

# 기후요소에 의한 철골공사 작업불가능일 산정에 관한 연구

## Calculation of Non-Working Days due to Weather Factors during Structural Steel Works

김 창 덕\* · 이 덕 형\*\* · 유 정 식\*\*

Kim, Chang-Duk · Lee, Duk-Hyung · You, Jung-Sik

유 재 길\*\* · 정 재 훈\*\* · 정 희 경\*\* · 유 정 호\*\*\*

You, Jae-Kil · Jung, Jae-Hun · Jung, Hee-Kyung · Yu, Jung-Ho

### 요 약

건설공사에 있어서 작업불가능일수 산정은 정확한 공사기간을 예측하는데 있어 매우 중요한 요소이다. 하지만 기후요소는 예측의 불확실성을 지니고 있어 정확한 공기산정을 어렵게 한다. 또한 기존의 작업불가능일수 산정에 관한 연구는 대부분 철근콘크리트공사를 대상으로 하고 있어, 철근콘크리트의 작업불가능 기준을 철골공사에 적용할 경우에는 많은 오차가 생기게 된다. 본 연구에서는 문헌조사 및 현장 조사 등을 통해 기후요소를 고려한 철골공사의 작업불가능 기준을 설정하고, 이를 서울지역의 15년간 기상데이터에 적용시켜 1년간의 철골공사 총 작업불가능일수를 산정하였다. 철골공사에 영향을 미치는 기후요인으로는 기온, 바람, 강설, 강우 등이 선정되었으며, 철골공사 여러 공종 중 옥외에서 수행되며 철골공사 공기에 많은 비중을 차지하는 철골 설치작업을 대상으로 각 기후요소들이 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구에서의 분석결과, 서울지역에서 기후요소로 인해 철골설치 작업불가능일이 연간 총 58일로 산정되었으며, 각 월별 작업불가능일수가 제시되었다. 본 연구의 결과는 다른 지역의 기상데이터를 적용할 경우 타 지역에서의 철골공사 작업불가능일 산정에도 활용될 수 있을 것이며, 이러한 작업불가능일의 산정은 철골공사의 보다 정확한 공기산정과 최적의 착공시기 결정에 도움이 될 것이다.

키워드: 기후요소, 작업불가능일, 철골공사

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건설공사는 옥외 현장에서 많은 공정이 이루어지기 때문에 기온, 강우, 강설, 바람과 같은 기상조건은 건설공사의 공기에 크게 영향을 미친다. 또한 기후요소별 영향은 공사시기 및 지역, 작업공정의 종류나, 방법 등에 따라 매우 다양하다. 따라서 계획

된 공기를 달성하기 위해서는 공기에 영향을 미치는 기후요소가 공법 및 재료와 더불어 프로젝트 초기단계에서 충분히 고려되어야 한다.

그러나 대부분의 건설현장에서는 공기산정에 기후요소를 고려함에 있어 정확한 자료 없이 현장관리자의 경험과 직관에 의해 일률적으로 작업불가능일수를 정하고 있다(정석남 2000). 또한, 대한주택공사를 비롯한 일부 기관에서는 공정계획 시 기후요소별 작업불가능 기준을 설정하여 적용하고 있으나, 기후의 예측은 불가능하다는 현장관리자들의 고정관념으로 인하여, 공사종류나 단위작업의 특성을 고려하지 못하고 있다(이근호 2004).

한편, 기후요소가 공기에 미치는 영향과 관련한 기존 연구는 대부분 철근콘크리트 공사에 국한되어 있어, 이러한 연구결과에 따른 작업불가능일수 산정 기준을 공사의 특성이 상이한 철골공사에 그대로 적용할 수는 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기후요소를 고려한 철골공사 작업불가

\* 중신회원 광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), stpkim@kw.ac.kr

\*\* 학생회원 광운대학교 건축학부 학사

\*\*\* 중신회원 광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사, myazure@kw.ac.kr

본 연구는 2005년 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의한 연구결과  
의 일부임

능 기준을 수립하고, 서울지역의 기상 자료와 비교분석을 통해 작업불가능일수를 산정한다. 본 연구결과는 서울지역에서 수행되는 철골공사의 공기산정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 철골공사 중 많은 공기를 차지하며 옥외에서 수행되어 기후요소의 영향을 많이 받는 철골설치 작업을 대상으로 하며, 기후요소에 의한 작업불가능일 산정을 위해 서울지역의 과거 기상자료를 활용하였다. 본 연구는 다음과 같은 절차와 방법으로 수행되었다.

- (1) 문헌 및 기존연구 고찰을 통해 건설공사 및 철골공사에 영향을 미치는 기후요소를 도출한다.
- (2) 철골공사 관련 논문 및 시방서등을 참조하여 철골공사의 공정별 작업불가능 원인을 알아보고 기준을 설정한다.
- (3) 현장소장 등 전문가를 대상으로 면담조사를 실시하여 현장오차를 수정한다.
- (4) 서울지역 기후요소의 최근 15년간 데이터의 평균치를 산출하고, 철골공사 작업불가능 기준을 비교·분석하여 서울지역의 철골공사 작업불가능일을 제시한다.

2. 예비적 고찰

2.1 작업불가능일의 구성요소

작업불가능일에 영향을 미치는 요인으로는 통제가 불가능한 요인과 가능한 요인 및 불가항력적인 요인 등이 있다. 통제가 불가능한 요인은 예측이 가능하고 규칙적인 기상조건과 공휴일 등을 들 수 있고, 통제가능 요인은 현장조건, 발주자기인 요인, 시공자기인 요인으로 구분할 수 있으며, 불가항력적인 요인에는 예측하기 어려운 이상 기상조건, 지진, 폭동, 정부정책변경 등이 있다(배장호 1994).

본 연구에서는 작업불가능일 구성요소 중 통제가 불가능한 요인인 기후요소만을 고려하여 작업불가능기간을 산정하였다.

2.2 작업불가능일에 영향을 주는 기후요소

건설공사에 영향을 주는 중요한 기후요소로는 기온, 강우, 강설, 바람 등이 있고, 각 요소는 다음과 같이 다양한 형태로 건설공사에 영향을 미친다.

1) 기온(Temperature)

작업을 불가능하게 하는 온도요인은 저온과 고온으로 구분할 수 있다. 저온은 기간이 비교적 길고, 위치 및 시기에 따라 차이가 커서 일반적으로 건설공사에 영향을 미치는 영향이 가장 크다고 할 수 있다. 그리고 고온의 경우에는 일반적으로 RC 공사에 있어 콘크리트 품질에 직접적인 영향을 미치며, 그 외에 다른 공종에 있어서도 온도가 높이 올라가는 오후에는 생산성저하, 작업시간의 변경, 축소 등을 초래한다.

2) 강우(Rainfall)

강우량은 옥내공사를 제외한 대부분의 공사에 영향을 준다. 강우로 인한 작업불가능 여부는 공종별로 다르고, 시기 및 강우량에 따라 다르나 보통 시간당 10mm이상인 경우에는 대부분의 공정이 불가능하다고 볼 수 있고, 강우량 체감기준은 표 1과 같다.

표 1. 강우량의 체감기준 (이병설 1986)

시간당 수량(mm)	육상상태
1~3	우산 없이 비옷으로 견딜 수 있는 상태
10	약간의 물이 고이고 양철지붕에 빗발치는 소리
20	빗소리가 심하고 운통 땅바닥에 물이 고임
30	역수같이 쏟아져서 개천이나 하수가 넘침50 양동으로 퍼붓듯이 무진장 쏟아짐

3) 강설(Snowfall)

강설은 시간이 지나면 물로 변하기 때문에 작업에 강우와 비슷한 영향을 미친다. 또 눈이 내리는 날은 기온이 0℃이하로 내려가 저온이 미치는 영향과 중복되기 때문에 눈 오는 날의 기온요소는 고려하지 않아도 되나, 저온기준에 초과하여 작업하는 긴급공사 등의 옥외공사에서는 정상적인 작업이 불가능하기 때문에 개별적으로 고려하여야 한다.

4) 바람(Wind)

바람은 건축물의 높이가 증가할수록 많은 영향을 미치는데, 최근에 건물이 고층화되어감에 따라 건설공사에서 바람의 영향이 커지고 있다. 바람은 철골작업 등에서 중량물의 운반, 조립, 양중, 용접 등에 영향을 미치며, 풍속이 일정하고 이상일 경우 작업의 안전성을 저해할 수 있으므로 정상적인 작업이 불가능하다.

2.3 현행 작업불가능 기준

2.3.1 작업불가능일 기준 규정

기존 연구에서 정리된 각 기관별 작업불가능 기준을 요약하면 표2와 같다. 이 기준은 철골공사 작업불가능일수 산정의 기본

자료로 활용할 수 있으나, 철골공사의 특성을 충분히 반영하기에는 한계가 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다. 또한, 어느 특정일의 기후조건이 표2의 작업불가능일 기준에 해당될 경우에도 하루의 100%를 작업불가능일로 계산하는 것에는 무리가 있다. 즉, 예를 들어, 일강우량이 10mm이상이라도 오후 늦게부터 비가 내렸을 경우에는, 하루의 상당 부분이 작업가능하다는 점이 반영되어야 할 것이다.

표 2. 기관별 작업불가능 기상조건 (정석남 2000)

	저온	고온	강우	바람	강설
대한주택공사 건축공사 시방서	일최저온도 4°C미만 한중콘크리트	일평균온도 25°C이상 서중콘크리트	일강우량 10mm이상	-	-
한국토지공사 시방서	일최저온도 4°C이하	일최고온도 30°C이상 일수의 50%	-	-	-
한국도로공사	일평균온도 4°C이하	일최고온도 35°C이상	-	-	-
대한토목학회	일평균온도 4°C이하 한중콘크리트	일평균온도 25°C이상 서중콘크리트	-	-	-
산업안전 기준에 관한 규칙	-	-	시간당 1mm 이상 작업 중지	풍속 초당 10m/s이상 작업 중지	시간당 1cm 이상 작업 중지
양극영	주간온도 0°C이하 작업불가능	주간온도 25°C이상 작업불가능	주간 강우량 10mm 이상	주간최대풍속 10m/s 이상	주간적설량 1cm 이상
미육군 건설공사 계약서	일최고온도 0°C이하 작업불가능	-	일강우량 5mm이상	-	-

2.3.2 철골공사 현장사례

철골공사 현장에서 기후요소가 어떻게 철골 설치작업에 영향을 미치는지를 알아보기 위해 세 현장의 사례를 조사하였다. 조사 대상 현장의 개요는 다음 표3과 같으며, 각 현장에서 적용 중인 철골 설치작업이 불가능한 기후요소 기준의 조사결과는 다음 표4와 같다.

표 3. 조사 현장 개요

	건물 유형	구조 형식	층수
현장 A	극장	철골구조	5층
현장 B	오피스텔	철골철근콘크리트 구조	12층
현장 C	오피스텔	철골철근콘크리트 구조	28층

표 4에서와 같이, 각 현장에서 적용중인 철골설치 작업불가능 기준은 서로 상이하며, 현장 A의 경우 강우 및 바람과 관련한 기준이 주간 강우량과 주간 최대풍속으로 표현되고 있어, 일 단위의 작업불가능 여부를 판단하는데 어려움이 있는 것으로 조사되

었다. 또한, 모든 기후조건에 대한 작업불가능 판단 기준이 수립되어 있지 않아 이에 대한 보완이 요구되었다.

표 4. 현장별 작업불가능일 산정기준

	저온	고온	강우	바람	강설
현장 A	평균기온 -10°C이하	-	주간 강우량 10mm이상	주간최대풍속 10m/s이상	-
현장 B	일최저기온 -10°C이하	일최고온도 35°C이상	일강우량 5mm이상	초당 10m/s이상	-
현장 C	-	-	일강우량 10mm이상	일최대풍속 10~14m/s	일강설량 5mm 이상

3. 철골공사 작업불가능일 산정 기준

3.1 철골공사 프로세스

철골공사는 크게 공장가공 과정과 현장 설치작업 과정으로 구분할 수 있으며, 본 연구는 기후요소의 영향과 직접 관련이 있는 현장 설치작업을 대상으로 한다. 일반적인 현장 철골설치작업의 프로세스는 다음 그림 1과 같다.

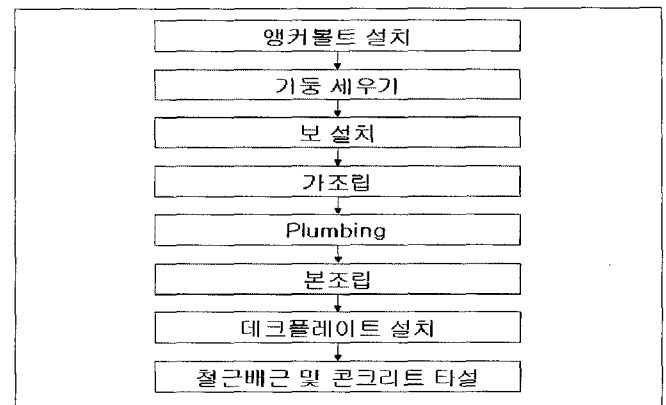


그림1. 철골설치 프로세스

본 논문의 세부적인 범위 설정에 있어서 앵커볼트 설치와 Plumbing 과정은 현장조사 결과 주요 공기에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 조사범위에서 제외하였다. 또한 데크플레이트 설치, 철근배근 및 콘크리트 타설 작업은 기존의 철근콘크리트 공사에서의 작업불가능 기준을 그대로 활용할 수 있으므로 본 논문의 조사범위에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서의 철골공사 작업불가능일 산정을 위한 철골공사의 세부 작업범위는 기둥세우기, 보설치, 가조립, 본조립 등과 관련된 작업으로 한정하였다.

### 3.2 철골공사 작업불가능 요인 분석

기후요소가 철골공사의 세부 작업에 미치는 영향을 살펴보기 위해서는 철골공사 세부 작업요소를 파악할 필요가 있다. 현장 조사 결과, 기동세우기, 보설치, 가조립 및 본조립 등의 수행 과정에서 기후요소로부터 영향을 받는 세부 작업요소로 타워크레인 양중작업 불가, 볼팅작업 불가, 용접작업 불가, 그리고 작업자 작업불가 등이 도출되었다. 이러한 작업불가능 세부요인과 기후요소의 상관관계를 정리하면 다음 표 5와 같다.

표 5. 기후요소와 철골공사 불가능요인 영향 분석

작업불가능 요인	기후요소				
	기온	바람	강설	강우	관련공정
타워크레인 양중불가	-	0	0	0	세우기
볼팅불가	0	-	0	0	가조립 본조립
용접불가	0	0	0	0	가조립 본조립
작업자 작업불가	0	0	0	0	전공정

### 3.3 철골공사 작업불가능 기준

#### 3.3.1 타워크레인 작업불가

기후요소 중 타워크레인의 작업에 직접 영향을 미치는 요소는 바람과 강우 및 강설을 들 수 있다. 기온은 타워크레인의 작업에 직접 영향을 미치지 보다는 작업자의 작업에 영향을 미치는 요소로 볼 수 있다.

타워크레인 작업을 불가능하게 하는 풍속에 대한 한계기준으로는 최소 10m/s에서 최고 20m/s까지인 것으로 조사되었다. 산업안전기준에 관한 규칙(노동부 2005)에 따르면, 최대풍속 10m/s 이상에서는 크레인의 설치 및 해체 작업이 진행될 수 없고, 20m/s에서는 전 작업이 불가능한 것으로 규정되어 있다. 또한 조사 현장에서도 대부분 10m/s를 철골설치작업의 불가능 기준으로 채택하고 있었다. 따라서 대형 건설재해의 발생을 야기하는 타워크레인에 관한 안전규정이 갈수록 강화되고 있는 실정을 감안하여, 본 연구에서는 최대풍속 10m/s 이상 시에 타워크레인 작업을 중지하는 것으로 기준을 수립하였다.

강우의 경우 일반적으로 일강우량 10mm 이상 또는 시간당 1mm 이상이 작업불가능 기준으로 사용되고 있다(표 2 참조). 한편, 현장 작업일보를 분석한 결과, 일일 누적 강우량이 2mm 이상인 날의 50% 이상이 작업이 없었던 것으로 조사되었다(그림 2 참조). 따라서 본 연구에서는 일강우량 2mm를 작업불가능 기준으로 설정하였다.

강설의 경우 산업안전기준에 관한 규칙에서 시간당 1cm 이상을 제시하고 있다(표 2 참조). 한편, 현장 작업일보를 분석한 결과, 강설량이 2mm 이상인 날의 50% 이상에서 작업을 수행하지 않은 것으로 조사되었다(그림 3 참조). 따라서 본 연구에서는 일강설량 2mm를 작업불가능 기준으로 설정하였다.

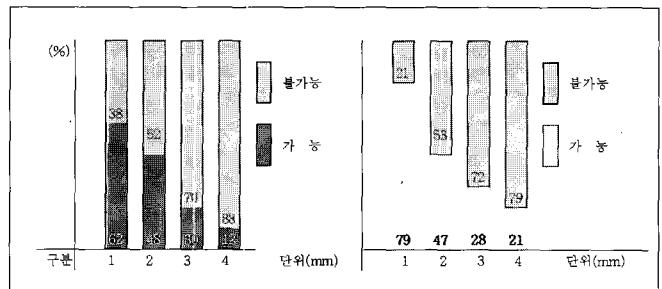


그림 2. 강우시 T/C중지기준

그림 3. 강설시 T/C중지기준

강설 및 강우량의 경우, 현장에서 보유하고 있는 작업불가능 일 산정기준(표 4)과 실제 작업일보 상의 기록이 상이하게 나타났는데, 본 연구에서는 작업불가능일 산정기준으로 여러 기준 중 가장 엄격한 기준을 적용하는 것을 원칙으로 하였다.

이상의 내용을 요약하여 기후요소에 의한 타워크레인 작업불가능일 산정기준을 요약하면 표 6과 같다.

표 6. 타워크레인 작업불가능 기준

구분	현장 기준 <sup>a)</sup>	현장 A 작업일보	산업안전 기준	적용근거	본연구의 적용기준
바람	10m/s이상	-	초당 10m/s 이상	산업안전 기준	최대풍속 10m/s이상
강우	5mm이상	2mm 초과시	시간당 1mm 이상	현장 A 작업일보	일일 누적 2mm초과시
강설	5mm 이상	2mm 초과시	시간당 1cm 이상	현장 A 작업일보	일일 누적 2mm초과시

#### 3.3.2 볼팅 작업불가

기후요소 중 볼팅 작업에 직접 영향을 미치는 요소는 강우 및 강설과 기온을 들 수 있다. 바람은 볼팅 작업에 직접 영향을 미치지 보다는 작업자의 작업에 영향을 미치는 요소로 볼 수 있다.

기온은 철골공사의 볼팅 작업에 많은 영향을 미치는 표면결과와 높은 관련이 있다. 볼팅의 대표적인 종류인 고력볼트 체결의 경우, 고력볼트의 구조내력은 모재와 마찰면의 표면상태에 의해 결정되게 되는데, 기온이 0℃이하의 경우 표면결과에 의하여 토오크 계수의 변화를 가져와 이로 인해 도입축력에 불규칙

1) 현장 기준은 A, B, C 세 개 현장기준 중 가장 엄격한 기준을 표기하였으며 이하 같음.

함이 발생된다(조선규 1997). 또한 고력볼트의 토오크는 24시간 경과 후 약 10%가량 감소되는데, 이때 표면결로가 발생하면 불규칙성이 발생하고 토오크의 강도가 기준이하가 될 가능성이 있으므로 예열작업을 선행하지 않을 시에는 작업이 불가능한 것으로 조사되었다.

겨울철의 경우 기온이 가장 낮은 시간인 04시와 업무가 시작되는 시간인 09시 사이의 온도가 평균 4℃의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이를 근거로 습공기 선도표를 통해 철골의 표면결로의 원인이 되는 상대습도를 구하여 보면 상대습도는 70% 이상이 될 시 표면결로가 발생하게 된다. 하지만 철골부재는 기온이 상승함에 따라 부재의 온도도 올라가기 때문에 이를 고려하여 기온과 철골부재의 온도차가 2℃ 차이가 나는 것으로 가정하여 계산하면 최저기온이 영하 6℃이하이고 상대습도가 80% 이상이 될 때 표면결로가 발생하는 것을 알 수 있다.

강우나 강설의 경우 현장 전문가들과의 면담을 통해 작업기준을 조사한 결과, 전기를 사용하는 용접설비를 사용하는 경우에는 안전 문제로 인하여 소량의 강우/강설량으로도 작업이 불가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 현실에서는 강우량 및 강설량이 2mm 정도까지는 작업을 수행하고 있는 것으로 조사되었다.

이상의 내용을 요약하여 볼팅 작업불가능일 산정기준을 요약하면 다음 표 7과 같다.

표 7. 볼팅 작업불가능 기준

구분	현장 기준	현장 A 작업일보	산업안전 기준	적용근거	본연구의 적용기준
기온	일 최저기온 -10℃이하	-	-	표면결로	평균기온 -6℃ 이하 & 상대습도 80%이상
강우	5mm이상	2mm 초과시	시간당 1mm 이상	현장 A 작업일보	일일 누적 2mm초과시
강설	5mm이상	2mm 초과시	시간당1cm 이상	현장 A 작업일보	일일 누적 2mm초과시

3.3.3 용접 작업불가

기후요소 중 용접 작업에 직접 영향을 미치는 요소는 강우 및 강설, 기온, 그리고 바람을 들 수 있다. 기온은 저온에서 모재 접합부의 급격한 온도변화에 따른 모재의 물성변화와 관련이 있으며, 강우 및 강설은 접합부의 습도와 관련이 있다. 그리고 바람은 접합부의 가스실딩과 관련된다.

기온의 경우, 현장에서는 최대 영하 25℃이하까지는 일정한 온도 이상 모재 접합부를 예열함으로써 작업이 가능한 것으로 조사되었다. 그러나 건축공사표준시방서, 대한주택공사전문시방서, 서울특별시전문시방서 등에서는 주위 기온이 -5℃~5℃ 범위에서는 모재 접합부로부터 100mm 범위내를 예열 후 용접

을 허용하고 있으나, 기온이 -5℃ 이하인 경우는 용접을 못하도록 규정하고 있다.

바람의 경우, 현장에서는 적절한 방풍 장비를 갖추었을 경우 10m/s까지는 작업이 가능한 것으로 조사되었다. 그러나 대한주택공사전문시방서에서는 10m/s 이상의 바람이 부는 경우 모든 종류의 용접을 할 수 없다고 규정하고 있으며, 서울특별시전문시방서의 경우 2m/s 이상의 바람이 부는 경우 가스실드 아크 반자동 용접을 할 수 없다고 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 10m/s 이상의 바람이 부는 경우 용접을 할 수 없는 것으로 설정하였다.

강우와 강설의 경우에는 모재의 표면이 젖었을 경우에 용접부위에 품질의 저하 및 시공 불량 등이 발생할 수 있기 때문에 일일 누적 강우량 또는 강설량이 2mm 이상인 경우 작업이 불가능한 것으로 설정하였다.

이상의 내용을 요약하여 기후요소에 의한 용접 작업불가능일 산정기준을 요약하면 다음 표 8과 같다.

표 8. 용접 작업불가능 기준

구분	현장기준	현장 A 작업일보	시방서 기준 <sup>2)</sup>	적용근거	본연구의 적용기준
기온	일 최저기온 -10℃이하	-25℃이하	-5℃이하	시방서	평균기온 -5℃ 이하
바람	10m/s이상	7-10m/s 이상	2m/s이상	시방서	10m/s 이상
강우	5mm이상	2mm 초과시	-	현장 A 작업일보	일일 누적 2mm 초과시
강설	5mm이상	2mm 초과시	-	현장 A 작업일보	일일 누적 2mm 초과시

3.3.4 작업자 작업불가

기후요소 중 작업자에 직접 영향을 미치는 요소는 강우 및 강설, 기온, 그리고 바람을 들 수 있다. 기온은 저온 및 고온 환경이 인체에 미치는 영향과 관련이 있으며, 이는 작업자의 보건 및 안전과 직결된다. 바람과 강우 및 강설도 작업자의 안전과 관련되며, 특히 고소작업이 많은 철골공사에서 주의가 필요한 부분이다.

작업자의 기온으로 인한 작업불가능 기준은 고온과 저온으로 나누어 볼 수 있다. 인체가 고온에 노출될 경우, 일차적으로 피부혈관의 확장작용이 일어나고 이후 피부온도가 34.5℃달하면 발한이 시작되고 근육이완, 호흡증가, 체표면적 증가 등의 신체 변화가 일어난다. 그리고 이 이상의 온도에 달하면 일사병 등이

2) 시방서 기준은 건축공사표준시방서, 대한주택공사전문시방서, 서울특별시전문시방서 내용 중 가장 엄격한 기준을 표기하였음.

발생될 수 있다. 이러한 상황을 고려하여, 본 연구에서는 고온으로 인한 작업불가능 기준을 일일 최고온도 33°C 이상으로 설정하였다.

저온의 경우, 인체는 대체로 영하 7°C 환경에서 장시간 노출 시 동상의 위험이 생기며 보통 영하 15°C 이하의 기온에서는 외계의 기온에 따라 체온을 조절하는 피부의 기능이 불가능하게 되어 동상이 일어난다. 이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는 저온으로 인한 작업불가능 기준을 일일 평균기온 영하 10°C 이하로 설정하였다.

바람의 경우에는 제시하는 최대풍속 10m/s 이상 시 지상에서 3m 이상 높이의 작업이 불가하다는 산업안전기준 규정을 적용하였다. 강우 및 강설의 경우, 철골공사는 추락 등의 위험이 매우 크기 때문에 안전기준이 강화되는 현실과 산업안전관리공단의 안전지침을 고려하여, 극히 소량인 일일 누적강우량 2mm 이상일 때부터 작업이 불가능한 것으로 설정하였다

이상의 내용을 요약하여 기후요소에 의한 작업자 작업불가능 일 산정기준을 요약하면 다음 표 9과 같다.

표 9. 작업자 작업불가능 기준

구분	현장기준	현장 A 작업일보	기타	적용근거	본연구의 적용기준
저온	일 최저기온 -10°C이하	-	-10°C이하 (인체생리)	인체생리 고려	일 최저기온 -10°C이하
고온	일 최고기온 35°C이상	-	33°C이상 (인체생리)	인체생리 고려	일 최고기온 33°C이상
바람	10m/s이상	7-10m/s 불가	10m/s이상 (안전지침)	안전지침	10m/s이상
강우	5mm이상	2mm 초과시	-	현장기준	일일 누적 2mm 초과시
강설	5mm이상	2mm 초과시	-	현장기준	일일 누적 2mm 초과시

## 4. 서울지역의 철골공사 작업불가능일 산정

### 4.1 최근 15년간 기상자료 분석

본 연구에서는 최근의 기후와 오차범위를 줄이기 위해 서울지역의 1990년부터 2004년까지 15년 동안의 기후요소 데이터를 기준으로 작업불가능일을 산정하였다. 최근 15년 동안의 각 기후요소별 평균값은 다음 표 10과 같다.

기상청 자료로부터 1990년부터 2004년까지의 서울지역 15년간의 날씨를 조사해 본 결과 영하 5°C 이하인 날수는 평균 12일, 영하 10°C 이하인 날수는 8일, 33°C 이상인 날수는 14일, 최대풍속 10m/s 이상인 날수는 5.53일, 강우 및 강설일은 58일로 조사되었다.

표 10. 서울지역의 15년간 기상 자료

년도 \ 구분	-5°C 이하	-10°C 이하	33°C 이상	10m/s 이상	강우 강설
2004	12	8	14	1	71
2003	11	7	12	0	68
2002	10	7	13	3	54
2001	14	10	15	0	56
2000	14	9	16	4	56
1999	12	8	14	4	55
1998	10	7	14	5	66
1997	12	8	14	12	57
1996	14	10	14	2	58
1995	13	8	16	2	58
1994	12	7	17	5	52
1993	12	8	12	15	55
1992	11	8	12	11	55
1991	12	7	13	10	53
1990	11	8	14	9	56
평균	12	8	14	5.53	58

## 4.2 작업요소별 작업불가능일수 산정

### 4.2.1 작업불가능일의 보정

기후요소는 하루 종일 동일한 양상을 나타내는 것은 아니다. 예를들어 바람의 경우 최대풍속이 측정되지만 지속적으로 최대 풍속으로 바람이 부는 것은 아니다. 기온의 경우도 최저 또는 최고 온도가 하루 종일 유지되는 것은 아니다. 즉, 하루 중 일부는 작업이 불가능한 극한 기후 상황에 해당되지만 나머지 하루의 일부는 극한 기후 상황이 아니라 작업 가능한 환경일 수 있다. 따라서 적절한 가정에 따라 작업불가능일을 보정할 필요가 있으며, 이러한 보정을 위한 가정은 지역적 특성이나 공기를 산정하는 기술자의 경험과 지식에 근거한 전문가적 판단에 따라 달라질 수 있을 것이다.

바람은 타워크레인의 작업, 용접 작업, 또는 작업자 작업에 영향을 미친다. 그러나 바람이 분다고 해서 항상 최대 풍속이 지속되는 것은 아니다. 하지만 바람이 많이 부는 날은 작업 효율성이 크게 저하될 가능성이 크다. 따라서 본 연구에서는 바람으로 인한 작업불가능일수 산정의 보정을 위해 50%를 적용하였다. 즉, 최대 풍속 10m/s 이상의 바람이 부는 날의 50%를 작업불가능일수로 산정하였다.

강우 및 강설은 철골공사의 세부 작업요소 모두에 영향을 미친다. 하지만 강우 및 강설이 있는 날이라도 반드시 작업을 할 수 없는 것은 아니며, 환경에 따라 하루의 일부 동안에는 작업을 수행할 수도 있다. 강우 및 강설의 경우, 오전에는 맑고 오후에는 강수량이 있는 경우가 전체 강우/강설일의 약 20%로 조사되었다. 이를 근거로 생산 효율의 저하 등을 감안하여, 본 연구에서는 강우 및 강설로 인한 작업불가능일수 산정의 보정을 위해

70%를 적용하였다. 즉, 일일누적 2mm 이상의 강우 및 강설이 있는 날의 70%를 작업불가능일수로 산정하였다.

저온은 불팅, 용접, 또는 작업자 작업불가능일수에 영향을 미치게 된다. 불팅의 경우 기온이 -6℃ 이하이면서 상대습도 80% 이상인 환경에서 작업이 불가능하게 된다. 따라서 일 평균기온이 -6℃ 이하이면서 상대습도 80% 이상인 날은 100% 작업이 불가능하게 된다. 용접의 경우 기온이 -5℃ 이하인 환경에서는 작업이 불가능하게 된다. 따라서 일 평균기온이 -5℃ 이하인 날은 100% 작업이 불가능하게 된다. 작업자의 경우 기온이 -10℃ 이하인 환경에서는 인체 생리적 원인으로 인해 작업이 불가능하게 된다. 그러나 일 최저기온이 -10℃ 이하인 날의 평균기온은 -10℃ 보다 높을 것이므로, 본 연구에서는 생산성 저하 또는 하루 중 -10℃ 보다 기온이 높은 시간대 등을 고려하여 저온으로 인한 작업자 작업불가능일수 산정의 보정을 위해 50%를 적용하였다. 즉, 일 최저기온이 -10℃ 이하인 날의 50%를 작업불가능일수로 산정하였다.

고온은 작업자 작업불가능일수에 영향을 미치게 된다. 저온의 경우와 마찬가지로 인체 생리적 원인으로 인해 기온이 33℃ 이상인 환경에서 작업이 어렵게 되는데, 일 최고기온이 33℃ 이상인 날의 평균기온은 33℃ 보다 높을 것이므로, 본 연구에서는 생산성 저하 또는 하루 중 33℃ 보다 기온이 높은 시간대 등을 고려하여 고온으로 인한 작업자 작업불가능일수 산정의 보정을 위해 50%를 적용하였다. 즉, 일 최고기온이 33℃ 이상인 날의 50%를 작업불가능일수로 산정하였다. 이상의 내용을 반영하여 각 작업요소별 작업불가능일수를 산정하며, 소수점 이하 첫째자리에서 반올림하여 작업불가능일수가 정수가 되도록 하였다.

4.2.2 타워크레인 작업불가능일수 산정

타워크레인 작업에 영향을 미치는 기후요소로는 바람, 강우 및 강설 등이 있다. 여기에 4.2.1에서 설정한 작업불가능일의 보정 기준을 적용하여, 타워크레인 작업불가능일수를 산정하면 다음 표 11과 같다.

타워크레인 작업불가능일수는 총 50일로 나타났는데, 6, 7, 8월이 다른 달에 비하여 상대적으로 많은 것은, 장마 및 태풍 등의 영향에 의한 것으로 분석된다.

표 11. 월별 타워크레인 작업불가능일수 산정표

구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계	비고
일일최대풍속 10m/s이상	0.40	0.80	0.47	1.07	0.47	0.20	0.33	0.40	0.07	0.20	0.20	0.93	5.53	50%
강우/강설 일일누적 2mm이상	4	3	3	4	5	6	9	8	5	4	4	3	58	70%
작업불가능일	3	3	2	3	4	4	7	6	4	3	3	3	45	

4.2.3 불팅 작업불가능일수 산정

불팅 작업에 영향을 미치는 기후요소로는 기온 및 상대습도와 강우 및 강설 등이 있다. 여기에 4.2.1에서 설정한 작업불가능일의 보정 기준을 적용하여, 불팅 작업불가능일수를 산정하면 다음 표 12와 같다.

평균기온 영하 6℃이하와 상대습도 80%이상, 강우/강설 일일누적 2mm이상의 기준으로 산정한 불팅작업의 전체 작업 불가능일수는 1년 중 총 43일로 조사되었고, 기온 및 습도를 고려한 표면결로가 일어나는 일수는 매년 2일 이하에 불과한 것으로 나타났다. 하지만 기온이 비교적 낮은 서울이외의 지역인 강원도 및 북부지역 등의 경우와 주변에 호수나 강 등이 있는 지역의 경우에는 표면결로가 생기는 날이 더 나타날 것이기에 본 연구의 결과보다는 다소 늘어날 것으로 예측된다.

표 12. 월별 불팅 작업불가능일수 산정표

구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계	비고
평균기온 -6℃이하 & 상대습도 80%이상	1												1	2
강우/강설 일일누적 2mm이상	4	3	3	4	5	6	9	8	5	4	4	3	58	70%
작업불가능일	4	2	2	3	4	4	6	6	4	3	3	3	44	

4.2.4 용접 작업불가능일수 산정

용접 작업에 영향을 미치는 기후요소로는 기온, 바람, 강우 및 강설 등이 있다. 여기에 4.2.1에서 설정한 작업불가능일의 보정 기준을 적용하여, 용접 작업불가능일수를 산정하면 다음 표 13과 같다.

표13에서 나타나듯 여름과 겨울에 작업불가능 일수가 매우 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 1월의 작업 불가능일수가 10일로 매우 높은 수치를 나타내고 있는데 이는 용접작업이 온도의 영향을 크게 받기 때문인 것으로 분석된다.

본 연구에서는 현장에서 일반적으로 사용하는 가스용접기 및 방풍막 시설을 갖춘 외부작업을 기준으로 하였으나, 용접장비의 종류와 작업환경의 차이 등에 따라 산정일수가 다소 달라질 수 있을 것이다.

표 13. 월별 용접 작업불가능일수 산정표

구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계	비고
평균기온 -5℃ 이하	8	2											2	12
일일 최대풍속 10m/s 이상	0.40	0.80	0.47	1.07	0.47	0.20	0.33	0.40	0.07	0.20	0.20	0.93	5.53	50%
강우/강설 일일누적 2mm이상	4	3	3	4	5	6	9	8	5	4	4	3	58	70%
작업불가능일	11	5	2	3	4	4	6	3	4	3	3	5	53	

4.2.5 작업자 작업불가능일수 산정

작업자 작업에 영향을 미치는 기후요소로는 기온(고온 및 저온), 바람, 강우 및 강설 등이 있다. 여기에 4.2.1에서 설정한 작업불가능일의 보정 기준을 적용하여 용접 작업불가능일수를 산정하면 표 14와 같다.

7, 8월에 작업불가능 일수가 가장 높게 나타나고, 기타의 달에는 비교적 비슷한 수치를 보이고 있는데, 이는 7, 8월에 고온과 강우 등의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 분석된다.

표 14. 월별 작업자 작업불가능일수 산정표

구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계	비고
일 최저기온 -10℃이하	6	1										1	8	50%
일 최고기온 33℃이상						3	6	5					14	50%
일일 최대풍속 풍속10m/s 이상	0.40	0.80	0.47	1.07	0.47	0.20	0.33	0.40	0.07	0.20	0.20	0.93	5.53	50%
강우/강설 일일누적 2mm이상	4	3	3	4	5	6	9	8	5	4	4	3	58	70%
작업불가능일	6	3	2	3	4	6	7	8	4	3	3	3	52	

4.3 철골공사 작업불가능일수 산정

위의 작업요소별 작업불가능일수 산정 결과를 종합하여 년 간 작업불가능일 도표를 작성하면 다음 표 15와 같다. 여기서 년 간 총 작업불가능일은 타워크레인 작업불가능일 45일, 볼팅 작업불가능일 44일, 용접 작업불가능일 53일, 그리고 작업자 작업불가능일 52일의 합으로 계산되지는 않는다. 그 이유는 각 요소별로 중복되는 날이 있을 수 있기 때문이며, 따라서 중복되는 기후요소로 인한 작업불가능일수는 총 작업불가능일수 산정에서 제외되어야 한다. 본 연구에서는 다음과 같은 과정을 통해 총 작업불가능일수를 산정하였다.

첫째, 타워크레인 작업불가능 기준은 모두 작업자 작업불가능 기준에 포함되므로, 이를 계산에서 제외한다. 둘째, 볼팅 작업불가능기준에서는 작업자 작업불가능 기준과 겹치지 않는 평균기온 -6℃이하와 상대습도 80%이상의 기준만을 가산한다. 셋째, 용접 작업불가능기준 중 저온 기준(평균 -5℃ 이하)은 작업자 작업불가능기준 중 저온 기준(일 최저기온 -10℃이하)을 포함한다는 가정하에, 평균기온이 -5℃ 이하인 일수에서 일 최저기온 -10℃이하인 일수를 뺀 일수를 적용한다. 즉, 1월은 2일, 2월과 12월은 각 1일이 작업자 작업불가능일이나 용접 작업불가능일로 산정된다. 결과적으로 표 15의 내용 중 괄호로 표시한 일수가 년 간 철골공사 작업불가능일수 산정에 반영된다.

표 15. 1년간 철골공사 작업불가능일수 종합

구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계	비고	
타워크레인	바람	0.40	0.80	0.47	1.07	0.47	0.20	0.33	0.40	0.07	0.20	0.20	0.93	5.53	50%
크레인	강우/강설	4	3	3	4	5	6	9	8	5	4	4	3	58	70%
	합계	3	3	2	3	4	4	7	6	4	3	3	3	45	
볼팅	기온&습도	(1)											(1)	(2)	
	강우/강설	4	3	3	4	5	6	9	8	5	4	4	3	58	70%
	합계	4	2	2	3	4	4	6	6	4	3	3	3	44	
용접	기온	8(2)	2(1)										2(1)	12(4)	
	바람	0.40	0.80	0.47	1.07	0.47	0.20	0.33	0.40	0.07	0.20	0.20	0.93	5.53	50%
	강우/강설	4	3	3	4	5	6	9	8	5	4	4	3	58	70%
	합계	11	5	2	3	4	4	6	3	4	3	3	5	53	
작업자	기온(저온)	6	1										1	8	50%
	기온(고온)							3	6	5				14	50%
	바람	0.40	0.80	0.47	1.07	0.47	0.20	0.33	0.40	0.07	0.20	0.20	0.93	5.53	50%
	강우/강설	4	3	3	4	5	6	9	8	5	4	4	3	58	70%
	합계	(6)	(3)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)	(4)	(3)	(3)	(52)		
합계		9	4	2	3	4	6	7	8	4	3	3	5	58	

5. 결론

본 연구는 기후요소를 고려한 철골공사의 작업 불가능일수를 보다 정확하게 예측하기 위하여, 철골공사에 영향을 미치는 기후요소를 도출하고, 각 기후요소의 정량적 기준을 설정하였다. 이 기준에 따라 서울지역의 과거 15년간 기상데이터를 이용하여 서울지역에서의 기후요소로 인한 철골공사 작업불가능일수를 산정하였으며, 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 기존의 문헌과 참고자료 및 현장조사를 통하여 철골공사의 각 작업을 각 기후요소별로 작업불가능 기준을 마련하였다. 각 작업에서 강우 및 강설로 인한 기준은 공통적으로 일일누적 2mm이상으로 적용하였으며, 타워크레인은 최대풍속 10m/s이상, 볼팅작업은 영하6℃이하와 상대습도80%이상 경우, 용접작업은 평균기온 영하5℃이하, 최대풍속 10m/s 이상으로, 작업자의 작업불가능 기준은 평균기온 영하10℃이하, 최고기온 33℃이상, 최대풍속 10m/s이상의 경우로 기준을 설정하였다.
- 2) 서울지역에서 기후요소로 인한 작업불가능일수를 타워크레인작업불가, 용접불가, 볼팅불가, 작업자작업불가 등 4개의 요인으로 분석한 결과, 타워크레인 작업불가능일수는 45일, 볼팅 작업불가능일수는 44일, 용접 작업불가능일수는 53일, 작업자 작업불가능일수는 52일로 파악되었으며, 연간 작업 불가능일수는 총58일로 산정되었다.
- 3) 서울지역의 철골공사 불가능 일수를 분석해 본 결과 7~8월 사이에 불가능 일이 가장 많이 분포하였고 봄[2~5월]과 가을[10~11월] 사이가 기후요소의 영향을 가장 적게 받는



것으로 나타났다. 이는 철근콘크리트 공사가 콘크리타설 시에 저온의 영향으로 동절기에 작업불가능일이 많이 생기는 것에 반해, 철골공사는 강수의 영향을 많이 받아 하절기에 작업불가능일이 많이 발생하는 것과 대조적이다.

이상의 연구결과를 초기 공사계획 시 예정착공시기와 관련하여 적용시킨다면 작업불가능 기간을 최소로 하는 월별 착공시기를 결정하는데 활용할 수 있을 것이다. 본 연구에서 제시한 철골공사에 영향을 미치는 기후요소의 영향 정도를 산정함에 있어, 극한 기후상황이 하루 종일 적용되지는 않는다는 가정하에, 기술자의 전문가적 판단에 의한 보정치를 적용하도록 하였다. 이러한 전문가적 판단은 주관적이므로 기술자에 따라 달라질 수 있다는 한계가 있다. 그러나 일일 기상데이터와 작업일보의 내용이 충실히 기록·관리된다면, 그 정보에 의해 보다 정확한 보정이 가능할 것이며 따라서 보다 신뢰도 높은 작업불가능일수 산정이 가능할 것이다.

## 참고문헌

1. 건설교통부 (2005). 건축공사 표준시방서.
2. 노동부 (2005). 노동부공고 제2005-11호: 산업안전기준에 관한 규칙.
3. 배장호 (1994). “건축공사의 적정공기 산정방안에 관한 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문.
4. 양극영 (1978). “기상조건에 의한 건축공사 네트워크 계획에 관한 연구”, 동국대학교 박사학위 논문.
5. 이근효, 김경래, 신동우 (2004). “건설공사의 기후요소에 의한 작업불가능 산정기준에 관한 연구”, 제5회 한국건설관리학회 학술발표대회논문집.
6. 이병설 (1996). 집중호우, 교육연구사.
7. 정석남, 이학기 (2000). “가상기후 시뮬레이션에 의한 공기산정 의사결정 지원모델에 관한 연구”, 한국건설관리학회 논문집 1권4호.
8. 조선규, 홍성욱 (1997). “표면상태에 따른 고장력볼트 마찰이음부 거동특성에 관한 연구”, 한국강구조학회논문집 9권3호.
9. 기상청날씨정보 <<http://www.kma.go.kr>>
10. 기후변화정보센터 <<http://www.climate.go.kr>>
11. 대한주택공사전문시방서 <<http://itis.jugong.co.kr>>
12. 서울특별시전문시방서 <<http://www.seoul.go.kr>>

논문제출일: 2006.02.10

심사완료일: 2006.08.01

## Abstract

Calculating non-working days is very important element for the accurate estimation of construction time. And non-working days are largely affected by weather factors such as rainfall, wind velocity, snowfall and temperature. In the case of concrete works, there are lots of referable information for the calculation of non-working days due to the weather factors. However, for the structural steel works, there are very limited information only.

Through literature survey and interviews with a few engineers, this paper established the weather factors that affect steel structural works and the impact of those factors. Based on the factors and the expected impact of the factors together with the weather data during the last 15 years in Seoul region gathered from Korea Meteorological Administration, this paper suggests the monthly non-working day of structural steel work due to weather factors. This information can be used for the early estimation of construction time.

**Keywords** : Weather Factor, Non-Working Day, Structural Steel Work