

국내 건설공사의 기후조건에 의한 작업불능일 예측방법 개선

Improvement of Non-Working Day Estimation Affected by Weather Conditions in the Construction Projects in Korea

이근효* · 김경래** · 신동우***

Lee, Keunhyo · Kim, Kyung-Rai · Shin, Dongwoo

요 약

대부분의 건설현장에서 기후에 대한 공기산정은 정확한 자료 없이 현장관리자의 경험과 직관에 의해 작업불능일수를 정함으로써 잦은 공기조정으로 인한 경제적 손실은 물론 공사주체들 간의 이해관계에서도 많은 문제점을 안고 있다. 일부 건설현장과 선행연구에서는 작업불능일 산정기준으로 과거 일정기간의 기상평균값을 사용하고 있지만, 과거 산정기간에 대한 기준이 정립되지 않아 현장마다 각기 다른 산정기간을 적용하고 있으며, 적용기간에 따라 산정한 작업불능일수가 서로 다른 실정이다. 뿐만 아니라 최근 대두되고 있는 기후변화는 기후예측을 보다 어렵게 만들고 있다. 따라서 본 연구에서는 기후조건별 작업불능일 산정을 위한 산술평균값들 중 최근 몇 년 기간을 산술평균으로 한 예측값이 실제값과의 오차를 최소화시킬 수 있는지 검토하여, 보다 예측성이 높은 산정방법을 제안하고자 한다.

키워드 : 작업불능일, 기후조건, 작업불능일 예측방법

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설공사는 수많은 불확실한 요인들로 인하여 공기지연을 발생시키며, 이러한 공기지연은 간접비용 증가, 추가민원 발생, 불필요한 설계변경 등으로 발주자는 물론 시공업체에게까지 경제적인 손실을 주고 있다. 이러한 이유로 다발적인 공기조정이 이루어지고 있는데, 공기조정의 주요 원인 중 하나로 기후에 의한 공기지연이 지적되고 있다¹⁾. 일부 발주처에서 기후에 의한 공기

지연을 공기연장으로 받아들이고 있지만, 일반적으로 공기증가에 의한 추가 공사비를 시공업체에게 일반적으로 부담하고 있는 현실을 고려해 볼 때, 현장소재지의 기후에 대한 사전 고려와 작업불능일에 대한 체계적인 예측이 필수적이다.

그러나 대부분의 건설현장에서는 기후에 대한 공기산정에 있어서 정확한 자료 없이 현장관리자의 경험과 직관에 의해 작업불능일수를 정함으로써 아직도 기후를 고려한 정확한 공기를 산정하지 못하고 있는 실정이다(정석남 외 2002). 대한주택공사를 비롯한 일부기관에서 공정계획 시 기후요소별 작업불능일 산정기준을 설정하여 적용하고 있으나, 기후예측이 불가능하다는 현장관리자들의 고정 관념으로 인하여, 공사종류나 단위작업의 특성을 고려하지 못하고 있다. 이로 인한 잦은 공기조정으로 경제적 손실은 물론 공사주체들 간의 이해관계에서도 많은 문제점이 발생하고 있다.

일부 건설현장과 선행연구에서는 작업불능일 산정기준으로 과거 일정기간의 기상평균값을 사용하고 있지만, 과거 산정기간에 대한 기준이 정립되지 않아 현장마다 각기 다른 산정기간을 적용하고 있으며, 적용기간에 따라 산정한 작업불능일수가 서로 다른 실정이다. 뿐만 아니라 최근 대두되고 있는 기후변화는 기후예측을 보다 어렵게 만들고 있는데, 최근 한 보고서(강운산 2004)에 의하면 2003년 기후변화로 인한 평균 강우일수의 증가

* 일반회원, 동일건축 CM사업부 근무, 아주대학교 건축학부 공학석사, hikeunhyo@hanmail.net

** 종신회원, 아주대학교 건축학부 부교수, 공학박사(교신저자), kyungrai@ajou.ac.kr

*** 종신회원, 아주대학교 건축학부 교수, 공학박사, dshin@ajou.ac.kr
본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음. (R11-2005-056-03005-0)

1) '공기연장 실태조사를 통한 발주자중심 공기지연 리스크 대응방안' (조훈희 외 2001)에 의하면 98년과 99년 사이 대한주택공사의 아파트 건설현장에서 공기조정을 실시한 147개 공구를 대상으로 건축공사 공기조정 실태를 조사한 결과 천재지변 69건(26%), 착공여건(24%), 설계변경 52건(19%), 공사관련자 48건(18%), 민원 23건(9%), 기타 12건(4%)의 원인 순으로 자주 발생하였다.

로 작업일수의 감소라는 기후변화의 영향이 건설업에 발생한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 기후요소별 작업불능일 산정을 위한 산술평균값들 중 최근 몇 년 기간을 산술평균으로 한 예측값이 실제값과의 오차를 최소화시킬 수 있는지를 검토하여, 보다 예측성이 높은 산정방법을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 7개 지역(춘천, 서울, 강릉, 대구, 울산, 부산, 제주)의 41년간(1963~2003년) 기상자료를 토대로 4개의 작업불가능 기상조건(골조공사 동절기, 마감공사 동절기, 혹서기, 강우기)에 대한 작업불능일수 산정방법(산술평균)을 산정기간별로 비교분석하였다. 산정기간은 총 20개(최근 1년~20년 평균)로 구분하여 비교분석하였으며, 이 중 가장 예측력이 높은 최적의 기간을 제시하였다.

본 연구의 수행절차 및 방법은 다음과 같다.

- (1) 문헌고찰 및 사례조사를 통하여 현행 작업불능일 산정기준의 문제점을 제기하였다.
- (2) 지역별 기후의 특징과 기후변화를 분석하여 본 연구의 비교분석 체계를 설계하였다.
- (3) 작업불능일 예측을 위한 산술평균방식을 산정기간별로 예측오차를 비교분석하였다.
- (4) 비교분석결과를 토대로 가장 예측력이 높은 최적의 산정

기간을 제안하였다.

2. 문헌고찰 및 사례조사

2.1 공기산정

공기산정은 공정계획에서 가장 중요한 일이다. 총 공기는 전체공사를 구성하는 개개의 작업들의 작업기간을 산출하는 것으로부터 시작된다. 그런데 현장에서 필요로 하는 공사기간은 실제로 작업이 이루어지는 기간뿐만 아니라 현실적으로 작업이 진행되지 못하지만 공사기간에 영향을 끼치는 부분도 공사기간의 한 요소로 고려해야 한다. 따라서 총 공기산정은 작업가능일과 작업불능일 산정으로 구분되어진다.

작업불가능기간에 영향을 미치는 요인은 사업참여자의 통제가 불가능한 요인, 통제가 가능한 요인, 불가항력적인 요인 등으로 나눌 수 있다(표 1 참조). 불가항력적 요인은 보통 계약조건에 명확하게 규정되며 이해 당사자가 용이하게 공기 변경에 합의할 수 있는 특수한 상황이므로 공정계획에서 제외하고, 통제 가능한 요인은 현장마다 상황이 달라서 계량화하기가 곤란하고, 불합리한 점을 개선하면 작업가능일화 할 수 있으므로 공정계획 시 고려하지 않는다(이찬식 외 1998). 따라서 시공자가 작업기간 산정 시 고려하여야 할 부분은 충분히 예측이 가능한 기상조건과 공휴일이라 할 수 있으며, 이에 대해서는 시공자에게 책임이 있다.

2.2 건설공사에 미치는 기후의 영향

표 1. 공기에 영향을 미치는 작업불가능 요인(이찬식 외, 1998)

대분류	중분류	소분류
통제 불가능 요인	기상조건	-온도 / 강우 / 강설 / 바람
	공휴일	-설날, 추석, 신정 -일요일 / 국경일 및 기념일
통제 가능 요인	현장조건	-공정의 부조화 -시공의 난이도 -현장준비 미비
	발주자기인 요인	-짓은 설계변경 -행정의 경직 및 의사결정 지연 -고위층 방문
	시공자기인 요인	-기능공 부족 및 인력투입 일관성 결여 -기능공 수준미달 -중층(中層) 하도급 구조 -시공자의 공사관리 능력 부족 -자금운영계획의 불합리
기타		-교통혼잡 -자연적, 인공적 환경보존 문제 -정치, 경제, 사회적 요건 -입지조건 등

작업불가능 기상요인으로는 온도, 강우, 강설, 바람 등이 있으며, 이 중 온도와 강우는 공기에 매우 큰 영향을 주고 있다.

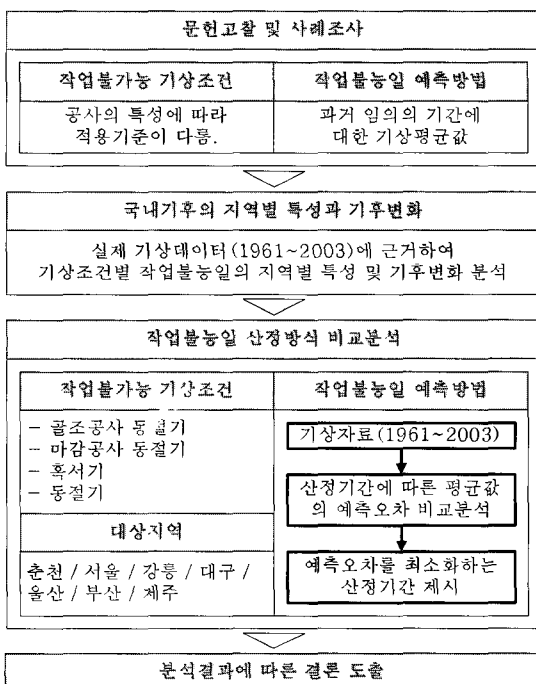


그림 1. 연구의 범위 및 방법

온도요인은 저온과 고온으로 나누어 생각해 볼 수 있는데, 저온은 작업을 불가능하게 하는 기간이 길고, 지역 및 착수시기에 따라 차이가 커서 건설공사의 품질과 사업성에 큰 영향을 미치고 있다. 고온의 경우에는 콘크리트 품질에 문제가 발생할 수 있고 온도가 높고 올라가는 오후에는 골조공사와 일부 마감공사 작업의 생산성이 떨어지거나 작업이 불가능해진다.

강우요인은 토공사, 기초공사, 옥상방수공사 등의 작업에 큰 영향을 주며, 출근하기 전에 비가 오면 대부분 작업자들의 출력이 낮아져 작업을 진행할 수 없는 경우가 생긴다.

강설요인은 온도가 영하일 경우에 나타나게 되어 그 기간이 온도의 영향을 받는 동절기 물공사 중단기간에 해당되므로 고려하지 않아도 되나, 옥외공사일 경우에는 적설량이 많으면 영향을 받게 된다.

바람요인은 양중작업 등에 영향을 미치며, 풍속이 일정하고 이상일 경우 고층작업의 안전을 고려할 때 정상적인 작업이 불가능하다.

2.3 작업불능일 산정기준 사례

대부분의 건설현장에서는 공정표 작성 시 기온만을 고려하여 동절기인 12월~2월을 기후달력에 적용하고 그 밖의 다른 기후 요소는 과거의 경험과 직관에 의해 일률적으로 작업불능일을 단위작업에 여유일로 배분하여 적용하고 있다. 따라서 기후에 대한 사전고려는 불가능하며, 공사 중의 잦은 공기조정과 작업변경 등이 불가피한 실정이다(정석남 외 2002).

하지만 일부 건설현장과 선행 연구에서는 기상자료를 근거로 하여 작업불능일을 공정표에 반영하고 있으며, 각각의 산정기준은 크게 작업불가능 기상조건과 작업불능일 예측방법으로 구분할 수 있다(표 2, 표 3 참조).

표 2. 현장사례별 작업불능일 산정기준

구분	작업불가능 기상조건		작업불능일 예측방법
현장A	저온	일평균온도 -10℃이하	과거 10년 산술평균
	강우	일강우량 10mm이상	
	풍속	주간최대풍속 10m/s이상	
현장B	저온	일평균온도 0℃이하	과거 5년 산술평균
	강우	시간당 강우량 10mm이상	
현장C	저온	일평균온도 0℃미만	과거 30년 산술평균 (단, 고온의 경우 7.28~8.2 적용)
		일최고온도 0℃미만	
		일평균온도 -5℃미만	
		일평균온도 -10℃미만	
	고온	일최고온도 32℃이상	
	강우	일강우량 10mm이상	
	풍속	일최대풍속 10m/s이상	

표 3. 선행연구별 작업불능일 산정기준

구분	작업불가능 기상조건		작업불능일 예측방법
이찬식 (1998)	저온	일평균온도 4℃이하(골조)	과거 5년 산술평균
		일평균온도 0℃이하(마감)	
	고온	일최고온도 32℃이상	
	강우	일강우량 10mm이상	
구해식 (1999)	저온	일평균온도 2℃이하	과거 10년 산술평균
	강우	일강우량 10mm이상	
정석남 (2003)	저온	일평균온도 4℃이하	과거 10년 확률모형을 이용한 시뮬레이션
		고온	
	강우	시간당 강우량 10mm이상	
	풍속	일최대풍속 10m/s이상	
	강설	시간당 적설량 1cm이상	

이렇게 현장 또는 선행연구마다 설정한 작업불가능 기상조건이 다른 이유는 작업불가능 기상조건이 공사종류나 단위작업의 특성에 따라 달라질 수 있기 때문이다. 다음 표 4는 주요공종별 작업불능일 Calendar²⁾ 사례를 보여준다.

표 4. 대한주택공사 작업불능일 Calendar

유형	동절기	강우	강설	식재 불능	적용공종
유형0					가설재 손로
유형1	○	○			1~2층 바닥골조, PH층 골조, 외벽미장
유형2	○				조적, 미장, 방수, 타일, 도장, 도배
유형3					집섬, UBR, 각종 시설품취부
유형4		○	○		외부비계, 흡출기설치, 공청안테나
유형5				○	조경식재
유형6		○	○		측량, 굴토, 향타, 기초, 지하바닥골조
유형7	○	○			3층~지붕층 바닥골조

하지만 작업불능일 예측방법의 경우 작업불가능 기상조건과는 달리 지역별 기후의 특성과 기후변화 등을 고려한 예측성이 중요하기 때문에, 산정기간별 예측오차³⁾를 비교분석할 필요가 있다.

2.4 산정기간과 예측오차

상기의 사례에서 볼 수 있듯이 대개 작업불능일 산정기간으로 과거 5년 또는 10년을 적용하고 있으며, 30년을 적용한 사례도

- 2) 대한주택공사에서는 순공사기간에 8개의 비작업일 Calendar를 해당 공종별로 적용하고 있음.
- 3) 착공 전에 산정한 작업불능일수(예상값)와 실제 해당 현장에서 발생한 작업불능일수(실제값) 간의 차이를 '예측오차'라고 하며, 예측오차가 작을수록 예측성이 높아진다.

있다.

이러한 과거 일정기간의 기상평균값을 사용하는 방식은 계약 조건 상의 악천후로 인한 공기연장 항목에서도 살펴볼 수 있다. 미 재정부 발주공사의 계약특수조건에서는 과거 40년 기상평균값을 사용하고 있으며⁴⁾, 국내 공기지연 관련 분쟁의 경우 과거 5년 동안의 평균 강우일수를 적용하여 공기연장한 사례가 있다.⁵⁾ 이러한 악천후에 의한 공기연장은 시공자가 사전에 예측할 수 있는 범위를 벗어나는 사항에만 허용되며, 그 기준은 일반적으로 과거 일정기간의 기상평균값을 사용하고 있다.

그러나 동일한 작업불가능 기상조건일지라도 작업불가능일 예측(과거 일정기간 산술평균방식)을 위한 산정기간이 다르면 산정일수가 다르게 나올 수 있다.

다음 표 5과 표 6은 각각 미육군(COE)계약서의 작업불가능 기상조건⁶⁾과 대한주택공사 설정기준의 강우일⁷⁾을 기준으로 하여 실제 기상일수와 최근 5년 평균일수 및 최근 10년 평균일수를 지역별, 연도별로 각각 비교한 결과이다.

표 5. COE계약서의 작업불가능 기준에 의한 비교분석

지역	연도	실제작업 불능일	COE계약서작업 불능일(오차)	최근 5년 평균 강우일 (오차)	최근 10년평균 강우일 (오차)
서울	2001	64	67 (-3)	65 (-1)	64 (-8)
	2002	61	67 (-6)	64 (-3)	64 (-2)
	2003	85	67 (18)	64 (21)	64 (21)
강릉	2001	49	60 (-11)	59 (-10)	56 (-7)
	2002	54	60 (-6)	58 (-4)	55 (-1)
	2003	79	60 (19)	57 (22)	54 (25)
부산	2001	47	57 (-10)	53 (-6)	50 (-3)
	2002	54	57 (-3)	53 (1)	49 (5)
	2003	68	57 (11)	54 (14)	49 (19)

표 6. 대한주택공사 강우일 기준에 의한 비교분석

지역	연도	실제 강우일	대한주택공사 강우일 (오차)	최근 5년 평균 강우일 (오차)	최근 10년평균 강우일 (오차)
서울	2001	25	28 (-3)	35 (-10)	33 (-8)
	2002	30	28 (2)	35 (-5)	32 (-2)
	2003	44	28 (16)	34 (10)	32 (12)
강릉	2001	34	36 (-2)	38 (-4)	37 (-3)
	2002	37	36 (1)	38 (-1)	37 (0)
	2003	50	36 (14)	37 (13)	36 (14)
부산	2001	34	33 (1)	39 (-5)	37 (-3)
	2002	43	33 (10)	39 (4)	36 (7)
	2003	51	33 (18)	41 (10)	37 (14)

4) 미 재정부(Department of the treasury)의 악천후로 인한 공기연장 조항에는 1958~1997년간 기온 및 강우량 평균값을 월별로 명시하고 있다.
 5) ○○현장에서는 1997년 1~6월간 일강우량 10mm이상인 강우일수(50일)가 과거 5년간(1992~1996)의 평균 강우일수(47일)보다 3일이 많으므로 지연일수 3일을 인정받았다.
 6) 일최고온도 0℃이하이거나 일강우량 5mm 이상
 7) 일강우량 10mm 이상

표 5과 표 6에서 볼 수 있듯이 각 작업불가능 기준에 의한 예측값들이 서로 다르며, 어떤 기준이 지역과 연도전반에 걸쳐 다른 기준에 비해 예측성이 높다고 말할 수 없을 만큼 예측성의 우열을 판단하기 어렵다.

그러나 관련 선행연구 대부분이 작업불가능 기상조건은 다루면서, 산정기간에 대해서는 예측성 검토 없이 임의의 기준을 적용하고 있다. 더구나 최근 잇따른 기상이변과 함께 건설현장에서 기후에 대한 중요성은 보다 부각되었으며, 공정표 작성 시 기후요소 반영을 저해하는 주요인 중 하나로서 기후예측에 대한 불확실성을 들고 있는 현실을 고려해 볼 때 작업불가능일 예측방식에 대한 예측성 검토가 필요하다.

3. 국내 기후와 작업불가능일 예측

3.1 지역별 기후의 특징

우리나라는 기후의 지역차가 크게 나타나고 있는데 이는 해류와 지형의 영향 때문이다. 해류의 영향으로 겨울철에는 동해안이 서해안보다 따뜻하며, 산지의 배설과 형태에 따라 강수의 지역차가 크게 나타나고 있다.

이러한 기후의 지역적 특성 때문에 미공병단(COE) 계약서는 우리나라 지역을 16개 지역⁸⁾, 대한주택공사는 6개 지역, 한국토지공사는 5개 지역으로 나누어 작업불가능일을 설정하고 있다.

그러나 우리나라 지역별 기후의 특성을 고려해 볼 때 지역을 몇 개 지역으로 구분하는 것보다 가급적 해당 현장소재지의 기후 특성을 반영하는 것이 합리적인 것으로 사료된다.

본 연구에서는 대한주택공사 표준공기 설정기준의 지역구분을 참조하여 7개 지역(춘천, 서울, 강릉, 대구, 울산, 부산, 제주)을 조사대상지역으로 하였다.

3.2 기후변화

기후변화란 현재의 기후계가 자연적 요인과 인위적 요인에 의하여 점차 변화하는 것을 말한다.

기후변화에 대한 IPCC⁹⁾보고서(1996)에서 정리된 내용을 살펴보면 첫째, 과거의 기후는 짧게는 수년에서부터 길게는 수백만 년에 걸친 기간 동안에 꾸준히 변해 왔으며 이는 앞으로의 기후도 지금의 기후와는 다른 기후가 될 것이다. 둘째, 최근의 기후

8) 주한미군기지 소재지와 관련지어 설정하고 있다.
 9) Intergovernmental Panel on Climate Change

는 인간의 활동에 의해 인위적으로 변화하고 있다. 셋째, 현재의 세계기후는 대단히 심한 변화의 굴곡을 겪고 있다(민경덕 외 2003).

이러한 기후변화는 그 변화의 형태에 따라 경향, 불연속, 변동으로 구분된다(김연옥 1998).

경향은 기록이 있는 기간에서 한 방향으로 증가 또는 감소해 나가는 것과 같은 변화를 말한다. 그러므로 이 변화는 주어진 기간의 처음 또는 끝에 유일한 극대 또는 극소가 나타나는 것을 특색으로 한다. 예를 들어 일정기간에 기온이 상승을 계속할 때 그 끝에 가장 고온이 되는 극대가 나타난다는 뜻이고, 반대로 기온이 계속 하강을 보일 때는 그 끝에서 극소가 나타난다는 뜻이다. 불연속은 기록의 기간에 있어서 평균치가 돌연 다른 평균치로 변한 채로 계속 지속되는 것과 같은 변화를 말한다. 변동은 장기 경향이나 불연속을 제외한 계속적으로 규칙적이거나 불규칙적인 기후의 비정상성을 말한다. 주어진 기간에 있어 적어도 두 극대(또는 극소)와 한 극소(또는 극대)를 포함하는 것이 특징이다.

(1) 국내 기후변화

우리나라 기온변화의 경우 1960년대 이후의 도시화와 산업화로 인한 고온화 경향이 매우 뚜렷하며, 이러한 도시화의 영향을 제거한 한반도의 온난화는 0.5~0.7℃/90년의 비율로 추정되고 있다. 지역별로는 동해안과 북한지역의 기온상승이 중부나 서해안보다 크게 예측되고 있으며 계절별로는 동계가 하계보다 클 것으로 예측되고 있다.

우리나라 강수량의 장기변화는 기온에 비해 그 변동폭이 큰 것이 특징이지만 그 증감 경향은 기온만큼 뚜렷하지는 못하다. 지역별로는 서울과 광주지역의 약한 증가 경향 외에 타지역에서는 뚜렷한 경향성이 나타나지 않고 있다(민경덕 외 2003). 이와 같이 장기변화의 경향도 그 지역차가 있음이 지적되고 있다.

(2) 작업불능일수의 변화

본 연구에서는 7개 지역(춘천, 서울, 강릉, 대구, 울산, 부산, 제주)을 대상으로 다음 4가지 작업불가능 기상조건에 대한 작업 불능일수의 변화(1961~2003년)를 분석하였다.¹⁰⁾

- 골조공사 동절기: 일평균기온 4℃이하
- 마감공사 동절기: 일평균기온 0℃이하

10) '건설공사의 적정 표준공사시간 산정방법에 관한 연구' (이찬식 외, 1998)에 근거하여 작업불가능 기상조건을 설정하되, 선행연구에서 일최고기온 32℃이상인 기간의 50%만을 혹서기로 산정한 것과는 달리 본 연구에서는 편의상 100%로 산정하였다.

- 혹서기: 일최고기온 32℃이상
- 강우기: 일강우량 10mm이상

동절기의 변화를 살펴보면 전반적으로 온난화로 인하여 감소 추세를 보였으나 마감공사의 동절기는 골조공사의 동절기보다 그 해당 일수가 낮았다.(그림2, 그림 3 참조).

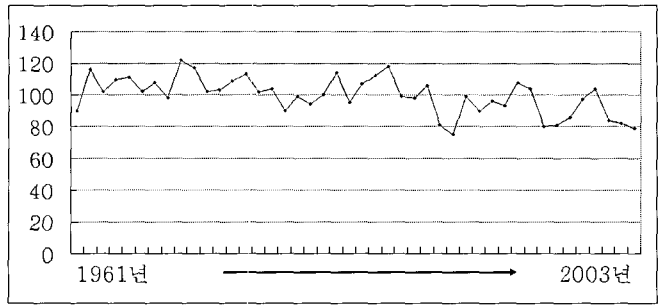


그림 2. 서울의 연간 일평균기온 4℃이하인 일수(축)의 변화

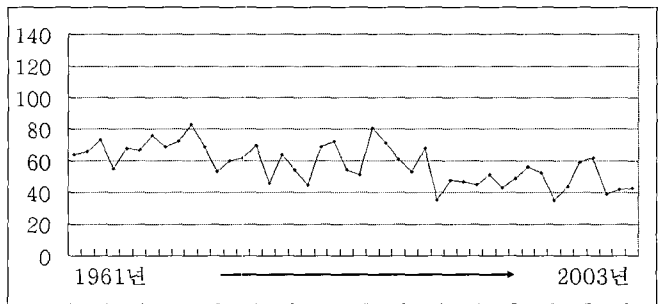


그림 3. 서울의 연간 일평균기온 0℃이하인 일수(축)의 변화

혹서기의 변화를 살펴보면 동절기의 감소 추세와는 달리 온난화로 인한 증가 추세가 뚜렷이 보이지 않았는데 이는 혹서기에 해당하는 작업불능일수가 동절기에 비해 적기 때문으로 판단된다(그림 4 참조).

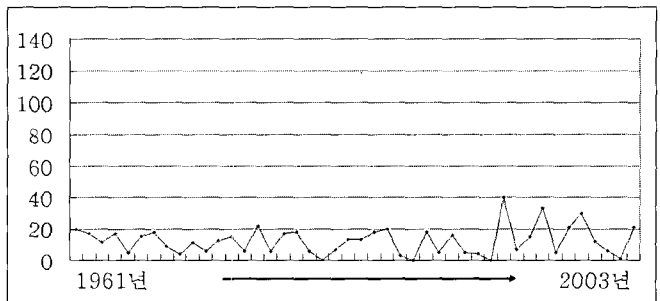


그림 4. 서울의 연간 일최고기온 32℃이상인 일수(축)의 변화

강우기의 변화를 살펴보면 동절기와 혹서기에 비해 뚜렷한 추세와 변동은 보이지 않으며, 대체로 일정 수준을 유지하고 있음을 볼 수 있다(그림 5 참조).

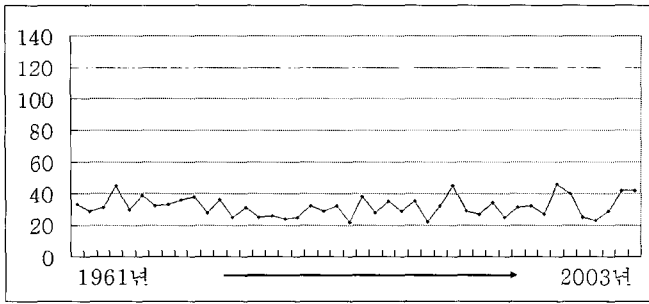


그림 5. 서울의 연간 일강우량 10mm이상인 일수(축)의 변화

상기의 작업불능일 변화를 검토한 결과, 지역별 차이는 있지만 각 작업불능 기상조건별(동절기, 혹서기, 강우기)로 비교적 유사한 변화의 형태를 보이고 있었다. 따라서 보다 정확한 작업 불능일 예측을 위해서는 작업불능 기상조건별 특성을 반영한 차별화된 예측방법이 검토되어야 한다.

4. 작업불능일 산정방식 비교분석

4.1 비교분석방법

(1) 작업불능 기상조건 및 조사대상 지역

비교분석할 작업불능 기상조건은 다음과 같다.

- 골조공사 동절기(일평균기온 4℃이하) : A
- 마감공사 동절기(일평균기온 0℃이하) : B
- 혹서기(일최고기온 32℃이상) : C
- 강우기(일강우량 10mm이상) : D

조사대상지역은 지역별로 비교적 상이한 기후특성을 보이고 있는 다음 7개 지역을 대상으로 하였다.

- 춘천(C), 서울(S), 강릉(G), 대구(D), 울산(U), 부산(P), 제주(J)
- 기상조건 및 지역에 따른 코드를 다음과 같이 설정하였다(표 7 참조).

표 7. 기상조건 및 지역에 따른 변수

지역 기상조건	춘천	서울	강릉	대구	울산	부산	제주
동절기(골조)	AC	AS	AG	AD	AU	AB	AJ
동절기(마감)	BC	BS	BG	BD	BU	BB	BJ
혹서기	CC	CS	CG	CD	CU	CB	CJ
강우기	DC	DS	DG	DD	DU	DB	DJ

(2) 비교분석할 예측방법

현재 기상청 날씨정보 홈페이지에는 국내 78개 지역의 기상자료가 있으며, 지역별로 최대 1961년부터의 기상자료를 가지고 있다. 그러나 일부지역의 경우 기상자료가 부족한 관계로 41년

(1964~2003년)동안의 기상자료에 근거하여 최근 20년간(1984~2003년)을 대상으로 산정기간별 평균방식¹¹⁾에 대한 예측오차¹²⁾를 비교분석하였다.

비교분석할 예측방법은 산정기간에 따라 최근 1년 평균부터 최근 20년 평균까지 총 20개로 설정하되, 춘천지역은 일부 기상자료가 없는 관계로 최근 18년 평균까지만 비교분석하였다.

최근 20년 평균방식까지만 적용한 이유는 국내 기상자료가 길어야 1961년부터의 자료밖에 없기 때문이다. 예를 들어 1984년의 예측오차를 산정하기 위해 '최근 30년 평균방식'을 적용할 경우 1954~1984년의 자료가 필요한데, 현실적으로 1954~1960년의 국내 기상자료가 없으므로 예측오차를 산정할 수 없다.

(3) 비교분석 체계

상기의 연구조건에 따라 서울지역의 골조공사 동절기 AS는 총 41개(1964~2003년)의 수치 데이터를 가지며 이를 다음과 같이 정리한다.

$$AS_{01}(1964\text{년 서울지역 골조공사 동절기}) = 110\text{일}$$

$$AS_{02}(1965\text{년 서울지역 골조공사 동절기}) = 111\text{일}$$

...

$$AS_{41}(2004\text{년 서울지역 골조공사 동절기}) = 79\text{일}$$

예측방법은 산정기간에 따라 총 20개의 방식으로 분류했다. 따라서 2004년 서울지역 골조공사 동절기의 실제값 AS₄₁에 대한 예측값은 산정기간에 따라 총 20개(최근1년평균~최근20년평균)가 되며 이를 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$P_k(AS_{41})$: AS₄₁에 대한 최근 k년 평균값

$$P_k(AS_{41}) = \sum_{n=40-k+1}^{40} AS_n/k \quad (k=1, 2, \dots, 20)$$

산정기간에 따른 각각의 예측값(최근 k년 평균값)과 실제값 간의 차이를 예측오차라 하며 이를 수식으로 표시하면 다음과 같다.

EK(AS₄₁) : 최근 K년 평균값에 대한 예측오차

$$EK(AS_{41}) = |AS_{41} - PK(AS_{41})|$$

활용할 수 있는 기상자료 개수의 한계로 최근 k년 평균값에 대한 예측오차 분석가능 샘플 수는 총 20개(AS₂₁~AS₄₁)가 된다

11) 기상청 관계자와의 인터뷰 결과 1년 이상의 기상에 대한 장기예측방법으로는 아직까지 과거 일정기간의 기상평균값을 사용하고 있는 실정으므로, 본 연구에서의 작업불능일 예측방법으로 산출평균방식을 적용하였다.

12) 20개 예측오차(1984~2003년)의 평균값(연간일수)

다. 따라서 서울지역 골조공사 동절기(AS)의 산정기간(k값)에 따른 예측오차값은 다음의 수식과 같이 20개값(1984~2003년)을 대상으로 한 예측오차값의 평균값 $E_k(AS)$ 으로 정리하였으며, 이 값이 최소가 되는 산정기간(k값)을 지역별(7개 지역) 및 작업불능일 기상조건(4개 조건)별로 제시하였다(표 8, 9, 10, 11 참조)

$$\overline{E_k(AS)} = \frac{\sum_{m=21}^{41} |AS_m - P_k(AS_m)|}{20}$$

4.2 산정기간별 비교분석결과

(1) 골조공사 동절기(일평균기온 4℃이하)

골조공사 동절기의 경우 예측오차가 가장 적은 산정기간으로 춘천·서울·강릉은 15년, 대구는 9년, 울산·부산은 3년, 제주는 2년으로 나왔다(표 8 참조).

표 8. 골조공사 동절기에 대한 예측오차(일)

지역 산정기간	춘천 (AC)	서울 (AS)	강릉 (AG)	대구 (AD)	울산 (AU)	부산 (AB)	제주 (AJ)
1	9.25	10.05	11.50	7.40	9.00	10.15	9.00
2	9.95	11.63	10.33	8.55	8.38	7.93	7.83
3	9.80	11.42	9.75	7.65	8.12	7.12	7.98
4	9.65	10.83	9.70	7.45	8.25	7.34	8.28
5	8.58	10.53	9.58	7.84	8.57	7.45	8.54
6	8.86	10.50	10.19	8.20	8.97	7.77	8.97
7	8.93	10.32	10.14	7.59	9.13	7.80	9.19
8	8.83	9.96	9.91	6.98	8.86	8.01	9.23
9	8.75	9.97	9.79	6.93	8.59	8.05	9.50
10	8.31	9.91	9.48	7.12	8.46	8.21	9.65
11	8.36	9.98	9.23	7.35	8.31	8.47	9.84
12	8.15	9.90	8.99	7.34	8.40	8.58	9.93
13	8.12	9.90	8.90	7.30	8.42	8.82	10.13
14	8.13	9.88	8.81	7.43	8.43	8.98	10.11
15	7.89	9.73	8.57	7.50	8.38	8.74	9.90
16	7.90	9.77	8.62	7.90	8.47	8.78	9.78
17	8.02	9.99	8.95	8.33	8.72	8.84	10.01
18	8.10	10.21	9.24	8.63	8.99	9.14	10.18
19	-	10.28	9.42	9.02	9.26	9.34	10.18
20	-	10.34	9.47	9.38	9.50	9.59	10.30

(2) 마감공사 동절기(일평균기온 0℃이하)

마감공사 동절기의 경우 예측오차가 가장 적은 산정기간으로 춘천은 15년, 서울은 4년, 강릉·대구·울산·부산은 3년, 제주는 2년으로 나왔다(표 9 참조).

지역

표 9. 마감공사 동절기에 대한 예측오차(일)

지역 산정기간	춘천 (BC)	서울 (BS)	강릉 (BG)	대구 (BD)	울산 (BU)	부산 (BB)	제주 (BJ)
1	9.50	11.15	9.60	6.50	7.25	5.40	1.15
2	11.60	10.58	8.18	6.40	6.78	5.05	1.05
3	11.33	9.95	7.33	6.37	6.00	4.42	1.07
4	10.41	8.91	7.51	6.46	6.05	4.68	1.08
5	10.05	9.00	8.30	6.89	6.26	4.80	1.16
6	10.26	10.05	8.07	7.49	6.68	5.20	1.13
7	10.28	9.91	8.40	7.46	6.98	5.47	1.07
8	10.25	9.93	8.71	7.56	6.87	5.68	1.16
9	10.19	10.12	8.70	7.74	7.09	5.82	1.23
10	10.24	10.21	8.71	7.75	7.39	6.03	1.24
11	10.03	10.21	8.89	8.04	7.65	6.30	1.28
12	9.81	10.19	8.85	8.27	7.75	6.43	1.35
13	9.67	10.22	8.88	8.57	7.90	6.60	1.33
14	9.50	10.25	9.10	8.79	8.04	6.83	1.32
15	9.35	10.13	9.06	9.05	8.22	6.94	1.37
16	9.39	10.08	9.23	9.26	8.34	6.98	1.38
17	9.57	10.22	9.34	9.63	8.66	7.04	1.38
18	9.64	10.41	9.56	10.01	8.98	7.12	1.44
19	-	10.50	9.66	10.39	9.18	7.21	1.45
20	-	10.61	9.90	10.75	9.44	7.38	1.48

(3) 혹서기(일최고기온 32℃이상)

혹서기의 경우 예측오차가 가장 적은 산정기간으로 춘천은 15년, 서울·강릉은 19년, 대구는 7년, 울산은 12년, 부산은 20년, 제주는 13년으로 나왔다(표 10 참조).

표 10. 혹서기에 대한 예측오차(일)

지역 산정기간	춘천 (CC)	서울 (CS)	강릉 (CG)	대구 (CD)	울산 (CU)	부산 (CB)	제주 (CJ)
1	12.80	13.30	9.80	16.30	13.05	8.75	9.20
2	12.83	11.73	8.78	14.33	12.13	8.78	6.88
3	12.15	10.15	8.62	14.08	12.32	8.77	6.10
4	12.13	10.89	8.36	13.53	11.58	8.45	5.84
5	11.69	10.62	7.92	13.10	11.14	8.01	5.74
6	11.39	9.98	7.73	12.51	10.80	7.89	5.70
7	11.28	10.19	7.49	11.74	10.25	7.55	5.60
8	11.59	10.39	7.81	12.66	11.05	7.96	5.49
9	11.53	10.32	7.83	12.85	11.26	8.03	5.47
10	11.43	10.21	7.71	12.63	11.03	7.89	5.49
11	11.18	10.05	7.67	12.31	10.60	7.50	5.36
12	10.84	9.80	7.47	12.07	10.24	7.30	5.47
13	10.82	9.77	7.58	12.17	10.42	7.29	5.35
14	11.03	9.87	7.54	12.36	10.61	7.38	5.38
15	10.79	9.70	7.52	12.30	10.59	7.44	5.36
16	10.67	9.70	7.45	12.37	10.50	7.38	5.48
17	10.56	9.70	7.34	12.20	10.39	7.30	5.42
18	10.58	9.68	7.37	12.16	10.35	7.23	5.53
19	-	9.69	7.29	11.97	10.31	7.18	5.40
20	-	9.78	7.32	12.13	10.47	7.17	5.60

(4) 강우기(일강우량 10mm이상)

강우기의 경우 예측오차가 가장 적은 산정기간으로 춘천은 18년, 서울은 19년, 강릉·대구·울산·부산은 20년, 제주는 10년으로 나왔다(표 11 참조).

표 11. 강우기에 대한 예측오차(일)

산정기간 \ 지역	춘천 (DC)	서울 (DS)	강릉 (DG)	대구 (DD)	울산 (DU)	부산 (DB)	제주 (DJ)
1	5.70	8.60	6.10	7.85	7.10	7.85	8.45
2	5.85	7.53	5.70	6.93	6.35	6.55	7.20
3	5.82	6.78	5.88	6.22	6.60	6.47	6.50
4	5.63	6.46	5.83	6.05	6.00	5.83	6.23
5	5.39	6.35	5.44	5.96	5.84	5.72	6.19
6	5.16	5.78	5.44	5.93	5.71	5.58	5.93
7	5.04	5.90	5.19	5.84	5.86	5.41	5.96
8	4.90	5.76	5.16	5.78	5.85	5.60	5.93
9	4.64	5.61	4.92	5.84	6.03	5.67	6.23
10	4.73	5.62	4.88	5.85	5.79	5.46	5.13
11	4.72	5.71	4.88	5.87	5.70	5.47	5.92
12	4.65	5.81	4.88	6.02	5.79	5.72	5.87
13	4.67	5.64	4.91	5.94	5.62	5.38	5.85
14	4.65	5.66	5.85	5.98	5.72	5.55	6.03
15	4.65	5.61	4.82	5.94	5.58	5.49	6.08
16	4.69	5.62	4.87	5.94	5.65	5.53	5.91
17	4.65	5.63	4.89	5.97	5.72	5.48	5.80
18	4.66	5.64	4.91	5.93	5.71	5.47	5.79
19	-	5.61	4.90	5.81	5.56	5.40	5.81
20	-	5.63	4.90	5.73	5.56	5.38	5.87

5. 작업불능일 예측방법

산정기간별 비교분석결과를 정리하면 표12와 같다.

첫째, 동절기의 경우 중부지역일수록 최근 15년 평균값을 적용하고, 남부지역일수록 최근 3년 평균값을 적용하는 것이 예측성을 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

둘째, 혹서기의 경우 최근 7년 평균값을 적용하는 것이 예측성을 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

셋째, 강우기의 경우 최근 20년 평균값을 적용하는 것이 예측성을 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

표 12. 예측오차가 최소인 산정기간(년)과 예측오차(일)

구분	춘천	서울	강릉	대구	울산	부산	제주
동절기 (골조)	15년 (8일)	15년 (10일)	15년 (9일)	9년 (7일)	3년 (8일)	3년 (7일)	2년 (8일)
동절기 (마감)	15년 (9일)	4년 (9일)	3년 (7일)	3년 (6일)	3년 (6일)	3년 (4일)	2년 (1일)
혹서기	17년 (11일)	19년 (10일)	19년 (7일)	7년 (12일)	12년 (10일)	20년 (7일)	13년 (5일)
강우기	18년 (5일)	19년 (6일)	20년 (5일)	20년 (6일)	20년 (6일)	20년 (5일)	10년 (5일)

산정기간에 따른 예측오차의 최대값과 최소값의 차이를 살펴보면 0~5일정도의 차이를 보였다(표 13 참조). 그러나 실제 줄일 수 있는 예측오차는 혹서기의 경우 작업불능일의 50%를 반영하고 있는 점을 감안할 때 반감되며, 강우기의 경우 비온 후 건조되기까지 2~3일 동안 공사를 못하는 공중도 있기 때문에 (이찬식 외, 1998) 해당 공중에 따라 2~3배까지 증가될 수 있다.

표 13. 산정기간에 따른 예측오차의 최대값과 최소값의 차이

구분	춘천	서울	강릉	대구	울산	부산	제주
동절기 (골조)	2일 (21%)	2일 (16%)	3일 (25%)	2일 (26%)	1일 (15%)	3일 (30%)	2일 (24%)
동절기 (마감)	2일 (19%)	2일 (20%)	3일 (26%)	4일 (41%)	3일 (36%)	3일 (40%)	0일 (29%)
혹서기	2일 (18%)	4일 (27%)	3일 (26%)	5일 (28%)	3일 (22%)	2일 (18%)	4일 (42%)
강우기	1일 (21%)	3일 (35%)	1일 (21%)	2일 (27%)	2일 (22%)	2일 (31%)	3일 (31%)

6. 결론

본 연구에서는 기후에 의한 작업불능일 예측방법의 산정기간별 예측오차 비교분석을 통하여, 작업불가능 기상조건과 해당지역에 따라 예측오차를 최소화하는 산정기간이 서로 다를 수 있음을 확인할 수 있었으며, 예측성을 향상시킬 수 있는 산정기간을 해당지역과 작업불가능 기상조건별로 제시하였다.

본 연구에서 실시한 예측성 검토는 기후조건을 고려한 공정계획이나 최적의 착공시기 결정 시 보다 정확한 정보를 제공해 줄 수 있으며, 악천후에 의한 공기 지연 관련 클레임이 제기되었을 경우 악천후 기준으로써 보다 합리적인 기준을 제시할 수 있을 것이다.

그러나 본 연구에서는 연간 작업불능일수만을 제시하였으며 예측오차가 여전히 남아있음을 고려할 때, 향후 계절변동을 고려한 월별 작업불능일수 산정방법과 보다 예측오차를 줄일 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 강운산, "기후변화가 건설업에 미치는 영향과 대응방안", 한국건설산업연구원, 2004
2. 구해식 외, "건설공사의 기후요소에 대한 공기산정 방안 연구", 대한건축학회 논문집, 15권, 11호, 1999
3. 김연옥, 「기후변화」, (주)만음사, 1998
4. 민경덕 외, 「대기과학개론」, 시그마프레스(주), 2003

5. 이종수 외, “기상이변이 건설공기에 미치는 영향과 합리적 해결방안”, 한국건설산업연구원, 2003
6. 이찬식 외, “건설공사의 적정 표준공사기간 산정방법에 관한 연구”, 대한주택공사, 1998
7. 정석남 외, “가상기후 시뮬레이션에 의한 공기산정 의사결정 지원모델에 관한 연구”, 동아대학교 석사학위논문, 2002
8. 정석남 외, “기후요소를 고려한 최적 착공시기 결정방법 연구”, 대한건축학회 논문집, 19권, 5호, 2003
9. 진영섭 외, “아파트 공사기간 산정에 영향을 주는 작업불가능 기준에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 18권, 1호, 1998
10. 기후변화정보센터: www.climate.go.kr
11. 기상청날씨정보: www.kma.go.kr
12. COE 계약조건(용산미군병원)

논문제출일: 2006.04.19

심사완료일: 2006.08.07

Abstract

Non-working days affected by weather conditions of the construction-sites have been estimated without proper data. They are usually estimated based on project engineer's own experience and intuition. As a result, they cause not only economic loss to time-adjustment but also conflicts among project participants. It becomes more difficult to predict the weather nowadays than before due to tendency of recently weather change. Therefore, this paper presents an improved estimation method for non-working days, which could minimize estimation errors. The estimation method is developed based on analysis of regional characteristics and weather conditions which affect project duration.

Keywords : Non-Working Day, Weather Condition, Non-Working Day Estimation
