

숲가꾸기사업 유형별 산림작업부하지수 추정을 위한 사례연구

박성민¹ · 권형근² · 최성민^{1*}

¹산림기술연구원, ²한국농수산대학교 산림학과

A Case Study on the Estimation of Forest Work Load Index in the Type of Forest Tending Operation

Sung-Min Park¹, Hyeong-keun Kweon² and Sung-Min Choi^{1*}

¹Korea Forest Engineer Institute, Daejeon 35209, Korea

²Department of Forestry, Korea National University of Agriculture and Fishery, Jeonju 54874, Korea

요약: 본 연구에서는 산림작업자의 작업강도를 비교하기 위한 산림작업부하지수(Forest Work Load Index, FWLI) 개발을 위해 숲가꾸기사업을 대상으로 산림작업부하지수 추정 연구를 실시하였다. FWLI는 근골격계 부담 분석방법 중 하나인 OWAS (Ovako Working Posture Analysis System)와 작업강도 분석방법 중 하나인 WLI (Work Load Index)를 이용하여 추정하는 방법을 개발하였다. OWAS는 작업자의 근골격계 부담 분석에 사용되는 대표적인 방법론이며, WLI는 작업자의 작업강도 분석에 사용되는 주요 방법이다. OWAS 기법을 통해 산출되는 사업종별 PRI값은 185.3(큰나무가꾸기), 150.6(가지치기), 181.1(산불예방숲가꾸기), 197.0(어린나무가꾸기)으로 분석되었으며, 측정된 심박수를 이용하여 산출되는 WLI값은 사업종별로 59.5%(큰나무가꾸기), 53.5%(가지치기), 56.2%(산불예방숲가꾸기), 62.3%(어린나무가꾸기)로 분석되었다. FWLI는 분석된 PRI와 WLI의 값을 이용하여 계산하였으며, 숲가꾸기 사업이 수행된 사업종별 FWLI값은 110.2(큰나무가꾸기), 80.7(가지치기), 102.1(산불예방숲가꾸기), 123.0(어린나무가꾸기)으로 분석되었다. FWLI를 활용할 경우 세부공종부터 사업의 종류까지 다양하게 산림작업자의 작업부하를 정량적으로 비교할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구목적에 따라 FWLI 분석의 범위(특정 작업, 작업자들의 역할, 특정 공정, 사업의 종류 등)를 정하여 작업자들에게 가해지는 부하를 측정해 작업자세의 개선 우선순위, 공종별 작업부하 비교, 사업종간 작업부하 비교를 통해 노임의 계상 및 품셈 등에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

Abstract: To develop the Forest Work Load Index (FWLI) for estimating the work intensity of forest workers, a study focused on forest tending was conducted. To estimate the FWLI, we used the Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) and the Work Load Index (WLI). The OWAS is a prominent method used for analyzing musculoskeletal load in work tasks, and WLI is a prominent method used for analyzing the work intensity of workers. The PRI values analyzed for each forest tending project were 185.3 (Thinning), 150.6 (Pruning), 181.1 (Thinning for Forest Fire Prevention), and 197.0 (Thinning for Young Trees). The WLI values, calculated on the basis of the measured heart rates, were 59.5% (Thinning), 53.5% (Pruning), 56.2% (Thinning for Forest Fire Prevention), and 62.3% (Thinning for Young Trees). The FWLI was calculated using the analyzed PRI and WLI values. The FWLI values for the forest tending project were 110.2 (Thinning), 80.7 (Pruning), 102.1 (Thinning for Forest Fire Prevention), and 123.0 (Thinning for Young Trees). The FWLI developed in this study can be used to quantitatively compare the workloads of forest workers. In the future, the analyzed FWLI can be used as a basis for improving forest workers' postures and comparing workloads across different forest projects.

Key words: forest operation, musculoskeletal disorders, work load index(wli), postural risk index(pri), forest work load index(fwli)

* Corresponding author
E-mail: goodday@kfei.kr

ORCID
Sung-Min Choi  <https://orcid.org/0000-0001-8605-7072>

서론

현대 사회는 과학기술의 발전에 힘입어 많은 산업분야가 자동화되어 가고 있지만, 산림작업은 급경사지에서 입목 등의 장애물의 영향을 받으며, 중량물인 목재를 대상으로 행하여지는 육체적 중근노동의 형태를 가지고 있다 (Lee and Park, 2001). 우리나라는 산림의 대부분이 지형적으로 경사와 굴곡이 심해 작업이 매우 어렵고 많은 위험을 수반하고 있는 것으로 나타났으며(Kang, 2001), 산림작업(Forest operation)은 일관되지 않은 작업환경(날씨, 지형), 여름철 야외 고온 장시간 노출, 작업에 이용되는 기계 및 장비의 오작동·소음·배출가스, 미흡한 교육훈련 체계 등의 원인으로 산업재해(occupational accident)에 상당히 취약한 것으로 보고되고 있다(Klun and Medved, 2007; Justavino et al., 2015; NIOSH, 2020).

우리나라 전체 산업에서 인력작업 의존도가 높은 산업의 근로자들은 요통, 수근관증후군, 건염, 경추자세증후군 등 다양한 근골격계질환을 겪고 있는 것으로 나타났으며, 이러한 질환을 일으키는 자세에 작업자들이 장시간 노출될 경우 작업자들의 안전에도 큰 영향을 미치고 있는 것으로 보고되었다(Im et al., 2011). 무리한 힘의 사용과 부적절한 작업자세로 장기간 반복적인 동작이 이루어질 경우 근골격계 질환이 유발되며, 작업자의 근육, 신경, 힘줄, 인대, 관절 등의 조직이 손상되어 작업자에게는 심각한 육체적 손상을 일으킬 뿐만 아니라 산업적 측면에서도 산재보험 요율 증가와 작업 생산성의 저하로 이어진다(Lee et al., 2003; Im et al., 2011).

국내에서는 올바른 작업자세를 통한 상해발생 예방 및 체력 저하로 인한 주의력 감소로 야기되는 휴먼에러(Human Error) 예방을 위하여 Lee and Park(2001)이 OWAS 분석기법을 이용하여 체인톱을 이용한 간벌작업, 체인톱을 이용한 피해목 벌채작업, 손톱을 이용한 임내정리작업에 대한 작업자세 분석을 수행하였다. 또한, 풀베기와 칩덩굴제거 작업원의 작업강도 및 근골격계 질환을 저감하는 기초자료로 활용하고자 Lee et al.(2020)은 숲가꾸기를 위한 풀베기와 칩덩굴제거작업의 근골격계 부담분석이 연구되었다. 한편, 인체공학적으로 생리적 지표를 이용해 작업강도를 분석한 연구를 살펴보면 Park and Kang(1996)은 우리나라 간벌림 벌채작업에서 맥박수 측정을 통한 요소작업별 작업강도를 분석한 사례가 있는 것으로 나타났다.

이와 같이, 연구가 선행되었음에도 불구하고 타 분야 산업과 비교 시 작업자에 대한 근골격계 및 작업강도에 대한 연구는 부족한 실정이며, 이는 국내의 상황에 국한되지 않는다. 미국 임업 근로자에 대해서도 연구가 미진하여 미국

내 임업근로자의 WMSDs¹⁾ (Work-related Musculoskeletal disorders, 작업관련 근골격계 질환) 유병률에 대한 정보도 제한적인 것으로 나타났다. 이로 인해 임업 근로자의 생체역학적 위험 요소(전신진동, 정적인 자세, 반복적인 움직임, 척추 안정성 및 작업 시간)를 줄이고 위험 요소 간의 상호 작용을 고려하기 위한 향후 연구가 필요한 것으로 제안되었다(Jack and Oliver, 2008). 미국의 국립산업안전보건연구원인 NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health, 2018)에 따르면 관련된 치명적 사고와 비치명적 사고의 위험을 더 잘 식별하고, 정량화하기 위해 모니터링을 통한 미국의 산업재해 감시 기능의 긴급한 확장이 필요하다고 언급하고 있다. 또한, ‘현재 임업 종사자를 위한 안전 및 보건 연구에는 공백이 존재하기 때문에 임업작업자의 안전 위험을 특성화하고 기계 관련 부상을 방지하기 위한 직접 판독 방법 및 센서를 개발하기 위한 기초 연구를 즉각적인 연구에 포함하도록 해야한다(NIOSH, 2018).’라고 강조하고 있다.

폴란드의 벌목작업자를 대상으로 한 연구에서 작업 관련 근골격계 질환 증상의 유병률은 94%로 나타났으며, 가장 많이 발생하는 증상은 허리(66%), 손/손목(50%), 등 상부(46%)로 확인되었다(Grzywiński et al., 2016). 스웨덴에서는 총 3,600명의 전기톱 작업자의 근골격계 문제에 관한 연구가 수행되었고(Ponte'n, 1988), 브라질에서 267명의 산림작업자를 대상으로 인체공학적인 접근 방식에서의 작업자 건강에 대한 연구가 수행되었다(Chęta et al., 2018). 그러나, 국내에서는 극히 소규모의 인원에 대한 연구만이 이루어진 상황이며, 작업자에 관한 인체공학적인 데이터의 축적 또한 공백이 이루어지고 있는 것으로 생각된다.

산림사업과 유사하게 야외 작업을 실시하고, 작업강도가 높은 건설사업의 경우 건설작업자들의 질환의 실태조사와 개선대책(Oh, 2008), 해외과건 건설근로작업자의 업무상 재해에 대한 안전관리 및 보상체계의 현황과 개선방향에 관한 연구(Kim, 2014), 건설업 근로자의 작업자세를 고려한 작업복과 3차원 어깨보호대 개발(Eom, 2019), 건설 근로작업자 안전의식 향상을 위한 기초안전 보건교육 강화 방안(Lee, 2020) 등 안전과 관련된 연구가 활발히 진행되었다. 본 연구의 주제와 유사한 작업자의 안전 및 보건에 관한 연구동향을 살펴보고자 한국산림과학회지를 기준으로 연구동향을 살펴본 결과(2023년 4월 기준) ‘산림

1) WMSDs: 산업구조, 사회환경 변화로 작업과 관련하여 최근 급증하는 직업병으로 근육, 건, 신경 등에 일어나는 통증을 동반한 질환들을 총칭한다. 작업활동이 반복적, 지속적, 부자연스러운 작업 자세에서 발생하고 작업 중 또는 휴식 시에도 통증을 동반한다. 질병의 예로는 수근관증후군, 건염 등이 있다.

작업자'라는 키워드와 연관된 학술논문은 2건, '산림작업 강도'와 관련된 학술논문은 3건, '산림작업안전'이라는 키워드와 연관된 학술논문은 5건으로 적게 나타났으며, '산림작업비용'이라는 키워드를 이용하여 검색한 결과 22건 이상의 관련 논문이 확인되었다. 이를 미루어 보아 산림분야에서는 작업자 안전과 관련된 연구보다는 산림작업의 공중개선 및 생산성 향상과 관련된 연구가 주로 이루어지고 있으며, 산림작업자의 노동강도 및 안전에 대한 연구가 부족한 것으로 판단된다.

결과적으로, 지난 수십 년간의 기술 및 작업의 발전에도 불구하고 임업 분야에서 작업자의 작업 조건 개선에 대한 인체공학의 기여는 여전히 미미하다고 볼 수 있다 (Anderson, 2012). 가장 고강도의 노동 중 하나로 구분되는 산림작업을 수행하는 작업자는 현재 근골격계 질환에 무분별하게 노출된 상황으로 보여지며, 특히 작업자의 연령이 고령화되고 있으므로 산림분야 보건대책의 마련이 시급한 것으로 판단된다. 대부분의 연구결과에서 산림 내에서 이루어지는 노동이 중노동으로 확인되어 작업에 대한 개선의 필요성이 제시되었을 뿐 어떠한 산림사업의 개선이 우선적으로 요구되는지 비교하여 제시한 연구는 찾아보기 어렵다. 선행된 연구에서는 작업자세 혹은 심박수를 이용한 작업강도 분석이 독립적으로 수행되었다. 그러나 본 연구에서는 작업자의 작업강도와 작업자세의 위험도를 동시에 측정하여 작업자의 신체에 가중되는 부담을 복합적으로 비교하고자 한다.

본 연구에서는 우리나라 산림사업의 대표 사업종이라 할 수 있는 숲가꾸기 사업의 세부 유형인 큰나무가꾸기, 어린나무가꾸기, 산불예방숲가꾸기, 가지치기를 대상으로 산림작업자에게 가해지는 작업부하를 추정하는 방법을 개발하고자 하였다. 산림작업부하를 추정하기 위해 본

연구에서 개발된 방법론을 이용하여 산림작업자에게 가해지는 작업부하를 정량적으로 추정하고 비교할 수 있으며, 이를 통해 산림작업자 중심의 작업방식 개선의 우선순위 선정에 활용하는 것에 본 연구의 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 재료

1) 조사 대상지 및 일반현황

체인톱(MS 230 C-BE, ANDREAS STIHL AG&Co, GERMANY)을 이용한 큰나무가꾸기, 어린나무가꾸기, 산불예방숲가꾸기 사업과 지타기를 이용한 가지치기 사업의 작업자세와 심박수를 조사하기 위하여 충청남도 계룡시 두마면 임암리 산 61(어린나무가꾸기), 경상남도 함양군 서하면 다곡리 산 62-9(큰나무가꾸기), 충청북도 옥천군 사정리 산 12-1(산불예방숲가꾸기), 충청남도 금산군 부리면 현내리 산 49(큰나무가꾸기)에 위치한 인공조림지를 조사 대상으로 선정하였다. 한편, 지타기를 이용한 가지치기 작업조사 대상지는 충청남도 금산군 남이면 역평리 산 13을 대상으로 조사하여, 총 5개소를 대상으로 조사를 실시하였다. 숲가꾸기사업은 여러 종류의 사업종이 존재하므로 사업종별 작업자에게 가중되는 부담의 차이를 확인하기 위하여 4개의 대표 사업종(큰나무가꾸기, 어린나무가꾸기, 산불예방숲가꾸기, 가지치기)을 대상으로 측정을 실시하였다. 조사 대상지에 대한 일반현황은 Table 1과 같으며, 사업종, 작업자 수, 임상, 밀도, 경급, 영급, 경사도를 명시하였다. 숲가꾸기사업은 유사한 시기에 수행되는 시기성 사업으로 유사한 기온에서 작업이 수행되었으며, 경사도는 대부분 20~30도로 급경사지와 험준지이다 (Table 1, Figure 1).

Table 1. Characteristics of study sites.

Site number	Location	Silvicultural system	Number of workers	Forest type	Density	DBH(cm)	Age class	Slope (°)
Site 1	Hyeonnae-ri, Buri-myeon, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do, Republic of Korea	Thinning	4	Mixed forest	High	10 - 16	III	30-35
Site 2	Dagok-ri, Seoha-myeon, Hamyang-gun, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea	Thinning	3	Coniferous forest	High	18 - 30	V	20-25
Site 3	Yeokpyeong-ri, Nami-myeon, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do, Republic of Korea	Pruning	4	Coniferous forest	Middle	18 - 32	IV	25-30
Site 4	Sajeong-ri, Gunseo-myeon, Okcheon-gun, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea	Prevention forest fire thinning	3	Broadleave forest	High	12 - 22	IV	25-30
Site 5	Ibam-ri, Duma-myeon, Gyeryong-si, Chungcheongnam-do, Republic of Korea	Thinning for young tree	3	Mixed forest	High	6 - 10	II	20-25

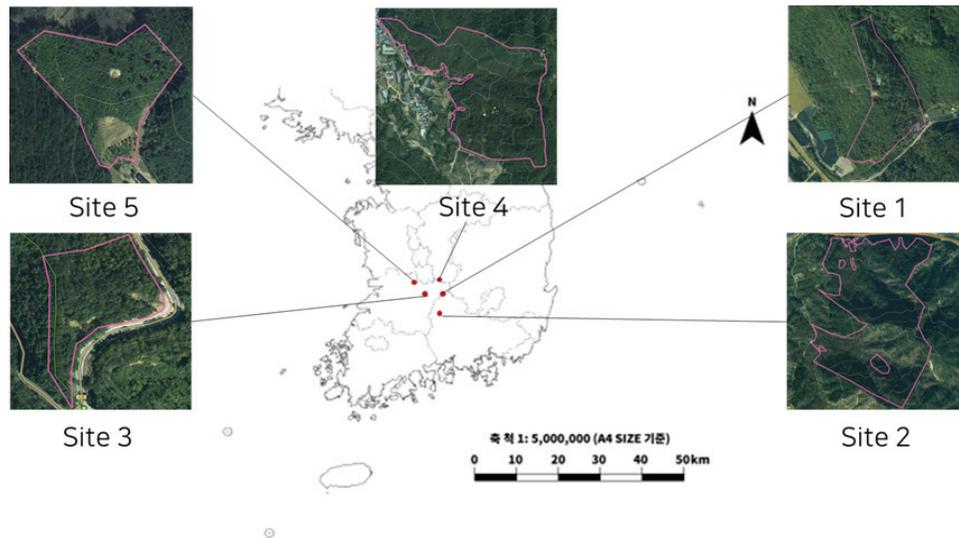


Figure 1. Location of study sites.

2) 피험자

본 조사는 산림사업의 근골격계 부담 위험성 및 심박수를 측정하기 위하여 나라장터에서 공고된 사업에 입찰된 업체의 작업자들을 대상으로 실제 산림사업 현장에서 실시되었으며, 작업원은 총 17명을 대상으로 하였다. 이 연구에 참여한 모든 작업자들에게 사용될 방법론과 목표를 이해할 수 있도록 충분한 사전설명을 하였으며, 연구를 위한 데이터 수집에 관한 동의를 얻고 조사를 진행하였다.

산림작업 고용 노동의 연령별 비율을 살펴보면 2018년 기준 50~59세가 50%, 60~69세가 37%로 높게 나타나고 있기 때문에(KOSIS, 2020), 작업원의 선정은 유사한 연령대에서 선정하였다. 정확한 측정을 위하여 근골격계 질환 혹은 심혈관계 질환과 관련된 과거 병력 및 사고력이 있는 조사자는 제외하였으며, 표준작업자세를 대상으로 조사를 수행하기 위하여 작업원들의 작업경력은 대부분 10년 이상인 경력자를 대상으로 조사를 실시하였다(Table 2).

Table 2. Characteristics of forest workers.

Operation	Height (cm)	Weight (kg)	Age	Underlying disease	Work experience (Year)	
Site1	Worker1	176	83	69	N	Over 20
	Worker2	170	63	58	N	Over 10
	Worker3	174	58	60	N	10
	Worker4	163	58	62	N	10
Site2	Worker5	171	62	61	N	10
	Worker6	168	68	61	N	15
	Worker7	165	56	67	N	15
Site3	Worker8	177	81	66	N	10
	Worker9	171	66	52	N	10
	Worker10	174	84	58	N	10
	Worker11	169	61	48	N	10
Site4	Worker12	174	58	64	N	Over 20
	Worker13	171	68	57	N	Over 20
	Worker14	167	70	72	N	Over 20
Site5	Worker15	174	65	58	N	Over 20
	Worker16	182	81	47	N	10
	Worker17	165	56	55	N	10

2. 연구방법

서론에서 언급한 바와 같이, 선행연구에서는 주로 근골격계 부담 분석 또는 심박수를 이용한 작업강도 중 각 하나의 방법만을 선정하여 분석하고 제시하였다. 그러나, 본 연구에서는 이를 동시에 측정하여 작업자의 신체에 가중되는 근골격계 부담과 작업강도의 복합적 추정을 하고자 근골격계 부담분석과 작업강도를 산림작업부하지수의 구성인자로 선정하여 연구를 진행하였다.

본 연구에서의 산림작업부하지수 정의는 ‘근골격계 부담분석과 심박수를 통한 작업강도를 기반으로 산림작업자의 작업강도를 추정할 수 있는 지수’라 하고자 한다. 해당하는 두 가지 구성인자를 선정한 이유는 작업자에게 가중되는 부담을 파악하기 위해 생리적인 부담과 작업자세에 따른 근골격계의 부담을 함께 고려하여 복합적으로 추정하기 위함이다. 산림작업부하지수의 구성 인자인 근골격계 부담 위험도 측정과 심박수를 통한 작업강도지수의 경우 선행연구에서는 결과 값을 모두 제시하거나 중간값을 기준으로 표기하였다. 선행연구에서는 측정대상이 1~6명 수준으로 결과 값을 모두 제시하거나 중간값을 기준으로 제시하더라도 비교가 가능하였으나, 본 연구의 측정대상은 17명으로 해당 방법을 이용할 경우 비교가 어려우므로 평균값을 기준으로 비교·분석을 실시하였다(Table 3, Figure 2).

1) 작업자세 평가방법의 선정

근골격계에 부담을 주는 자세를 평가하기 위하여 다양한 방법들이 개발되어 이용되고 있다. 다양한 작업에 대하여 작업자세 평가 기법 신뢰도 비교가 이루어지고 있으며, 공통적으로 가장 많이 비교되는 평가방법은 *OWAS*, *RULA*, *REBA*이다. 가장 많이 활용된 *REBA* (Rapid Entire Body Assessment)는 근골격계질환과 관련한 위해인자에

대한 개인작업자의 노출 정도를 평가하기 위하여 개발된 기법이다(Hignett and McAtamney, 2000). 간호사 등과 같이 예측하기 힘든 다양한 자세에서 이루어지는 서비스업에서의 전체적인 신체에 대한 부담정도과 위해인자의 노출을 분석하는 것에는 적합하나, 쪼그려앉기, 한무릎꿇기 등 다양한 하지자세에 대한 분석이 요구되는 산림작업에 적용되기에는 한계가 있다. 또한, *RULA* (Rapid Upper Limb Assessment)는 어깨, 팔목, 손목, 목 등 상지(Upper Limb)에 초점을 맞추어서 작업자세로 인한 작업부하를 쉽고 빠르게 평가하기 위하여 영국의 노팅험대학에서 개발된 기법이다(McAtamney and Corlett, 1993). 그러나 *RULA*는 상지분석에 초점을 두고 있어 장시간 보행과 경사로 인하여 무릎의 구부림이 수반되는 산림작업의 작업자세 분석에는 제약이 있다. 한편, *OWAS* (Ovako Working Posture Analysis System)기법은 철강업에서 부적절한 작업자세를 정의하고 평가하기 위해 핀란드의 철강회사인 Ovako사와 FIOH (Finnish Institute of Occupational Health)가 1977년에 개발한 방법이다(Karhu et al., 1977). 전신의 자세를 대상으로 하여 철강분야 뿐만 아니라 제조업, 농업, 어업, 임업 등 다양한 업종에 적용하기에 유리하며, 작업대상물의 무게를 분석요인에 포함할 수 있다. 분석결과가 구체적이지 못하고, 세밀한 분석이 어려운 단점이 있으나, 허리, 상지, 하지, 하중을 모두 평가할 수 있으며 현장성이 강하여 본 연구에서는 *OWAS* 기법을 활용하여 작업자세 평가를 실시하였다.

① 작업자세 측정을 위한 스틸컷 추출 방법

체인톱을 이용한 어린나무가꾸기, 큰나무가꾸기, 산불 예방숲가꾸기 작업과 지타기를 이용한 가지치기 작업에 대한 작업자세의 측정은 2022년 10~11월에 수행하였다. 경사지와 험준지에서 주로 작업이 이루어지는 산림사업의

Table 3. Notation of Pilot experiments.

Thesis subject	Investigation category	Number of people	Notation
Studies on the relation between Net Working Time and Recess Periods from Pulse Frequency in Thinning operations of Japense Larch(Kang, 2000)	Heart rate	1	Overall Value
A study on Work Load of Tree Felling Work Using Maximal Oxygen Uptake and Heart Rate(Park, 1996)	Heart rate	4	Average
Analysis of Working Posture Using <i>OWAS</i> in Forest Work(Lee and Park, 2001)	Heart rate and Action category	2	Overall Value
Heart rate strain of forest-workers in weeding(Mun et al., 2014)	Heart rate	4	Median
Postural Risk Assessment of Weed and Kudzu Removal Operations(Lee et al., 2020)	Action category	6	Median

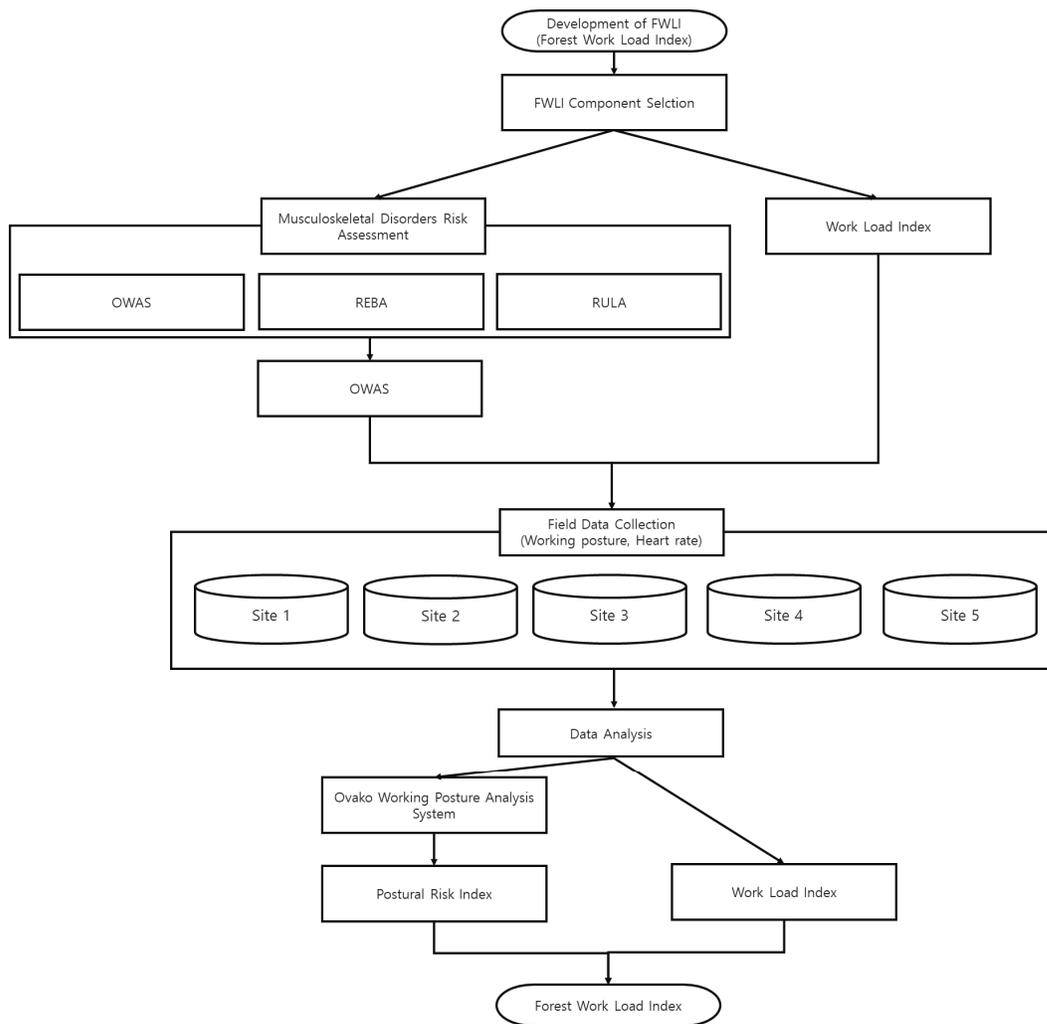


Figure 2. Research Flow Diagram.

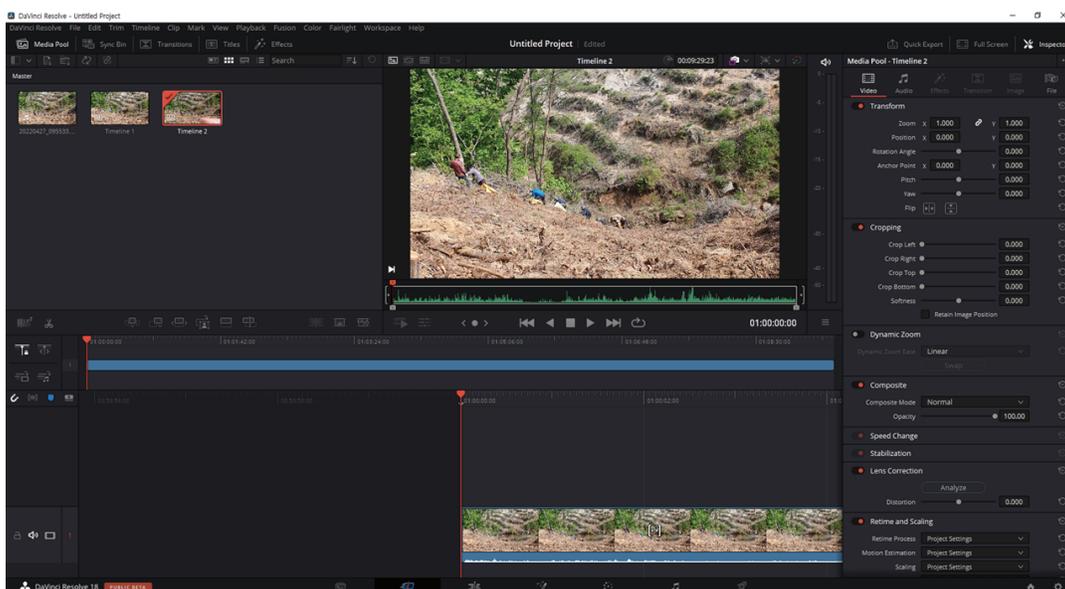


Figure 3. Still cut extraction using Davinci Resolve 18.



Figure 4. Still cut of working posture by operations.

Table 4. Number of forest work image samples.

Operation	Number of image samples	
Site1	Worker1	432
	Worker2	323
	Worker3	281
	Worker4	298
Site2	Worker5	268
	Worker6	270
	Worker7	241
Site3	Worker8	198
	Worker9	158
	Worker10	474
	Worker11	343
Site4	Worker12	218
	Worker13	158
	Worker14	155
Site5	Worker15	147
	Worker16	204
	Worker17	210

특성으로 인하여 현장에서 작업자세의 기록이 어려우므로 작업자 촬영을 실시 후 촬영된 동영상을 대상으로 작업자세를 분석하였다. 특히 촬영된 영상을 이용하여 작업자세를 구분하는 경우, 여러 명의 연구자와 토론을 통해 작업자세를 구분할 수 있어 계통오차(systematic error)를 최소화 할 수 있는 장점이 있다(Lee and Park, 2001). 동영상 촬영은 조사대상지의 지형을 고려하여 휴대가 용이한 삼성전자 갤럭시노트10 플러스 트리플후면 카메라를 (Galaxy Note 10+, Samsung, Korea) 이용하였다. 1일 작업량을 기준으로 촬영된 동영상을 Black magic design사의 동영상 편집 소프트웨어인 Davinci Resolve 18을 활용하여 10초 간격으로 이미지 데이터를 추출하여 작업원의 작업자세를 분석하였다(Figure 3, 4).

이 방법을 통하여 숲가꾸기사업 산림작업자 17명의 스틸컷 이미지를 총 4,378장 추출하여, 분석에 활용하였다 (Table 4).

② 근골격계 위험도 평가를 위한 PRI 산정 방법
 작업자세의 형태는 OWAS 연구 방법론을 기반으로 하여, Figure 5와 같이 구분하였다.

Body	Posture			
<p>Back</p>	 Straight	 Bent forward, backward	 Twisted or bent sideways	 Twisted and bent sideways
<p>Arms</p>	 Both arms are below shoulder level	 One arm is at or above shoulder level	 Twisted or bent sideways	
<p>Legs</p>	 Sitting	 Standing with both legs straight	 Standing with the weight on one straight leg	 Standing or squatting with both knees bent
<p>Load/use of force</p>	 Weight of force needed is less than 10kg	 Weight or force needed is exceeds 10kg but less than 20kg	 Weight or force needed is exceeds 20kg	

Figure 5. Working posture of OWAS.

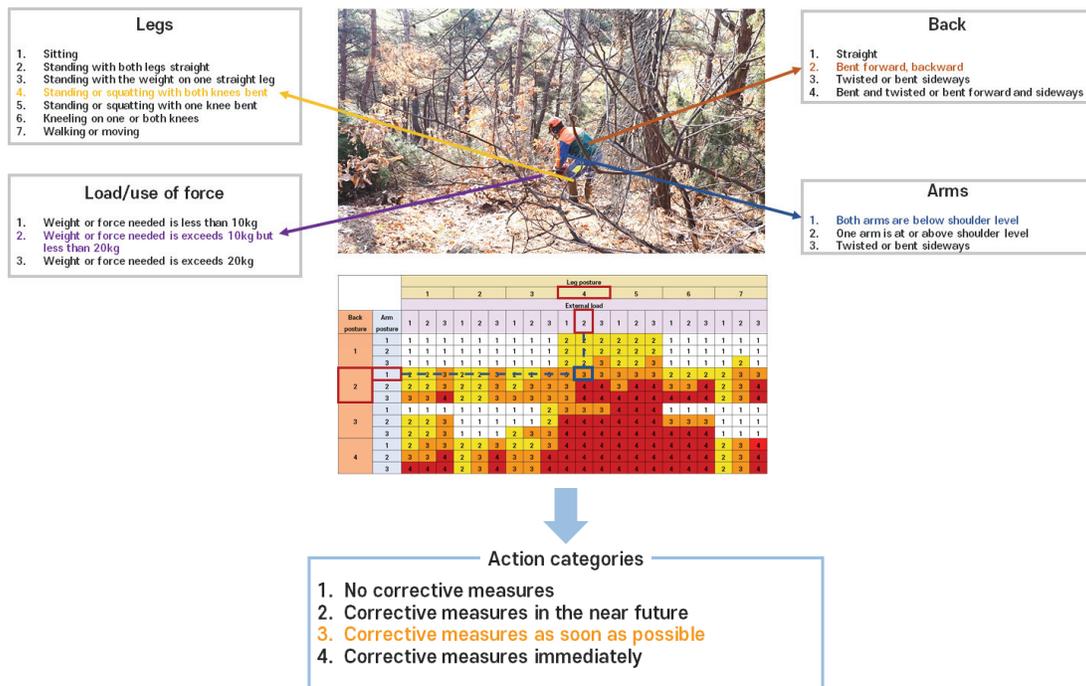


Figure 6. The concept of OWAS(Ovako Working Posture Analysis System).

Figure 5에서 제시된 자세를 기준으로 스틸컷 이미지의 작업자세를 허리, 상지, 하지, 하중 4가지 분류에서 일치하는 작업코드를 조합하여 근골격계 부담 수준을 나타내는 Action category 수준을 1~4단계로 구분하였다(Figure 5, 6; Spinelli et al., 2018).

- Action category 1: 근골격계에 특별한 해를 끼치지 않음 (작업자세에 아무런 조치도 필요치 않음)
- Action category 2: 근골격계에 약간의 해를 끼침(가까운 시일 내에 작업자세의 교정이 필요함)
- Action category 3: 근골격계에 직접적인 해를 끼침 (가능한 빨리 작업자세를 교정해야 함)
- Action category 4: 근골격계에 매우 심각한 해를 끼침 (즉각적인 작업자세의 교정이 필요함)

OWAS 분석방법은 전체 작업자세에서 AC1-AC4가 어느 정도의 빈도를 차지하고 있는지 비율만을 제시할 뿐 해당 작업을 구체적인 수치로 나타내지 못한다. 이에 Calvo(2009)가 입업의 근골격계 질환 위험의 분석방법을 제안하기 위해 사례연구에서 제시한 PRI (Postural Risk Index)를 사용하여 산림작업부하지수에 대입하고자 구체적인 수치로 전환하였다.

PRI는 작업방법에 따라 발생되는 AC의 비율을 지수화하는 방법이며, PRI의 값은 100(AC 1이 100% 인 경우)~400(AC4가 100%인 경우)의 범위값을 가지며, 100인 경우 ‘작업자세의 위험도가 낮다’, 400인 경우 ‘작업자세의 위험도가 높다’는 것을 의미한다. PRI값을 산출하는 아래의

공식에서 나타나는 a, b, c, d는 전체 AC값 중 AC 1-4가 차지하는 비율(%)이며, AC 1-4는 각 값에 부여되는 점수이다.

$$PRI = (AC1 \times a) + (AC2 \times b) + (AC3 \times c) + (AC4 \times d) \quad (1)$$

2) 심박수를 활용한 작업강도지수(Work Load Index) 작업강도를 측정하기 위하여 산림작업자의 심박수를 측정하였다. 심박수의 측정은 기존에는 흉부에 착용하는 장비를 사용하였으나, 장비착용에 따른 작업자의 불편호소 및 흘러내림 등으로 인한 측정오류를 최소화하기 위하여 상완에 착용하여 측정이 가능한 Polar사의 Polar Verity Heart Rate Sensor를 이용하였다. 작업심박수는(HRW)는 휴식시간을 포함한 전체 작업시간의 심박수를 평균한 값이며, 안정심박수(HRR)는 긴장을 풀고 완전히 안정된 상태에서의 심박수이다(Mun et al., 2014). 안정심박수(HRR)의 측정은 기상 직후 침대에서 측정하는 것이 정확하나, 조사의 한계점으로 인하여 작업이 시작되기 전 집결지에서 연구에 관한 설명을 실시하는 30분간 안정을 취한 후 10분간 측정된 심박수 중 최저심박수를 적용하였다(Figure 7).

심박수증가율은 작업심박수(HRW: Heart Rate Working, 이하 HRW)와 안정심박수(HRR: Heart Rate Resting, 이하 HRR)의 비율을 이용하여 분석한다(식 2). 최대심박수(HRM: Heart Rate Max, 이하 HRM)는 심박수가 작업강도에 따라 증가하다가 더 이상 증가하지 않고 일정 심박수에

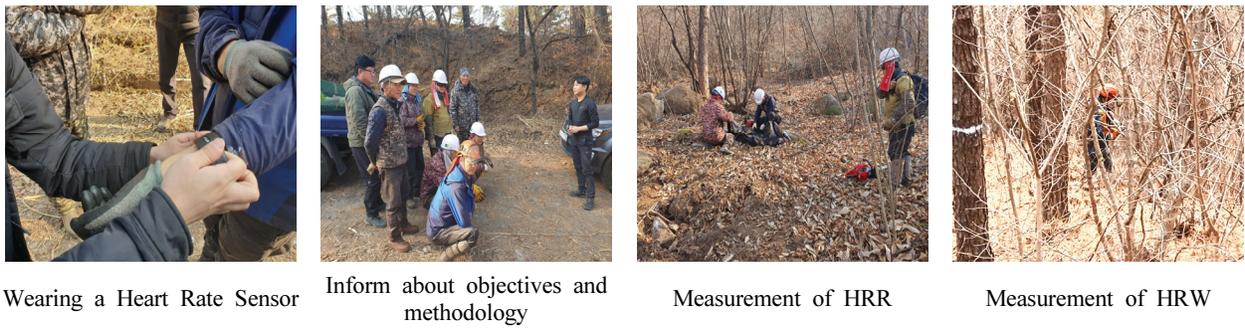


Figure 7. Measurement process of heart rate during the operations

머무는 최대한계의 도달을 말한다(식 3). 작업강도(WLI, %: Work Load Index, 이하 WLI)의 분석(식 4)은 서로 다른 작업원의 심박수를 비교하기 위하여 최대심박수, 작업심박수 및 안정심박수를 이용하여 지수화하여 작업강도를 분석하였다.

$$IHR = \frac{HRW - HRR}{HRR} \times 100 \quad (2)$$

$$HRM = 220 - Age \quad (3)$$

$$WLI(\%) = \frac{HRW - HRR}{HRM - HRR} \times 100 \quad (4)$$

3) 산림작업자 산림작업부하지수(Forest Work Load Index)

산림작업부하지수(FWLI)는 실제 산림사업현장 작업자들의 생리적인 부담과 근골격계에 가중되는 부담을 동시에 측정하고, 데이터의 수집이 누구나 손쉽게 가능하도록 하여 향후 산림사업 작업자에게 가중되는 부담에 관한 데이터의 축적이 원활하게 이루어질 수 있도록 고려해 본 연구에서 새로이 개발한 개념이다.

본 연구를 통해 추정하고자 하는 산림작업자 산림작업부하지수(FWLI)는 근골격계 위험 평가에서 OWAS 분석을 통해 산출된 PRI와 심박수 측정을 통해 산출된 작업강도지수(WLI)를 이용하여 산출하였다. 작업방법에 따라 발생하는 AC의 비율을 PRI로 지수화시켜 산출한 100~400 사이의 값과 최대심박수, 작업심박수 및 안정심박수를 이용하여 지수화하여 산출된 작업강도지수를 곱하여 산림작업자 산림작업부하지수를 산출하는 식을 정의하였다(식 5).

$$FWLI = PRI \times WLI \quad (5)$$

결과 및 고찰

1. 숲가꾸기 사업종별 작업원의 자세 분석

체인톱을 이용한 Site 1(큰나무가꾸기)의 자세를 분류한 결과, 허리의 경우 곧게 편 자세와 굽힌 자세의 비율이 각각 전체 작업자세의 58.7±9.7%, 33.4±5.9%로 높게 나타났으며, 큰나무가꾸기는 숲아베기 작업을 실시하기 때문에 허리를 비트는 자세의 비율이 낮은 것으로 추정된다. 팔의 경우 양팔을 어깨 밑으로 내린 작업자세가 83.4±10.3%로 나타났으며, 다리의 경우 두 다리로 선 자세가 25.7±6.9%, 양 다리를 굽힌 자세가 12.4±2.9%, 이동이 30.8±8.3%로 나타났다. 작업자에게 가중되는 하중은 체인톱, 엔진오일, 연료, 식수 등을 포함하여 10~20 kg인 것으로 확인되었다(Table 5). 체인톱을 이용한 Site 2(큰나무가꾸기)의 자세를 분류한 결과, 허리의 경우 곧게 편 자세와 굽힌 자세의 비율이 각각 전체 작업자세의 71.2±8.9%, 25.9±7.3%로 Site 1과 같이 높게 나타났으며, 팔의 경우 양팔을 어깨 밑으로 내린 작업자세가 82.0±4.3%로 나타났다. 다리의 경우 두 다리로 선 자세가 39.0±10.0%, 한 다리를 굽힌 자세가 36.1±8.7%, 이동이 20.4±3.5%로 나타났으며, 작업자에게 가중되는 하중은 체인톱, 엔진오일, 연료, 식수 등을 포함하여 10~20 kg인 것으로 확인되었다. 큰나무가꾸기 작업자세의 비율은 작업원이 배낭을 메고 체인톱을 양손으로 잡고 제거목으로 이동하여 허리를 숙여 벌도작업을 실시하기 때문으로 판단된다(Table 6).

고지톱을 이용한 Site 3(가지치기)의 자세를 분류한 결과, 허리의 경우 곧게 편 자세의 비율이 전체 작업자세의 85.8±4.0%로 높게 나타났으며, 가지치기는 대부분 허리를 편 채 팔을 움직여 작업을 실시하기에 이러한 결과가 나타난 것으로 보인다. 팔의 경우 작업자마다 작업자세의 비율이 상이하게 나타났는데, 이는 작업자들이 분업을 실시하여 각각 다른 높이의 가지들을 작업하기 때문으로 추정된다. 다리의 경우 두 다리로 서있는 자세가 38.9±7.6, 한

Table 5. Percent breakdown of observations among different body parts by thinning operation(Site 1).

	CODE	Worker 1(%)	Worker 2(%)	Worker 3(%)	Worker 4(%)
Back posture	1	56.7	68.4	58.7	49.0
	2	36.8	27.6	34.9	39.3
	3	4.6	2.8	3.6	5.7
	4	1.9	1.2	2.8	6.0
Arm posture	1	73.1	81.7	85.4	93.6
	2	15.0	14.6	12.1	4.4
	3	11.8	3.7	2.5	2.0
Leg posture	1	0.2	-	1.8	1.7
	2	18.8	32.5	21.0	27.9
	3	0.4	-	0.4	0.3
	4	15.3	9.6	10.0	14.1
	5	25.0	27.9	29.9	33.6
	6	1.2	0.9	-	-
	7	39.1	29.1	37.0	22.5
External load	1	-	-	-	-
	2	100.0	100.0	100.0	100.0
	3	-	-	-	-

Table 6. Percent breakdown of observations among different body part by thinning operation(Site 2).

	CODE	Worker 5(%)	Worker 6(%)	Worker 7(%)
Back posture	1	62.3	73.3	80.1
	2	33.2	22.2	18.7
	3	2.2	-	-
	4	2.2	4.4	1.2
Arm posture	1	82.8	77.8	86.3
	2	14.2	17.0	12.4
	3	3.0	5.2	1.2
Leg posture	1	-	-	0.8
	2	29.1	37.8	49.0
	3	-	-	-
	4	2.2	2.2	2.9
	5	44.8	42.2	27.4
	6	-	0.7	-
	7	23.9	17.0	19.9
External load	1	-	-	-
	2	100.0	100.0	100.0
	3	-	-	-

다리를 굽힌 자세가 $27.5 \pm 4.3\%$ 로 나타났으며, 작업자에게 가중되는 하중은 고지톱, 식수 등을 포함하여 10~20 kg인 것으로 확인되었다. 이러한 작업자세의 비율은 작업원이 양손으로 고지톱을 쥐고 허리를 세운 채 위쪽을 바라보고 작업을 실시하는 특성 때문으로 판단된다(Table 7).

체인톱을 이용한 Site 4(산불예방숲가꾸기)의 자세를 분류한 결과, 허리의 경우 곧게 편 자세와 굽힌 자세의 비율이 각각 전체 작업자세의 $73.1 \pm 8.5\%$, $17.0 \pm 4.3\%$ 로 높게 나타났으며, 팔의 경우 양팔을 어깨 밑으로 내린 작업자세가 $74.7 \pm 2.4\%$ 로 나타났다. 다리의 경우 두 다리로 선 자세가 $28.9 \pm 6.0\%$, 한쪽 무릎을 굽힌 자세가 $37.7 \pm 8.8\%$, 이동이 $26.8 \pm 5.5\%$ 로 나타났으며, 작업자에게 가중되는 하중은 체인톱, 엔진오일, 연료, 식수 등을 포함하여 10~20 kg인 것으로 확인되었다. 이러한 작업자세의 비율은 작업원이 배낭을 메고 체인톱을 양손으로 잡고 이동하며 맹아를 제거하고, 제거목이 확인될 경우 허리를 숙여 별도작업을 실시하기 때문으로 판단된다(Table 8).

체인톱을 이용한 Site 5(어린나무가꾸기)의 자세를 분류한 결과, 허리의 경우 곧게 편 자세와 굽힌 자세의 비율이 각각 전체 작업자세의 $51.6 \pm 5.5\%$, $30.5 \pm 6.8\%$ 로 높게 나타났으며, 허리를 굽히거나 양쪽으로 비트는 작업자세가 다른 작업에 비하여 높게 관찰되었다. 어린나무가꾸기는 맹아제거 작업을 주로 실시하기 때문에 허리를 비틀거나 굽혀서 비트는 자세의 비율이 높은 것으로 보인다. 팔의 경

우 양팔을 어깨 밑으로 내린 작업자세가 $91.1 \pm 1.6\%$ 로 나타났으며, 다리의 경우 두 다리로 선 자세가 $40.3 \pm 6.4\%$, 한 다리를 굽힌 자세가 $36.0 \pm 4.7\%$, 이동이 $23.1 \pm 5.5\%$ 로 나타났다. 작업자에게 가중되는 하중은 체인톱, 엔진오일, 연료, 식수 등을 포함하여 10~20 kg인 것으로 확인되었다. 이러한 작업자세의 비율은 작업원이 배낭을 메고 체인톱을 양손으로 맹아의 하단부를 베어 제거하는 작업을 실시하기 때문으로 판단된다(Table 9).

2. 근골격계 부담분석 결과(PRI)

본 연구에서 조사된 숲가꾸기사업 작업자의 근골격계에 미치는 영향을 대상지별로 나누어 분석해보면 근골격계에 특별한 해를 끼치지 않는 수준 평균값이 Site 1에서 49.3%, Site 2에서 54.1%, Site 3에서 66.4%, Site 4에서 49.2%, Site 5에서 46.9%, 근골격계에 약간의 해를 끼치는 수준 평균값이 Site 1에서 15.0%, Site 2에서 20.4%, Site 3에서 22.1%, Site 4에서 27.8%, Site 5에서 20.5%, 근골격계에 직접적인 해를 끼치는 수준 평균값이 Site 1에서 28.4%, Site 2에서 23.1%, Site 3에서 6.1%, Site 4에서 15.5%, Site 5에서 22.5%, 근골격계에 매우 심각한 해를 끼치는 수준 평균값이 Site 1에서 7.4%, Site 2에서 2.4%, Site 3에서 5.5%, Site 4에서 7.5%, Site 5에서 10.4%로 나타났다. 이를 통해 5개 Site의 PRI를 산출한 결과 Site 5(어린나무가꾸기)에서 197.0, Site 1(큰나무가꾸기)에서

Table 7. Percent breakdown of observations among different body part by pruning operation(Site 3).

	CODE	Worker 8(%)	Worker 9(%)	Worker 10(%)	Worker 11(%)
Back posture	1	86.7	89.8	82.2	81.9
	2	6.1	7.6	13.5	13.2
	3	5.1	1.9	1.5	1.5
	4	2.0	0.6	2.7	3.5
Arm posture	1	31.6	42.7	74.0	73.4
	2	38.8	57.3	11.6	12.3
	3	29.6	-	14.4	14.3
Leg posture	1	3.1	-	13.7	10.5
	2	39.8	46.5	31.3	33.9
	3	10.2	0.6	0.4	0.9
	4	-	0.6	3.0	2.3
	5	31.6	31.8	23.3	22.8
	6	2.0	-	0.4	0.6
	7	13.3	20.4	27.9	29.5
External load	1	-	-	-	-
	2	100.0	100.0	100.0	100.0
	3	-	-	-	-

Table 8. Percent breakdown of observations among different body part by thinning for forest fire prevention operation(Site 4).

	CODE	Worker 12(%)	Worker 13(%)	Worker 14(%)
Back posture	1	64.7	81.6	76.1
	2	18.8	12.7	21.3
	3	14.2	1.3	1.3
	4	2.3	4.4	1.3
Arm posture	1	77.1	75.3	72.3
	2	14.6	4.4	21.9
	3	8.3	20.3	5.8
Leg posture	1	-	-	-
	2	34.9	22.9	26.5
	3	0.9	-	0.6
	4	13.3	1.9	5.2
	5	28.9	43.0	46.5
	6	-	-	-
	7	22.0	32.3	21.3
External load	1	-	-	-
	2	100.0	100.0	100.0
	3	-	-	-

Table 9. Percent breakdown of observations among different body part by thinning for young tree operation(Site 5).

	CODE	Worker 15(%)	Worker 16(%)	Worker 17(%)
Back posture	1	51.7	46.1	57.1
	2	27.9	37.3	23.8
	3	4.8	4.9	6.7
	4	15.6	11.8	12.4
Arm posture	1	89.8	92.7	89.5
	2	8.2	6.4	9.5
	3	2.0	1.0	1.0
Leg posture	1	0.7	-	-
	2	34.0	40.2	46.7
	3	-	-	-
	4	0.7	1.5	1.0
	5	34.7	40.7	31.4
	6	1.4	-	-
	7	28.6	17.6	21.0
External load	1	-	-	-
	2	100.0	100.0	100.0
	3	-	-	-

Table 10. Descriptive Statistics of PRI.

Variable	N	Mean	SE	Median	SD	Kurtosis	Skewness	Min	Max
PRI	17.0	178.4	5.1	182.0	21.3	-1.4	-0.2	148.9	208.5

194.0, Site 4(산불예방숲가꾸기)에서 181.1, Site 2(큰나무가꾸기)에서 173.6, Site 3(가지치기)에서 150.6 순으로 높게 나타났다. 분석 결과 어린나무가꾸기의 *PRI*가 197.0으로 가장 높고, 가지치기의 *PRI*가 150.6으로 가장 낮게 나타났다. 하층에 분포하는 맹아와 잡관목의 밀도에 *PRI*가 비례하는 것으로 예측할 수 있으며, 이는 잡관목이 많을수록 허리를 굽히는 동작과 비트는 동작의 빈도가 많기 때문인 것으로 추정된다. 특히 작업자세의 반복이 높으며, 팔을 사용하는 자세가 많은 가지치기의 *PRI*값이 가장 높을 것으로 예상하였으나, 허리의 굽힘자세가 적었으며, 주변에 맹아와 잡관목의 제거작업이 수반되지 않아 가장 낮은 *PRI*값을 보인 것으로 보여진다. 수집된 표본들이 정규성을 띠고 있는지 확인하기 위하여 Shapiro-Wilk test를 실시한 결과 p-value가 0.9816으로 0.05보다 큰 값을 가져 정규성을 나타내고 있는 것을 확인하였으며, 기술통계량은 Table 10과 같다.

신체부위별 구분된 자세코드를 조합하여 숲가꾸기사업이 근골격계에 미치는 영향을 분석한 결과, 근골격계에 특별한 해를 끼치지 않는 수준이 평균 53.7%, 근골격계에 약간의 해를 끼치는 수준이 평균 20.8%, 근골격계에 직접적인 해를 끼치는 수준이 18.9%, 근골격계에 매우 심각한 해를 끼치는 수준이 6.6% 순으로 나타났다. Site 1~5를 종합하여 분석한 결과 숲가꾸기사업의 *PRI*는 178.4로 나타났다(Table 11, Figure 8).

Yongang and Baojun(1998)과 Chęta et al.(2018) 등의 체인톱을 이용한 벌도 및 조재작업의 근골격계 부담 연구에서 *PRI*는 265~373으로 나타났으며, 이와 본 연구에서 확인된 어린나무가꾸기(184.5~208.5), 큰나무가꾸기(152.6~206.6), 가지치기(148.9~153.7), 산불예방숲가꾸기(170.7~190.6)를 비교할 경우 숲가꾸기사업이 벌도 및 조재작업의 위험 지수보다 낮은 경향을 보인다(Yongang and Baojun, 1998; Chęta et al., 2018).

Table 11. Percent distribution of observed frames among postural risk classes by operation.

Category	AC1(%)	AC2(%)	AC3(%)	AC4(%)	<i>PRI</i>	
Site 1	Worker1	46.3	14.4	26.6	12.7	205.7
	Worker2	57.9	16.4	22.0	3.7	171.5
	Worker3	48.8	16.0	29.5	5.7	192.1
	Worker4	44.0	13.1	35.6	7.4	206.6
	Mean	49.3	15.0	28.4	7.4	194.0
Site 2	Worker5	46.6	18.7	30.9	3.7	191.5
	Worker6	49.6	25.9	22.2	2.2	176.8
	Worker7	66.0	16.6	16.2	1.2	152.6
	Mean	54.1	20.4	23.1	2.4	173.6
Site 3	Worker8	64.6	23.2	6.1	6.1	153.7
	Worker9	64.3	28.0	1.3	6.4	149.8
	Worker10	68.4	18.6	9.1	4.0	148.9
	Worker11	68.4	18.4	7.9	5.3	150.1
Mean	66.4	22.1	6.1	5.5	150.6	
Site 4	Worker12	51.8	18.3	17.0	12.8	190.6
	Worker13	52.5	29.7	12.0	5.7	170.7
	Worker14	43.2	35.5	17.4	3.9	182.0
	Mean	49.2	27.8	15.5	7.5	181.1
Site 5	Worker15	44.2	17.0	28.9	10.9	208.5
	Worker16	45.1	22.6	21.5	10.8	198.0
	Worker17	51.4	21.9	17.1	9.5	184.5
	Mean	46.9	20.5	22.5	10.4	197.0
Grand mean	53.7	20.8	18.9	6.6	178.4	

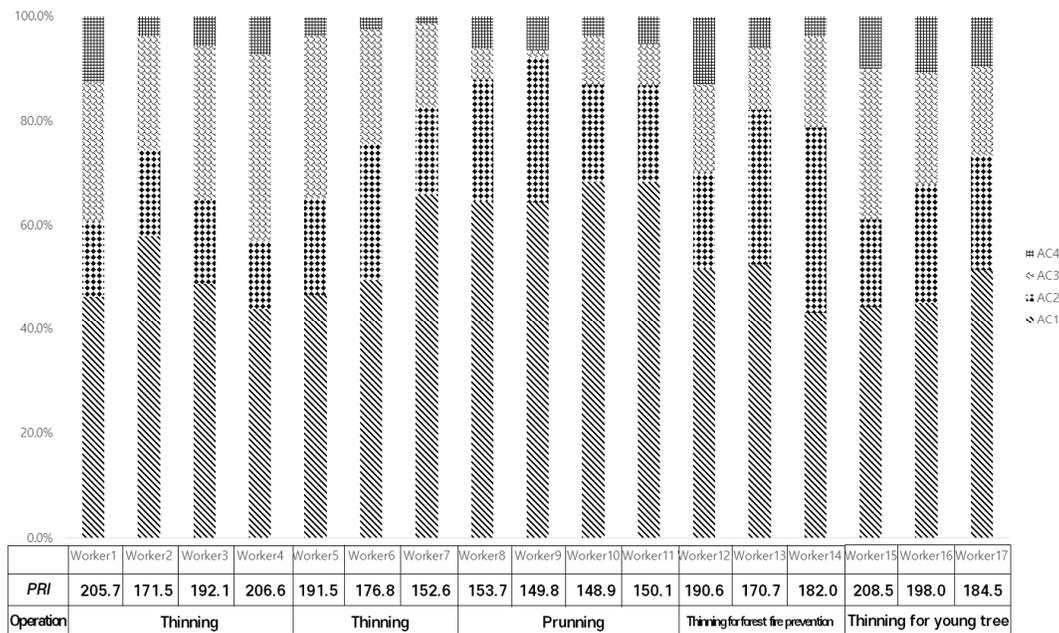


Figure 8. Percent distribution of observed frames among risk classes by operation.

Lee et al.(2020)의 풀베기와 칩덩굴제거작업의 근골격계 부담 연구와 비교할 경우 풀베기 작업의 PRI 157.3~179.9보다 가지치기(148.9~208.5)의 PRI가 낮게 나타났으며, 어린나무가꾸기(184.5~208.5), 큰나무가꾸기(152.6~206.6), 산불예방숲가꾸기(170.7~190.6)는 풀베기작업보다 높은 경향으로 보였다. 또한, 칩덩굴제거작업과 비교할 경우 칩덩굴제거작업의 PRI 205.7~217.9보다 본 연구에서 확인된 숲가꾸기 작업의 PRI가 모두 낮은 경향을 보였으며, 이는 칩덩굴제거작업의 특성상 허리를 굽히는 자세, 두 다리를 구부리는 자세, 무릎을 꿇는 자세가 상대적으로 많이 나타나기 때문으로 판단된다(Lee et al., 2020).

3. 작업강도 분석 결과(WLI)

숲가꾸기사업의 작업자 심박수 및 작업강도를 분석하기 위하여 5개 사이트별로 나누어 분석한 결과 Site 1(큰나무가꾸기)에서 117.0 beat/min, Site 4(산불예방숲가꾸기)에서 115.0 beat/min, Site 5(어린나무가꾸기)에서 115.0 beat/min, Site 2(큰나무가꾸기)에서 112.0 beat/min, Site 3(가지치기)에서 110.0 beat/min 순으로 나타났으며, 평균적으로 심박수는 114.9 beat/min으로 분석되었다. WLI도 PRI와 마찬가지로 수집된 표본들이 정규성을 띄고 있는지 확인하기 위하여 Shapiro-Wilk test를 실시한 결과 p-value가 0.4725로 0.05보다 큰 값을 가져 정규성을 나타내고 있는 것을 확인하였다(Table 12).

심박수를 활용하여 WLI를 분석한 결과, Site 5(어린나무가꾸기)에서 62.3%, Site 1(큰나무가꾸기)에서 60.3%, Site 2

(큰나무가꾸기)에서 58.4%, Site 4(산불예방숲가꾸기)에서 56.2%, Site 3(가지치기)에서 53.5% 순으로 나타났으며, WLI의 평균값은 58.0%로 분석되었다(Table 13, Figure 9).

4. 산림작업부하지수 산출 결과(FWL: Forest Work Load Index)

각 Site에서 관찰된 근골격계 부담 결과(PRI)와 작업강도(WLI)를 이용하여 산림작업자 산림작업부하지수를 산출한 결과 Site 5(어린나무가꾸기)에서 123.0, Site 1(큰나무가꾸기)에서 117.1, Site 2(큰나무가꾸기)에서 103.1, Site 4(산불예방숲가꾸기)에서 102.1, Site 3(가지치기)에서 80.7 순으로 산출되었다. 즉, Site 5(어린나무가꾸기)가 가장 높은 산림작업부하지수를 나타내었고, Site 1(큰나무가꾸기), Site 2(큰나무가꾸기), Site 4(산불예방숲가꾸기), Site 3(가지치기) 순으로 산림작업부하지수가 높은 것으로 나타났다. 이는 어린나무가꾸기 사업에서 제거해야 할 하층과 잠관목의 제거작업에 소요되는 시간이 길지는 않으나, 어린나무가꾸기 사업의 특성상 제거할 하층목과 잠관목이 사방에 위치하고 있어 허리를 숙이거나 비트는 작업자세의 빈도가 높아 이러한 결과가 도출된 것으로 판단된다. 또한, 산림작업부하지수가 80.7로 나타난 가지치기는 작업자의 손이 어깨 위로 올라가는 자세가 상당히 많이 발생하였으나, 허리와 두 다리를 곧게 펴고서 작업하는 자세의 비율이 높아 작업자의 근골격계에 미치는 영향이 낮게 나타나 기인된 것으로 보여진다(Table 14, Figure 10).

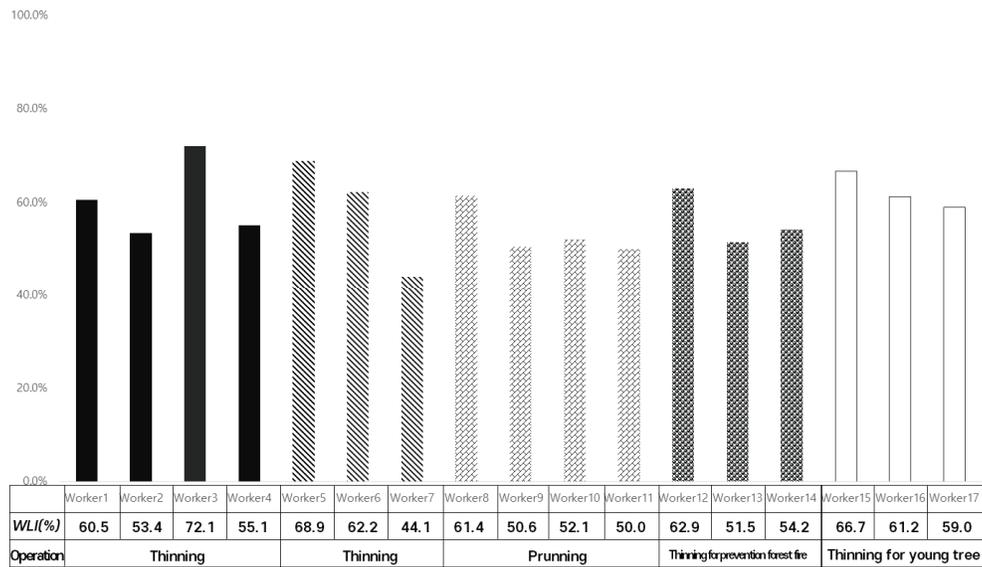


Figure 9. Work Load Index of forest workers.

Table 12. Descriptive Statistics of WLI.

Variable	N	Mean	SE	Median	SD	Kurtosis	Skewness	Min	Max
WLI	17.0	58.0	1.8	59	7.5	-0.5	0.1	44.1	72.1

Table 13. Heart rate and Work Load Index of workers.

Category	Mean(beat/min)	Min(beat/min)	Max(beat/min)	WLI(%)	
Site 1	Worker1	115.0	72.0	143.0	60.5
	Worker2	114.0	75.0	148.0	53.4
	Worker3	124.0	80.0	141.0	72.1
	Worker4	115.0	77.0	146.0	55.1
	Mean	117.0	76.0	144.5	60.3
Site 2	Worker5	113.0	81.0	131.0	68.9
	Worker6	115.0	77.0	138.0	62.2
	Worker7	108.0	82.0	141.0	44.1
	Mean	112.0	80.0	136.7	58.4
Site 3	Worker8	119.0	76.0	146.0	61.4
	Worker9	118.0	81.0	154.0	50.6
	Worker10	98.0	73.0	121.0	52.1
	Worker11	106.0	78.0	134.0	50.0
	Mean	110.0	77.0	138.8	53.5
Site 4	Worker12	118.0	84.0	138.0	62.9
	Worker13	112.0	78.0	144.0	51.5
	Worker14	115.0	83.0	142.0	54.2
	Mean	115.0	81.7	141.3	56.2
Site 5	Worker15	122.0	84.0	141.0	66.7
	Worker16	118.0	77.0	144.0	61.2
	Worker17	124.0	78.0	152.0	59.0
	Mean	121.3	79.7	145.7	62.3
Grand mean	114.9	78.6	150.4	58.0	

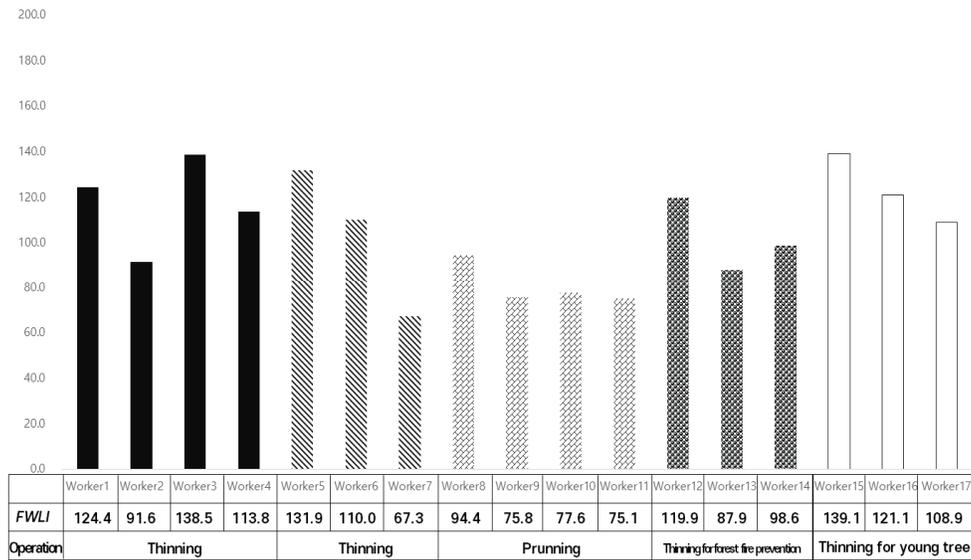


Figure 10. Forest Work Load Index of forest workers.

Table 14. Forest Work Load Index of workers.

Category		PRI	WLI(%)	FWLI
Site 1	Worker1	205.7	60.5	124.4
	Worker2	171.5	53.4	91.6
	Worker3	192.1	72.1	138.5
	Worker4	206.6	55.1	113.8
	Mean	194.0	60.3	117.1
Site 2	Worker5	191.5	68.9	131.9
	Worker6	176.8	62.2	110.0
	Worker7	152.6	44.1	67.3
	Mean	173.6	53.5	103.1
Site 3	Worker8	153.7	61.4	94.4
	Worker9	149.8	50.6	75.8
	Worker10	148.9	52.1	77.6
	Worker11	150.1	50.0	75.1
	Mean	150.6	58.4	80.7
Site 4	Worker12	190.6	62.9	119.9
	Worker13	170.7	51.5	87.9
	Worker14	182.0	54.2	98.6
	Mean	181.1	56.2	102.1
Site 5	Worker15	208.5	66.7	139.1
	Worker16	198.0	61.2	121.1
	Worker17	184.5	59.0	108.9
	Mean	197.0	62.3	123.0
Grand mean		178.4	58.0	104.5

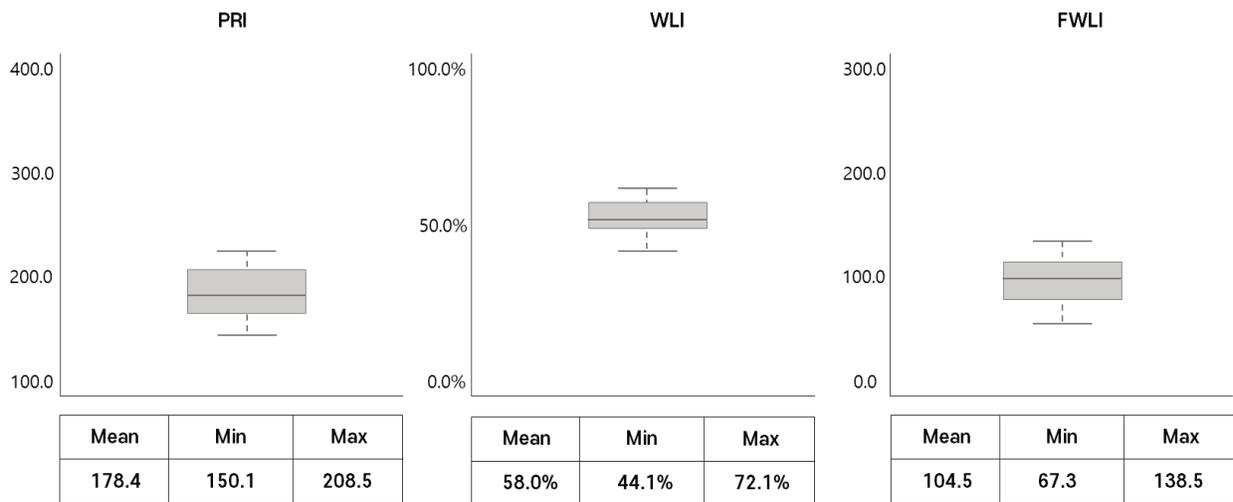


Figure 11. Box plot of PRI, WLI, FWLI.

결론

본 연구에서는 산림자원의 조성·관리가 필요한 숲가꾸기사업 대상지 5곳의 작업자 17명을 대상으로 데이터를 수집하고 분석하여 산림작업부하지수의 개념 및 산출식을 정의하고 숲가꾸기사업의 산림작업부하지수(FWLI)를 산출하였다(Figure 11).

PRI와 WLI를 통해 FWLI를 산출한 결과 숲가꾸기사업은 104.5로 나타났으며, 세부사업종별 비교한 결과 Site 5의 FWLI가 123.0으로 가장 높고, 다음으로 Site 1 117.1, Site 2 103.1, Site 4 102.1, Site 3 80.7 순으로 나타났다. 이는 Site 5에서 실시한 어린나무가꾸기 사업은 큰나무가꾸기에서 주로 수행하는 제거목 벌채와는 다르게 잡관목의 제거작업이 주로 이루어졌다. 해당 필지에서 일반적인 제거목 1분당 제거시간을 측정할 경우 약 40~60초 정도의 소요시간이 발생하는데 동일한 시간동안 작업자세를 비교할 경우 일반적으로 제거목은 허리굽힘 1~2회, 허리를 비트는 자세 1회가 나타났으며 이동하지 않고 정지하여 작업을 수행하였다. 그러나, 같은 작업시간 동안 잡관목의 제거작업시에는 허리굽힘 혹은 허리비틀림이 6~8회로 높게 나타났으며, 지속적으로 이동을 하는 동적인 자세가 나타났다. 이와 같이 어린나무가꾸기에서는 동적인 동작이 많아 작업강도가 높아져 이러한 결과가 도출된 것으로 판단된다.

본 연구에서 시도된 FWLI 개념을 도입하여 세부공종별 산림작업부하지수를 추정하고 비교할 수 있으며, 향후 같은 방법을 동일하게 적용하여 산림사업별 산림작업부하지수를 산출하고, 이를 통해 산림사업별 작업자의 작업강도를 추정하고 비교할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 제시된 FWLI는 근골격계 부담과 부담분석(PRI)과

작업강도(WLI)를 이용하여 산림작업자의 작업강도를 추정하는 지수로서, FWLI가 산림작업자에게 가해지는 작업강도 관련 인자를 모두 포함한다고 볼 수는 없으나 산림작업을 수행하는 모든 작업장에서 공통적으로 수행할 수 있고, 시범사업이나 모의실험이 아닌 실제 작업현장에서 자료를 수집할 수 있다는 장점을 가지는 것으로 판단된다.

본 연구는 숲가꾸기사업만을 대상으로 연구를 수행하였으므로, 주요 산림사업간에 유의한 차이가 나타나는지에 대한 검증은 아직 이루어지지 않은 상황이다. 따라서, 본 연구에서 개발된 산림작업부하지수 추정방식을 기반으로 다른 산림사업에 적용하고 비교·분석을 통해 산림사업별 산림작업자 데이터를 지속적으로 확보하고, 이와 관련한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다. 산림작업부하지수를 활용하여 산림사업별 산림작업자의 작업강도를 수치화하여 비교할 수 있도록 하고, 이를 통해 산림작업자의 인건비 계상, 안전보건대책 수립의 우선순위 선정에 도움을 주며, 산림작업자의 안전과 보건에 활용하면 산림사업의 작업자의 안전·보건에 긍정적 영향을 줄 것으로 생각된다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1F1A1 064201).

References

Anderson, C., 2012. Makers: The New Industrial Revolution. Random House. New York.

- Calvo, A. 2009. Musculoskeletal disorders (MSD) risks in forestry: A case study to propose an analysis method. *Agricultural Engineering International* 11: 1-9.
- Cheța, M., Marcu, M.V., and Borz, S.A. 2018. Workload, exposure to noise, and risk of musculoskeletal disorders: a case study of motor-manual tree felling and processing in Poplar clear cuts. *Forests* 9(6): 300.
- Eom, R.I. 2019. Development of work clothes and three-dimensional shoulder protection considering working posture of construction workers. Daejeon. Chungnam National University.
- Grzywiński, W., Wandycz, A., Tomczak, A. and Jelonek, T. 2016. The prevalence of self-reported musculoskeletal symptoms among loggers in Poland. *International Journal of Industrial Ergonomics* 52: 12-17.
- Hignett, S. and McAtamney, L. 2000. Rapid Entire Body Assessment (REBA) - *Applied Ergonomics* 31(2): 201-205.
- Im, S.J., Choi, S.Y. and Park, D.H. 2011. The usability analysis for ergonomic evaluation methods of work-related musculoskeletal disorders. *Journal of Korea Safety Management & Science* 13(2): 83-90.
- Jack, R.J. and Oliver, M. 2008. A review of factors influencing whole-body vibration injuries in forestry mobile machine operators. *International Journal of Forest Engineering* 19(1): 51-65.
- Justavino, F.C., Ramirez, R.J., Perez, N.M. and Borz, S.A. 2015. The use of OWAS in forest operations postural assessment: advantages and limitations. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II* 8(2): 7-16.
- Kang, K.U. 2001. The stable securement of the professional forest workers and welfare measures. *Proceeding of seminar for Forestry Labor Policy Development*. pp. 15-19.
- Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics* 8(4): 199-201.
- Kim, M.S. 2014. A study on the current status and improvement direction of the safety management and compensation system for occupational accidents of overseas construction workers, Seoul. Korea University Graduate School of Labor Studies.
- Klun, J. and Medved, M. 2007. Fatal accidents in forestry in some European countries. *Croatian Journal of Forest Engineering* 28(1): 55-62.
- Korea Statistical Information Service (KOSIS). 2020. <https://www.kosis.kr> (2020. 3. 30)
- Lee, E.J., Baek, S.A. and Cho, K.H. 2020. Postural risk assessment of weed and kudzu removal operations. *Journal of Korean Society of Forest Science* 109(2): 195-201.
- Lee, I.S., Jeong, M.K. and Choi, K.I. 2003. Comparison of observational posture evaluation methods based on perceived discomfort. *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 22(1): 43-56.
- Lee, J.W. and Park, B.-J. 2001. Analysis of working posture using OWAS in forest work. *Journal of Korean Forest Society* 90(3): 388-397.
- Lee, K.Y. 2020. For construction worker safety awareness efficiency diversification of basic safety and health education. Seoul. Hanyang University.
- McAtamney, L. and Corlett, E.N. 1993. RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics* 24(2): 91-99.
- Mun, H.S., Cho, K.H., Kim, C.S., Song, T.Y. and Kim, H.S. 2014. Heart rate strain of forest-workers in weeding. *Journal of Korea Society For Engineering*. 12(2): 95-103.
- National Institute for Occupational Safety and Health Logging Safety (NIOSH). 2018. <http://www.cdc.gov> (2018. 6. 6.).
- National Institute for Occupational Safety and Health Logging Safety (NIOSH). 2020. <http://www.cdc.gov> (2020. 1. 7).
- OH, Y.S. 2008. A study on Improvement and Investigation of MSD for Construction Workers. Seoul. Seoul National University of Technology
- Park, B.J. 1996. A study on work load of tree felling work using maximal oxygen uptake and heart rate. Daejeon. Chungnam National University.
- Park S.K. and Kang G.U. 1996. Studies on Working Intensity in Felling Operation of the Thinning Forest – In Thinning of Some Conifer Species. *Journal of Korean Forest Society* 85(3): 396-408
- Ponte'n, B. 1988. Health risks in forest work—a program for action. Garpenberg, Sweden. Lantbruks Universitet.
- Spinelli, R., Aminti, G., Maganotti, N. and De Francesco, F. 2018. Postural risk assessment of small-scale debarkers for wood post production. *Forests* 9(3): 111.
- Yongang, W. and Baojun, J. 1998. Effects of low temperature on operation efficiency of tree-felling by chainsaws in north China. *Journal of Forestry Research* 9: 57-58.