

심박수를 이용한 임목수확작업의 작업강도 분석

Heart Rate Strain of Forest-workers in Timber Harvesting Operation

백승안¹, 이은재¹, 남기훈², 조구현^{3*}

Seung-An Baek¹, Eun-Jai Lee¹, Ki-Hun Nam², Koo-Hyun Cho^{3*}

〈Abstract〉

This study was conducted to analyze the physical strain with heart rate monitor in timber harvesting operations in order to reduce occupational accidents. The timber harvesting activities are manual cutting(felling, limbing and bucking) with a chainsaw and extraction by cable yarder. The study took place on Japanese larch stand. The average height was 26m and average diameter at breast height(DBH) was 37cm. The harvest unit was gentle slope to steep slope. Results showed that the heart rate increases for chocking, felling, limbing and bucking were 94.0%, 87.9%, 84.8% and 56.4% respectively. The rate of Work Load Index was higher in the limbing(61.4%) activity than other activities chocking(55.2%), felling(54.1%) and bucking(32.1%). During 50% working heart rate test it was found that limbing(1.09), chocking(1.05) and felling(1.04) was exposed to high work intensity compared to bucking(0.83). The results showed that maximum acceptable work times(felling, chocking and limbing) were 2.30 hour, 1.85 hour and 1.60 hour respectively. To avoid occupational accidents, timber harvest workers may use a suitable working hour schedule to felling, chocking, limbing.

Keywords : Heart rate strain, Timber harvesting, Forest-worker, Intensity operation

1 정회원, 국립산림과학원 산림기술경영연구소

2 정회원, 창신대학교 소방방재공학과

3* 정회원, 교신저자, 국립산림과학원 산림기술경영연구소

E-mail: khcho@korea.kr

1 Forest Technology and Management Research Center,
National Institute of Forest Science

2 Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering,
Changshin University

3* Forest Technology and Management Research Center,
National Institute of Forest Science

1. 서론

우리나라의 산림면적은 국토의 약 63%를 차지하고 있으며, 벌기령에 도달한 IV 영급 이상의 임목이 전체 산림의 약 72%를 차지하고 있다. 목재 생산 시기에 접어든 산림이 증가하고 있는 반면, 노령화에 따른 산림작업의 인력 부족 문제가 대두되고 있다. 우리나라의 전체 목재자급률은 2017년 기준 16.4%로써, 국산목재 생산량이 수요량에 크게 미치지 못하는 실정이다. 한편, 탄소흡수량 증진을 위한 숲가꾸기, 모두베기 사업의 영급구조 개선이 필요한 시기이다. 이에 따라서 산림사업 또한 2013년 기준 21,780 ha에서 2017년 23,674 ha로 소폭 증가하고 있는 상황이다[1].

한편, 산림사업이 증가함에 따라서 체인톱, 예초기 등에 의한 베임, 절단 및 깔림 등의 재해가 지속적으로 발생하고 있다. 임업의 재해율은 2018년 기준, 광업(19.02%) 다음으로 높은 1.16%를 나타냈지만, 2013년 2.64%에서 2018년 1.16%로 감소하고 있지만 2018년 전체 산업 평균 재해율 0.54%의 약 2.1배 높은 실정이다[2].

이러한 임업의 재해를 감소시키기 위해 작업장도, 작업자세 등의 작업요인에 대한 분석, 재해기인물에 대한 위험 분석 등 다양한 선행연구가 수행되었다. 기존 연구 결과를 보면, 이준우 등은 산림작업원의 작업장도 등에 관한 연구를 통해 체인톱을 이용한 낙엽송 벌도작업에서 요소작업시간 및 작업생산성 및 심박수를 이용한 작업장도 분석을 실시하였다[3]. 또한, 문호성 등은 풀베기작업원의 심박수 측정을 통하여 풀베기작업의 작업장도를 분석하였다[4]. 박현승 등은 임내 보행작업의 작업장도를 파악하기 위하여 심박수 및 최대산소섭취량을 분석하였다[5]. 또한 김진현은 산림작업 재해에 대한 기인물 분석과 작업특성을 고려한 요인분석을 실시하였고[6], 권형근 등은 임도 노선측

량 작업의 작업시간, 작업장도, 작업자세 등의 분석을 실시하였다[7]. 김희율 등은 산림작업에 안전에 관한 연구로는 5년간 발생한 임업분야 재해자의 현황 및 특성을 파악하고 분석하였으며[8], 김희율과 박종민은 산림작업에서 안전사고 예방을 위한 제도적 개선에 관한 연구를 실시하였다[9]. 이와 같이 임업재해와 산림작업원의 작업장도 등에 관한 연구가 실시되고 있으나, 타 분야와 비교하면 아직 미미한 실정이다.

본 연구에서는 현재 우리나라의 산림작업 중 재해율이 가장 높은 발생률을 보이는 체인톱을 이용하는 작업인 벌도작업, 가지제거작업 및 조재작업과 가선집재작업 공정 중 인력위주로 수행되는 초커작업의 작업장도, 피로한도를 분석하여 안전하고 효율적인 작업수행에 필요한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

2. 조사 및 방법

2.1 조사지 및 조사대상

조사지의 장소는 강원도 평창군 평창읍 고길리 24임반 6-1소반으로 낙엽송의 침엽수림이다. 조사지는 임목의 평균 경급(흉고직경: 나무 가슴높이의 지름)은 37(25~54) cm이며, 평균수고는 26(20~30)m로 우량한 임목으로 구성된 지역이다. 또한 평균 산지경사도는 19° 인 지역으로 작업종은 모두베기를 실시하였으며, 작업방법은 체인톱을 이용하여 벌도 작업이 이루어진 후 타워야더를 이용한 상향집재작업이 이루어졌다(Table 1).

조사대상자는 총 7명으로 작업종을 구분한 일반사항은 다음과 같다(Table 2). 나이는 평균 59.7 (51~65)세이며, 경력은 평균 15.7(1~30)년

이며, 키는 평균 170.7(160~177) cm, 몸무게는 평균 69.6(56~90) kg이다. 작업종은 체인톱을 이용한 벌도작업, 가지제거작업 및 조재작업과 타워야더를 이용한 집재작업 중 초커작업(집재 시 초커를 임목에 걸어주는 작업)으로 구분하였다.

Table 1. Description of study sites

Classification	Contents
Type	Coniferous forest
Species	Larix kaempferi
Average DBH	37 cm
Average height	26 m
Average slope	19°

※DBH: diameter at breast height

2.2 연구방법

작업을 계속 진행하다 보면 피로가 쌓여 작업 능률이 저하되며, 인위적인 실수의 발생 등으로 작업 지연이 일어나게 된다. 피로를 측정하는 방법은 생리적 방법, 생화학적 방법, 심리학적 방법 등이 있으며, 이중 생리적 방법을 이용한 작업강도 분석을 실시하였다. 생리적 방법에는 심박수, 혈압, 혈류량, 혈중젖산농도, 산소섭취량, 이산화탄소배출량, 에너지소비량 등의 지표를 이용하는데 본 연구에서는 심박수를 이용하여 작업강도를 분석하였다. 본 연구에서는 산림지역에서의 작업으

로 휴대가 용의하고 작업의 무리가 적은 심박수 측정기를 이용하여 분석하였다.

휴대용 심박수 측정기는 Polar RS800 CX 모델로 작업종에 따라 1일 실제 작업시간과 휴식시간을 포함하여 15초 단위로 심박수를 측정하여 기록하였다. 벌도작업은 임목을 자르는 작업으로 벌도 되는 방향을 고려하며 주변의 작업자간의 거리를 파악하여 작업을 수행하였다. 가지제거작업은 벌도된 임목의 가지를 제거하는 작업으로 임목이 크고 가지가 많은 작업이나 벌도 된 나무가 중첩되는 경우가 발생하여 벌도 된 나무를 지나다니며 수행하였다. 조재작업은 간이 집재장에서 집재되어진 임목을 원하는 크기에 맞게 자르는 작업을 수행하였으며, 초커작업은 가선집재 시 작업줄을 임목에 걸어주는 작업으로 타워야더의 가선라인에서 가선과 타워야더의 가동 시 임목의 움직임에 유의하며 작업을 수행하였다(Fig. 1).



Fig. 1 Silvicultural system

Table 2. Physical characteristics of subjects

Classification	Age (year)	Experience (year)	Height (cm)	Weight (kg)	Chronic disease	Silviculturalsystem
Worker1	53	30	160	56	Nothing	Felling, Limbing, Bucking
Worker2	60	30	177	90		
Worker3	64	20	175	73		
Worker4	61	25	177	90		Chocking
Worker5	65	2	168	60		
Worker6	64	2	175	60		
Worker7	51	1	163	58		

2.3 분석방법

2.3.1 심박수

심박수증가율은 작업심박수(HRW: Heart Rate Working, 이하 HRW)와 안정심박수(HRR: Heart Rate Resting, 이하 HRR)의 비율을 이용하여 분석하였다. 작업심박수는 작업을 수행하면서 발생하는 전체의 작업시간 임으로 휴식시간을 포함하여 측정된 심박수의 평균값을 말하며, 안정심박수의 측정은 가능한 아침에 기상하여 최대한 안정한 상태에서 정확하지만, 측정이 어려워 부득이하게 점심시간이나 작업 전 긴장감을 풀고 충분한 휴식을 부여한 안정된 상태의 심박수를 적용하였다.

작업을 수행함에 있어서 작업 수준의 정도에 따라 심박수가 변화하게 된다. 일반적으로 작업정도가 어렵고 위험할수록 심박수는 증가하며 쉬운 작업 시에는 심박수가 안정심박수에 가깝게 변화한다. 작업 시 심박수와 안정 시 심박수의 백분율로 표현한 것을 심박수증가율(IHR: Heart Rate Increase, 이하 IHR)이라고 하는데, 심박수증가율은 작업으로 인하여 증가된 심박수와 안정 시 심박수의 대비를 절대적으로 표현한 수치이기 때문에 작업원이 다른 상태에서 작업을 수행하였을 때와 비교가 어렵다(식 1).

$$IHR = \frac{HRW - HRR}{HRR} \times 100 \quad (1)$$

최대심박수(HRM: Heart Rate Max, 이하 HRM)의 경우는 다음 식 2와 같이 심박수가 작업강도에 따라 증가하다가 더 이상 증가하지 않고 일정하게 머무는 최대한계의 도달을 말한다[10].

$$HRM = 220 - Age \quad (2)$$

2.3.2 작업강도

식 3을 이용하여 피로한도(EL: Endurance Limit, 이하 EL)를 산출하여 작업시의 작업심박수가 EL 초과할 때의 작업의 한계를 분석하기 위하여 피로한도 분석을 실시하였다. 또한 작업심박수와 50 %수준심박수(식 4)의 비율이 1을 초과하게 되면 중노동이 지속적으로 발생하고 있다고 판단된다[11].

$$EL = HRR + 40 \quad (3)$$

$$50\% \text{ Level} = \frac{HRM - HRR}{2} + HRR \quad (4)$$

작업강도(WLI, %: Work Load Index, 이하 WLI)의 분석은 다음 식 5를 이용하여 서로 다른 작업원의 심박수를 비교하기 위하여 최대심박수, 작업심박수 및 안정심박수를 이용하여 지수화를 통한 작업강도지수를 분석하였으며, 이때의 충분한 휴식시간을 주어 작업강도를 낮춰야 한다[12].

$$WLI(\%) = \frac{HRW - HRR}{HRM - HRR} \times 100 \quad (5)$$

WLI의 분석에 따른 최대허용작업시간(MAWT: Maximum Acceptable Work Time, 이하 MAWT)을 알아보기 위하여 Table 3과 같이 작업강도에 따른 작업의 허용시간을 적용하여 산출하였다. 작업자가 1일 작업시간동안의 심박수 측정을 하고 작업강도지수를 통하여 작업자가 작업을 수행함에 따라 신체의 무리가 가지 않고 피로 없이 작업을 할 수 있는 시간을 말하며, 이를 넘는 경우 과로에 해당한다[13]. Table 3을 이용하여 작업강도별 최대허용작업시간을 구하는 식은 다음과 같다(식 6).

$$MAWT = 26.041e^{-0.048 * x} \quad R^2 = 1 \quad (6)$$

Table 3. Relationship between WLI and MAWT

WLI(%)	MAWT(hr)
82.0	0.5
68.0	1
53.5	2
39.0	4
30.5	6
24.5	8
22.0	9
20.0	10
18.0	11
16.0	12

Table 4. Worker's processing division

Silvicultural system	Process	Worker
Felling	Process1	Worker2
	Process2	Worker1
	Process3	Worker4
Limbing	Process1	Worker2
	Process2	Worker3
	Process3	Worker3
Bucking	Process1	Worker2
	Process2	Worker4
	Process3	Worker4
Chocking	Process1	Worker5
	Process2	Worker6
	Process3	Worker7

3. 결과 및 고찰

3.1 심박수 분석

작업종별 작업의 데이터 처리 방법은 다음과 같이 구분하였다. 작업자1은 벌도작업의 Process2를 말하며, 작업자2는 벌도작업의 Process1, 가지제거작업의 Process1, 조재작업의 Process1을 말한다. 작업자3은 가지제거작업의 Process2-3을 말하며, 작업자 4는 벌도작업 Process3, 조재작업 Process2-3을 말한다. 작업자 5,6,7은 각각 초커작업 Process1,2,3을 말한다(Table 4).

심박수 측정에 대한 결과는 다음과 같다. HRW의 경우, 벌도작업의 Process2에서 108 beat/min로 낮았으며, Process1에서 126 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 117.1 beat/min로 분석되었다. 가지제거작업의 경우 Process1에서 109 beat/min로 낮았으며, Process2에서 137 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 121.5 beat/min로 분석되었다. 조재작업의 경우 Process3에서 85 beat/min로 낮았으며, Process2에서 94.5

beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 90.3 beat/min로 분석되었다. 초커작업의 경우 Process1에서 112 beat/min로 낮았으며, Process2-3에서 113 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 112.7 beat/min로 분석되었다.

HRR의 경우, 벌도작업의 Process3에서 56 beat/min로 낮았으며, Process2에서 73 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 63.3 beat/min으로 분석되었다. 가지제거작업의 경우 Process1에서 61 beat/min로 낮았으며, Process2-3에서 68 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 65.7 beat/min로 분석되었다. 조재작업의 경우 Process2-3에서 56 beat/min로 낮았으며, Process1에서 61 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 57.7 beat/min로 분석되었다. 초커작업의 경우 Process2에서 62 beat/min로 낮았으며, Process1에서 53 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 58.3 beat/min로 분석되었다.

HRM의 경우, 벌도작업의 Process3에서 159 beat/min로 낮았으며, Process2에서 167 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 162.0 beat/

min로 분석되었다. 가지제거작업의 경우 Process 2-3에서 156 beat/min로 낮았으며, Process1에서 160 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 157.3 beat/min로 분석되었다. 조재작업의 경우 Process2-3에서 159 beat/min로 낮았으며, Process1에서 160 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 159.3 beat/min로 분석되었다. 초커작업의 경우 Process1에서 155 beat/min로 낮았으며, Process3에서 159 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 156.7 beat/min로 분석되었다.

IHR의 경우, 벌도작업의 Process2에서 48%로 낮았으며, Process3에서 109%으로 높게 나타났으며, 평균적으로 87.9%로 분석되었다. 가지제거작업의 경우 Process3에서 74%로 낮았으며, Process 2에서 101%으로 높게 나타났으며, 평균적으로 61.4%로 분석되었다. 조재작업의 경우 Process1에서 50%로 낮았으며, Process2에서 69 %로 높게 나타났으며, 평균적으로 56.8%로 분석되었다. 초커작업의 경우 Process2에서 82%로 낮았으며, Process1에서 111%으로 높게 나타났으며, 평균적으로 94.0%로 분석되었다(Fig. 2).

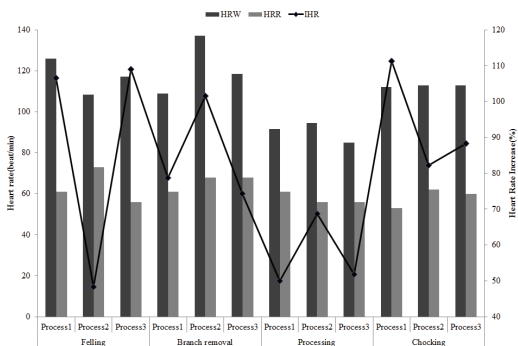


Fig. 2 IHR following Silvicultural system

심박수 측정을 통한 작업심박수는 가지제거작업이 평균 121.5 beat/min으로 가장 높게 분석되었

으며, 안정심박수는 가지제거작업이 평균 65.7 beat/min로 가장 높게 나타났다. 또한 최대심박수는 벌도작업이 평균 162.0 beat/min로 가장 높게 나타났으며, IHR의 경우 초커작업이 94.0%로 가장 높은 것으로 분석되었으며, 벌도작업이 87.9%, 가지제거작업 84.8%, 조재작업 56.8% 등의 순으로 분석되었다.

3.2 작업강도지수 분석

EL분석 결과는 다음과 같으며, 벌도작업의 경우 Process3에서 96 beat/min로 낮았으며, Process2에서 113 beat/min로 높게 나타났으며, 평균적으로 103.3 beat/min로 분석되었다. 작업심박수 117.1 beat/min와 비교 하였을 때 다소 피로감이 발생할 수 있는 것으로 생각된다. 가지제거작업의 경우 Process1에서 101 beat/min로 낮았으며, Process2-3에서 108 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 105.7 beat/min로 분석되었다. 작업심박수 121.5 beat/min와 비교 하였을 때 다소 피로감이 발생할 수 있는 것으로 생각된다. 조재작업의 경우 Process2-3에서 96 beat/min로 낮았으며, Process1에서 101 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 97.7 beat/min로 분석되었다. 작업심박수 90.3 beat/min와 비교 하였을 때 오히려 작업심박수가 피로한계 심박수보다 낮아 피로감이 거의 없는 것으로 생각된다. 초커작업의 경우 Process1에서 93 beat/min로 낮았으며, Process3에서 102 beat/min으로 높게 나타났으며, 평균적으로 98.3 beat/min로 분석되었다. 작업심박수 112.7 beat/min와 비교 하였을 때 다소 피로감이 발생할 수 있는 것으로 생각된다.

작업심박수와 50%수준의 분석결과는 다음과 같으며, 벌도작업의 Process2에서 0.90로 낮았으며, Process1에서 1.14로 높게 나타났으며, 평균적으

로 1.04로 분석되었다. 가지제거작업의 경우 Process1에서 0.99로 낮았으며, Process2에서 1.22으로 높게 나타났으며, 평균적으로 1.09로 분석되었다. 조재작업의 경우 Process3에서 0.79로 낮았으며, Process1에서 0.88으로 높게 나타났으며, 평균적으로 0.83로 분석되었다. 초커작업의 경우 Process3에서 1.03으로 낮았으며, Process1에서 1.08으로 높게 나타났으며, 평균적으로 1.05로 분석되었다. 작업심박수와 50 %수준의 심박수의 분석결과, 조재작업을 제외한 별도작업, 가지제거작업, 초커작업의 경우 그 비율이 1를 초과하여 매우 힘든 작업이라고 판단되며, 가지제거의 경우 Process2가 1.22로 매우 높아 작업이 어렵고 중노동이 발생하고 있다고 판단된다(Fig. 3).

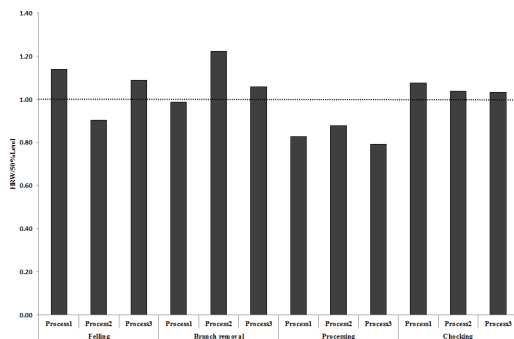


Fig. 3 50 % Level HR following Silvicultural system

WLI 분석결과, 별도작업의 경우 Process2에서 37.6%로 낮았으며, Process1에서 65.7%로 높게 나타났으며, 평균적으로 54.4%로 분석되었다. 이준우 등의 별도작업의 작업강도 지수 41.9%보다 다소 높은 수치를 나타냈다[3]. 가지제거작업의 경우 Process1에서 48.5%로 낮았으며, Process2에서 78.4%으로 매우 높게 나타났으며, 평균적으로 61.4%로 분석되었다. 가지제거작업의 경우 경사지에서 임목을 타고 넘어가는 동작이 많아 심박수의 증가가 높은 것으로 판단된다. 조재작업의 경우

Process3에서 28.2%로 다소 낮았으며, Process2에서 37.4%으로 높게 나타났으며, 평균적으로 32.1 %로 분석되었다. 조재작업의 경우, 임도 주변에 집재되어진 임목에 대하여 작업이 이루어지기 때문에 경사가 거의 없으며 장애물이 없는 지역에서 작업을 수행하게 되어서 작업강도가 다른 작업에 비해 낮은 것으로 분석되었다. 초커작업의 경우 Process3에서 53.5%로 낮았으며, Process1에서 57.8 %로 높게 나타났으며, 평균적으로 55.2%로 분석되었다. 초커작업의 경우도 경사지에서 임목을 넘어 다니며 초커를 임목에 걸기 위해 무거운 초커를 들고 이동하기 때문에 작업강도가 높게 나타난 것으로 판단된다(Table 5).

Table 5. Work Load Index

Classification	EL	HRW/50%Level	WLI (%)	MAWT (hr)	
Felling	Process1	101	1.14	65.7	1.11
	Process2	113	0.90	37.6	4.28
	Process3	96	1.09	59.2	1.52
Limbing	Process1	101	0.99	48.5	2.54
	Process2	108	1.22	78.4	0.60
	Process3	108	1.06	57.4	1.66
Bucking	Process1	101	0.83	30.8	5.94
	Process2	96	0.88	37.4	4.33
	Process3	96	0.79	28.2	6.73
Chocking	Process1	93	1.08	57.8	1.62
	Process2	102	1.04	54.3	1.92
	Process3	100	1.03	53.5	2.00

작업강도의 정도에 따라 작업 시간을 산정할 수 있는 MAWT를 이용하여 분석한 결과 별도작업의 경우 Process1에서 1.11 hr로 낮았으며, Process2에서 4.28 hr로 높게 나타났으며, 평균적으로 2.30 hr으로 분석되었다. 가지제거작업의 경우 Process2에서 0.60 hr로 낮았으며, Process1에서 2.54 hr으로 높게 나타났으며, 평균적으로

1.60 hr로 분석되었다. 조재작업의 경우 Process2에서 4.33 hr로 낮았으며, Process3에서 6.73 hr로 높게 나타났으며, 평균적으로 5.66 hr로 분석되었다. 초커작업의 경우 Process1에서 1.62 hr로 낮았으며, Process3에서 2.00 hr로 높게 나타났으며, 평균적으로 1.85 hr로 분석되었다.

3.3 심박수와 작업강도의 관계분석

심박수와 작업강도를 이용하여 작업 시 심박수의 정도가 작업강도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 운동자각도(RPE: Rating of Perceived Exertion, 이하 RPE)를 이용하여 Table 6[10]과 같이 작업을 할 때 느껴지는 주관적인 감정을 척도로 나타내어 운동강도를 표현한 것으로 신뢰성이 높고 실용적이다. 스포츠나 신체활동, 운동시험 등에서 운동량의 척도를 작업등급으로 나타내며 심박수에 비례하여 증가하며 심박수의 증가에 따라 작업강도를 결정하게 된다. 힘든 작업은 50대, 60대의 경우 심박수가 135~145 beat/min가 넘게 되었을 때부터 작업강도가 높다고 판단되며 특히 155~165 beat/min 이었을 때에 대단히 힘든 작업이라고 판단된다. Fig 2의 작업심박수의 분석

Table 6. Age-based heart rate according to RPE

RPE	HR(beat/min)	
	60'	50'
Extremely Hard	155	165
Very Hard	145	155
Hard	135	145
Somewhat Hard	125	135
Somewhat Light	120	125
Very Light	110	115
Light	100	105
Extremely Light	90	90

결과, 별도작업 평균 117.1 beat/min, 가지제거작업 121.5 beat/min, 조재작업 90.3 beat/min, 초커작업 beat/min 으로 가벼움 정도의 운동자각도로 분석되었다.

하지만 작업강도의 높은 수준을 파악하기 위하여 Table 3의 MAWT 시간을 살펴보면, 일일 평균 6시간 이상의 작업의 허용 범위를 나타내는 최대허용작업시간의 작업강도는 30.5 %이상일 때 과로가 쌓이고 피로가 누적 된다고 판단되므로 Table 4의 조재작업의 Process3의 작업강도인 28.2%를 제외한 모든 작업에서 최대허용작업시간을 초과한 것으로 분석되었다. 심박수의 증가는 일반적으로 작업의 강도가 비효율적이고, 상승의 폭이 높으면 과도한 작업이지만 심박수의 상승보다는 작업의 한계를 넘는 시점에서 지속적으로 작업을 수행함으로써 오는 피로감에 의해 작업강도가 증가하는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 임목수확작업 공정 중 안전사고발생 위험이 크고 인력위주의 작업을 대상으로 작업원의 작업강도 및 피로한도를 분석하여 작업원의 안정적 작업 방안을 도출하기 위해 연구를 수행하였다. 그 결과 심박수 측정을 통한 작업심박수는 가지제거작업 121.5 beat/min, 별도작업 117.1 beat/min, 초커작업 112.7 beat/min, 조재작업 90.3 beat/min 순으로 분석되었으며 안정심박수는 가지제거작업 65.7 beat/min, 별도작업 63.3 beat/min, 초커작업 58.3 beat/min, 조재작업 57.7로 분석되었으며, 최대심박수는 별도작업 162.0 beat/min, 조재작업 159.3 beat/min, 가지제거작업 157.3 beat/min, 초커작업 156.7 beat/min로 분석되었다. 또한 IHR의 경우 초커작업

94.0 %, 벌도작업 87.9 %, 가지제거작업 84.8 %, 조재작업 56.8 % 순으로 분석되었다.

작업강도 분석결과, 피로한도분석의 경우 가지제거작업, 초커작업, 벌도작업이 피로한도보다 작업 심박수의 비율이 약 13~15% 높게 나타나 피로도가 발생하는 것으로 분석되었으며, 조재작업의 경우 약 8%로 작아 피로도가 낮은 작업으로 분석되었다. 50 % 수준 심박수에 대한 작업심박수의 비율 역시 가지제거작업, 조재작업 및 벌도작업이 1.13~1.15로 1보다 높게 분석되어 중노동이 이루어지고 있다고 판단된다. 작업강도지수 분석결과에는 작업종 모두 작업강도지수가 높은 것으로 분석되었으며, 특히 피로한도 분석과 동일하게 가지제거작업, 초커작업, 벌도작업의 경우 40~70 %에 해당하여 매우 높은 강도의 작업으로 분석되었다.

MAWT(Maximum Acceptable Work Time) 분석결과 벌도작업, 가지제거작업, 초커작업의 경우, 최대허용작업시간이 각각 2.30 hr, 1.60 hr, 1.85 hr 순으로 분석되었으며, 하루 평균작업시간 8시간으로 비교하였을 때 약 6시간 이상을 피로감을 갖고 작업을 할 것으로 분석되었다. 이는 작업의 안정성이 매우 떨어지고 안전사고의 위험이 높은 것으로 판단된다. 반면 조재작업의 경우 5.66 hr으로 분석되어 안전하게 작업을 지속적으로 수행하기 위해서는 작업 시 휴식시간을 이용하여 충분히 휴식 후 작업을 수행하여야 하며, 심박수가증가율 및 작업강도가 높게 증가하지 않도록 작업 시간과 휴식 시간을 적절하게 배정하는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] Statistical yearbook of forestry, 444, Korea Forest Service, 2018, p. 39.
- [2] Status of industrial accidents in 2017, Ministry of Employment and Labor, 2018, p. 15.
- [3] Lee, J.W., Park, B.J., Kim, J.W., and Song, T.Y., Work load of felling work using chain saw in Japanese larch plantation site, *Journal of Korean Forest Society* 87(2) pp. 121-130, 1998.
- [4] Mun, H.S., Cho, K.H., Kim, C.S., Song, T.Y., and Kim, H.S., Heart rate strain of forest-workers in weeding, *Journal of Korea Society of Forest Engineering* 12(2) pp. 95-103, 2014.
- [5] Park, H.S., Lee, J.W., Choi, Y.H., Park, B.J., and Kim, M.J., Evaluation of work intensity by moving work in forest, *Journal of Korean Forest Society* 92(4) pp. 388-396, 2003.
- [6] Kim, J.H., Comparison of analysis of original cause material and factors considering workplace characteristics on occupational injuries and diseases in forestry, *Journal of the KOSOS* 25(5) pp. 110-117, 2011.
- [7] Kweon, H.K., Lee, J.W., Choi, S.M., and Yeom, I.H., Work analysis of route survey work on forest-road, *CNU Journal of Agriculture Science* 40(3) pp. 209-214, 2013.
- [8] Kim, H.Y., Park, S.H., Lee, S.H., and Park, J.M., Analysis on safety accident characteristics of forestry workers in Korea, *Journal of Korean Forest Society* 102(4) pp. 550-559, 2013.
- [9] Kim, H.Y., Park, J.M., Study on the System Improvement for Accident Prevention of Forestry Operations in Korea, *Journal of Korean Forest Society* 103(4) pp. 574-582, 2014.
- [10] Korean Society of Exercise Physiology, *Exercise physiology*, 334, Hannibook, pp. 169-322, 2014.
- [11] Lammert, Maximal aerobic power and energy expenditure of Eskimo hunters in Greenland, *Journal of Applied Physiology*, 33 pp. 194-188, 1972.
- [12] Haberland, S, Arbeitswissenschaftslehre, Inst. für Waldarbeit, University Gottingen, pp. 38-54, 1982.
- [13] Jang, T.W., Choi, W.J., Mun, M.G., Park, J.H., A study on the measurement of work intensity and physical load of delivery personnel, *Research Report*, Korea Post Office, Korea, pp. 23.

(접수: 2020.05.28. 수정: 2020.06.15. 게재확정: 2020.06.26.)