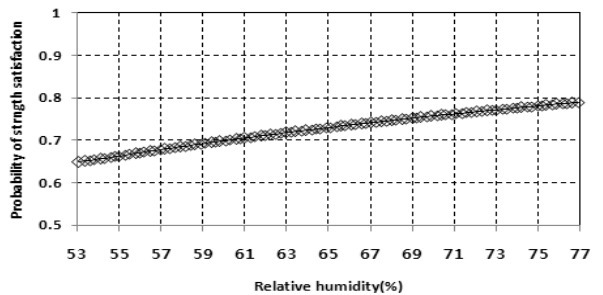


Fig. 9. Satisfaction curve for humidity (strength-28days)

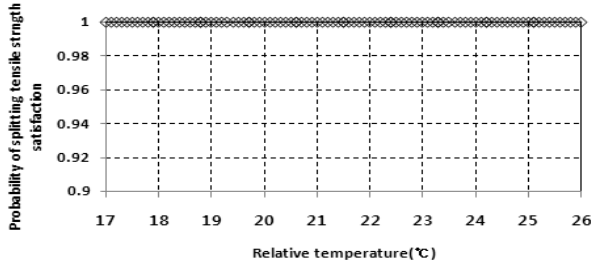


Fig. 10. Satisfaction curve for temperature (splitting tensile strength-3days)

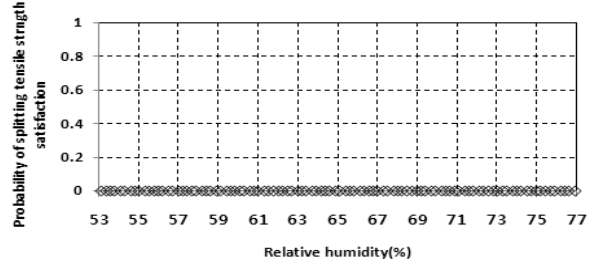


Fig. 13. Satisfaction curve for humidity (splitting tensile strength-3days)

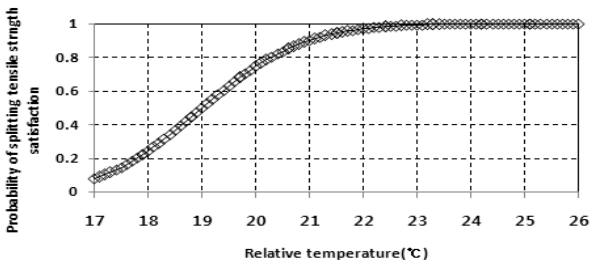


Fig. 11. Satisfaction curve for temperature (splitting tensile strength-7days)

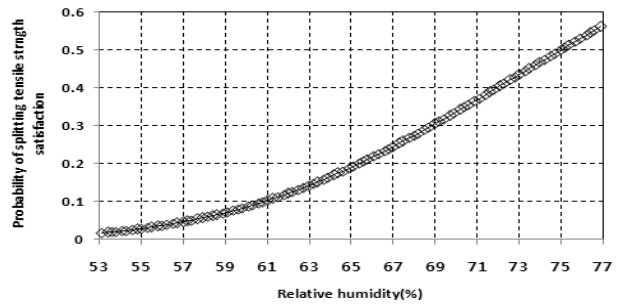


Fig. 14. Satisfaction curve for humidity (splitting tensile strength-7days)

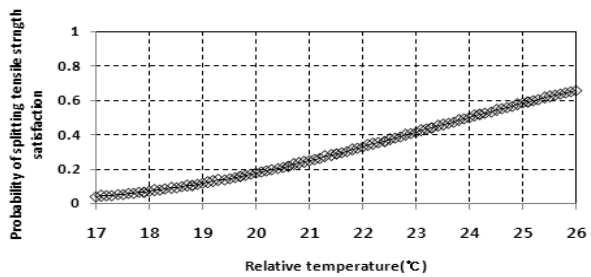


Fig. 12. Satisfaction curve for temperature (splitting tensile strength-28days)

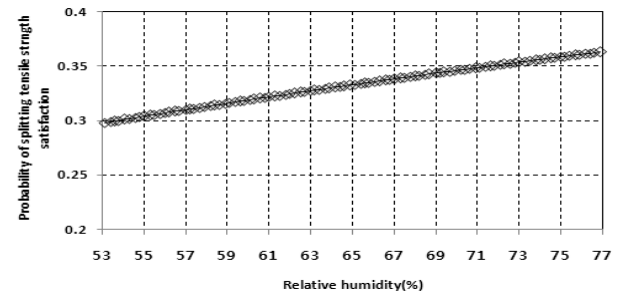


Fig. 15. Satisfaction curve for humidity (splitting tensile strength-28days)

범위를 보았을 때, 초기 강도 3일에 비해 7, 28일 강도가 0~1 사이가 넓게 분포하는 것을 알 수 있는데, 이것은 시간이 지나면 지날수록 온도가 강도에 영향을 많이 미치는 것을 알 수 있다. 그리고 28일 강도의 경우 22MPa의 50%이상 만족하기 위해서는 온도가 20°C 이상이 되어야 한다는 것을 알 수 있다. Fig. 7~9의 경우 강도에 대한 습도의 영향을 나타낸 만족도 곡선이다. 여기서 28일 그래프의 범위가 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 3, 7일에 비해 크게 나타날 뿐 전체적으로 습도의 만족도 곡선은 범위가 온도보다 미비하게 나타난다. 그 결과 콘크리트 압축강도는 습도보

다 온도의 영향이 크게 미치는 것을 알 수 있다.

그리고 압축강도의 경우 양생온도가 7일의 경우 19°C와 28일의 경우 22°C 이상일 경우 모두 만족 하는 것을 알 수 있다.

4.5 인장강도 만족도 곡선

보통 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 1/9~1/13로 측정하며, 본 연구에서의 인장강도는 모두 수렴하는 것을 알 수 있다. Fig. 10~12의 만족도 곡선의 경우 3일 보다는 7일, 28일 인장강도에 온도의 영향을 크게 주는 것을 알 수 있으며, Fig. 13~15의 만족도

곡선은 7일째 가장 습도가 영향이 크게 미치는 것을 알 수 있다. 하지만 인장강도도 압축강도와 마찬가지로 온도보다는 습도의 영향이 전체적으로 미비하다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구를 통하여 다양한 기후인자 요소 중 콘크리트 양생에 가장 영향을 크게 미치는 온도와 습도에 따른 안전성, 경제성, 내구성, 사용성을 만족 시킬 수 있는 콘크리트를 PBD에 적용하여 만족도 곡선을 통하여 평가 할 수 있으며, 아래와 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 콘크리트 구조물들에 관하여 극심한 기후변화에서의 시공기술이나, 연구 등 부족했던 데이터 자료를 쉽고, 다량으로 얻을 수 있다.
2. 실험 데이터를 바탕으로 만족도 곡선을 이용하고, 설계중심형 성능평가 방법(PBD : Performance based design method)을 통하여 다양한 재료 요소들의 성능을 쉽게 평가 할 수 있다.
3. 본 연구의 만족도 곡선을 살펴 본 결과 콘크리트 압축강도와 인장강도는 습도보다 온도의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다.
4. 대한민국 서울 지역의 상대습도에 관하여 평균을 조사한 것으로서 최고 77%의 상대습도를 사용하게 되었다. 만약 표준 양생 조건인 20℃±2, 습도95%이상의 조건에 맞추어 습도를 95%이상으로 선정 하였다면, 양생온도와 마찬가지로 습도의 만족도 확률 범위도 크게 나타날 것이다.
5. 상대적으로 서울지역의 좁은 지역의 온도와 습도에 관하여 조사하다보니 온도, 습도 범위가 좁게 나타난 편이며, 국내외적으로 추후 더 광범위한 온도, 습도 범위를 선정하여 추가 실험을 시행할 예정이다.

감사의 글

이 본 연구는 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국

연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 2011-0030846), 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(11기술혁신F04)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사의 뜻을 전합니다.

References

Ang, A.H.S-S., and Tang, W.H. (2006). "Probability concepts in Engineering."

Box, G.E.P., and Tiao, G.C. (1992). "Bayesian inference in statistical analysis," Addison Wesley, Reading, Mass.

Concrete standard specifications, IPCC Technical Summary. (2007).

Jun, H.Y., Kim, T.K., Lee, S.W., and Kim, J.H.J. (2011). "Application of Performance Based Mixture Design (PBMD) for Self Compacting Concrete," Korea concrete institute conference [in Korean].

Korea industrial standard.

Kim, J.H.J., Phan, D.H., Lee, K.S., Yi, N.H., and Kim, S.B. (2010). "Development of PBD Method for Concrete Mix Proportion Design Using Bayesian Probabilistic Method," Korea concrete institute, **20(2)**, 171-177 [in Korean].

Kim, T.K., Choi, S.J., Shim, H.B., Ahn, T.S., and Kim, J.H.J. (2013). "Satisfaction Curve Performance Based Design Method Evaluation of Concrete Specimen Subjected to Climate Change", Korea concrete institute conference [in Korean].

Shinozuka, M., Feng, M.Q., Kim, H., Uzawa, T., and Ueda, T. (2001). Statistical Analysis of Fragility Curves, Department of Civil and Environmental Engineering University of Southern California, Los Angeles, California, Report, 119.

Singhal, A., and Kiremidjian, A.S. (1996). A Method for Earthquake Motion Damage Relationships with Application to Reinforced Concrete Frame, Report, 119.

Shinozuka, M., Feng, M.Q., Lee, J.H., and Naganuma, T. (2000). "Statistical Analysis of Fragility Curves," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, **126(12)**, 1224-1231.

다양한 기후변화에 따른 콘크리트 구조물의 성능중심형 설계 평가

현재 전 세계적으로 석탄, 석유 등 화석연료의 사용으로 지구 온난화가 진행되고 있으며, IPCC는 지난 100년간(1906~2005년) 지구 지표기온이 $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ 상승하였고 최근 50년간의 온난화 증가 추세($0.13^{\circ}\text{C} \pm 0.03^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)를 살펴보면 과거 100년간의 변화($0.07^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)에 비해 거의 2배가 증가 하였다고 발표하였다. 이러한 원인으로 폭염, 폭설, 폭우 및 슈퍼태풍 등과 같은 이상기후, 극한기후 현상이 지속적으로 증가 되고 있다. 또한 이로 인하여 사회기반시설의 파괴 및 손상, 인명피해가 급증하고 있으며 콘크리트 구조물의 경우 장기간 지속되는 극심한 기후변화에 따라 급속도로 노화되고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 기후변화에 적합한 기준 및 시공 기술 등이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하고자, 콘크리트 양생에 영향을 미치는 온도, 습도, 일조량, 풍량 등 다양한 기후인자 요소 중 주요 요인인 온도와 습도를 다양한 케이스 별로 실험을 실시하였으며, 각 케이스 별로 압축강도(3, 7, 28일), 할렬인장강도(3, 7, 28일)실험을 하였다. 그리고 실험 데이터를 바탕으로 콘크리트 시편의 성능을 평가하고 만족도 곡선을 작성하며, 이를 성능중심형설계방법(PBDM : Performance Based Design Method)에 적용하였다. PBD란 과거의 실험 해석과 현재의 실험 해석등의 여러 결과들을 합하여, 구조물에서 요구되는 재료 성능을 만족시키는 성능 기반형 설계법 으로서, 최근 전세계적으로 연구가 활발히 진행 중이다. 그리고 PBD의 최종 목적은 사용기간 중 구조물이 충분한 성능을 갖출 수 있도록 시공, 설계하는 것이며 이를 사용 할 경우 문제 해결에 있어서 다양한 방법을 제시 할 수 있고, 경제성과 기능성 면에서도 최대한의 효과를 이끌어 낼 수 있다.