

기상요소가 장년근로자의 근로손실일수에 미치는 영향

최재욱¹ · 김태완² · 이찬식*

¹인천대학교 대학원 건축학과 · ²인천대학교 도시건축학부

Effects of Weather Factors on the Work Loss Days of the Elderly Workers

Choi, Jaewook¹, Kim, Taewan², Lee, Chansik*

¹Department of Architectural Engineering, Graduate School, Incheon National University

²College of Urban Architecture Engineering, Incheon National University

Abstract : With the aging of the population and the slowdown of the job market, elderly workers make up a large portion of the construction workforce. Also, due to the nature of the construction industry, where outdoor work is frequent, the weather has a more sensitive impact on elderly workers than on younger ones. The study aims to analyze the degree of weather risks exposed to elderly workers in the construction industry using the measure of work loss days. To that end, construction accidents that affected 28,514 elderly workers in seven cities from 2012 to 2016 (a total of 12,789 days) were analyzed to calculate work loss days per different weather factors. The results show that the elderly workers were seriously affected when the temperature was between -12°C and -10°C, humidity between 55% and 60%, precipitation between 128mm and 181mm, and wind speed between 5.5m/s and 6.5m/s, with the highest work loss days. The combined effects between the weather factors were also analyzed to identify the condition that led to high work loss days of elderly workers. This study contributes to effective safety management and pleasant working environment between weather factors and shedding light on the relationship between weather factors and work loss days of elderly workers.

Keywords : Work Loss, Weather Factors, Elderly Worker, Safety Management, Construction Industry, Risk Management

1. 서론

1.1 연구의 필요성

우리나라 건설현장은 고령화 심화와 청년층의 3D업종 기피현상 등으로 장년근로자의 비율이 높아지고 있다. 통계청의 중위추계 인구분석 자료에 따르면 2020년 기준, 고령인구는 급증하는 반면 생산가능 인구는 급감하게 될 것으로 전망된다.

고령화는 재해율과 관련된 사회구조적인 요인으로 건설업 근로자의 고령화는 재해율을 증가시킬 수 있다.¹⁾ 산업안전보건공단(Korea Occupational Safety and Health Agency; 이하 KOSHA)에서 발간한 산업재해통계에 따르면 국내 건설업에서 장년근로자의 재해자 비율은 70.84%(2016년; 전

체 26,570명중 18,823명)를 차지하고 있으며 전년 보다 1.45%(2015년; 전체 25,132명중 17,438명) 상승하였다.

옥외작업이 많은 건설업 특성상 기후는 재해에 밀접하게 영향을 미쳐 작업 위험도를 증가시키고 근로자의 피로를 증가시킨다(Kim et al., 2015). 기후변화로 인하여 최근 100년간 우리나라의 평균기온은 1.8°C 상승하였으며, 연강수량은 줄어들었지만, 폭우, 폭설 일수는 증가하는 추세이다.²⁾ 이러한 기상환경 변화는 건설근로자들의 작업과 건강에 큰 영향을 미칠 수 있다(Shin, 2013). 특히 위기 대처능력이 떨어지고, 신체기능이 저하되는 장년근로자에게는 훨씬 민감한 위험요인으로 작용된다.³⁾

현 정부는 2022년까지 산업재해 사망자수를 절반으로 감축하는 것을 목표로 건설 분야를 포함한 3개의 분야를 집

* Corresponding author: Lee, Chansik, College of Urban Architecture Engineering, Incheon National University, Incheon, Korea, 22012
E-mail: cslee@inu.or.kr
Received August 30, 2018; revised -
accepted September 20, 2018

1) OSHRI(2011). "최근 10여 년 산업재해 증가원인분석" 안전보건 연구동향 1월호, pp. 54-59.
2) 국립기상연구소 (2009). "기후변화 이해하기.2, 한반도 기후변화 : 현재와 미래: 국립기상연구소 연구 성과를 중심으로" 국립기상연구소 기후연구과
3) OSHRI(2017). "장년근로자의 안전한 일터" 안전보건공단

중관리하고 안전우선 문화조를 강조하고 있다.⁴⁾ 국토교통부는 건설업체들의 시공능력평가와 함께 환산재해율⁵⁾을 기준으로 입찰참가자격사전심사(PQ)시 감점하고, 매년 건설회사의 환산 재해율 순위를 공개하고 있다.⁶⁾

안전관리가 더욱 중요해지고 있는 현 상황을 감안한다면, 장년근로자의 재해율이 높은 기상환경을 파악하고 제어하여 사고발생을 줄이는 활동은 필수적이다. 이 연구는 기상요소에 민감한 장년근로자들에게 위험한 기상범위를 근로손실일수를 통하여 분석하는 것을 목표로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

이 연구에서는 기상요소가 건설업 장년근로자의 근로손실일수에 미치는 영향을 알아보기 위해서 다음과 같이 연구의 범위를 설정하였다.

기상요소는 기상청에서 제공하는 종관기상관측장비(ASOS)⁷⁾를 통하여 측정한 일평균 기온, 습도, 강수, 풍속으로 한다. 장년근로자의 범위는 고용노동부(2012)의 '고용상 연령차별금지 및 고령자고용촉진에 관한 법률'에 따라 50세 이상의 근로자로 한정한다.⁸⁾ 재해 통계지표로는 근로손실일수를 사용하였다. 근로손실일수는 재해로 인한 근로자들의 노동 불가에 따른 손실과 휴업 및 작업 중지 등으로 인하여 발생하는 손실을 포함한 지표이지만, 이 연구에서는 근로손실일수를 재해로 인한 노동손실만으로 제한한다.

연구의 절차 및 방법은 다음과 같다.

첫째, 선행연구들을 통하여 기상요소가 건설업에 미치는 영향을 알아보고, 기상과 건설근로자의 관계를 파악한다.

둘째, 2012년부터 2016년까지 발생한 재해자수를 KOSHA의 재해통계를 통하여 근로손실일수로 환산하고, 기상청에서 제공하는 기상자료를 열람하여 기상요소별로 구간을 설정한다. 이를 통하여 기상요소별 구간의 근로손실일수를 산출한다.

셋째, 기상요소들 간의 상관성을 회귀분석으로 규명하고, 결합효과를 통하여 기상요소들이 복합적으로 작용할 때의 근로손실일수를 산출한다.

넷째, 연구결과로 얻어진 기상요소별 위험구간을 선행연구들과 비교·분석하여 결과를 입증하고 논의한다.

2. 이론적 고찰

2.1 재해통계와 근로손실일수의 의미

'위험'에 대한 측정과 분석을 위하여, 많은 방법들과 지표들이 사용된다. 리스크 분석방법에 관한 지침(KOSHA, 2010)에 따르면, 리스크를 분석하기 위한 방법으로 리스크의 수준을 설명하는 정성적인 방법과 발생가능성과 결과를 수치로 표현하는 정량적인 방법으로 구분한다. 산업안전보건법⁹⁾에서는 산업재해의 조사 및 통계의 유지관리를 위하여 산업재해를 통계업무처리를 하도록 규정하고, 재해를 수치로 비교·분석하는데 정량적인 지표를 사용하고 있다. 이러한 활동은 건설재해의 지속적 감소에 기여하고(Ahn, 2006), 안전·보건에 관한 제도적 환경을 조성하도록 유도한다(Lee et al., 2016).

정량적인 지표를 통하여 재해의 강도와 빈도를 수치화할 수 있지만, 위험도를 비교하기는 어렵다. 즉, 동일한 환경에서 사고A로 1건의 사망재해가 발생하고 사고B로 10건의 부상재해가 발생한다면, 빈도와 강도만으로는 위험도를 판단할 수 없다. 이는 주관적인 기준에 따라서 위험의 경중이 결정되며, 개인에 따라 사고A와 B중에서 더 위험한 사고를 다르게 선택하는 오류가 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 지표로 ILO (International Labor Organization, 국제노동기구) 통계국에서 산업재해 통계를 위해 사용되는 근로손실일수를 제안한다.¹⁰⁾ 근로손실일수는 관련 국가기관에 의해 제공되는 공식 통계자료로 업무상 부상으로 인해 피해를 입은 근로자가 정상적인 업무를 수행하거나 사고 당시 업무를 수행하는 시간을 일컫는다.

따라서 근로손실일수는 재해의 강도와 빈도를 손실일수로 환산하여 하나의 지표로 위험의 정도를 비교할 수 있도록 한다. 또한 OECD 회원국가중 미국, 일본, 프랑스 등을 포함한대부분의 국가에서 기초 산업재해통계 자료로 활용되고 있다. 이는 위험에 대한 정량적인 수치이며, 국제적으로 통용되고 있는 지표임을 입증한다.

4) 고용노동부 보도자료 (2018), "2022년까지 산업재해 사망자수 절반 감축을 위한 산업재해 사망사고 감소대책 발표"
 5) 16년도에 1,000대 건설업체가 시공한 건설현장에서 발생한 산업재해자를 파악하여, 사망자는 일반재해자의 5배 가중치를 부여하고, 하청업체 재해자는 원청업체에 포함하여 산정된다.
 6) 고용노동부 보도자료 (2017), "16년 건설업체 환산재해율 증가 - 건설업 특별대책 연장 추진 및 건설현장 지도·감독 강화"

7) 지상기상관측은 종관기상관측장비(ASOS ; Automated Synoptic Observing System)에 의한 자동관측으로 1995년부터 기상대와 무인자동화 기상관측소에서 처음으로 설치되어 현재 전국 94개소의 대기상태를 실시간으로 관측한다. 기상청 (2015). 국가기후자료 종합 품질관리지침
 8) 고령자라는 용어의 의미가 '노동시장에서 은퇴해야 할 사람'이라고 인식되고, 현재의 사회통념 및 기대수명과 많은 차이가 있음을 고려하여, 장년으로 명칭을 변경 및 사용한다.
 9) 고용노동부 예규 제75호 (2014), "산업재해통계업무처리규정" 제1조(목적)
 10) OSHRI (2009), "OECD 국가의 산업재해 및 사회·경제활동 지표 변화에 관한 비교 연구" KOSHA

국내에서 활용하는 근로손실일수는 주로 강도율을 산정하기 위하여 사망, 부상, 질병 및 장애자의 등급별 요양근로손실일수에 따라 결정된다. 고용노동부 예규(2017.06.15. 시행) 산업재해통계 업무처리규정에 따르면 강도율은 근로시간 합계 1,000시간당 요양재해로 인한 근로손실일수로 정의한다.

Table 1. Estimation of Work Loss Days in accordance with the Method of Estimating the Number of Day Loss of Care Workers

Permanent Labor Ban							
Level	Death	1~3	4	5	6	7	8
Days	7,500		5,500	4,000	3,000	2,200	1,500
Level	-	9	10	11	12	13	14
Days	-	1,000	600	400	200	100	50
Temporary Labor Ban							
Work loss day = Number of closed day $\times \frac{300}{365}$ (300 days out of 365 days are available for labor.)							

사망 및 부상으로 영구적으로 작업을 할 수 없는 경우의 손실은 <Table 1>과 같이 사망 및 1~3급의 신체장애의 경우 7,500일로 산정하고, 4급부터는 신체장애등급표를 따른다. 사고로 인하여 일시적으로 노동이 이루어지지 않은 경우는 휴업일수와 연간 노동 가능일수를 곱한 값으로 산정한다.

Table 2. Annual work loss change

Year	Death	Injury	Impediment	Ratio
2012	7,500	386.2	598.4	1 : 0.051 : 0.080
2013	7,500	411.5	540.0	1 : 0.055 : 0.072
2014	7,500	346.2	451.5	1 : 0.046 : 0.060
2015	7,500	317.0	415.0	1 : 0.042 : 0.055
2016	7,500	309.5	433.3	1 : 0.041 : 0.058
Avg.	7,500	354.1	487.7	1 : 0.047 : 0.065

(Unit : days)

<Table 2>는 이 연구에서 사용되는 장년근로자의 최근 5년의 근로손실일수를 산정한 결과이다. 연도에 따라서 근로손실일수를 구성하는 부상자와 질병 요양자의 비율이 달라지는 것을 확인할 수 있다. KOSHA의 안전보건 연구동향에 따르면, 사회복지 차원에서의 보상관련 손실이 증가 및 산재 미가입사업장의 재해 발생 후 신고사례 증가 등으로 재해자수는 증가하였지만 재해로 발생한 손실을 오히려 줄어드는 추세이다. 따라서 근로손실일수는 이러한 국내의 재해발생 현황을 대변할 수 있는 지표로, 정책의 변화 및 재해에 대한 사회적 기준을 반영할 수 있는 강점이 있다.

2.2 기상요소가 장년근로자에게 미치는 영향

장년근로자는 업무와 관련하여 경험과 노후가 축적되어 있으며 원활한 감정조절과 긍정적 정서를 유지하지만, 감각적인 능력이 많이 무뎈다. 특히 균형 감각이 많이 상실되고 이후의 회복기간 또한 길다. 또한 운동기능 및 작업능력의 변화로 체력이 약하여 쉽게 피로함을 느끼고 중량물을 취급하는 행위에 어려움을 느낄 수 있다.¹¹⁾ 2017년 폭염으로 인한 근로자의 온열질환자 신고현황에서 장년층의 비율은 56.67%(전체 1,574명중 892명)를 기록하였다.¹²⁾ 외부의 영향에 취약한 장년근로자에게 기상은 일반근로자들에 비해 보다 더 영향을 미치는 요소로 작용할 수 있다고 사료된다. 각각의 기상요소를 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

기온은 근로자들에게 가장 큰 영향을 미치는 요소로, 고온부에서 온열질환을 야기하여 작업자의 건강을 위협하고 작업의욕 상실에 의한 생산성 저하에도 영향을 미친다(Lee at el., 2012). 특히 65세의 장년층에게는 폭염기간 사망자수가 1.5배 높은 것으로 확인되었다(Park at el., 2008). 저온부에서는 저체온증으로 인하여 정신기능이 둔화되고 근육이 힘을 잃고 맥박이 약해지고 혈압이 저하된다.¹³⁾ 이때 순간적으로 힘을 쓰게 되면 혈관이 수축하고 고혈압으로 인하여 뇌졸중, 뇌출혈 등을 유발한다. 특히 혈관이 약한 장년층에게서는 기온이 1℃ 감소할 때 5~8%이상 환자발생수가 증가하는 것으로 나타났다(Kim, 2016).

습도는 근로자의 심장박동을 활발히 하여 혈압을 높이고 작업스트레스 및 피로를 유발한다(Smith P., 1972). 습도가 직접적으로 재해의 결과로 직결되는 양상은 보이지 않았으나(Son at el., 2005), 기온요소를 고려한 불쾌지수¹⁴⁾의 경우, 불쾌지수가 높은 15시에서 16시 사이의 건설근로자의 사망재해가 가장 많은 것으로 나타났다(You at el., 2017).

강수는 작업의 진행 여부를 결정하는 가장 기본적인 요소이며, 콘크리트와 같은 건축물의 품질과 직결된다(Jang at el., 2008) 눈, 비, 우박등 강수의 형태에 작업에 미치는 정도가 다양하고, 강수직후에도 작업자에게 미끄러움을 유발하여 사망사고가 증가한다(Lee at el., 2015). 특히 강수 직후 고인 물을 퍼내던 중 감전되거나 지반이 무너지면서 작업자를 덮치는 사고사례 등 간접적으로도 사고에 기인하는 영향이 매우 높다(Kim, 2016).

11) OSHRI (2017). "A Safe Working Place for the Elderly" KOSHA

12) KCDC (2017). "Report of Thermal Diseases due to Heat Waves" Korea Center for Disease Control

13) KOSHA (2011). "Prevention of hypothermia in winter"

14) 기온과 습도의 조합으로 개인이 느끼는 온도를 표현한 것이며, 여름철(6월~9월)에 측정하는 온습도지수이다. 기상청 국가기상종합정보 날씨누리 <www.weather.go.kr>

풍속은 양중, 운반, 조립, 용접 등에 영향을 주며, 초고층의 건축물이 많아지면서 지표면에 부는 바람의 마찰이 작아져 고층부에서는 바람의 영향이 더욱 커진다(Lee et al., 2012). 풍속이 빨라지면서 자재가 날아감에 따라 ‘물체에 맞음’ 등의 위험을 초래할 수 있으며, 기후변화로 인하여 태풍 등의 기상재해가 증가할 수 있다(Shin, 2012). 또한 갑작스러운 돌풍으로 작업자의 무게중심에 영향을 주게 되면서, 신체적으로 균형 감각이 무뎠던 장년근로자에게는 ‘떨어짐’ 재해를 유발한다(Lee et al., 2015).

2.3 국내 연구동향 및 선행연구의 성과

옥외작업이 많고 인력의존적인 건설업의 특성상 기상요소는 근로자들에게 많은 영향을 준다(Lee, 2017). 직접적으로는 건설근로자들에게 혈압, 피로, 시야확보 불안정한 행동에 기인하고, 간접적으로는 건설장비와 작업공간의 근로환경의 작업패러미터를 방해하여 불안정한 상태를 기인하게 된다. 이는 하인리히의 도미노이론¹⁵⁾에서 사고와 재해의 연쇄반응을 일으키는 원인으로, 불안정한 상태·행동을 제어하면 재해로의 결과는 예방할 수 있다(Yang, 2016).

국내에서는 기상요소와 건설근로자와의 재해관계를 설명하는 연구가 일부 수행되었다. <Fig. 1>은 선행연구의 흐름과 개선사항을 통하여 연구의 동향을 파악하고 이 연구가 갖는 성과와 차별성을 확인할 수 있도록 표현하였다.

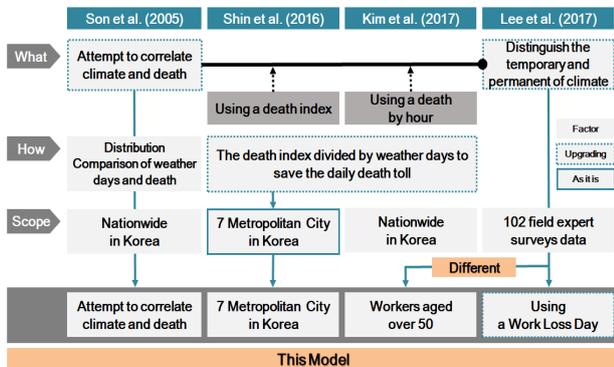


Fig. 1. Research background of study chart

손창백(2005)은 기상요소가 건설근로자들의 재해에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기후요소와 사망재해의 상관성을 위한 연구를 시도했다. 이를 위하여 우리나라의 지역별 기상일수통계를 산출하였으며, 전국의 사망건수와 기상일수의 분포를 통하여 기상과 재해의 관련성을 제시하였다.

신원상(2016)은 기상과 건설재해의 연관성을 보다 구체적으로 분석하기 위하여 국내의 7개 도시의 기상일수와 사망자수 통계를 기상청의 자료와 KOSHA의 자료를 취합하여 사망건수를 기상일수로 나누는 시도가 있었으며, 그 결

과 각각의 기상요소들의 위험범위를 산정하는 연구를 진행하였다.

김다인(2017)은 기상요소의 특성상 정제되어 있지 않으며 실시간으로 기상의 현황이 변화되기 때문에, 선행 연구들의 신뢰성을 높이기 위하여 일평균이 아닌 시간별로 건설현장의 사망재해를 분석하는 연구를 도입하였다.

이근형(2017)은 건설현장의 안전관리에 효과적으로 반영하기 위하여 기온, 강수, 강수, 풍속과 같이 일반적인 기후요소와 폭염, 폭설, 황사, 스모그 등 일시적인 기후요소로 나누어 활용하고 최근 변화하는 기후의 특성을 반영해야 한다고 주장하였다.

선행연구에서는 주로 사망자수를 이용하여 기상요소의 위험범위를 결정하였지만, 이는 전체재해를 대변하지는 못하는 한계점이 있다. 이 연구는 사망자, 부상 및 질병 요양자를 각각 근로손실일수로 환산하고 기상일수로 나누어 기상일수에 따른 기상요소별 근로손실일수를 산정하여 선행연구와 차별을 제시하였다.

3. 연구방법

3.1 연구 설계

이 연구는 최근 5년(2012년부터 2016년까지)의 건설업 장년근로자의 재해통계 데이터와 기온, 습도, 강수, 풍속의 지역별 기상데이터를 활용한다<Table 3>.

Table 3. The composition of Work Loss Day

Scope of data				
Age	Workers aged over 50 in construction			
Region	Seoul, Busan, Incheon, Daejeon, Daegu, Ulsan, Gwangju			
Factor	Temperature, Humidity, Precipitation, Wind Speed			
Year	2012 ~ 2016 (Recently 5 years)			
Date	Year	City	Days	Sum
Days	5	7	365(366)	12,789
Work Loss	Death	Injury	Impediment	Sum
Accidents	607	15,465	12,442	28,514
Days	4,552,500	5,410,312	6,039,384	16,002,196

(Unit : people, days)

재해통계 데이터는 KOSHA의 산업재해통계 분석에서 기록된 건설업의 사망자수와 사고 및 부상자수, 업무상 질병자수의 데이터를 추출하여 50세 이상의 장년근로자의 재해

15) 하인리히의 도미노 이론은 1931년 발간된 「산업재해 예방론」에 소개된 이론으로 3단계인 불안정한 행동 및 상태를 제거하면 연쇄적 작용을 차단하여 재해발생을 예방할 수 있다.

현황을 분석하는 것을 기초로 한다. 최근 5년간 7개 도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산)에서 발생한 건설업 장년근로자는 사망자수 607명, 부상 및 질병자수 15,465명, 신체장해자 12,442명이며, 총 재해자수 28,514명으로부터 발생한 근로손실일수 16,002,196일을 원천자료로 한다.

기상데이터는 기상청의 기후정보포털의 자료열람을 통하여 7개 도시의 최근 5년 기후 현황을 기초로 하였다. 2012년과 2016년의 2월이 29일인 것을 감안하면, 1개 도시의 5년 동안 일수는 1,827일로 7개 도시에서 관측된 일수는 총 12,789일로 집계된다. 이 연구에서 사용되는 기상요소의 측정값은 기상청에서 제공하는 종관기상관측장비(ASOS)로 측정되었다. 이 장비를 통하여 0.5m 높이의 강수량과 1.5m 높이의 기온 및 습도, 10m 높이의 풍속을 각 요소별 센서를 통하여 수치를 감지할 수 있다.

3.2 분석방법

전체 재해자수의 근로손실일수를 구하는 방법과 같다. 2012년부터 2016년까지의 KOSHA의 건설업 장년근로자의 재해통계를 지역별로 구분하고, 재해자수를 사망자수(Death)와 사고·부상자(Injury), 질병·요양자(Impediment)로 각각 구분하여 근로손실일수로 환산하는 작업을 진행한다. 수식(1)에서는 근로손실일수를 'WLD ; Work Loss Day'로 표기한다. 사망자수는 산업재해통계규정에 따라 사망재해 1건당 7,500일로 규정하며, 사고 부상자와 질병 요양자는 <Table 2>의 연도별 근로손실일수 평균을 해당년도의 재해건수에 곱하여 근로손실일수를 합산한다.

$$WLD_{TOT} = WLD_{DEA} + WLD_{INJ} + WLD_{IMP} \quad (1)$$

WLD_{TOT} : 총근로손실일수

WLD_{DEA} : 사망재해로 발생한 근로손실일수

WLD_{INJ} : 사고(부상)로 발생한

WLD_{IMP} : 질병(요양)으로 발생한 근로손실일수

기상요소별 기상일수를 파악하기 위하여 2012년부터 2016년까지 7개 도시에서 관측된 평균기온, 평균습도, 일평균강수량, 평균풍속을 각각 열람하였다. 구간의 폭을 먼저 산정하고 기상요소별 기상일수가 고르게 분포하도록 하였으며, 기상요소의 구간은 <Table 4>와 같다.

기온은 -12℃이하의 구간부터 34℃이상의 구간까지 물의 어는점 기준인 4℃를 기준으로 저온부 17개의 구간과 28개구간으로 총 45개의 구간 폭을 1℃단위로 결정하였다.

Table 4. Setting the interval by weather element

Weather Factor	Min	Max	Width	Number of Interval
Temperature (°C)	-12	34	1	45
Humidity (%)	26	100	2	38
Precipitation (mm)	0.1	512	$2^1 (x \leq 1.0)$ $2^{0.5} (x > 1.0)$	21
Wind Speed (m/s)	0.1	9.6	0.3	32

습도는 24%이상의 구간부터 100%미만의 구간까지 2%의 구간 폭으로 총 38개의 습도구간을 설정하였다. 강수는 국내의 강수형태를 고려하였을 때, 구간의 폭을 등차간격으로 설정하면 기상일수가 현저히 집중되는 구간이 발생하는 오류가 발생한다. 이러한 문제를 개선하기 위하여, 구간의 폭을 일정하게 결정하기 위하여 공비가 0.5인 2의 거듭제곱으로 구간을 등분하였다. 풍속은 0.1%이상의 구간에서부터 9.6% 이상의 구간까지 구간 폭 0.3%의 총 32개의 풍속구간으로 설정하였다.

$$\frac{WLD_{TOT}}{DAY_{weather}} = WLD_{DAY} \quad (2)$$

WLD_{TOT} : 기상범위에서 발생한 총근로손실일수

$DAY_{weather}$: 기상범위에 따른 기상일수

WLD_{IMP} : 기상범위에서 발생한 일일근로손실일수

각각의 기상요소가 기상범위에서 발생한 근로손실일수를 구하기 위해서는 식(2)과 같이 해당 기상범위에서 발생한 총 기상일수를 기상범위에 따른 기상일수로 나누는 것으로 구할 수 있다. 이를 통해 산출된 일일 근로손실일수는 특정한 기상현상이 발생한 경우 발생된 근로손실일수를 추정할 수 있는 수식으로 수치가 높으면 더 위험하다고 판단할 수 있는 정량적인 지표로 활용할 수 있다.

기상요소에 따른 구간별 근로손실일수를 파악하기 위하여 Scatter Plot Matrix 모델을 사용하였다. 이를 통해 기상요소간의 상관관계를 분석하고, 기상범위별 근로손실일수의 양상을 확인하고 이를 Spectrum으로 표현하여 근로손실일수가 높게 나타난 위험 기상범위를 산출한다.

기상요소들 간의 상관관계를 고려하여 Square Plot Matrix 모델을 활용하여 결합효과를 분석한다. 이를 통하여 두 요소가 하나의 Pixel로 구간을 형성하며, 구간에 따른 근로손실일수는 명암차를 통하여 표현한다. 즉, Pixel이 진할수록 일일 근로손실일수가 더 높다는 것을 의미한다.

이 연구에서 사용되는 Spectrum과 Pixel의 명암이 나타내는 근로손실일수는 <Fig. 2>와 같다.

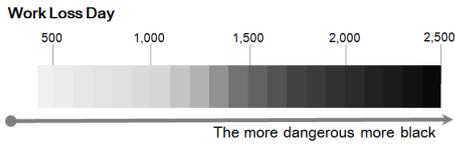


Fig. 2. Difference black and white by Work Loss Day

4. 분석결과

4.1 기상요소와 근로손실의 관계

기상요소와 근로손실의 관계는 <Fig. 3>과 같다. Matrix는 총 16개의 그래프로 구성하였고, 우변과 상변을 축으로 하여 각각의 관계가 산점도와 상관관계로 표현하였다. 우변과 상변의 요소가 같은 곳에서는 막대그래프로 기상요소와 근로손실일수의 관계를 표현하였으며, 좌변의 외축(y축)은 근로손실일수를 표현한다. 좌변의 내축(y축)과 하변(x축)은 기상요소별 수치를 표현한다. 상관관계 수치는 대칭에 위치하고 있는 그래프의 두요소간 회귀분석 결과로 발생한 상관계수($r^2 \leq 1$)를 나타내며, 수치가 1에 근접할수록 두 요소간의 관계가 밀접하다.

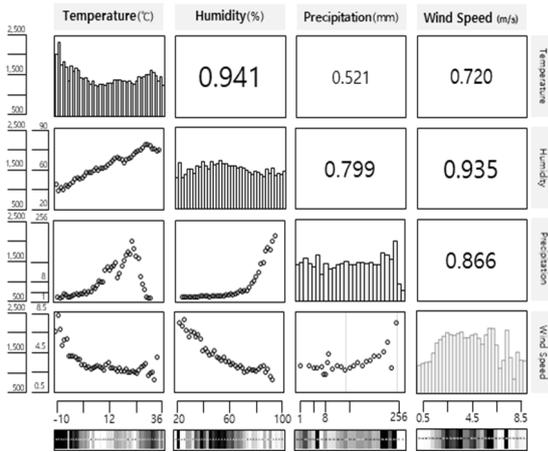


Fig. 3. Scatter plot matrix

이 연구에서 사용된 원천자료는 12,789일에 관측된 28,514명의 총 근로손실일수인 16,002,916일이다. 기상의 구간을 고려하지 않는다면, 일반적으로 하루에 발생하는 근로손실일수는 평균인 1,251일로 이보다 높으면 평소보다 위험하다는 것으로 간주할 수 있다. 각각의 요소를 분석하면 다음과 같다.



Fig. 4. Spectrum of Work Loss Day by Temperature

기온은 습도와 상관계수가 0.941로 다른 기상요소에 비해 가장 높게 나타났다(Fig. 4). 이는 기온이 높아지면 습도가 높아지는 양상으로 여름철 고온·다습하고 겨울철 저온·건조한 국내의 기후환경을 잘 대변한다. 강수와 관계는 상관계수 0.521로 수치상 낮게 측정되었지만 기온이 25℃이상의 기후에서 강수량이 현저히 낮아지고 25℃미만의 범위에서의 상관계수는 0.929로 상관성이 매우 높은 것으로 확인되었다. 풍속과의 관계는 상관계수 0.720으로 음의 상관관계가 형성되었다. 0℃이하와 22℃이상에서 평균보다 근로손실일수가 높게 나타났으며, 이를 통해 전반적으로 저온부가 고온부보다 더 높은 것으로 확인되었다. -12℃ ~ -11℃의 저온에서는 2,333일로 가장 높은 범위이며, 26℃ ~ 27℃의 고온부에서는 1,651일로 측정되었다.



Fig. 5. Spectrum of Work Loss Day by Humidity

습도는 강수와 풍속 모두 밀접한 관계가 있는 것으로 확인되었다(Fig. 5). 강수의 경우 습도 75%이상의 환경에서 강수량이 급격하게 증가한다. 이는 비가 오는 날 대기 중 수분이 많아져 습도가 증가하는 것으로 설명되어진다. 풍속은 습도가 높아지면 느려지는 반비례 관계로 상관계수 0.866으로 높게 나타났다. 이는 건조한 가을, 겨울철에 바람이 더 많이 부는 우리나라의 기후 특성을 잘 반영해 준다. 습도구간 32% ~ 72%의 범위에서 평균일수보다 높은 것으로 확인되었다. 기존의 선행연구들¹⁶⁾에서 10%이하, 70%이상의 범위에서 위험도가 높게 나타난 것과는 사뭇 다른 양상을 보인다. 이는 재해지수를 기상일수를 나누는 과정에서 습도범위의 구간 폭을 산정하는 작업이 충분히 논의되지 못한 상태에서 재해지수를 현저히 적은 기상일수로 나누면서 결과적으로 높게 나타난 것으로 판단된다. 이 연구모델에서 습도의 최고 근로손실일수의 구간으로는 55% ~ 57%에서 1,597일로 나타났으며, 55%를 기준으로 습도가 높거나 낮아지면 근로손실일수도 낮아지는 양상을 보인다.



Fig. 6. Spectrum of Work Loss Day by Precipitation

16) 이 연구에서 2,3 국내 연구동향 및 선행연구의 성과에 제시한 4개의 연구를 일컫는다.

강수는 풍속이 빨라지면 강수량도 많아지는 양의 상관관계를 갖는다(Fig. 6). 여름철의 집중호우와 태풍의 강우환경과 겨울철 폭설 등의 강설환경은 국내의 강수환경의 다양한 형태를 보여주는 예로, 강수량이 많은 날 풍속이 높은 것으로 확인된다. 기상일수 12,789일중 비가 온 날은 4,778일로 총 근로손실일수 6,871,203일이 발생하였으며, 평균은 1,438일로 측정되었다. 일일 근로손실일수의 평균이 1,251일임을 고려한다면 비가 온 날이 맑은 날보다 더 위험하다는 것을 알 수 있다. 강수로 인한 근로손실일수가 높게 나타난 날은 1mm이하에서는 0.5mm ~ 0.6mm구간이 1,625일을 기록하였으며, 1mm이상에서는 128mm ~ 181mm구간에서 1,980일을 기록하였다. 64mm ~ 181mm구간에서는 평균보다 높은 근로손실일수가 밀집되어 있으며, 그 이상의 범위에서는 급격히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 건설업의 특성상 비가 많이 오는 날 작업을 중지하거나 대기하는 경우로 인하여 작업자수가 급격히 줄어드는 이유로 설명할 수 있다.



Fig. 7. Spectrum of Work Loss Day by Wind Speed

풍속은 앞선 기온, 습도, 강수와 모두 상관관계가 높은 것으로 확인되었으며 그중 습도와의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다(Fig. 7). 평균보다 높은 풍속 범위로는 2% ~ 7%구간으로 확인되었다. 전반적으로 풍속이 빨라지면 근로손실일수도 증가하고, 그 이후의 범위에서는 점차 감소한다. 최대치는 6.2% ~ 6.7%의 범위로 근로손실일수가 1,694일을 기록하고 있으며, 이는 보퍼트의 풍력 계급표상¹⁷⁾ 4등급(건들바람)의 해당하는 수치로 먼지가 일고, 해면의 파도가 많이 생기는 힘을 갖는다.

Table 5. Regression result

x_n	Factor	Regression Function	Range	r^2
1	Temperature (°C)	$y_1 = 1429.549 - 46.266x_1$	$x \leq 4$	0.826
		$y_1 = 1255.823 + 8.321x_1$	$x > 4$	0.677
2	Humidity (%)	$y_2 = 1172.06 + 6.923x_2$	$x \leq 55$	0.605
		$y_2 = 1766 - 4.84x_2$	$x > 55$	0.791
3	Precipitation (mm)	$y_3 = 1419.38$	$x = 0$	1.000
		$y_3 = 1541.421 - 244.663x_3$	$x \leq 10$	0.483
		$y_3 = 1405.435 + 1.797(\log x_3)$	$x > 10$	0.818
4	Wind Speed (m/s)	$y_4 = 1189.78 + 79.072x_4$	$x \leq 6.6$	0.567
		$y_4 = 2407.861 - 149.914x_4$	$x > 6.6$	0.463

기상요소와 근로손실일수의 상관관계를 보다 구체적으로 설명하기 위하여 회귀분석을 통하여 각 요소들의 회귀식과 상관계수를 산정하였다. 회귀식의 결과는 (Table 5)와 같고, 변곡점을 중심으로 구간을 설정하여 진행하였다. 기온은 4°C를 기준으로 저온부와 고온부를 각각 구분하였으며, 그 결과 저온이 고온보다 상관성이 더 높은 것으로 나타났다. 습도는 55%를 기준으로 건조 상태와 습윤 상태로 구분하였으며, 습윤한 상태가 건조한 상태보다 상관성이 더 높은 것으로 나타났다. 강수는 맑은 날과 비가 온 날로 구분하였으며, 강수환경이 10mm를 기준으로 적은 강수환경과 많은 강수환경으로 구분하였다. 그 결과 강수량이 많아질수록 근로손실일수가 증가하는 상관관계가 높은 것으로 판정되었으며, 10mm이하의 범위에서는 큰 상관성이 없는 것으로 귀결되었다. 풍속은 6.6%를 기준으로 저속과 고속구간으로 구분하였으며, 앞선 기상요소들과는 달리 큰 상관성이 없는 것으로 확인되었다.

4.2 기상요소간 결합효과

앞서 '4.1 기상요소와 근로손실의 관계'에서 각각의 기상요소들과 근로손실의 관계를 설명하였지만, 기상요소들 간의 연관성이 매우 밀접하여 하나의 요소만으로 그 관계를 설명하는 데는 다소 무리가 있다. 따라서 이 연구에서는 두요소간의 상관관계를 고려하여, Square Plot Matrix를 통하여 두요소의 범위에 따른 근로손실일수를 산정하여 비교하였다. 연구의 결과는 (Fig. 8)과 같다.

기온·습도와 근로손실일수의 관계는 저온의 건조한 환경과 고온의 평범한 습도 환경에 높은 수치가 분포되어있다. 특히 -8°C ~ -6°C의 저온과 39% ~ 41%의 건조한 부근에서는 최대 근로손실일수인 6,789일이 기록되었다. 반면 고온의 다습한 환경에서 근로손실일수가 높을 것이라는 기대와는 달리 실제로는 낮은 것으로 분석되었다. 이는 대부분의 건설현장에서 고온의 환경에서는 애당초 작업을 하지 않는 경우가 대부분으로 기상일수에 비하여 작업자의 재해자수가 적은 것이 요인으로 판단된다.

기온·강수와 근로손실일수의 관계는 기온과 강수의 상관관계가 (Fig. 3)에서 이미 낮은 것으로 나타났다. 따라서 두요소와 근로손실일수의 관련성을 찾기는 어려운 것으로 보인다. 다만, 고온부에 집중되어 있는 근로손실은 강수량에 관계없이 높은 것으로 나타났다. 이는 앞서 저온부의 근로손실일수가 고온보다 더 높다는 결과와는 반대로 비가 많이 오는 여름철의 기준으로 재해건수가 집계되면서 얻어진 것으로 사료

17) 관측되는 사실로부터 추정된 풍속에 대한 풍력계급으로 1805년 영국의 프랜시스 보퍼트가 제안하여, 현재 육상과 해상의 풍력계급을 나타냄. 이때 풍속의 측정은 지상 10m의 높이를 기준으로 하며 현재 12개의 등급으로 구분. 지구과학사전, 북스힐(2009)

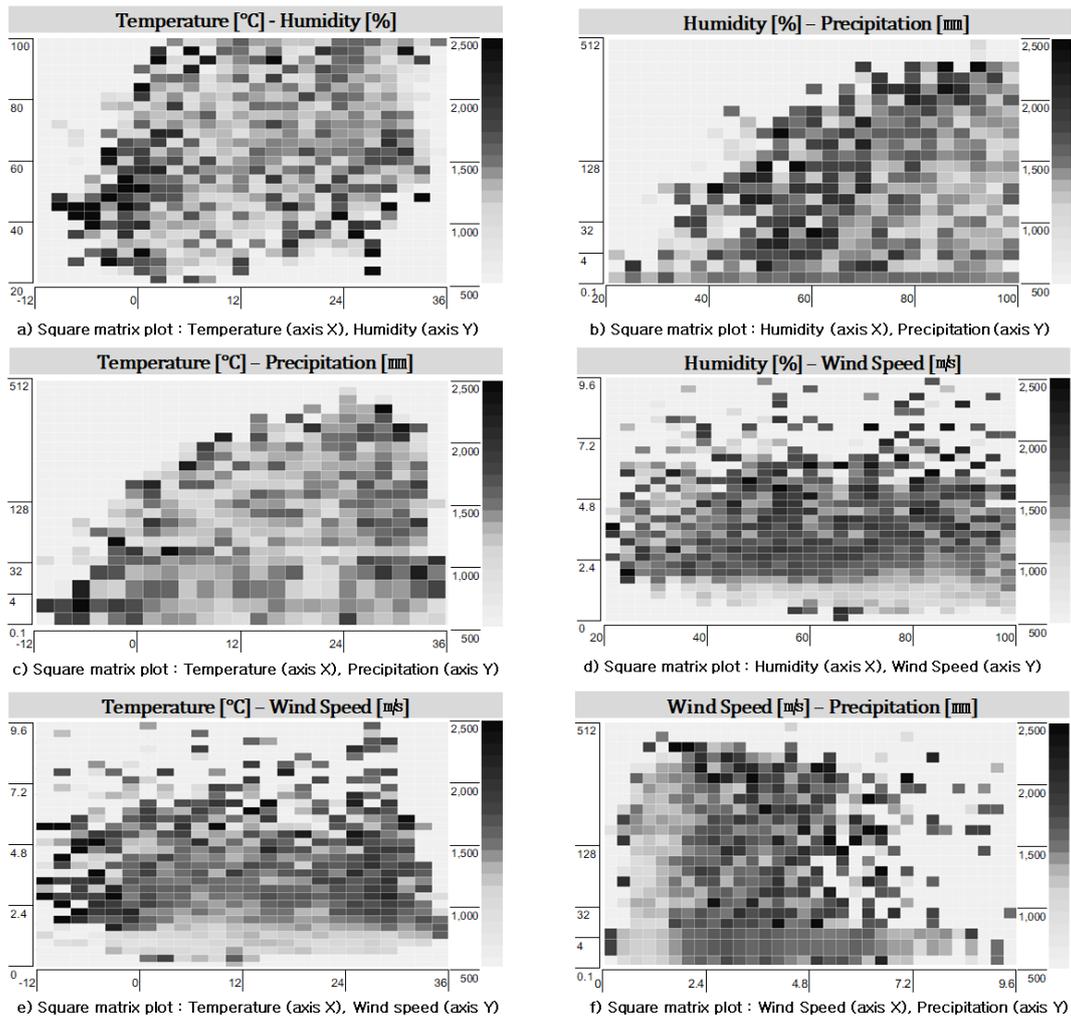


Fig. 8. The combined effect on Work Loss Day

된다. 근로손실일수가 가장 높게 나타난 범위로는 기온 24℃ ~ 26℃, 강수량 128 ~ 180mm의 구간으로 3,324일을 기록하였으며, 저온부인 -6℃ ~ -4℃, 강수량 1mm ~ 1.4mm구간에서도 3,293일로 높게 나타났다.

기온 · 풍속과 근로손실일수의 관계는 저온부와 고온부에 집중적으로 근로손실일수가 분포되어 있는 것으로 확인할 수 있고, 풍속의 범위가 1.8%이상에서부터 근로손실일수가 높게 나타난다. 또한 6.5% 이상에서는 근로손실일수가 산발적으로 분포한다. 근로손실일수가 가장 높게 나타난 기상범위로는 기온 13℃ ~ 15℃, 풍속 6% ~ 6.3%의 구간에서 3,665일로 기록되었다. 근로손실일수가 3,000일 이상의 높은 범위는 영하권의 온도범위에서 대부분 집중되어 있다. 이는 체감 온도가 높은 겨울철 저온의 강풍환경에서 작업자들이 매우 위험한 환경에 노출되어 있음을 보여준다.

습도 · 강수와 근로손실일수의 관계는 습도 50%, 강수 10mm를 기준으로 습도가 높아지고, 강수량이 높아지면 근로손실일수도 함께 증가하며, 높은 근로손실일수도 집중적으로

분포하는 것을 확인할 수 있다. 이는 습도와 강수의 상관관계가 매우 높은 점과 관련하여, 근로손실의 분포 역시 두 요소의 상관관계에 영향을 받는 것으로 판단된다. 최대 근로손실일수가 발생한 범위는 43% ~ 47%의 습도와 2.8mm ~ 4.0mm의 강수환경으로 3,581일을 기록하였다. 이어서 습도 52% ~ 55%, 강수 5.7mm ~ 8.0mm의 구간에서 3,321일을 기록하였으며, 습도가 증가하고 강수량이 증가할수록 근로손실일수도 높은 것으로 확인되었다.

습도 · 풍속과 근로손실일수의 관계는 기온 · 풍속의 경우와 마찬가지로 풍속의 범위 1.8%이하의 경우에는 큰 영향력이 없는 것으로 확인되었다. 습도를 기준으로 크게 집중되어 있는 구간은 없는 것으로 나타났으며, 풍속 6.5%이상의 구간에서 근로손실일수가 산발적으로 분포하였다. 근로손실일수가 가장 높게 나타난 기상범위로는 습도 19% ~ 22%의 건조하고, 풍속 3.6% ~ 3.9%의 미풍의 구간으로 4,369일을 기록하였다.

Table 6. Risk range based on weather factors

Category	Rank	Range		Work Loss Day	
		Factor 1	Factor 2	Day	Day / 7,500 ¹⁸⁾ [%]
a) Temperature (°C) – Humidity (%)	1	$-8 \leq x_1 < -6$	$39 \leq x_2 < 41$	6,789	90.5
	2	$-8 \leq x_1 < -6$	$41 \leq x_2 < 43$	5,537	73.8
	3	$24 \leq x_1 < 26$	$28 \leq x_2 < 30$	3,540	47.2
b) Temperature (°C) – Precipitation (mm)	1	$24 \leq x_1 < 26$	$128 \leq x_3 < 181$	3,324	44.3
	2	$-6 \leq x_1 < -4$	$1 \leq x_3 < 1.4$	3,293	44.0
	3	$0 \leq x_1 < 2$	$0.7 \leq x_3 < 1.0$	2,853	38.0
c) Temperature (°C) – Wind Speed (m/s)	1	$13 \leq x_1 < 15$	$6 \leq x_4 < 6.3$	3,665	48.9
	2	$-9 \leq x_1 < -7$	$4.5 \leq x_4 < 4.8$	3,428	45.7
	3	$-11 \leq x_1 < -9$	$2.4 \leq x_4 < 2.7$	3,180	42.4
d) Humidity (%) – Precipitation (mm)	1	$43 \leq x_2 < 47$	$2.8 \leq x_3 < 4.0$	3,581	47.7
	2	$52 \leq x_2 < 55$	$5.7 \leq x_3 < 8.0$	3,321	44.3
	3	$85 \leq x_2 < 88$	$128 \leq x_3 < 181$	3,108	41.4
e) Humidity (%) – Wind Speed (m/s)	1	$19 \leq x_2 < 22$	$3.6 \leq x_4 < 3.9$	4,369	58.3
	2	$46 \leq x_2 < 49$	$5.4 \leq x_4 < 5.7$	3,153	42.0
	3	$70 \leq x_2 < 73$	$7.5 \leq x_4 < 7.8$	3,108	41.4
f) Wind Speed (m/s) – Precipitation (mm)	1	$6.0 \leq x_4 < 6.3$	$22.6 \leq x_3 < 32$	3,665	48.9
	2	$5.4 \leq x_4 < 5.7$	$4.0 \leq x_3 < 5.7$	3,391	45.2
	3	$0.9 \leq x_4 < 1.2$	$128 \leq x_3 < 181$	3,108	41.4

강수·풍속과 근로손실일수의 관계는 뚜렷한 연관성은 없고, 두 요소 모두 산발적인 분포를 보이고 있다. 풍속 1.8% 이하의 저속에서는 근로손실일수가 강수에 상관없이 낮게 나타났으며, 풍속과는 상관없이 전반적인 강수환경에서 근로손실일수의 분포가 고르게 기록되었다. 최대 근로손실일수가 발생한 범위로는 강수량 22.6mm ~ 32mm, 풍속 6.0% ~ 6.3%의 구간으로 3,665일을 기록하였으며, 이어서 강수량 4.0mm ~ 5.7mm, 풍속 5.4% ~ 5.7%의 구간에서 3,391일을 기록하였다. 근로손실일수가 많은 3,000일 이상의 경우 대부분은 강풍의 환경에 분포되어 있다.

기상요소간의 결합효과를 통하여 근로손실일수와의 관계를 보다 면밀히 살펴보았다. 기온과 습도는 근로손실일수가 가장 높게 나타난 주요 요인으로, 건조하고 추운 겨울철의 대기 상태는 근로손실일수에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

기온과 강수는 눈에 띄는 연관성을 찾아보긴 어렵지만, 대체로 고온의 강수환경에서는 상당히 위험한 것으로 확인된다. 습도와 강수는 습도 55%, 강수 1.8mm를 기준으로 양의 상관관계를 형성하였다. 풍속이 관여된 결합효과와 경우 1.8% 이하의 저속의 구간에서는 기온, 습도, 강수 모두 뚜렷한 위험범위를 보이지 않으며, 기온은 양 극단의 온도에서 집중되어 분포되어 있는 반면 습도와 강수는 고르게 분포되어 있는 것으로 확인되었다. <Table 6>은 결합효과로 인하여 발생한 근로손실일수가 가장 높게 나타난 3개의 구간을 각각의 요소간의 조합에서 선정하였다.

5. 논의 및 제언

전 지구적인 기후변화는 국내 기상환경에도 큰 영향을 미친다. 기상환경은 점점 예측하기 어려워지고 나쁜 환경에서는 근로자들의 재해를 유발할 수 있기 때문에 옥외작업이 많은 건설현장에서는 기상환경을 고려한 작업진행이 불가피하다. 기상정보를 활용하여 안전관리와 재해감소를 위한 연구가 일부 시도되었지만 실무상으로 활용하기에는 현장 적용성이 많이 떨어져 명확한 기준으로 사용되지 못했다.

선행연구들은 대부분 사망자수와 기상환경의 상관성을 분석하였지만 전체 재해자를 대변하지 못하였고 기상요소들의 특성을 제대로 고려하지 않은 채 구간을 설정한 것은 한계점으로 지적된다. 또한 여러 재해지표를 통하여 위험도를 분석하였지만 설문조사 등에 의한 정성평가로 이루어져 일반화시키기에 부족하다. 반면 근로손실일수는 공인된 지표로서 가치가 있다.

<Table 7>은 기상요소와 건설근로자 재해의 상관성을 분석한 연구들과 이 연구의 결과를 비교한 것이다. 선행 연구들과의 차별성은 크게 3가지로 기상일수의 구간 폭을 고려하여 결정한 것, 근로손실을 통하여 전체 재해를 대변한 것, 재해자들의 집단이 50세 이상의 장년근로자인 것이라는 점이다.

18) 사망재해로 인한 근로손실일수인 7,500일로 나눠준 비율로 기상일수 일일에 발생할 수 있는 사망재해 가능성을 표시.

Table 7. Risk range from previous study

Category	Temp. (°C)	Humi. (%)	Prec. (mm)	Wind. (m/s)
Son et al. (2005) (Rate of Death)	24 ~ 26 (13.3%)	70 ~ 75 (15.9%)	0 ~ 2 (41.7%)	1 ~ 2 (41.6%)
Shin et al. (2016) (Deaths/days)	32 ~ 34 (0.227)	15 ~ 20 (0.875)	3 ~ 3.5 (0.283)	9 ~ 10 (0.333)
Kim et al. (2017) (Deaths/days)	32 ~ 34 (0.230)	0 ~ 10 (0.130)	10 ~ 12 (0.070)	9 ~ 10 (0.450)
This Mode (Work Loss Day)	-12 ~ -11 (2,333)	55 ~ 57 (1,597)	128 ~ 181 (1,980)	6.2 ~ 6.7 (1,694)

분석결과 선행연구들과 차이가 있다. 기온은 기존연구들에 서는 고온(32°C ~ 34°C)에서 사망비율이 높고 위험한 것으로 나타났다. 근로손실일수는 저온(-12°C ~ -10°C)에서 더 높게 나타났다. 이는 대부분의 건설현장이 폭염 등의 고온 환경에서 실외 작업을 많이 하지 않기 때문에 근로자의 재해발생도 작기 때문인 것으로 판단된다.

습도는 양 극단의 상태인 매우 건조하거나 습윤한 상태에서 사망비율이 높은 것으로 기존에 연구되었지만, 이 연구에서는 55% ~ 60% 부근의 습도환경이 근로손실일수가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 전체재해를 다루면서 기상일수가 많은 날들에서 빈번하게 발생했던 작은 사고, 질병들이 포함됨에 따른 것으로 생각된다.

강수는 기존 연구들 사이에 공통된 위험범위를 도출하지 못하였다. 이는 국내 강수량의 분포형태를 고려하지 못하여 발생한 착오로 판단된다. 전반적으로 강수량이 증가하면 근로손실일수도 증가하는 것으로 나타났으며, 기온과 마찬가지로 비가 많이 오는 날들은 실제적으로 옥외작업을 진행하지 않는 경우가 많아 일정 강수량 이상이 근로손실일수가 현저히 줄어드는 것으로 판단된다.

풍속은 9% ~ 10%에서 기상일수 대비 사망자수가 높아 위험범위로 제안되었지만, 이 연구에서는 상대적으로 낮은 풍속으로 기록되었다. 이는 기상일수를 구간의 폭으로 산정하는 과정에서 기상일수가 충분하지 못하여 적은 사망건수에도 지수가 높게 치솟는 것에 따른 것으로 판단된다. 또한 국내의 평균풍속이 5.0%인 것을 감안한다면, 기존 연구에서 제안한 수치는 특수한 경우에만 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

건설업 근로자들에게 위험을 미치는 기상요소의 범위를 산정하는데 있어서 다음과 같은 내용을 고려할 필요가 있다.

첫째, 근로손실일수를 사용하여 위험도를 정량적으로 평가할 필요가 있다. 근로손실일수는 ILO나 KOSHA등 국내에서 인정하는 재해 지표로서 전체 재해를 아우를 수 있다.

둘째, 기상과 재해의 인과관계를 설명하기 위해서는 기상요소가 재해발생의 기인이 된 사건만을 자료로 하여 분석할 필요가 있다. 이는 이 연구의 한계점으로 기상과 재해

의 상관관계를 설명할 수 있지만, 재해의 기인이 기상 아닌 사건도 포함될 수 있기 때문이다.

6. 결론

이 연구는 기상요소가 건설업 장년근로자에게 미치는 영향을 근로손실일수를 통한 위험정도로 분석하기 위하여 시도되었다. 2012년 1월 1일부터 2016년 12월 31일까지 7개 도시에서 발생한 16,002,196일의 장년근로자 근로손실일수와 12,789일의 기상일수를 수집하고 분석하였으며, 결과는 다음과 같다.

기온은 매우 춥거나 매우 더운 온도에서 근로손실일수가 높게 나타났으며, 고온보다 저온에서 더 크게 나타났다. 습도는 강수와의 관련성이 매우 높으며 55% ~ 60% 범위에서 가장 위험한 것으로 확인되었다. 강수는 국내 강수량의 분포를 고려하여 구간의 폭을 지수단위로 산정하였으며 비가 온 날이 맑은 날보다 근로손실일수가 더 많은 것으로 나타났다. 풍속은 10m 높이에서 측정된 단위시간당 바람의 양으로, 풍속이 빨라지면 근로손실일수도 많아지는 양의 상관관계를 갖는 것으로 파악되었다.

회귀분석을 통하여 기상요소들의 회귀식을 산정하였으며, 상관계수를 통하여 요소간의 상관성이 매우 밀접하다는 것을 확인하였다. 기상요소가 근로손실에 미치는 영향을 하나의 기상요소가 아닌 기상요소들 간의 결합효과를 통하여 그 관계를 분석하는 방법으로 연구를 진행하였다.

결합효과에서 근로손실일수가 높게 나타난 주요 위험범위는 다음과 같다. 기온 -8°C ~ -6°C의 저온과 습도 39% ~ 43%의 건조한 환경, 기온 24°C ~ 26°C의 고온과 강수 128mm ~ 181mm의 비가 많이 오는 환경, 기온 13°C ~ 15°C의 다소 선선한 온도에서 풍속 6% ~ 6.3%의 빠른 날, 습도 43% ~ 47%의 습한 환경과 강수 2.8mm ~ 4.0mm의 비가 적은 환경, 습도 19% ~ 22%의 건조하고 풍속 3.6% ~ 3.9%의 미풍의 구간, 강수 22.6mm ~ 32mm의 비가 오는 날 풍속 6.0% ~ 6.3% 강풍구간에서 근로손실일수가 크게 나타났다.

향후 연구과제하는 경우와 지역적 범위를 전국으로 확대하여 데이터를 충분히 확보하고, 기상이 건설재해에 미치는 영향을 사례분석을 통하여 규명한다면 연구결과의 신뢰도를 제고할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 2017년도 인천대학교 교내학술연구비 지원에 의한 연구결과의 일부임.

References

- Ahn, H. S. (2006). "The Quantitative Assessment of Occupational Accident Reduction by the Injury Ratio Survey Regulations." *Journal of the KOSOS*, 21(3), pp. 59-66.
- Jang, M. H., and Yoon, Y. S. (2008). "A Method of Using-time Weather Information to Manage Construction Schedule." *Architectural Institute of Korea*, 24(9), pp. 123-130.
- Kim, D. I., and Lee, C. S. (2017). "An Analysis of Fatal Accident in Construction Field for Hourly Weather Condition." *Korea Construction Engineering and Management*, pp. 89-92.
- Kim, H. J. (2012). "A Study on the Relationship between Construction Site Disaster and Rainfall." Dissertation of master degree in Gyeongbuk National University.
- Lee, G. H., You, S. G., Shin, W. S., and Son, C. B. (2017). "An Analysis Safety Management Level in Construction Site for Climate Change and Its Improvement Plan." *Architectural Institute of Korea*, 37(2), pp. 851-852.
- Lee, H. S., Cho, S. J., Park, M. S., Hwang, S. J., and Kim, H. S. (2012). "A Study of the Work Efficiency in the High Altitude according to Climate Elements." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 13(3), pp. 67-77.
- Lee, K. H., Shin, W. S., and Son, C. B. (2017). "An Analysis of Safety Accident Severity and Management Plan for Construction Workers." *The Korea Institute of Building Construction*, 17(1), pp. 187-188.
- Lee, K. H., and Son, C. B. (2015). "Construction Analysis of Deaths due to Precipitation in the form of Construction Site." *The Korea Institute of Building Construction*, 17(1), pp. 206-207.
- Lee, M. Y., Oh, S. W., and Lim, S. J. (2016). "A Study of Improvement on Accident Rate Index of Construction Industry." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 17(5), pp. 108-119.
- Park, J. K., Jung, W. S., and Kim, E. B. (2008). "A Study on the Influence of Extreme Heat on Daily Mortality." *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, KOSAE, 24(5), pp. 523-537.
- Shin, M. G. (2012). "A Study of Prevention of against Construction Safety Accidents due to Climate Change." Dissertation of master degree in Incheon National Technology University.
- Shin, W. S., Lim, G. J., and Son, C. B. (2016). "An Analysis of Fatal Accident in Construction Field for Climate Factor and its Management Plan." *The Korea Institute of Building Construction*, 16(1), pp. 70-71.
- Smith, P., and Brouha, L. (1972). "The Role of Humidity in the Evaluation of the Stress Imposed on Men Working in Hot Environments." New York, Reinhold.
- Son, C. B., and Kim, S. C. (2005). "A Study on the Influence of Climate Factors on Construction Accidents." *Journal of the Korean Society of Safety*, 20(2), pp. 91-97.
- Yang, H. S. (2016). "The Hindrance Factors of Worker's Safety Awareness - Focused on the Workers of Construction Site." Dissertation of master degree in Myunggi University.
- You, S. G., Shin W. S., and Son, C. B. (2017). "Association Analysis Between Fatal Accident and Discomfort Index in Construction Industry." *The Korea Institute of Building Construction*, 17(1), pp. 39-40.

요약 : 인구의 고령화와 고용시장의 둔화로 인하여 건설업의 인력구조는 장년근로자가 큰 비중을 차지한다. 또한 옥외작업이 많은 건설업의 특성상 기상은 근로자들에게 재해를 유발하는 요인으로 장년층에게는 일반인에 비하여 보다 민감하게 영향을 미친다. 이 연구는 기상요소가 건설업 장년근로자들에게 미치는 위험정도를 근로손실일수를 통하여 분석하는 데에 목적이 있다. 이를 위해 2012년부터 2016년까지의 7개 도시에서 발생한 28,514명의 장년근로자 재해자수를 12,789일의 기상일수로 나누어 기상요소별 근로손실일수를 산출하였다. 그 결과 기상요소별로는 기온 -12℃ ~ -10℃, 습도 55% ~ 65%, 강수 128mm ~ 181mm, 풍속 6.0% ~ 6.3%에서 근로손실일수가 가장 높은 것으로 확인되었다. 기상요소들 간의 결합효과로는 기온 -8℃ ~ -6℃일 때 습도 39% ~ 41%, 기온 24℃ ~ 26℃일 때 강수 128mm ~ 181mm, 기온 13℃ ~ 15℃ 일 때 풍속 6% ~ 6.3%, 습도 43% ~ 47%일 때 강수 2.8mm ~ 4mm, 습도 19% ~ 22%일 때 풍속 3.6% ~ 3.9%, 강수 22.6mm ~ 32mm일 때 풍속 6.0% ~ 6.3%에서 근로손실일수가 매우 높은 것으로 확인되었다. 따라서 이 연구는 기상요소가 장년근로자의 근로손실일수에 미치는 영향을 고려하여 작업장에서 장년근로자들의 효율적인 안전관리와 쾌적한 작업환경을 위한 기초자료로서의 활용되기를 기대한다.

키워드 : 근로손실일수, 기상요소, 장년근로자, 안전관리, 건설업, 위험관리