韓國林學會誌 87(2) : 121 - 130. 1998
Jour. Korean For. Soc. 87(2) : 121 - 130. 1998

체인톱을 利用한 落葉松 伐木作業에서의 作業强度分析[1]

李峻雨[2] · 朴範鎭[2] · 金在源[3] · 宋泰榮[3]

Work Load of Felling Work Using Chain Saw in Japanese Larch Plantation Site[1]

Joon Woo Lee[2], Bum-Jin Park[2], Jae-Won Kim[3] and Tae-Young Song[3]

요 약

벌도작업에서 작업원의 작업강도를 파악하기 위하여, 체인톱을 이용한 낙엽송 간벌작업에서 작업시간과 작업량을 조사하였으며, 작업시 심박수의 변화를 조사하였다. 또한, 작업원의 최대 작업수행 능력을 평가하기 위하여 최대산소섭취량을 조사하였다. 1일 실작업시간은 6시간 6분으로 오전작업시간이 약 3시간 12분, 오후가 2시간 54분으로 나타났고, 전체작업시간 중 실작업시간의 비율이 약 90% 정도를 차지하는 것으로 나타났으며, 실작업시간 중 요소작업의 시간비율은 이동(Movement)의 비율이 평균 26.3%로 가장 큰 값을 보였다.

작업원의 작업량을 분석하기 위하여 시간당 벌목재적을 조사한 결과 평균 2.62m^3/hr로 나타났다.

작업원의 작업능력을 평가하기 위하여 최대산소섭취량을 분석한 결과, 평균 2.42ℓ/min(46.5mℓ/kg/min)으로 나타났으며, 작업시 심박수를 바탕으로 체인톱을 이용한 낙엽송 간벌작업 중 실동시간의 작업강도를 분석한 결과, 실동시간의 심박수 증가율은 평균 93.2%로 나타났고, 작업강도지수는 평균 41.9%로 나타났다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate working time, productivity, and heart rate during thinning using chain saw in Japanese larch(*Larix leptolepis*) plantation site for analysis of physical work load, and to investigate maximal oxygen uptake of worker for analysis of maximal work capacity.

The real working time was 366 minutes in a day ; about 192 minutes in the a.m., 174 minutes in the p.m.. The ratio of real working time per total working time was approximately 90%. The rate of moving(Mo) to real working time was 26.3%, which was the largest one of work elements.

Average maximal oxygen uptake, as an asset of personnel performance, was 2.42ℓ/min(46.5mℓ/kg/min).

During the real working time, average productivity, the mean rate of increase of heart rate, and the mean work load index was 2.62m^3/hr, 93.2%, and 41.9%, respectively.

Key word : Work Load, Maximal Oxygen Uptake, Heart Rate, Chain Saw, Felling

[1] 接受 1997年 8月 20日 Received on August 20, 1997.
[2] 忠南大學校 山林資源學科 Department of Forest Resources, Chungnam Nat'l Univ., Taejon, 305-764, Korea.
[3] 林業硏究院 Forestry Research Institute, Seoul, 130-012, Korea.

서 론

우리나라의 산림은 정부주도의 조림과 사방사업을 통하여 성공적으로 녹화되었으며, 꾸준한 관리와 지속적인 투자에 힘입어 ha당 약 50m³의 임목축적을 보유하게 되었다. 그러나 대부분의 산림이 조성된지 30년 안팎의 유령림이므로 경제림으로 가꾸어 나가기 위해서는 간벌, 지타 등의 무육작업이 요구되고 있다.

일반적으로 산림 내에서 수행되는 작업들은 대부분 체력의 소비가 심한 중근노동이다. 최근 이러한 문제점을 보완하여 노동의 부담을 줄이고 작업효율을 높이기 위하여 여러 가지 종류의 임업기계들이 도입되고 있다.

임업노동의 기계화는 과거 손 도구를 사용하여 인력에 전적으로 의존하던 때와 비교해 보면 작업원이 느끼는 작업강도를 줄이고 생산량을 증대시키는 효과를 가져왔다. 그러나, 산림작업의 특성상 작업대상이 다양한 형태로 존재하므로 작업의 표준화와 기계화의 발전속도는 타 산업과 비교하여 매우 느리며, 따라서 기계-인간의 작업시스템에서 인력에 대한 의존도가 아직까지도 비교적 높다.

현재 국내에서 기계화된 산림작업은 주로 체인톱(Chain saw)을 이용한 벌목 및 조재작업과 트랙터(Tractor)·타워야더(Tower yarder)를 이용한 집재작업 등으로 이루어져 있다. 그러나, 임업 경영자의 대부분이 영세산주이므로 고가의 장비를 구입하기 어렵고, 전문교육을 받은 조작수(Operator)의 부족으로 대부분의 기계화 작업은 산림청 산하기관과 임업기계훈련원에서 시범적으로 시행되고 있으며, 소수의 국유림관리소 산하 작업단과 임업협동조합 산하 작업단에서 간단한 임업기계를 이용한 작업을 실시하고 있는 실정이다.

체인톱은 국내에서 벌목, 조재작업 등에 범용적으로 사용되는 대표적인 장비로써 고성능 경량 단기통 가솔린엔진을 동력원으로 하며, 톱체인이 안내판을 따라 회전하며 목재를 절단하는 기계이다(禹保命, 1987).

체인톱을 이용한 작업에 있어서 발생하는 여러 가지 문제점 중에서 특히, 엔진의 출력수와 회전수에 비례하여 증가되는 소음 및 진동에 의한 노동부담과 직업병 등이 우려되며(伏見과 奧野, 1981), 또한 급경사지의 작업장소를 자주 이동하며 고속으로 회전하는 체인을 사용하여 중량물을 다루는 옥외노동이므로 타산업에 비해 노동재해 발생률이 높은 것으로 알려져 있다(筒井, 1983).

산림작업에서 인간공학적 연구는 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 작업원이 도구와 기계를 사용함에 있어 편리하도록 설계하는 것이며, 둘째는 기계를 사용하는 작업원의 작업방식을 분석하여 불필요한 동작을 억제하고 작업원의 에너지소비가 최소가 될 수 있는 동작을 개발, 교육하고 생산성이 극대화되도록 작업시간을 안배하는 것이다. 셋째는 작업안전에 관한 것으로 기계의 개발이나 작업동작을 교육할 때 사고를 유발할 수 있는 동작이나 기계구조를 피하고, 작업원이 느끼는 작업강도를 파악하여 무리한 작업에 따른 사고의 위험없이 안정된 상태에서 능률적으로 작업할 수 있는 여건을 조성해 주는 것이다.

작업연구(Work study)는 작업원의 동작연구(Motion study)와 각각의 동작의 시간연구(Time study), 그리고 작업시간당 작업량에 관한 조사를 통하여 불필요한 동작을 줄이고 작업의 효율을 높이기 위하여 제시되었다.

1881년 Tayler는 스톱워치를 이용하여 최초의 시간연구를 실시하였고, 1920년대에 Gilbreth는 필름분석법(Cycle graph)을 이용하여 동작연구를 실시하였는데, 이는 미국에서 과학적인 작업연구의 시초라고 할 수 있으며, Puzyr는 1919년에 최초로 시간조사를 통하여 벌목작업의 작업능률 조사를 실시하였다(盧載厚, 1993).

작업강도를 평가하는 방법은 심박수(Heart rate) 또는 맥박수(Pulse rate), 산소섭취량(Oxygen uptake) 등과 같은 생리적 지표를 이용하여 작업원이 수행할 수 있는 최대작업능력과 현재 수행하고 있는 작업능력의 비율을 구하는 방법 등이 있다.

최대산소섭취량(Maximal oxygen uptake ; VO_2max)은 작업원의 전신지구력의 지표로써 최대작업능력을 파악하는데 가장 많이 이용되고 있으며, 작업시 산소섭취량의 변화를 연구하므로써 작업부하를 측정할 수 있다.

인간은 체내로 흡수한 영양소와 산소를 이용하여 만들어진 에너지를 이용하여 활동하고 있는데 이 에너지의 출입이 에너지 대사이다. 작업의 강도는 작업을 수행하는데 소요한 에너지의 량과

밀접한 관계가 있으므로 여러 작업의 강도에 해당되는 지수로써 에너지대사율(Relative Metabolic Rate ; RMR)을 사용하기도 한다(李根熙, 1994).

이러한 작업원의 작업강도 평가는 휴식시간의 안배와 임금결정 등의 기초자료로써 이용되며, 작업원의 적절한 관리를 통하여 생산성 향상과 더불어 지속적으로 작업원을 확보할 수 있게 된다.

이상의 관점에서 본 연구는 체인톱을 이용한 낙엽송 간벌작업에서 요소작업별 작업시간을 분석하고 작업량을 조사하였고, 실험실에서 작업원의 최대산소섭취량을 조사하였으며, 각각의 요소작업에서 심박수를 이용한 조사·분석을 통하여 벌도작업에서 작업원의 작업강도를 파악하기 위하여 수행되었다.

연구 방법

1. 조사지 및 작업원

조사지는 강원도 원주군 지정면 판대리에 위치한 원주영림서 홍천관리소 산하의 국유림으로써 조사지의 축적은 68㎥/ha이며, 평균 경사도 35%의 30년생 낙엽송의 인공림 간벌지이다. 작업기종은 Table 1에서 보는 바와 같이 스웨덴의 Husquvana사에서 제작한 체인톱(Husquvana - 42)을 사용하였으며, 작업방식은 1인이 벌채목 선정, 벌목, 조재작업을 모두 수행하는 1인 1조로 실시되었다. 또한, 작업은 동일한 작업지에서 동일한 날자에 수행되었다.

작업원은 (재)광림공사 산하의 작업단에 소속된 작업원으로써 Table 2에서 보는 바와 같이 20대 후반에서 30대 중반으로 임업에 종사하는 작업원의 고령화 추세에 비추어 비교적 젊은 층에 속하며, 작업원의 작업경력은 8년, 3년, 2년으로 다양한 체인톱 작업 경력을 소유하고 있다.

2. 작업시간의 측정과 작업량의 계산

초시계를 이용하여 작업이 시작될 때부터 끝날 때까지 각 요소작업의 시작시간 또는 끝나는 시간을 야장에 기록하며, 요소작업의 시간차를 이용하여 작업소요시간을 산출하는 연속관측법을 사용하여 현장에서 작업원과 일정거리를 유지하며 요소작업이 바뀌는 시점의 시간과 요소작업명을 야장에 기입하여 조사하였다.

작업량의 계산은 시간조사와 병행하여 벌목 후 줄자와 윤척을 이용하여 벌도목의 중앙단면적과 재장을 실측하였으며, 재적의 계산은 후버식(Huber' formula)을 이용하여 수행하였다(金甲德, 1977).

3. 요소작업분석

작업량과 요소작업별 작업강도를 분석하기 위하여 Table 3과 같이 전체 작업시간을 실작업시간과 나머지시간으로 구분하였으며, 이를 다시 벌목, 지타, 현목처리(벌목시 벌도목이 주변에 위치한 입목에 걸린 경우 벌도목을 내리는 작업), 잡관목 제거, 주변정리, 이동, 벌도목 선정, 휴식, 인적여유, 주유 및 정비작업으로 세분하여 총 12개의 요소작업으로 구분하였다.

실작업시간(Real working time)은 총작업시간 중 작업지까지의 이동시간, 기계나 장비의 장기적인 고장, 그리고 예기치 못했던 작업지체시간 등을 제외한 시간으로 하였고, 이를 실동시간과 여유시간으로 구분하였다.

실동시간(Net working time)은 체인톱이 가동

Table 1. Description of chain saw(model : Husquvana - 42)

Engine displacement(cc)	Fuel tank volume(ℓ)	Oil tank volume(ℓ)	Weight(kg)	Guide bar(inch)
42	0.4	0.2	4.6	16.18

Table 2. Personal data of thinning workers.

Worker	Job experience(year)	Age(year)	Weight(kg)	Height(cm)
P.H.H.	3	28	48	160
L.N.L.	8	32	54	160
L.J.S.	2	34	56	170
K.D.S.	3	30	65	172

Table 3. Division of sub-operations in this study.

Time	Real Working Time											etc.
	Net Working Time							Allowance				
								Pe		Jo		
sub-operation	Fe	Li	Ta	Ro	Pr	Mo	Se	re	pe	rf	am	av

Fe : Felling
Li : Limbing
Ta : Take down hang-up tree
Ro : Removing obstacles
Pr : Preparation for felling
Mo : Moving in the work site
Se : Searching the marked tree
Pe : Personal allowance with resting time
re : resting
pe : personal allowance
Jo : Job allowance
rf : refueling
am : adjusting and maintenance of the chain saw
etc. : not working time
av : avoidable delay

되어 직접 작업을 수행한 시간으로써 벌목, 지타, 현목처리, 잡관목 제거, 벌도목간의 이동, 벌도목 탐색, 벌목전 주변정리 등이 이에 포함된다.

여유시간(Allowance)은 벌목작업과는 무관하지만 작업을 수행하는데 필요한 시간으로써 휴식과 같이 작업원이 생리적으로 필요한 시간을 인적여유(Personal allowance)로 구분하였고, 주유 및 정비를 물적여유(Job related allowance)로 구분하였다.

4. 최대산소섭취량의 측정

산소섭취량은 작업시 작업원이 느끼는 작업강도를 직접적으로 평가하는 기준이 된다. 그러므로 외국에서는 작업시 산소섭취량을 측정하여 작업강도를 직접적인 방법으로 평가한다. 그러나 국내연구에서는 측정도구의 미비와 측정시 작업원이 측정도구 착용에 적응해야 하는 애로점이 발생하므로 주로 심박수와 산소섭취량의 상관관계를 이용하여 작업시 산소섭취량을 추정하고 있다. 따라서 본 연구는 실험실에서 최대산소섭취량 및 산소섭취량과 심박수의 상관관계를 조사하였으며, 현장에서 조사된 작업시 심박수를 이용하여 작업강도를 분석하였다.

최대산소섭취량의 측정은 일정한 작업부하를 피험자에게 인공적으로 부여하며, 산소섭취량과 심박수의 변화를 조사하므로 알 수 있다.

본 연구에서 최대산소섭취량의 분석은 트레이드밀(Treadmill)과 가스분석기(Gas analyzer)를 이용하여 실시 하였다. 트레이드밀은 전신의 근육을 고르게 사용하는 운동이며 일상 생활인 걷기·달리기와 유사한 운동이므로 피검자가 검사

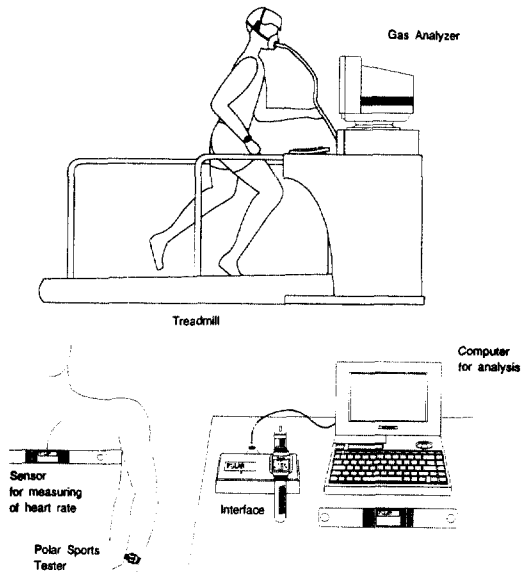


Fig. 1. Diagram of treadmill with several equipment(Quinton 3000 and Polar Sport Tester P-4000) for measuring of maximal oxygen uptake and heart rate.

에 쉽게 적응할 수 있다는 장점을 가진다.

실험에 사용한 트레이드밀과 가스 분석기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 미국의 Quinton사가 제작한 Quinton 3000을 사용하였으며, 30초 간격으로 산소섭취량의 변화를 측정하였다.

트레이드밀을 이용하여 최대산소섭취량을 유도하기 위해서 사용한 Bruce protocol은 Table 4에서 보는 바와 같이 초기부하를 속도 1.7mph, 경사 10%인 1단계부터 시작하여 매 3분마다 다음 단계로 작업부하를 증가시키는 방식으로 다른 여

Table 4. Speed and gradient of treadmill in Bruce protocol.

Stage	1	2	3	4	5
Speed(mph)	1.7	2.5	3.4	4.2	5.0
Gradient(%)	10	12	14	16	18
Time(min)	3	3	3	3	3

러 가지 프로토콜과는 다르게 심장질환자 또는 운동선수를 제외한 일반 남성의 최대산소섭취량 분석에도 널리 이용되는 방법이다.

심박수의 측정은 핀란드의 POLAR ELECTRO사에서 제작한 심박수 측정기(Polar Sport Tester P-4000)를 사용하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 심박수 측정기의 감지기 및 송신기는 벨트처럼 가슴에 부착하여 심장박동 신호를 감지하여 무선으로 송신하고, 수신기 및 기억장치는 손목시계처럼 손목에 착용하는데 송신된 심장박동 신호를 수신하여 기억할 수 있으며, 기억장치(손목시계)에 파일별로 기억된 자료를 컴퓨터 인터페이스를 통하여 측정된 심박수 자료를 활용·분석할 수 있다.

5. 작업시 심박수의 측정

작업시 심박수 변화는 낙엽송 간벌작업 현장에서 작업원을 대상으로 조사하였으며, 측정에는 Seno Heart Check 108이 사용되었다. Seno Heart Check 108는 일본에서 제작된 심박수 측정기로서 기기의 구성은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 심박수 측정 밴드와 송신장치, 수신장치, 프린터, 주기계장치로 이루어져 있다.

심박수의 측정을 위하여 심박수 감지장치가 설치된 벨트를 송신기와 부착하여 작업원의 가슴에 채웠으며, 송신기와 수신기가 15m 이상 떨어지면 수신이 불가능하므로 수신기와 프린터 및 주기계장치를 조사자가 들고 작업원의 이동에 맞추어 일정거리를 유지하면서 작업시간 분석을 병행하였다. 심박수의 기록 시간은 5, 10, 30, 60초의 일정한 간격으로 조정이 가능하며, 하루의 작업을 오전과 오후로 구분하여 5초 간격으로 심박수를 측정하였고, 이 값을 컴퓨터에 입력하여 요소작업과 비교하였다.

6. 작업강도의 추정방법

작업강도를 나타내는 절대적인 측정단위로는 분당 에너지소비량(kcal/min, kj/min), 분당 산소소비량(ℓ/min), 에너지대사율(RMR, Relative Metabolic Rate) 등이 이용되는데 상대적인 작업강도의 단위로는 최대산소섭취량에 대한 백분율이나 최대심박수 또는, 안정시 심박수의 백분율로 나타내는 방법이 있다(山地, 1981).

본 연구에서는 최대산소섭취량을 이용하여 최대심박수를 추정하였으며, 작업 시작전 10분 이상 앉아서 쉰 상태의 맥박수를 이용하여 안정시 심박수를 결정하였다. 최대심박수와 안정시 심박수를 이용하여 심박수증가율과 작업강도지수를 구하였고, 이를 이용하여 작업강도를 분석 하였다.

1) 심박수증가율

심박수증가율이란 식 (1)과 같이 작업수행시 심박수의 증가율과 안정시 심박수의 비율을 작업부하의 척도로 사용하는 방법이다(서울대학교 운동생리학실험실, 1989).

$$IHR = \frac{HRw - HRr}{HRr} \times 100 \quad \cdots\cdots (1)$$

- IHR : 심박수증가율(%)
- HRw : 작업시 심박수(beat/min)
- HRr : 안정시 심박수(beat/min)

2) 작업강도지수

작업강도지수(Work Load Index ; WLI)란 최대심박수에서 안정심박수를 뺀 여유심박수(heart

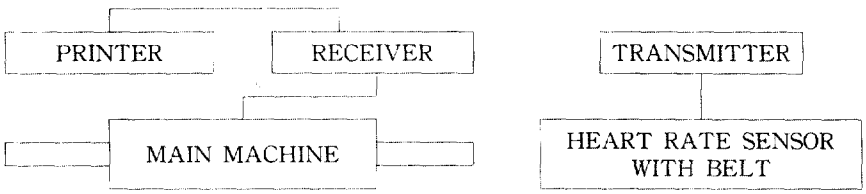


Fig. 2. Diagram of heart rate measurement(Seno Heart Check 108).

rate reserve)에 대한 심박수증가량을 백분율로 표시하여 상대적인 작업강도(relative work load)로 나타내는 방법으로써 아래의 식 (2)와 같이 구할 수 있다(Karvonen과 Vuorimaa, 1988).

$$WLI = \frac{HRw - HRr}{HRmax - HRr} \times 100 \quad \cdots\cdots (2)$$

- WLI : 작업강도지수(%)
- HRw : 작업시 심박수(beat/min)
- HRr : 안정시 심박수(beat/min)
- $HRmax$: 최대심박수(beat/min)

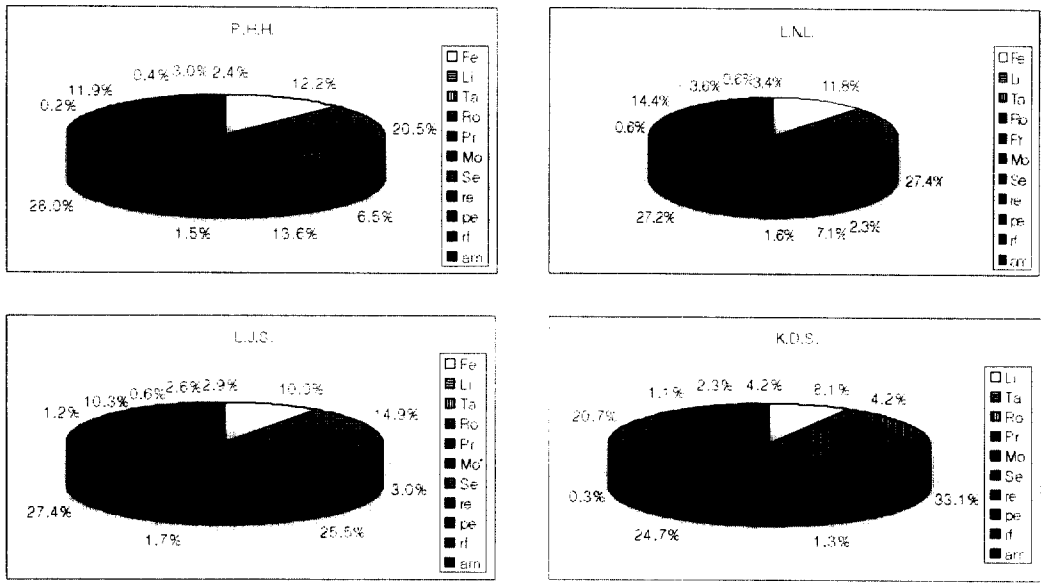
결과 및 고찰

1. 요소작업시간

우리나라의 작업원의 경우를 살펴보면 경험과 훈련이 부족하고 작업지의 작업조건이 다양하므로 작업능률의 변이가 매우 크게 나타난다. 이를 해소하기 위해서는 충분한 작업시간연구를 통하여 표준작업방법을 수립하고 작업원의 훈련과 교육에 표준화된 작업방법을 적용하여야 한다(金在源, 1986).

본 연구의 조사에서 하루의 작업 중 오전작업은 7 : 40 - 8 : 10사이에 시작되었고, 보통 17 : 00경에 종료되었으며, 1일 실작업시간은 평균적으로 6시간 6분으로 오전작업시간이 약 3시간 11분 33초, 오후가 2시간 54분 56초로 나타났다. 이 값은 金在源(1986)이 조사한 1일 실작업시간 8시간 6분에 크게 못 미치는 값으로써, 이는 작업지의 급여형식이 능력급과 월급으로 서로 상이하여 발생한 차이로 생각된다.

요소작업별 작업소요시간의 구성은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 실작업시간 중 요소작업의 시간비율은 이동작업(Mo)의 비율이 28.0%, 27.2%, 27.4%, 24.7%로 나타나 평균 26.3%로 가장 큰 값을 보였으며, 지타작업(Li)과 잡관목 제거(Ro)가 평균 20.1%, 17.1%로 조사되었으며, 휴식



Fe : Felling
Li : Limbing
Ta : Take down hang-up tree
Ro : Removing obstacles
Pr : Preparation for felling
Mo : Moving in the work site
Se : Searching the marked tree
Pe : Personal allowance with resting time
re : resting
pe : personal allowance
Jo : Job allowance
rf : refueling
am : adjusting and maintenance the chain saw
etc. : not working time
av : avoidable delay

Fig. 3. Composition of the sub-operational time in real working time by worker.

(re)을 포함하는 인적여유(Pa)가 14.9%로 조사되어 비교적 높은 비율을 보이는 것으로 나타났다. 이 작업지에서 잡관목 제거(Ro)가 작업시간 중 많은 비율을 차지하고 있는 것으로 조사되었는데, 이는 간벌과 동시에 천연림 보육작업을 실시하였기 때문에 천연림보육을 위한 잡관목 제거작업(Ro)의 수행시간이 많았던 것으로 판단된다.

작업원 P.H.H.와 L.J.S.은 이동작업(Mo)의 비율이 28.0%와 27.4%로 가장 높았으며, L.N.L.는 지타작업이 27.4%, 그리고 K.D.S.는 잡관목제거(Ro)가 33.1%로 가장 높게 나타났다. 작업원 K.D.S.의 경우 작업지가 천연림보육 작업량이 많은 곳으로써 잡관목 제거작업(Ro)의 비율이 많은 양을 차지하고 있으며, 실동시간 중에 벌목(Fe) 및 지타작업(Li)의 시간비율이 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

실작업시간 중 지타작업시간의 비율은 金在源(1986)이 원주군 국유림의 22년생 잣나무를 대상으로 연구한 오전 38.3%와 오후 35.1%와 後藤 등(1980)이 보고한 33%와 비교해 볼 때, 작업시간에 크게 못 미치는 값을 가지는데, 이러한 차이는 수종간 가지의 직경 및 개수가 서로 다르므로 발생되는 것으로 생각된다.

2. 작업능률 분석

조사된 작업시간과 작업량을 바탕으로 작업능률을 분석한 결과, Table 5와 같이 작업원에 따라 P.H.H. 2.82m³/hr, L.N.L. 2.39m³/hr으로 조사되었고, L.J.S.과 K.D.S.는 각각 2.53m³/hr, 2.72m³/hr 조사되었으며, 작업원 전체에 대한 평균값은 2.62m³/hr로 나타났다.

盧載厚와 金在源(1984)이 2인 1조 체인톱 벌목작업에서 작업능률을 조사한 결과에 따르면, 1일 실작업시간은 5시간이며, 작업능률은 침엽수가 4.52m³/hr, 활엽수가 2.68m³/hr라고 하였는데, 이를 작업원 1인으로 환산하면 작업능률은 침엽수의 경우는 2.26m³/hr, 활엽수는 1.34m³/hr로써 본 연구에서 조사된 작업능률과 비슷한 경향을 보이고 있다.

또한, 金在源(1986)이 22년생 잣나무 임분에서 체인톱 조작수, 보조수, 도끼를 이용한 지타작업자의 3인으로 구성된 작업조를 대상으로 체인톱 벌목작업의 작업능률을 조사한 결과, 1인당 오전 1.18m³/hr, 오후 1.08m³/hr와 비교해 보면 비교적 높은 값을 나타내었다.

이는 2인 1조의 작업방식에서 체인톱을 이용하여 벌목작업을 전담하는 기계수를 제외한 보조수들의 작업이 벌도목의 주변정리 및 조재작업시 조재목의 길이 표시 등을 수행하므로써 직접적인 작업참여도가 매우 낮아서 작업효율이 떨어지는 것으로 판단된다.

3. 최대산소섭취량 분석

운동부하실험은 실험실에서 일정한 부하의 운동을 점증적으로 실시하여 운동부하에 따른 여러가지 생리적 현상을 조사하기 위하여 수행되었다. 이 실험을 통하여 작업원별 최대산소섭취량의 추정이 가능하며, 피험자의 신체적 특성에 따른 산소섭취량과 심박수의 상관관계식을 유도할 수 있다.

작업원의 작업능력을 분석하는 지표로써 최대산소섭취량은 연령, 성별, 인종 등에 따라 집단간에 차이를 보인다. 13세 이전에는 남성과 여성의 차이가 거의 없으나 사춘기 이후의 여자에 최대산소섭취량은 남자의 65-75% 수준을 유지하게 되며, 성별에 관계없이 20세 정도에 최고가 되었다가 점차 감소하여 65세의 최대산소섭취량은 20세의 약 70%가 된다(Astrand와 Rodahl, 1986). 또한, 동일한 집단에서도 개인의 유전적 요인에 따라 최대산소섭취량은 다르게 나타난다.

본 연구에서 체인톱을 이용한 낙엽송 간벌작업에 참여한 작업원을 대상으로 운동부하실험을 실

Table 5. Average productivity of chain saw operation in net working time.

Worker	No. of thinned trees (ea/hr)	Average volume of thinned tree(m³)	Thinned tree volume per net working time(m³/hr)
P.H.H.	60.8	0.14	2.82
L.N.L.	62.3	0.11	2.39
L.J.S.	57.3	0.13	2.53
K.D.S.	50.0	0.15	2.72
Average	57.6	0.13	2.58

시한 결과, 부하를 증가시킴에 따라 심박수와 산소섭취량이 점차 높아지는 경향을 보이고 있으며, 심박수와 산소섭취량의 증가추세가 매우 유사함을 알 수 있었다. 또한, 운동부하실험의 결과를 바탕으로 피험자의 산소섭취량과 심박수의 상관관계를 분석한 결과, Table 6과 같이 유의성이 높은 직선적인 회귀관계를 보였다. 산출된 회귀식은 연장법을 이용한 최대산소섭취량의 추정과 현장에서 측정이 용이한 심박수를 바탕으로 요소작업의 산소소비량을 계산하는데 적용이 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

트레이드밀(Treadmill)과 가스분석기(Gas analyzer)을 이용하여 체인톱 벌목작업의 최대산소섭취량을 분석한 결과, Table 7과 같이 작업원에 따라 P.H.H. 2.24ℓ/min(46.6mℓ/kg/min), L.J.S. 2.60ℓ/min(46.4mℓ/kg/min)으로 나타났으며, 평균 2.42ℓ/min(46.5mℓ/kg/min)로 나타났다. 이러한 값은 今富와 奥田(1994)이 38명의 일본 산림작업원을 대상으로 조사한 최대 산소소비량 평균인 2.48ℓ/min보다는 다소 낮게 나타났으나 단위체중당 산소소비량은 일본의 41.26mℓ/kg/min보다 조금 높은 46.5mℓ/kg/min로 나타났다.

그러나 Vik(1971)가 연령이 30세 미만인 노르웨이에 산림작업원을 대상으로 조사한 평균 최대산소섭취량 3.2ℓ/min에 비하면 매우 낮은 값을 나타내고 있어 국가간 작업원의 최대산소섭취량에는 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

4. 작업강도 분석

심박수는 호흡순환계의 지표 가운데 가장 측정이 용이함과 동시에 신뢰성이 높아 작업강도의 평가에 많이 이용되어 왔으며, 다만 산소소비량에 비해 심리적인 원인, 또는 작업환경하의 기온에 민감하게 변동되므로 열대지방이나 여름철의 고온 직사광선 하에서의 작업에서는 작업맥박수가 10-20beat/min 이상 높아질 수가 있는 단점이 있으나(Kirk와 Parker, 1994), 한편으로는 이러한 외부 작업조건을 반영하여 작업강도를 포괄적으로 추정할 수 있는 장점이 있다.

Table 6. Regression equation between heart rate (x) and oxygen uptake(Y) on work load test.

Worker	Regression equation	R^2	F-value
P.H.H.	$Y = 0.0183x - 1.1644$	0.96	509.881
L.J.S.	$Y = 0.0203x - 1.0813$	0.94	241.607

본 연구에서 체인톱 벌목작업의 작업강도 평가는 체인톱으로 작업을 수행하는 실동시간을 대상으로 분석하였다.

1) 심박수증가율

체인톱 실동시간과 휴식시간의 심박수증가율을 분석한 결과, Table 8에서 보는 바와 같이 실동시간의 심박수 증가율은 평균 101.5%로 나타났으며, 작업과 작업 사이에 발생된 휴식시간 동안의 심박수 증가율은 51.9%로 나타났다. 휴식시간의 심박수증가율은 휴식시간 이전의 작업부담이 누적되어 높은 값을 보이는 것으로써 작업원의 작업부담을 경감시킬 수 있는 휴식시간 비율과 휴식시간 배치에 관한 연구가 시급한 것으로 생각된다.

山田(1986)이 산림노동자의 산지 보행에 따른 생리적 부담을 Heart Memory라는 기기를 이용하여 맥박수를 조사한 결과, 6kg 이하의 짐을 들고 30% 경사지를 오를 때 55~60%의 보행부담이 나타났고, 10kg의 부하에서는 60~70%, 40kg의 부하에서는 65~83%의 보행부담을 받는다고 하였는데, 본 연구에서 체인톱에 의한 벌목작업 실동시간의 평균 심박수증가율 101.5%는 약 40kg의 짐을 들고 30%의 경사지를 이동하는 작업부담과 비교하여 높은 값으로 체인톱을 이용한 벌목작업의 생리적 부담이 매우 큰 것을 알 수 있다.

2) 작업강도지수

작업강도지수는 작업원이 수행한 작업의 부하량이 최대작업능력의 몇 %에 해당하는가를 나타내는 지수이다. 체인톱 실동시간에 대하여 작업

Table 7. Estimated maximal oxygen uptake.

Worker	Resting heart rate(beat/min)	Maximal heart rate(beat/min)	Maximal oxygen uptake(ℓ/min)	Maximal oxygen uptake(mℓ/kg/min)
P.H.H.	61	192	2.24	46.6
L.J.S.	58	181	2.60	46.4
Average	60	187	2.42	46.5

Table 8. Increment of heart rate by sub-operations. (Unit : %)

Sub-operation / Worker	Fe	Li	Ta	Ro	Pr	Mo	re	Jo
P.H.H.	103.28	98.36	95.08	103.28	104.92	96.72	52.46	77.05
L.N.L.	123.00	125.00	124.00	122.00	127.00	121.00	83.00	105.00
L.J.S.	91.38	96.55	96.55	96.55	93.10	84.48	48.28	65.52
K.D.S	87.50	89.06	85.94	89.06	87.50	85.94	48.44	67.19
Average	101.29	102.24	100.39	104.97	103.13	97.04	58.05	78.69

Fe : Felling
Li : Limbing
Ta : Take down hang-up tree
Ro : Removing obstacles
Pr : Preparation for felling
Mo : Moving in the work site
re : resting
Jo : Job allowance

Table 9. Work load index by sub-operations. (Unit : %)

Sub-operation / Worker	Fe	Li	Ta	Ro	Pr	Mo	re	Jo
P.H.H.	48.09	45.80	44.27	48.09	48.85	45.04	24.43	35.88
L.N.L.	40.00	51.56	50.78	49.22	53.13	48.44	18.75	35.94
L.J.S.	43.09	45.53	45.53	45.53	43.90	39.84	22.76	30.89
K.D.S	44.44	45.24	43.65	45.24	44.44	43.65	24.60	34.13
Average	46.41	47.03	46.06	47.02	47.58	44.24	22.64	34.21

Fe : Felling
Li : Limbing
Ta : Take down hang-up tree
Ro : Removing obstacles
Pr : Preparation for felling
Mo : Moving in the work site
re : resting
Jo : Job allowance

강도지수를 구한 결과는 Table 9에서 보는 바와 같이 실동시간을 구성하고 있는 모든 요소작업에 있어서 평균 41.9%로 조사되었다.

金在源 등(1996)은 케이블크레인(Cable crane), 로깅부기(Logging bogie), 트랙터윈치(Tractor winch)를 대상으로 쵸킹작업의 작업강도지수를 비교·분석하여, 쵸커맨의 작업강도지수가 케이블크레인 집재작업의 경우 평균 26.6%, 트랙터윈치 집재작업 33%, 로깅부기 집재작업 26%로 보고하였는데, 이와 비교하면 본 연구에서 조사된 체인톱 벌목작업은 작업부하가 매우 높은 것으로 판단된다.

결 론

본 연구는 벌목 및 조재작업에 널리 사용되는 체인톱을 이용하여 낙엽송 인공림에서 수행된 간벌작업을 대상으로 작업원의 작업방법 개선과 작업능률 향상의 기초자료를 제공하기 위하여 요소작업별 시간분석과 작업능률분석 및 작업강도분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 1일 실작업시간은 6시간 6분으로 오전작업시간이 약 3시간 12분, 오후가 2시간 54분으로 나타났으며, 전체작업시간 중 실작업시간의 비율이 약 90% 정도를 차지하는 것으로 나타났다.
2. 실작업시간 중 요소작업의 시간비율은 이동(Mo)의 비율이 평균 26.3%로 가장 큰 값을 보였으며, 지타작업(Li)과 잡관목제거(Ro), 그리고 인적여유(Pa)가 20.1%, 17.1%, 14.9%로 비교적 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 따라서 산림작업에 기본이 되고 작업시간 비율이 가장 높은 이동에 대하여 지형조건과 작업도구의 중량변화에 따른 이동작업의 부하에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.
3. 작업원의 시간당 작업량을 분석한 결과 1인당, 시간당 벌목재적이 P.H.H. 2.82m^3/hr, L.N.L. 2.39m^3/hr, L.J.S. 2.53m^3/hr,

K.D.S. 2.72m³/hr이며, 평균 2.62m³/hr로 나타났다.

4. 작업원의 작업능력을 평가하기 위하여 최대산소섭취량을 분석한 결과, 평균 2.42ℓ/min (46.5mℓ/kg/min)으로 나타났다.
5. 작업시 심박수를 바탕으로 체인톱을 이용한 낙엽송 간벌작업 중 실동시간의 작업강도를 분석한 결과, 실동시간의 심박수 증가율은 평균 93.2%로 나타났으며, 작업강도지수는 평균 41.9%로 나타났다. 따라서, 체인톱을 이용한 간벌작업은 작업부하가 매우 큰 중근노동으로 판단되며, 생산성 향상과 더불어 지속적으로 작업원을 확보하기 위하여 작업부하를 경감시킬 수 있는 휴식시간의 안배에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

1. 金甲德. 1977. 測樹學. 鄕文社. 서울. 247pp.
2. 金在源. 1986. 체인톱 間伐作業에 關한 硏究. 서울大學校 碩士學位論文. 56pp.
3. 金在源·朴文燮·宋泰榮. 1996. 集材作業 强度 評價에 關한 硏究. 林業硏究院 山林科學論文集 54 : 40-52.
4. 盧載厚·金在源. 1984. 5變數 체인쏘伐木工程表 調製에 관한 硏究. 林業試驗場 硏究報告 31 : 1-19.
5. 盧載厚. 1993. 集材作業시스템의 作業能率分析에 關한 硏究. 서울大學校 博士 學位論文. 123pp.
6. 서울대학교 운동생리학실험실. 1989. 운동 및 처방. 보경문화사. 서울. 336pp.
7. 李根熙. 1994. 人間工學. 尙潮社. 서울. 392pp.
8. 禹保命. 1987. 林業土木工學. 鄕文社. 서울. 362pp.
9. 今富裕樹·奥田吉春. 1994. 高齡化林業社會における適正作業. わかりやすい林業硏究 解說シリーズ 103. 林業科學技術振興所. 83pp.
10. 伏見知道·奥野勝也. 1981. チェーンソー作業における作業規制に關する硏究(VI). 愛媛大農學部 演習林報告 56 : 31-45.
11. 山田容三. 1986. 心拍數からみた山林勞動者の步行負擔. 京都大 演習林報告 57 : 217-229.
12. 山地啓司. 1981. Science of heart rate. 大修館書店. 東京. 306pp.
13. 筒井廸夫(編著). 1983. 林政學. 地球社. 東京. pp.103-143.
14. 後藤純一·後秀樹·瀧本義彦. 1980. チェーンソーの保持方法と振動の關連について. 京都大 農學部 演習林報告 52 : 167-187.
15. Andersen, K.L. 1971. Method for measurement of maximal aerobic power. in IUFRO Seminar on Methods in Ergonomic Research in Forestry, Hurdal, Norway. pp.109-122.
16. Astrand, P.O. and K. Rodahl. 1986. Textbook of work physiology(3rd ed.). McGraw Hill Book Company. New York. 724pp.
17. Apud, E., L. Bostrand, I.D. Mobbs and B. Strehlke. 1989. Guide-lines on ergonomics study in forestry. ILO. Geneva. 243pp.
18. Fox, E.L., R.L. Bartels, C.E. Billings, R. O'Brien, R. Bason and D.K. Mathews. 1975. Frequency and guration of interval training programs and changes in aerobic power. J. Appl. Physiol. 38 : 966-1001.
19. Karvonen, J., T. Vuorimaa. 1988. Heart rate and exercise intensity during sports activities. Sports Medicine 5 : 303-312.
20. Kirk, P.M. and R.J. Parker. 1994. Physical demands of steep terrain forestry work in New Zealand. in Proceedings of the IUFRO Symposium on Forest Operations under Mountainous Conditions. pp.196-204.
21. Vik, T. 1971. Maximal aerobic power of Norwegian Forstry workers. in IUFRO Seminar on Methods in ergonomic Research in Forest, Hurdal, Norway. pp.123-128.