

퍼지값을 이용한 기후요소 작업불능일 산정에 관한 연구

Estimation of non-working days due to weather condition using fuzzy numbers

김주현* 최희복** 신윤석** 조훈희*** 강경인****
Kim, Joo-Heon Choi, Hee-Bok Shin, YoonSeok Cho, Hun-Hee Kang, Kyung-In

요 약

기후의 변화는 건설공사의 공기산정에 있어 불가항력적인 요소로서 작용한다. 기후요소로 인한 작업불가능일의 부정확한 산정은 프로젝트의 잦은 공기조정으로 이어지고, 이는 경제적 손실 가져올 뿐만 아니라 공사주체들 간의 이해관계에 많은 영향을 미친다. 이러한 기후 변화에 따른 작업불능일 산정시 건설현장과 지역의 특성에 따라 현장관리자 경험과 판단이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 공기산정의 의사결정권자 또는 현장관리자의 주관적이고 경험적 판단이 고려된 퍼지값(fuzzy number)을 통하여 작업불능일 산정 방법에 대해 제시하고자 한다.

키워드: 작업불능일, 퍼지값, 비퍼지화, 기후요소

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

일반적으로 건설공사는 장기간에 걸쳐 이루어지기 때문에 공사수행 중 예상치 못한 리스크에 영향을 받을 가능성이 높다. 특히 건설산업은 다른 산업과 달리 옥외에서 이루어지기 때문에 바람, 강우, 강설, 기온과 같은 불가항력적 기후변화에 많은 영향을 받는다.

이러한 기후요소에 의한 작업불능일 산정에 있어서 기존의 연구들은 과거 일정기간의 산술평균값을 사용하고 있으나 건설현장의 특성상 일률적으로 그 방법을 적용하기에는 한계가 있다. 예를 들어 대한주택공사는 현장작업불가능 기상조건 중 하나로 일강우량이 10mm 이상일 때 현장작업이 불가능하다고 기준을 정하고 있으나 현장작업이 모두 끝난 후에 비가 10mm 이상 와서 작업에 영향을 끼치지 않을 수도 있다. 따라서 과거의 기상청 자료에 의해서 최근 몇 년 동안 상기 조건과 같은 일강우량이 10mm 이상인 날이 평균 10일이었다면 10일 동안 작업불가능일로 판단하는 것은 한계가 있다.

또한 건설현장의 여건 및 공사방법과 지역의 특성으로 인하여 공기산정에 있어서 현장관리자의 경험이 매우 중요하다. 이러한 전문가들의 주관적이고 경험적인 평가, 그리고 대략 10일과 같은 언어적인 평가들을 효과적으로 측정

하고 정량적으로 제시하여 프로젝트의 공기를 정하는 것이 필요하다¹⁾. 따라서 본 연구에서는 기후요소에 의한 작업불능일 산정에 있어서 현장 관리자 및 전문가들의 주관적이고 경험적 판단이 고려된 퍼지값(fuzzy number)을 사용하여 건설공사의 초기 계획시 공기 산정에 도움을 줄 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 프로젝트 공기에 영향을 미치는 기후요소에는 어떠한 것들이 있는지 기존의 문헌고찰을 통하여 알아보고, 그 중 강우에 의한 작업불능일 산정을 위한 방법을 제시하였다. 또한 기상청²⁾에서 제공되는 서울 지역의 최근 5년간(2003-2007년)의 자료를 사용하여 연평균 강우량이 가장 많은 여름 중 7월 동안의 일강우량을 조사하였다.

작업불능일 산정에 있어 과거 기상자료를 바탕으로 일강우량이 10mm 이상인 날들을 산술평균이나 현장관리자의 직관으로 예측 및 판단하던 방법이 아니라 정성적인 판단 값인 퍼지값(fuzzy number)을 통하여 매년 일강우량이 10mm 이상인 날들을 더한 후 Centroid Method를 사용한 비퍼지화(defuzzification)를 통하여 정량적인 작업불가능 기간을 산정하였다.

2. 작업불능일 산정을 위한 예비적 고찰

* 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과, 석박사통합과정

** 정회원, 고려대학교 건축공학과, 박사수료

*** 종신회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 조교수, 공학박사

**** 종신회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 교수, 공학박사
이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 '2단계 BK21사업'의 지원비를 받았다.

1) Shaheen, A. A., Fayek, A. R., AbouRizk, S. M., "Fuzzy number in cost range estimating", Journal of construction engineering and management, vol.133, no.4, 2007, pp.325-334

2) www.kma.go.kr

2.1 작업불능일에 관한 규정 및 기존의 연구

기후의 변화는 작업불가능 기간에 영향을 미치는 요인으로 표 1에서 보는 것과 같이 각 기관별로 공정 계획시 기준, 강우, 적설, 풍속과 같은 기후 요소별 작업불가능 기준을 설정하여 적용하고 있다³⁾. 또한 선행 연구들에서는 기상자료를 근거로 각 기관의 기후 요소별 작업불가능 기준을 참고하여 작업불능 기상조건을 정하고 그에 따라 작업불능일을 예측하였다.(표 2)

표 1 기관별 작업불가능 기준

구분	작업불가능 기준	
기온	대한주택공사	저온 일최저온도 4°C미만일때 한중콘크리트
		고온 일평균온도 25°C이상일때 서중콘크리트
	한국도로공사	저온 일평균온도 4°C이하 작업불가능
		고온 일최고온도 35°C이상 작업불가능
COE 계약서	저온 일최고온도 0°C이하 작업불가능	
강우	대한주택공사	일강우량 10mm 이상일 때 작업불가능
	산업안전기준에 관한규칙	시간당 강우량 1mm 이상일 때 작업불가능
	COE계약서	일강우량 5mm 이상일 때 작업불가능
적설	산업안전기준에 관한규칙	시간당 강설량 1cm 이상 눈이 오는 경우
	풍속	산업안전기준에 관한규칙

표 2 선행연구별 작업불능일 산정기준 및 예측방법

구분	작업불가능 기상조건		작업불능일 예측방법
구해식 (1999)	저온	일평균온도 2°C이하	과거 10년 산술평균
	강우	일강우량 10mm이상	
정석남 (2003)	저온	일평균온도 4°C이하	과거 10년 확률모형을 이용한 시뮬레이션
	고온	일평균온도 30°C이상	
	강우	시간당 강우량 10mm이상	
	풍속	일최대풍속 10m/s이상	
이근효 (2006)	저온	일평균기온 4°C이하(골조) 일평균기온 0°C이하(마감)	과거 20년 산술평균
	고온	일최고기온 32°C이상	
	강우	일강우량 10mm이상	
김창덕 (2006)	저온	일평균기온 -6°C이하(불팅)	철골공사에서 과거 15년 보정을 통한 산술평균
		일평균기온 -5°C이하(용접)	
		일최저기온 -10°C이하(작업자)	
	고온	일최고기온 33°C이상(작업자)	
강우	일일누적 2mm이상		
풍속	일최대풍속 10m/s이상(T/C)		

본 연구에서는 작업불능일 산정에 있어 영향을 미치는 기후요소 중 강우에 의한 작업불가능 기간을 예측해보도록

3) 진영섭, 하상준, 이찬식, 이현수, 신종현, "아파트 공사기간 산정에 영향을 주는 작업불가능기준에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 18권, 1호, 1998, pp.1123-1130

하며 그 기준은 일강우량 10mm 이상일 때 작업이 불가능한 것으로 설정하였다.

2.2 퍼지 값(Fuzzy number)

1965년에 Zadeh에 의해 만들어진 퍼지 집합이론은 소속함수(membership function)에 의해 특징지어지는 개체들의 집합이며 각각의 개체들은 '0부터 1 사이'의 범위 안에서 소속정도(degree of membership)를 가지게 된다. 즉 퍼지 논리는 평가대상에 대해서 '예' 또는 '아니오'라는 2가(二價) 평가가 어려운 경우의 문제점을 수학적 접근방법으로 해결하고자 하는 것이다.

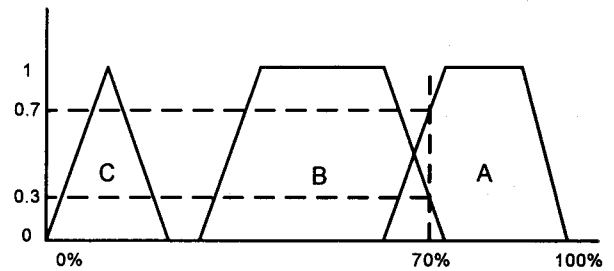


그림 1 퍼지 논리

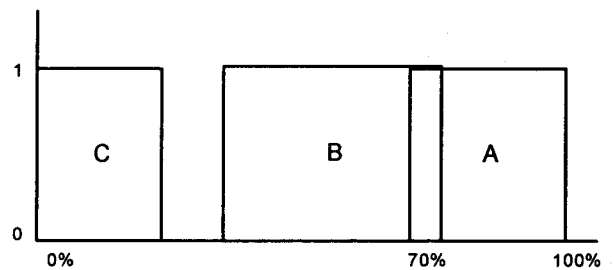


그림 2 2가(二價) 논리

예를 들어 2가(二價) 논리는 "철수의 키(X)는 크다(A)"라는 주관적 명제를 '참' 또는 '거짓' 둘 중 오직 하나로만 나타내지만, 퍼지 논리는 "X"가 "A"라는 집합 A(X)에 속하는 정도(degree of membership)로 나타내어 철수의 키에 대한 신뢰도를 0과 1사이의 숫자로 표현함(그림 1)으로써 일반 2가(二價) 논리에서 표현하지 못하는 것(그림 2)을 나타낼 수 있다.

이는 다시 말해서 '0' 또는 '1'의 2가(二價) 평가를 0이상 1이하인 [0,1]의 값으로 확정하고 하는 것이다. 여기서 키가 큰 학생의 집합 A를 퍼지 집합(fuzzy set)이라 하고 L. A. Zadeh에 의해 다음과 같이 정의하였다.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

$$A = \{\mu_A(x_1)/x_1, \mu_A(x_2)/x_2, \dots, \mu_A(x_n)/x_n\}, \mu_A(x_i) \in [0,1]$$

여기서 X는 전체 모집단, $\mu_A(x_i)$ 는 퍼지 집합 A에 대한 x_i 의 소속 등급으로 정의한다. 따라서 키가 큰 학생의 집합(A)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

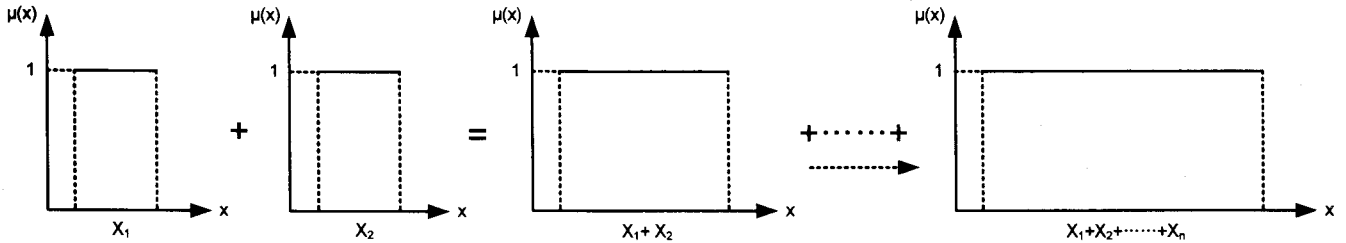


그림 3 퍼지 값(fuzzy number)의 덧셈 연산

$$A = \{(\mu_A(x_i), x_i) \mid \mu_A(x_i): \text{키가 큰 정도}, x_i: \text{학생}, \mu_A(x_i) \in [0,1]\}$$

$$\text{곧, } A = \{(1, x_1), (0.7, x_2), (0.3, x_3), \dots, (0.5, x_n)\}$$

퍼지값(fuzzy number)은 볼록(convex)하며 정규 퍼지 소속 함수(normal fuzzy membership function)이다. 또한 퍼지값은 퍼지 집합의 이론에 의해 정의되는 주관적인 데이터이다. 그림 3은 퍼지 값의 덧셈 연산(summation operation)을 보여주며 두 개의 퍼지 값들의 합은 같은 모양을 유지하면서 더 큰 퍼지 값을 만들어낸다. 이는 확률분포들의 합과 큰 차이를 보이게 된다. 예를 들어 각각의 변수들(random variable)이 일양분포(uniform distribution)를 따른다고 할 때 이들 합의 모양은 일양분포로 만들어지는 것이 아니라 그 수가 많아질수록 중심극한정리에 의하여 정규분포로 바뀌게 된다. 또한 이러한 확률분포들의 연산은 퍼지값들의 연산보다 그 수식과 계산이 복잡하다는 단점이 있다.

3. 퍼지값의 비퍼지화(defuzzification)

3.1 비퍼지화(defuzzification)

비퍼지화(defuzzification)는 퍼지값(fuzzy number)을 크리스프 값(crisp number)으로 바꿔주는 것이다. 예를 들어 우리는 흔히 일상생활에서 ‘대략 서쪽으로 15쯤 틀어서 가다’라는 말을 사용하고 그 말의 뜻을 이해하며 그렇게 행동할 수 있다. 하지만 비행기를 운전하면서 ‘서쪽으로 15’라는 정보를 입력해주어야지 비행기의 자동방향장치는 인식을 할 수 있다. 이 때 대략 15쯤은 퍼지 값이라 할 수 있고 서쪽으로 15는 크리스프 값(crisp number)이라고 할 수 있겠다.

3.2 면적중심법(Centroid method)

면적중심법은 비퍼지화를 하는데 사용되는 대표적인 방법이다⁴⁾. 예를 들어 2001년, 2002년 7월의 일강우량이 10mm 이상인 날이 각각 10일, 11일이라고 한다면 이것을

‘대략 10일쯤’, ‘대략 11일쯤’이라고 생각하여 그림 4에서 보는 것과 같이 나타낼 수 있다.

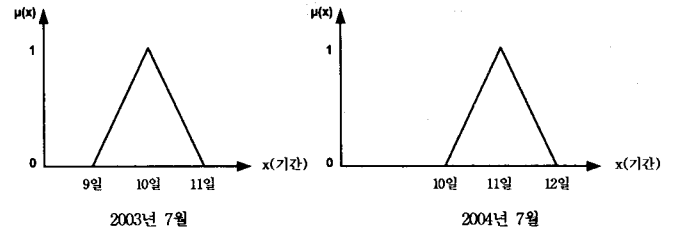


그림 4 10mm 이상의 일강우량에 대한 퍼지 값

Centroid method는 다음 수식을 사용하여 퍼지값들의 합에서 면적의 중심 값(x^*)을 계산하여 비퍼지화 하는 방법이다.

$$x^* = \frac{\int \mu_A(x) \cdot x \, dx}{\int \mu_A(x) \, dx}$$

2001년, 2002년의 작업불가능일에 관한 퍼지 값을 바탕으로 2년간 일강우량이 10mm 이상인 기간을 산정하면 그림 5에서 보는 바와 같이 Centroid method에 의해서 비퍼지화된 값은 10.5일을 얻을 수 있다.

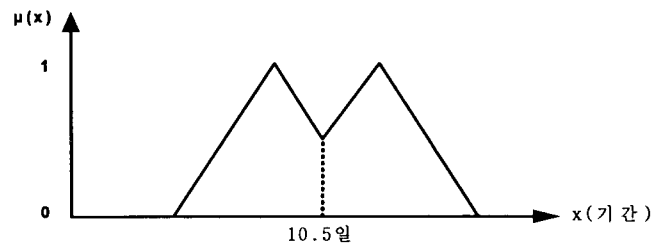


그림 5 Centroid method를 이용한 비퍼지화

4. 퍼지값을 통한 작업불가능일 산정

본 연구에서는 과거 5년간 기상자료에 의하여 서울 지역에서 일강우량이 10mm 이상인 일수를 조사하였다. 특히 일년 중 강우량이 가장 많은 계절인 여름 중 7월을 대상으로 작업불가능일을 산정하였다.

우선 어떤 프로젝트의 공기를 산정하기에 앞서 지역과 현장의 특성을 고려하여 의사 결정권자는 그 지역의 과거

⁴⁾ Ross, T. J., "Fuzzy logic with engineering applications", Wiley 2/E, 2004, pp101

기상 데이터 또는 회사별로 기 수행된 프로젝트들에서 강우로 인하여 작업이 불가능했던 기간을 검토하여 최근 5년 동안 작업불능일을 퍼지값으로 나타낸다(표 3).

표 3 최근 5년간 일강우량이 10mm 이상인 일수(7월달)

7월	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
기간(일)	9	13	6	11	7
퍼지값					
	9일쯤	12-14일쯤	6일쯤	11일쯤	7일쯤

실제 2004년에 일강우량이 10mm가 넘는 기간은 13일이나 공기산정에 있어서 12-14일 쯤으로 퍼지값을 결정하여 12일에서 14일 동안은 작업이 불가능한 정도(degree)가 1이라 보고 퍼지 집합의 모양은 사다리꼴로 나타났으며, 2005년의 경우는 6일쯤 작업이 불가능하다고 보고 퍼지 집합의 모양이 삼각형으로 나타났다. 이는 출근하기 전에 소량의 비가 오더라도 작업자들의 출석률이 낮아져 작업을 진행할 수 없거나, 토공사, 옥상방수 공사와 같은 경우는 비온 후 건조되기까지 2-3일 동안 공사를 못하게 되므로 이와 같은 경우에 대해 고려한 것이다.

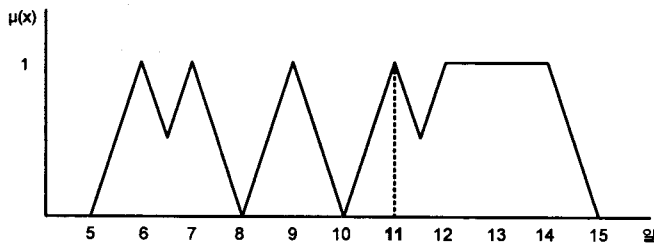


그림 6 비퍼지화를 통한 작업불가능일 산정

따라서 최근 5년 동안 7월에 강우로 인하여 작업이 불가능한 기간을 모두 더하면 그림 6과 같은 새로운 퍼지 집합이 만들어지게 되고, 작업불가능 기간을 Centroid method를 사용한 비퍼지화를 했을 경우 11일이 나오게 된다. 산술 평균으로 구했을 경우 작업불능일이 9.2일로 결정론적인 값을 얻게 되는데 이는 퍼지값으로 구한 11일과 큰 차이는 보이지 않으나 기간을 산정하는 과정에서 공사의 특성이나 지역적 특징을 반영한 전문가들의 경험적 의견이나 판단을 고려했다는 점에서 그 의미를 둘 수 있다.

5. 결론

기후요소로 인한 작업불가능일의 부정확한 산정은 프로젝트의 잦은 공기조정으로 이어지고, 이는 경제적 손실은 물론 공사주체들 간의 이해관계에 많은 영향을 미친다. 또한 기후의 변화에 따른 작업불능일 산정시 건설현장과 지역의 특성이 고려되어야 하는데 이때 현장관리자 및 전문가들의 경험과 판단이 매우 중요하다. 본 연구에서는 여러 기후요소 중 강우로 인하여 작업이 불가능한 기간을 퍼지값(fuzzy number)을 사용하여 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 향후 퍼지논리를 통하여 강우 이외에 여러 다른 기후요소(바람, 온도 등)에 의한 작업불능일 산정에 있어 결정론적인 산정보다는 기간의 범위를 제시함으로써 프로젝트 공기를 산정함에 있어 더욱 유연하게 의사결정을 내릴 수 있는 연구가 더 이루어져야 한다고 사료된다.

참고문헌

1. 진영섭, 하상준, 이찬식, 이현수, 신종현, "아파트 공사기간 산정에 영향을 주는 작업불가능기준에 관한 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 제18권, 제1호, 1998, pp. 1123 - 1130
2. 기상청날씨정보, <http://www.kma.go.kr>
3. Ross, T. J., "Fuzzy logic with engineering applications", Wiley 2/E, 2004
4. Shaheen, A. A., Fayek, A. R., AbouRizk, S. M., "Fuzzy number in cost range estimating", Journal of construction engineering and management, vol.133, no.4, 2007, pp.325-334
5. 구해식, 최봉철, "건설공사의 기후요소에 대한 공기산정방안 연구", 대한건축학회논문집(구조계), 제15권, 제11호, 1999, pp.87-96
6. 정석남, 이학기, "가상기후 시뮬레이션에 의한 공기산정 의사결정 지원모델에 관한 연구", 한국건설관리학회논문집, 제1권, 제4호, 2000, pp.74-81
7. 이근호, 김경래, 신동우, "국내 건설공사의 기후조건에 의한 작업불능일 예측방법 개선", 한국건설관리학회논문집, 제7권, 제4호, 2006, pp.100-108
8. 김창덕, 이덕형, 유정식, 유재길, 정재훈, 정희경, 유정호, "기후요소에 의한 철골공사 작업불가능 산정에 관한 연구", 제7권, 제4호, 2006, pp.137-145

Abstract

Weather condition is the uncontrolled factor to influence the project duration. Determining non-working days due to it incorrectly leads to often change the project duration and increase the total cost as well as causing the dispute among stakeholders. When making decision of non-working days, it is important to consider the expert's experience according to the characteristic of the site and local area. Therefore this paper presented the method to estimate non-working days due to weather condition by using fuzzy numbers reflecting expert's subjective experience.

Keywords : Non-working days, Fuzzy numbers, Defuzzification, Weather condition