

# 유효 영역 판별 모델에 따른 데이터베이스 기반 콘크리트 최적 배합 선정

## Optimum Concrete Mix-proportion based on Database according to Assessment Model for Effective Region

이 방 연\* 김 재 홍\* 김 진 근\*\* 이 성 태\*\*\*  
Lee, Bang Yeon Kim, Jae Hong Kim, Jin-Keun Yi, Seong-Tae

### ABSTRACT

This paper examined the applicability of convex hull, which is defined as the minimal convex polygon including all points, to assessment model for effective region. In order to validate the applicability of the convex hull to assessment model for effective region, a genetic algorithm was adopted as a optimum technique, and an artificial neural network was adopted as a prediction model for material properties. The mix-proportion obtained from the proposed technique is more reasonable than that obtained from previous work.

### 1. 서론

콘크리트의 최적 배합이란 주어진 구속조건(콘크리트의 재료적 특성 또는/그리고 제조 가격)을 만족 하면서 원하는 요구성능(구속조건으로 주어지지 않은 이외의 성능)을 극대화 할 수 있는 배합을 뜻한다. 이를 위하여 Yeh<sup>(1)</sup>, Lim 등<sup>(2)</sup>, 이방연 등<sup>(3)</sup>은 인공신경회로망, 비선형 프로그래밍, 다중선형회귀모델(Multiple Linear Regression Model), 그리고 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm) 기법 등을 이용하여 최적화 기법을 개발하였다. 특히 이방연 등<sup>(3)</sup>은 최적화 과정에서 한정된 데이터베이스에서 데이터베이스의 영역 특성을 고려함으로써 보다 합리적인 콘크리트 배합을 제시할 수 있는 기법을 제안하였다. 데이터베이스의 영역 특성을 고려하기 위하여 이방연 등<sup>(3)</sup>이 사용한 유효 영역 평가 모델은 데이터베이스의 각 위치에 일정 크기의 윈도우(Window)를 씌운 후 이 영역을 유효 영역이라고 보고 이를 인공신경회로망에 학습시킨 것이다. 그러나 이 방법은 윈도우의 크기 즉, 각 데이터들로부터 얼마나 떨어진 거리까지 강도 예측 모델의 결과가 신뢰성을 갖을 수 있는지를 결정해야 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 이 논문에서는 이방연 등<sup>(3)</sup>이 제시한 방법론을 바탕으로 최적 배합을 얻는 과정에서 주관성이 개입되지 않도록 하기 위하여 유효 영역 평가 모델로서 최소 볼록집합(Convex Hull)<sup>(4)</sup>을 사용하였고 유효 영역 평가 모델에 따른 최적 배합 결과를 비교하여 각 모델의 타당성에 대하여 고찰하고자 한다.

### 2. 유효 영역 평가 모델에 따른 최적 배합 선정 기법

\* 정회원, 한국과학기술원 건설및환경공학과 박사과정

\*\* 정회원, 한국과학기술원 건설및환경공학과 교수

\*\*\* 정회원, 충청대학 토목공학과 교수

## 2.1 개요

직접 탐색법(Direct Search Method)에 기초한 콘크리트 최적 배합 선정 기법의 개요도는 그림 1과 같다. 최적화 기법에는 구속조건, 목적함수(또는 평가함수)가 필요하며, 이를 위해서는 각각 신뢰성을 보장할 수 있는 모델이 필요하다(그림 2). 각 모델들은 이방연 등<sup>(3)</sup>이 언급하였듯이 신뢰성을 보장할 수 있다면 어떠한 모델도 가능하다. 예를 들어 인공지능회로망을 강도나 슬럼프와 같은 콘크리트의 재료적 특성을 예측하는 모델로 사용할 경우, 데이터베이스의 최외각을 연결한 영역내에서는 인공지능회로망을 학습시킬때 과적합 문제(Over-fitting)만 발생하지 않는다면 모델의 결과를 신뢰할 수 있다. 그림 3은 콘크리트의 재료적 특성을 예측하기 위한 모델의 정확성을 보장할 수 있는 유효 영역( $y_{D1}$ )을 나타낸다.

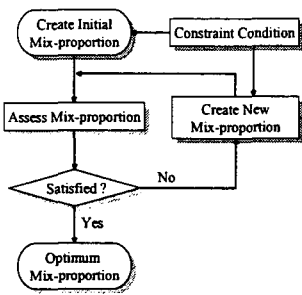


그림 1 최적 배합 선정 개요도

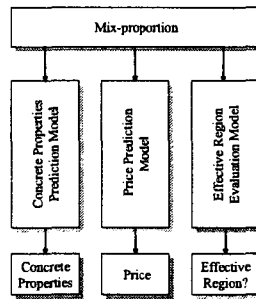


그림 2 평가 및 구속 조건 모델

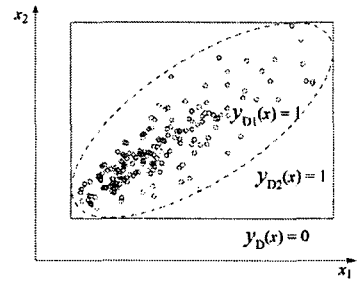


그림 3 데이터베이스의 유효 영역

## 2.2 최소 볼록집합(Convex Hull)

앞 절에서 언급하였듯이 주어진 데이터베이스를 이용하여 최적화 문제를 해결하고자 하는 경우 평가함수나 구속함수에 사용되는 예측 모델들의 신뢰성을 확보하고자 하는 경우 모델의 신뢰성을 확보하는 일차적인 방법은 데이터베이스의 영역만을 고려하여 최적화 문제를 해결하는 것이다. 이를 위해서는 데이터베이스의 영역을 나타낼 수 있는 모델이 필요하며, 최소 볼록집합을 이 모델로 사용할 수 있다. 최소 볼록집합(또는 다각형)은 수학적인 의미로는 임의의 차원( $V$ )에 있는 점들( $X$ )을 포함하는 최소의 볼록 집합을 뜻하며, 기하학적 의미는 최소 볼록 다각형으로 정의된다. 그림 4는 고무밴드를 통해 기하학적 의미의 최소 볼록집합을 나타내고 있다.

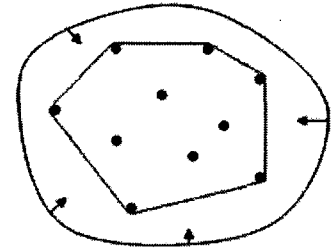


그림 4 Convex Hull

## 3. 제안된 기법의 적용 및 고찰

유효 영역 판별 모델로서 최소 볼록집합의 적용성을 확인하기 위하여 이 논문에서는 유효 영역 판별 모델을 제외하고 이방연 등<sup>(3)</sup>이 사용하였던 조건 및 기법을 사용하였다. 이를 요약하면 표 1과 표 2와 같다. 그림 4는 이 논문에서 사용한 데이터베이스의 분포도 및 최저 볼록 집합을 2차원과 3차원으로 나타낸 것이다. 유전자 알고리즘을 사용한 최적화 과정에서 생성된 배합이 유효한 배합인지 여부를 판별하기 위하여  $N$ 차원(이 논문의 경우 4차원) 데이터베이스의 최적 볼록 집합과 생성된 배합을 포함한 데이터베이스의 최적 볼록 집합을 비교하는 방법을 사용할 수 있다. 만약 두 집합이 같으면 생성된 배합은 유효 영역 내부에 존재하기 때문에 유효하며, 그렇지 않을 경우 유효하지 않게 된다. 그러나  $N$ 차

표 1 조건 및 기법

항 목	조 건
해결하고자 하는 문제	물, 시멘트, 굵은골재, 잔골재로 구성된 최적 배합
사용한 데이터베이스	일본의 New RC Project를 통해 구축한 3000개 이상의 데이터 중에서 시멘트, 물, 잔골재, 굵은골재 만을 사용한 179개 데이터 set
최적화 기법	유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)
강도 예측 모델	인공신경회로망(Artificial Neural Network)

표 2 최적화 기법 및 강도 예측 모델

인공 신경회로망	학습 방법	가중치 감쇠법을 적용한 Levenberg-Marquardt 알고리즘
	구조 결정법	10회 교차 검증법
	최적 구조	4-4-1 구조
	선택법	룰렛 휠 선택법
유전자 알고리즘	교배 방법	이점 교차법
	돌연변이	10%
	종료 조건	최적 유전자가 50세대 동안 일정한 시점

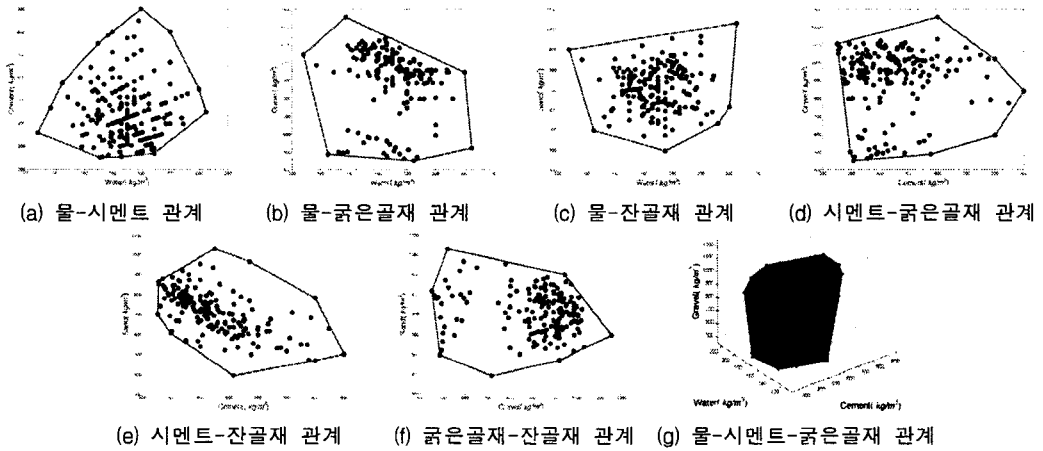


그림 4 데이터베이스의 분포도 및 Convex Hull

원 데이터베이스의 최적 볼록 집합을 새로 생성된 배합마다 모두 계산하는 것은 계산량이 너무 많아지게 되어 효율성이 떨어지게 된다. 따라서 이 논문에서는 N차원 데이터베이스의 최적 볼록 집합을 바로 구하지 않고 모든 데이터를 2차원으로 나누어 최적 볼록 집합을 비교하는 방법을 사용하였다. 표 3은 이 논문에서 제시한 유효 영역 판별 모델인 최적 볼록 집합을 이용하여 구한 최적 배합과 이방연 등<sup>(3)</sup>이 제시하였던 모델을 사용하여 구한 최적 배합을 비교한 것이다. 표 3에서 알 수 있듯이 데이터베이스의 영역 특성을 반영하지 않은 경우 물과 시멘트의 단위량이 작은 문제가 있으며, 윈도우를 유효 영역 판별 모델로 사용한 경우에도 물의 양이 다소 많으며 물/시멘트 비가 다소 높은 문제가 발생하였다. 이에 반하여 이 논문에서 제시한 모델을 사용하는 경우 물/시멘트 비, 물과 시멘트량 모두 합리적인 값으로 판단된다.

표 3 결과 비교

구속 조건 (강도)	목적 함수 (가격)	기법에 따른 최적 배합 (kg/m <sup>3</sup> )						가격(원)
		유효 영역 판별 모델에 사용한 기법	w/c	물	시멘트	굵은골재	잔골재	
50 MPa	최저	min-max	0.37	124	337	1071	954	34,348
		Window	0.45	200	441	853	888	41,485
		Convex Hull	0.40	155	391	1090	825	38,203

#### 4. 결론

이 연구를 통하여 구속조건과 요구성능을 만족하는 콘크리트의 최적 배합을 선정할 때 데이터베이스의 영역 특성을 반영한 경우 보다 합리적인 결과를 얻을 수 있음을 확인하였으며, 나아가 윈도우를 사용한 유효 영역 판별 모델보다 최적 블록 집합을 유효 영역 판별 모델로 사용하는 것이 보다 합리적인 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

#### 감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. I.C. Yeh, Design of High-Performance Concrete Mixture Using Neural Networks and Nonlinear Programming, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13(1), 36-42, 1999.
2. C.H. Lim, Y.S. Yoon, and J.H. Kim, Genetic Algorithm in Mix Proportioning of High-Performance Concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 409-420, 2004.
3. 이방연, 김재홍, 김진근, 데이터베이스의 영역 특성을 고려한 콘크리트 최적 배합 선정 기법, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 18권 1호, 621-624, 2006.
4. H.C. Thomas, E.L. Charles, L.R. Ronald, and S. Clifford, Introduction to Algorithms(Section 33.3: Finding the convex hull), 2nd ed., MIT Press and McGraw-Hill, 947 - 957, 2001.