

고로쇠나무 수액의 출수에 미치는 영향 인자 분석 : (II) 함양 지역*¹

최 원 실*² · 박 미 진*² · 김 호 용*³ · 최 인 규*³ · 이 학 주*² · 강 하 영*^{2†}

Factors Affecting *Acer mono* Sap Exudation : (II) Hamyang Region in Korea*¹

Won-Sil Choi*² · Mi-Jin Park*² · Ho-Yong Kim*³ · In-Gyu Choi*³ ·
Hak-Ju Lee*² · Ha-Young Kang*^{2†}

요 약

본 연구는 경상남도 함양군 지리산의 고로쇠나무 수액의 출수와 영향 인자들을 분석하여 최적의 출수 조건을 얻는데 기여하고자, 출수량과 시험지의 기온 및 상대습도, 흉고직경 그리고 수액내 당 함량 사이의 상관성을 분석하였다. 고로쇠나무의 흉고직경에 비례하는 출수량과의 상관성은 출수량이 많은 날에 높았고 출수 일수와 시기는 공시목 사이에 큰 차이점이 없었다. 출수량이 높았던 날들의 기온은 일평균기온 $1.2 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$, 일최저기온 $-4.3 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 그리고 일최고기온 $11.8 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 수액 출수는 기온이 영하의 온도를 지속하거나 영상의 온도를 지속할 경우에는 관찰되지 아니하였다. 기온과 출수량과의 상관 분석에서 일최고기온과 일평균기온이 유의적($p < 0.05$)으로 관련성이 있는 것으로 나타났다. 수액의 출수 기간 동안 자당의 농도는 일정 수준을 유지하였으나 출수가 종료되는 시점에서 급격하게 감소하였다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the optimum condition for sap exudation of *Acer mono* Max. tree in a site of Mt. Jiri, Hamyang-gun, Korea. Amount of sap exudation, air temperature,

*¹ 접수 2010년 6월 7일, 채택 2010년 6월 11일

*² 국립산림과학원 녹색산업연구과, Division of Green Business Management, Department of Forest Resources Utilization, Korean Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

*³ 서울대학교 산림과학부 환경재료과학전공, Department of Forest Sciences, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 강하영(e-mail: hykang@forest.go.kr)

relative air humidity, tree diameter at breast height (DBH) and sugar content in sap were monitored during the early springtime, and correlation analysis of several factors was carried out to explain tree-to-tree and date-to-date variations in sap exudation. The correlation, linearly-associated between DBH and sap amount, was strengthened as daily amount of sap increased, but there was no significant tree-to-tree variation in time and period for sap exudation. When amount of sap exudation was above 10 liter/day, the mean air-temperature was averaged at $1.2 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$, the minimum at $-4.3 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ and the maximum at $11.8 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$. The maximum air temperature and mean air temperature were significant ($p < 0.05$) factors for amount of sap in correlation analysis to explain date-to-date variation in sap exudation. Sucrose content in sap was in the range of 1.5 and 1.7% during exudation days, but sharply reduced to 0.6% level at the end of exudation period.

Keywords: *Acer mono*, sap, exudation, DBH, air temperature, sucrose

1. 서 론

고로쇠나무 수액은 '고로쇠 물'로 일반인에게 널리 알려져 있으며, 살아있는 나무로부터 채취하는 수액(sap)은 목질(xylem) 부분에 상처를 주거나 구멍을 만들어 채취하는 것으로서 나무를 베지 않고 살아있는 나무에서 얻을 수 있는 보속적 생산이 가능하다는 큰 장점을 가지고 있다. 나무의 영양분은 수액을 통하여 공급되고 운반되므로 수종, 토양, 입지, 기후, 채취시기 등에 따라서 수액의 성분은 다양하며, 자작나무과와 단풍나무과에 속하는 몇몇 수종들은 음료 형태로 이용되고 있다. 고로쇠나무의 수액은 삼국시대부터 봄철에 채취하여 음용 형태의 약용으로 이용되어 왔고, 수액의 채취는 일교차가 심한 2월 중순부터 3월말 사이에 집중적으로 행하고 있으나 매년 그 시기는 조금씩 다르다. 고로쇠나무 수액은 칼슘성분이 특이하게 많으며, 위장병, 신경통, 고혈압, 여성 산후증에 좋은 것으로 일반적으로 알려져 있다.

경칩을 전후하여 채취되는 고로쇠나무 수액의 출수 원리는 아직까지 명확하게 정의된 것은 없지만 물리적 현상에 의한 기작이 큰 부분을 이룬다. 수액 출수는 나무내 수액 유동과 관련되어 있으며 수액 유동은 목재 온도의 변이에 밀접한 연관성이 있는 것으로 연구되어 있다. 수액 출수시기에 수액 유동속도는 영하의 기온이 없는 여러 날이 지속되면 현저히 감소하며 (Marvin과 Greene, 1951), 목재온도의 변화와 관련

하여 목재온도가 증가하면 증가하고 목재온도가 감소하면 감소하거나 음의 값을 나타내고 목재온도가 영하와 영상을 교차하여 변할 때 유동 속도의 변화량도 커진다고 보고되어 있다(Marvin과 Ericson, 1956). 그리고 수액의 출수 시기에 냉각기간(Cooling period) 동안 토양 수분의 흡수가 일어나며 이로 인하여 가온 기간(Warm period)동안 지속적인 유동이 발생함이 연구 보고되었다(Marvin, 1958). 또한 입목의 수액 유동 속도는 수관(canopy) 내 작은 가지들의 온도 변화와 가장 밀접한 관련성이 있고 수간부에 존재하는 가스와 수액의 분포가 중요한 인자임이 보고되어 있다(Marvin, 1958). Sauter (1971)는 수간의 세포간극에 축적된 이산화탄소의 압력 증가로 수액이 출수되고 이산화탄소가 수액에 흡수되어 압력이 감소하면 뿌리에서 물이 상승하여 도관에 충전 된다고 하였다. 또한 Milburn과 O'Malley (1984)는 나무 온도가 감소하면 목섬유 내강에 수증기가 유입되어 수액 흡수가 유도되고 나무온도가 증가하면 중력과 공기 팽창으로 수액출수가 유도된다고 하였다.

수액 출수 현상에 관하여 O'Malley와 Milburn (1983)은 수액 출수에 관한 물리적 모델을 제시한 바 단풍나무를 $+15^{\circ}\text{C}$ 에서 0°C 로 수간 냉각중의 수액 흡수량 대비하여 0°C 에서 -5°C 로 냉각되는 발열과정에서 2.5배 이상의 수액 흡수가 발생하고, 출수는 해동 중 시작하였고 출수의 대부분은 흡열과정에서 발생함을 보고하였다. 또한 Milburn과 O'Malley (1984)는 물의

흡수와 출수 부피는 목재 함수율 42~65% 구간에서 함수율에 대하여 선형적으로 증감하고 자당은 단풍나무 수액 흡수와 출수에 필요하지 않음을 주장하였다. Tyree (1983)는 2 m 길이, 2 cm 직경의 설당단풍나무의 절취된 가지로 압력과 출수 부피, 유동속도를 측정하여 수액의 흡수와 출수를 연구하였는데, 가지는 -2°C 까지 결빙 없이 과냉각되는데 수액유동이 발생하여 온도가 일정해지면 멈추며 결빙동안 흡수된 수액의 부피는 천천히 결빙될 경우 최대값을 나타내었고, 절취된 가지부의 흡수와 출수 패턴은 산림 내 입목의 출수공(tap hole)에서 측정된 것과 유사하다고 언급하였다.

수액 출수에 자당과 같은 당류의 필요성에 대하여 Milburn과 O'Malley (1984)는 자당이 수액 흡수와 출수에 필요하지 않음을 주장하였는데, 이전의 연구에서 Marvin 등(1967)은 출수공정이 지속하기 위해서는 도관 용액 내에 삼투압적으로 활성을 띠는 물질들이 필요함을 주장하였다. Marvin 등(1967)의 보고에 따르면 수간부가 6당당으로 관류(perfused)될 때 용해시 출수는 일어나지 않으나 자당으로 관류되면 출수가 일어나고 출수 부피는 자당의 농도와 방사조직 세포막과 정외의 상관관계가 있다고 한다. 이후의 연구에서 Robert 등(1987)은 단풍나무 수액의 흡수와 출수는 도관 수액 내 자당의 존재 시에만 관찰되고 농도 증가는 출수량도 증가시키며 자당이 없으면 용해과정 중에 수액을 수간이 흡수한다고 보고하여 Marvin 등(1967)의 연구와 유사한 결과를 보고한 바 있다. 또한 Johnson 등(1987)도 다른 농도의 자당액과 여러 종류의 당으로 10 mM NaCl 용액으로 관류시킨 후 수액출수 동향을 살펴보았는데, Marvin 등(1967)의 연구결과와 일치하였다. 단당류인 포도당, 과당, 만니톨로 관류 처리 시, 동결 중 수액을 흡수하였고 해빙 중에 더 많은 수액을 흡수하였고, 반면 자당, 맥아당, 유당, 라피노오스로 관류할 경우 동결중 수액을 흡수하고 해빙 중 수액을 출수함을 발견하였고, 그 출수량은 관류액내 당의 농도가 증가할수록 증가함을 보고하였다. 이러한 수액 출수에 당류가 관여하는 기작 관련 연구에서, 단풍나무를 2°C에서 수간을 방치하면 목부에 저장된 전분이 자당으로 효소적 전이가 진행되고(Sauter 등, 1973) 수액 포함된 자당이 목섬유

내강의 공기방울의 계면을 안정화하여 출수압에 기여하여 수액 출수가 지속된다고 보고한 연구(Yang과 Tyree, 1992; Tyree와 Yang, 1992)가 있었다.

Johnson과 Tyree (1992)는 설당단풍나무(*A. saccharum*)와 백호두나무(*Juglans cinerea*)를 대상으로 수액 흡수와 출수 과정에서 목재 함수량의 역할을 고찰하였는데, 출수량은 목재함수율 뿐만 아니라 낮은 목재 함수율이 어떻게 이루어지는지에 의존한다고 하였다. 즉, +4°C에서 10% 저장 탈수 시킨 수간부는 처음 양의 약 1/2을 출수하였으나, 반면 -12°C에서 10% 탈수 시킨 수간부는 약 2배 더 출수하였음을 보고하였는데, 이러한 연구 결과는 Milburn과 O'Malley (1984)의 것과 유사한 결과이었다.

외국의 경우 단풍나무과 수목들을 대상으로 한 수액 유동 관련 연구가 활발하지만, 국내의 경우 수액자원이 고로쇠나무를 포함한 몇몇 수종에 제한되어 있으며 최근에 과학적 연구에 대한 필요성이 강조되고 있어 현재까지 이루어진 고로쇠나무 수액의 출수에 관한 연구는 미미하다. 국내의 출수량에 미치는 수목의 특성과 환경적 요인에 관한 연구로는 홍고직경(김 등, 1998; 윤 등, 1992; 조 등, 1998, 최 등, 2010)과 수관 발달 정도(김과 광, 1994b; 이 등, 1995)의 입목 요인과 기상(김과 광, 1994b; 박 등, 1989; 윤 등, 1992; 이 등, 1995), 입지특성(김과 광, 1994a; 이 등, 2006), 천공 특성(김과 광, 1994b; 이 등, 1995; 조 등, 1998)과 같은 요인이 출수량에 주요한 영향을 미치는 것으로 연구되었다. 이들 연구는 주로 지리산 주변의 남부지방을 대상으로 한 연구가 편중되어 있다.

수액은 나무 수간부에 천공이나 상처를 가함으로써 채취가 이루어지며 적절한 채취방법을 사용하면 산림 자원을 보호하면서도 보속적 생산이 가능한 자원(박 등, 1999, 안 등, 1998)이기 때문에 산림농가의 농한기 수익원으로서 중요한 위치를 차지한다. 유용 산림 소득자원으로서 고로쇠나무림 육성은 남부지방을 중심으로 일부 진행되고 있으며, 이와 관련된 수액채취 최적지 선정을 위한 노력으로 이 등(2006)은 수액생산량 예측모형 연구를 통하여 수계로부터 거리, 임상, 광노출도가 중요하며 영급, 도로접근성, 경급인자는 관련성이 적다고 보고한 바 있다. 또한 대체 수액 자원의 발굴, 고로쇠나무 자원 육성, 생산성 증진, 가공

기술 개발, 고부가가치 제품개발 등에 많은 노력이 행하여지고 있다. 그러나 수액 자원의 발굴, 조성 그리고 개발에 필요한 기초자료로 활용되는 출수 영향 인자와 관련된 국내 연구는 미미하고, 수액 출수에는 지리적 그리고 기후적 조건들이 크게 영향하므로 (안, 1998) 지역별 군락지를 대상으로 하는 출수량 영향인자에 대한 체계적 연구가 필요한 것으로 판단 된다.

본 연구는 전국에 분포된 고로쇠나무 군락지를 대상으로 하는 수액 출수량 영향 인자 분석 연구결과와 하나로서, 지리산에 서식하는 고로쇠 군락지 중에서 경상남도 함양군 마천면 추성리 두리봉 밑 국골 성터 지역에 자생하는 고로쇠나무를 대상으로 하여 수액 출수량에 미치는 기상조건을 포함한 주요 영향인자를 통계적으로 분석하여 시험지 지역의 최적 수액채취 조건을 얻는데 기여하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험지 및 공시목

시험조사 대상지는 경상남도 함양군 마천면 추성리 산 159 번지 두리봉 밑 국골 성터지역에 자생하는 고로쇠나무(*Acer mono* Max.) 군락지 중 남서사면으로 25도 경사, 해발고도 550~600 m의 석력지로 N35°22' 55 E 127°42' 13.8에 위치한 곳으로 선정하였다. 공시목은 고로쇠나무(*A. mono*)로, 흉고직경(DBH, diameter at breast height) 10 cm급 10그루, 20 cm급 10그루, 30 cm 이상 10그루를 선정하여 총 30그루를 대상으로 하였다.

2.2. 수액 출수량 및 기후인자 측정

고로쇠나무 수액 출수량의 측정은 수목의 경급별로 10 cm급은 1개, 20 cm급은 2개, 30 cm 이상은 3개를 천공하여 24시간 간격으로 2008년 1월 15일~3월 28일의 기간 동안 수집된 수액량을 측정하여 수행하였다. 천공은 남향으로 하였으며 출수공 깊이 15 mm, 출수공 직경 8 mm로 지상에서 80~100 cm 높이로 하였으며, 수액 유출기와 유출관을 설치하고 4 ℓ 용

PET 병을 연결하여 수액을 수집하였다. 수액 출수량은 수집된 수액을 메스실린더로 측정된 양으로 하였고 공시목별과 일자별로 24시간 단위로 기록하였다.

기온과 습도의 변화가 수액 출수량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 수액채취 기간 동안 온습도 자동기록 장치인 데이터로거(HOBO H08-003-02, USA)를 공시목들이 분포되어 있는 중간 지점에 설치하여 1시간 간격으로 기온과 상대습도를 측정하였다.

2.3. 당 함량 측정

당 함량 측정을 위한 시료는 1주일 단위로 채취한 것을 사용하였으며, 수액을 0.45 μm 투과막 필터로 여과하고 HPLC를 이용하여 당분석을 실시하였다. HPLC는 Agilent사(USA)의 HP1100을 사용하였으며, 용출용매로 아세토니트릴(acetonitrile)과 증류수를 75 : 25의 비율로 혼합하여 사용하였다. 컬럼은 아민(NH₂) 컬럼을 사용하여 1 ml/min의 유속으로 분석을 실시하고 각 피크 검출에는 RI 검출기를 사용하였다. 당류 정량을 위한 표준물질로서 포도당(glucose), 갈락토오스(galactose), 과당(fructose), 맥아당(maltose) 그리고 자당(sucrose)을 이용하여 검량선을 작성하여 시료의 농도 계산에 사용하였다.

2.4. 자료 분석

고로쇠나무 수액의 출수량과 공시목의 흉고 직경, 수액 내 당함량, 시험지의 기온과 습도간의 상관관계를 분석하였다. 기온과 습도 자료는 일중 최고값, 최저값, 평균값, 최고범위를 추출하여 사용하였으며, 통계 분석은 SPSS (SPSS INC., USA) 통계 프로그램을 사용하여 상관성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수액의 출수 시기와 출수량

수액의 출수는 2008년 2월 16일~3월 14일의 28일 동안 관찰되었으며 2월 28일~3월 12일의 기간에 출수량이 높게 나타났다(Fig. 1). 이 결과는 지리산 남

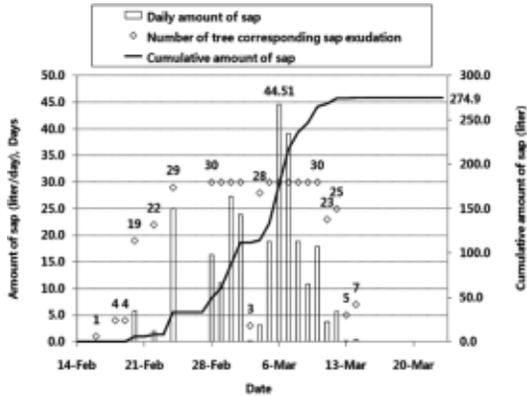


Fig. 1. Daily amount of sap exuded from *Acer mono* Max. and the number of trees showing sap exudation at a site of Mt. Jiri in Korea.

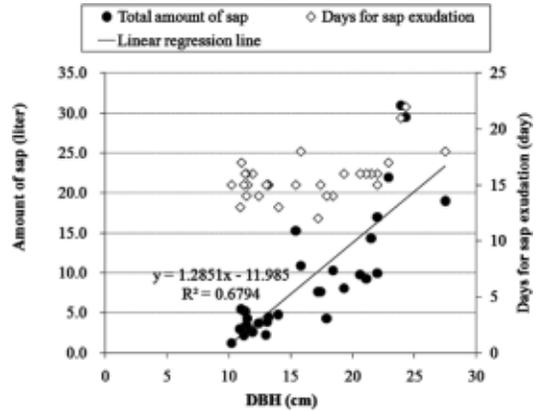


Fig. 2. Dependence of amount of sap upon DBH of *A. mono* tree and corresponding days for sap exudation.

동권역인 전라남도 광양시 진산면의 백운산 지역에서 2008년 2월 28일~3월 10일 사이에(최 등, 2010) 그리고 지리산 남서권역인 전라남도 구례군 토지면에서 1993년 2월 26일~3월 11일 사이에 집중적 출수를 관찰하였다는 결과(김과 박, 1994b)와 유사하였다. 한편, 시험 기간 중 채취한 수액의 총량 즉 총출수량은 274.9 l로 같은 해 광양지역에서 관찰한 480 l (최 등, 2010)보다 매우 적게 나타났다(Fig. 1). 이는 함양지역의 흉고직경당 출수량은 0.51 ± 0.13 l/cm로 광양지역(최 등, 2010)의 0.50 ± 0.11 l/cm와 유사한 반면 함양지역의 공시목 평균흉고직경이 16.5 ± 1.8 cm로 광양지역의 25.8 ± 3.6 cm보다 적었기 때문으로 생각된다. 일일 출수량은 하루 동안 공시목 모두에서 채취한 양을 합산한 것으로 2월 28일~3월 12일 사이의 출수량은 총출수량의 88%인 241.3 l이었으며, 이 기간 중 30 그루의 공시목 모두에서 출수한 9일 동안의 출수량은 총출수량의 83%인 228.6 l로서 이 때의 일일 출수량은 모두 10 l/day 이상의 값을 나타냈다. 따라서 함양지역 수액 출수는 다른 지리산 권역들의 출수 시기 및 기간에 유사하게 나타나고 출수량 또한 특정 기간 동안 집중적으로 높게 나타나는 것으로 생각된다.

3.2. 수액 출수에 미치는 영향인자

수액 출수에 영향하는 인자는 수목의 내부적 인자들과 외부 환경 인자들로 구분할 수 있다. 내부적 인자들로 수목의 흉고직경, 수관, 수고 등과 같은 수목 특성을 그리고 외부 환경 인자들은 토양의 수분량, 기온, 습도, 풍량 등과 같은 인자들을 예로 들 수 있다. 이 중 수목의 특성을 가장 잘 반영하는 흉고직경과 기온과 습도의 기후 인자를 대상으로 수액 출수량에 미치는 영향을 조사하였다.

3.2.1. 흉고직경(DBH)의 수액 출수량에 미치는 영향

흉고직경은 수목의 비대 성장을 반영하여 수목의 크기를 가늠하는 척도로 널리 사용되고 있어, 본 연구에서는 이 흉고직경이 수액 출수량에 미치는 영향을 공시목 각각의 흉고직경과 출수량에 관한 수치 자료의 해석을 통하여 밝히고자 하였다.

Fig. 2는 시험기간 중 각 공시목의 총 출수량과 출수일수를 도식화한 것이다. 출수량은 흉고직경에 따라 큰 차이를 보였으며 흉고직경이 증가함에 따라 선형으로 유의적으로($p < 0.01$) 증가하였다. 이 결과는 고로쇠 수액의 출수량은 기존의 연구 보고(윤 등, 1992; 조 등, 1998, 최 등, 2010)와 유사한 결과를 보

었다. 따라서 동일 지역 및 기간에서 흉고직경이 개별 공시목의 출수량에 영향하는 중요한 인자로 생각되었다. 한편, 김과 곽(1994b)은 수간의 분지된 폭과 수고를 이용하여 계산된 수관부 표면적이 출수량과 고도의 유의성 ($p < 0.01$)이 있고 흉고직경이 증가하면 출수량도 증가하지만 흉고직경 50 cm 이상에서는 출수량이 감소하는데 이는 수관부 표면적의 감소에 기인한다고 한 바 있다. 넓은 수관폭은 근계를 발달시켜 물의 흡수량을 증가시켜 수목 내 이용가능한 수분 포텐셜을 증가시킨다. Fig. 2에서 유사 수준의 흉고직경을 갖는 공시목들에서 나타나는 출수량의 차이는 흉고직경 15 cm 이하에서는 작고 15 cm 이상 수준에서는 크고 직경이 커질수록 크게 나타났다. 이 결과와 김과 곽(1994b)의 연구결과와 관련지어 볼 때 출수량은 흉고직경이 클수록 증가하지만 각 개체의 성장 이력에 따른 수관부 표면적의 차이에 따라 변이가 클 것으로 생각된다.

야외 천연림에서 수관폭 혹은 수관 표면적과 같은 요소보다는 흉고직경을 측정하기 용이하므로, 수액 출수에 필요한 최소 흉고직경은 수액을 채취할 수 있는 고로쇠나무의 크기를 결정하는데 중요한 인자로 여겨지며 조립을 통한 고로쇠나무 자원의 조성과 천연 자원의 관리에 매우 중요한 인자이다. 이를 위하여 흉고직경과 일일 총출수량과의 상관관계가 매우 높은 ($p < 0.01$) 날의 자료들을 이용하여 선형 회귀 분석을 수행하였다. 흉고직경과 출수량에 대한 회귀 분석으로부터 수액 출수에 필요한 최소 흉고직경은 9.7 ± 0.8 cm로 평가되었다. 이 결과는 산림청 수액 채취관리지침(2008)에서 흉고직경 10 cm 이상의 고로쇠나무를 수액채취 대상목으로 한 것을 명시한 것과 일치한다.

각 공시목의 출수일수는 총 시험기간 39일 중 12~22일의 범위에 있었으며 평균적으로 15일이었고 흉고직경의 크기에 따른 차이는 없었다(Fig. 2). 고로쇠나무의 흉고직경 14 cm 이하인 경우에는 총출수량이 5 ℓ 이하로 서로 비슷한 값을 가지는 반면 고로쇠나무 흉고직경 14 cm 이상인 경우에는 등급에 따라 각 공시목 간 총출수량의 차이는 크게 나타났다. 따라서 공시목 간의 출수량에는 차이가 있으나 출수일수는 큰 차이점을 보이지 않아 공시목간 출수량 차이

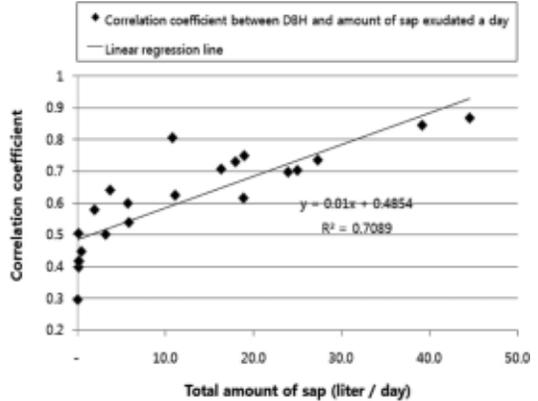


Fig. 3. Correlation coefficient between DBH and amount of sap of each tree according to total amount of sap.

에는 출수일수보다는 흉고직경이 더 영향을 미치는 것으로 생각된다.

일일 총출수량의 고저에 따라 일일 출수량과 흉고 직경 사이의 연관성이 차이가 있는지를 분석하기 위하여 일자별로 출수량과 흉고직경과의 상관관계를 분석하였다(Fig. 3). 상관계수는 일자별로 각 공시목의 출수량과 흉고직경과의 상관분석을 통하여 구하였고 일일 총출수량은 30개 공시목 모두로부터 얻은 출수량을 합한 값이다. 다만 출수가 관찰되지 않은 날의 데이터는 제외하였다. 일일 총출수량이 높아질수록 각 공시목의 출수량과 흉고직경과의 상관계수는 유의적으로 ($p < 0.01$) 선형으로 증가하였다. 일일 총출수량이 가장 높은 날은 3월 6일(44.5 ℓ)이었으며, 상관계수 또한 0.842 ($p < 0.01$)로 가장 높은 값을 나타내었다. 따라서 총출수량이 높은 날 일수록 각 공시목의 출수량은 흉고직경과 더 밀접하게 관련되는 것으로 여겨지며, 일일 출수량이 높은 날일수록 흉고 직경이 큰 고로쇠나무가 총출수량에 더 많이 기여하고 있음을 알 수 있었다. Milburn과 O'Malley (1984)의 연구 결과에 따른 수액 출수 기작은 나무 온도가 낮아지면 목섬유 내강에 수증기가 유입되어 수액 흡수가 유도되고 나무온도가 높아지면 중력과 공기 팽창으로 수액출수가 유도된다. 그러므로 나무온도에 영향하는 기온변화를 포함한 외부환경에 따른 수분의 흡수와 수액출수에 기여하는 목섬유 양이 많을수록 수

Table 1. Classification by amount of sap exudation and corresponding daily air temperature and relative air humidity

| Group | Amount of sap (L/day) | Group 1 (amount of sap > 10 ℓ/day) | | | Group 2 (amount of sap < 10 ℓ/day, mean temperature < 0°C) | | | Group 3 (amount of sap < 10 ℓ/day, mean temperature ≥ 0°C) | | |
|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|------|-------------|--|------|------------|--|------|------------|
| | | Average | STD | Confidence* | Average | STD | Confidence | Average | STD | Confidence |
| | Amount of sap (L/day) | 23.0 | 10.7 | 6.3 | 0.3 | 1.0 | 0.6 | 0.9 | 1.9 | 0.8 |
| Air-temperature (°C) | Maximum | 11.8 | 3.3 | 1.9 | 5.3 | 2.7 | 1.7 | 17.1 | 4.4 | 1.9 |
| | Minimum | -4.3 | 2.6 | 1.5 | -7.3 | 2.2 | 1.4 | 0.2 | 3.0 | 1.3 |
| | Mean | 1.2 | 2.7 | 1.6 | -3.4 | 1.4 | 0.9 | 6.0 | 2.9 | 1.2 |
| | Range | 16.1 | 3.0 | 1.8 | 12.6 | 4.2 | 0.6 | 16.9 | 4.5 | 1.9 |
| Relative air-humidity (%) | Maximum | 68.7 | 6.7 | 4.0 | 71.5 | 12.8 | 7.9 | 78.0 | 14.3 | 6.1 |
| | Minimum | 24.1 | 0.5 | 0.3 | 29.3 | 7.2 | 4.5 | 25.3 | 4.5 | 1.9 |
| | Mean | 48.5 | 4.6 | 2.7 | 54.5 | 12.6 | 7.8 | 54.2 | 12.9 | 5.5 |
| | Range | 44.6 | 6.7 | 4.0 | 42.2 | 7.1 | 4.4 | 52.7 | 12.8 | 5.5 |

* 95% confidence level

액 출수량은 높게 나타나므로 Milburn과 O'Malley (1984)의 연구 결과는 본 연구 결과를 뒷받침한다.

3.2.2. 기온과 상대습도의 영향

수액의 출수가 집중적으로 관찰된 2월 28일과 3월 12일 사이의 기온은 일중에 영하와 영상을 오가는 값을 나타내고 있으며 그 평균기온은 0°C 근처에 머물고 있다. 반면 출수량이 미미하거나 없는 것으로 관찰된 2월 20일 이전의 날에도 영하와 영상의 기온이 교차되는 현상을 나타내고 있으나 평균기온은 -5°C 근처에 머물고 있다. 기온은 3월 11일 이후 현격하게 상승하여 이후 일중 영상온도를 유지하면서 평균기온 약 8°C를 나타내었으며 수액 출수도 같은 시기에 감소하다 중지하였다. 이러한 결과는 목재온도는 기온에 따라 크게 변하므로, 목재온도가 영하와 영상을 교차하여 변할 때 수액유동 속도의 변화량도 커지고(Marvin 과 Ericson, 1956), 영하 온도에서 물의 흡수가 이루어지고 영상 온도에서 수액 출수가 발생한다는 주장(O'Malley와 Milburn, 1983)과 유사하였다.

그러므로 시험지의 기온과 상대습도 등의 기후인자가 고로쇠 수액의 일일 출수량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 먼저 출수량의 다소에 따른 기후 인자들의 차이점을 분석하여 수액 출수와 관련된 주요한

기후 요소를 추출하고자 하였다. 일일 출수량을 출수량의 다소에 따라 3개의 그룹으로 구분하고 각 그룹에 속하는 날들의 기후 인자들을 수집하고 정리하였다 (Table 1). Group 1은 일일 출수량이 10 ℓ 이상일 경우로 30개 공시목 대부분에서 출수가 관찰된 날에 해당하며, Group 2는 일일 출수량이 10 ℓ 이하이며 일평균기온이 영하인 경우이며, 또한 Group 3는 일일 출수량이 10 ℓ 이하이며 일평균기온이 영상인 경우이다. Group 1에 해당하는 일수는 11일로서 Group 1의 총출수량은 시험기간 전체 출수량 275 ℓ의 92%에 해당하는 254 ℓ이었고 일평균 23 ℓ로 높은 수치를 나타내었다. Group 1, Group 2, Group 3의 기온 인자 중 일최고기온은 각각 11.8°C, 5.3°C, 17.1°C, 일최저기온은 -4.3°C, -7.3°C, 0.2°C, 일평균기온은 1.2°C, -3.4°C, 6.0°C로서 Group간에 차이가 있었으나, 일기온차의 경우 16.1°C, 12.6°C, 16.9°C로서 Group 1과 Group 3간에는 차이점이 없었다. Group 1과 Group 2의 기온인자를 비교해 보면 두 Group 모두 공통적으로 일최저기온은 영하이고 일최고기온은 영상으로 수액 출수에 필요한 요건(O'Malley과 Milburn, 1983)을 갖추고 있었으나, Group 2의 경우 기온요소들이 Group 1보다 낮고 특히 일평균기온이 영하의 기온이면서 최고기온도 낮아 수액 출수에 필요한 충분한 영상의 기온을 유지하지 못하여 출수량이 Group 1에 비하여 낮은

Table 2. Air temperature and relative humidity of several days with daily mean air temperature in the range of -5.3°C and 4.8°C

| Content | Air temperature | | | | Relative air humidity | | | |
|-------------|-----------------|---------|------|-------|-----------------------|---------|------|-------|
| | Maximum | Minimum | Mean | Range | Maximum | Minimum | Mean | Range |
| Average | 9.2 | -5.3 | -0.6 | 14.5 | 70.9 | 26.3 | 51.4 | 44.6 |
| STD | 4.2 | 2.8 | 3.0 | 3.9 | 10.3 | 5.0 | 8.9 | 7.9 |
| Confidence* | 1.6 | 1.1 | 1.2 | 1.5 | 3.9 | 1.9 | 3.4 | 3.0 |

* 95% confidence level

것으로 생각된다. Group 1과 Group 3의 경우 공통적으로 일기온차가 유사하였고 반면 Group 3의 경우 일최대기온, 일최저기온, 일평균기온 모두 Group 1보다 더 높았으나 일최저기온이 영상의 값으로 물의 흡수에 필요한 요건을 충족하지 못하여 Group 3의 출수량이 낮아진 것으로 생각된다. 시험지 대기 중의 상대습도 인자는 Group 간에 큰 차이점을 발견할 수 없었으며 Group 1의 경우 최대습도 68.7%, 최저습도 24.1%, 평균습도 48.5%, 일습도차 44.6%의 평균값을 기록하였다. 이상의 결과로부터 수액 출수량에 영향을 미치는 기후 인자는 온도 요소로서 일최대기온, 일최소기온, 일평균기온이 있었다. 온도 요소 중 일평균기온은 일최소기온과 일최고기온을 동시에 반영하는 대푯값으로, 전체 수액출수량의 92%를 차지하는 Group 1의 일평균기온 -5.3~4.8°C의 범위에 해당하는 일평균기온값을 가지는 날은 수액출수가 가능한 최소의 기후 조건을 가지는 것으로 추정되었다.

Table 2는 시험기간 중 일평균기온이 -5.3~4.8°C의 범위에 속하는 날들의 출수량과 기후 인자들을 추출하고 정리한 결과이다. 이에 해당하는 기간 2월 14일~3월 10일의 25일이었으며, 출수량 합은 265 ℓ로서 전체 총출수량의 275 ℓ의 96%에 해당하였다. 기후 요소인 일최고기온, 일최저기온, 일평균기온, 일기온차, 일최대습도, 일최소습도, 일평균습도 그리고 일습도차 모두 Group 1과 비교하여 차이점이 없었다. 그러므로 일평균기온을 기준으로 선택적으로 추출한 자료는 출수량이 높았던 Group 1의 기후 조건과 부합되며 시험을 대표할 수 있는 자료로 판단되었다.

출수량과 기후 인자간의 상관관계를 구명하기 위하여 Table 2의 추출된 자료에 대하여 일일 출수량과 기후 인자간의 선형 상관분석을 수행하였으며 그 결

Table 3. Pearson correlation between amount of sap and weather condition

| Variable | Amount of sap | | |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|-------|
| | Pearson correlation coefficient | Significance (2-tailed) | |
| Air temperature | Maximum | 0.408* | 0.038 |
| | Minimum | 0.222 | 0.276 |
| | Mean | 0.391* | 0.048 |
| | Range | 0.286 | 0.157 |
| Relative air humidity | Maximum | -0.146 | 0.476 |
| | Minimum | -0.321 | 0.109 |
| | Mean | 0.015 | 0.944 |
| | Range | -0.222 | 0.275 |

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

과는 Table 3과 같다. 일최고기온과 일평균기온이 95% 유의수준에서 일출수량과 유의성 있게 나타났으며, 상대습도인자들은 표에서 예상된 바와 같이 유의성이 없게 나타났다. 이 결과는 백운산 지역을 대상으로 한 이전의 연구 결과(최 등, 2010)와 일최고기온이 출수량에 중요한 영향인자라는 점에서 유사하다. 가장 높은 상관성을 나타낸 일최고기온은 수액의 출수에 필요한 수간압(O'Malley와 Milburn, 1983)을 높이는 데 관련성이 높은 인자로 생각된다.

3.2.3. 당 성분의 영향

당 성분의 변이와 수액 출수량 사이의 관계를 조사하기 위하여 출수된 수액 내 존재하는 당성분의 함량을 조사하였다(Fig. 5). 당 함량 조사는 1주일 단위로 4회 실시하였다. 시험기간 동안 전체 당 함량은 1.8%

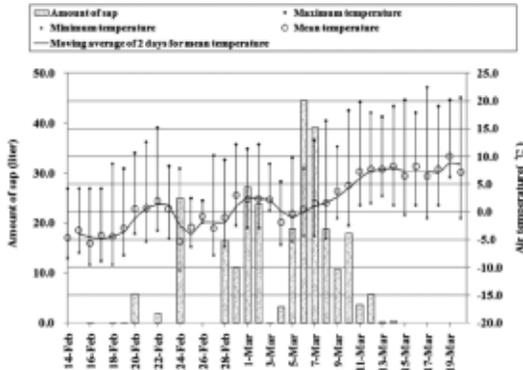


Fig. 4. Amount of sap exudation and daily air temperature variation.

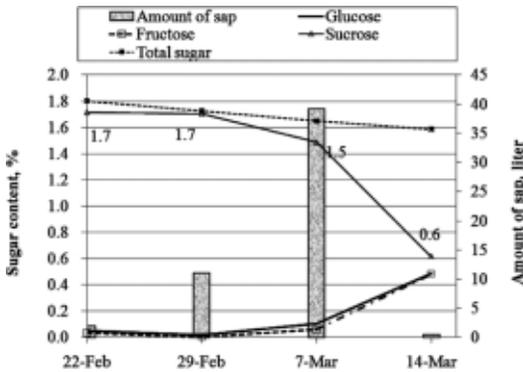


Fig. 5. Sugar content in sap exudated and the corresponding amount of sap.

에서 1.6%로 낮아진 반면 자당 함량은 2주 동안 1.7%에서 1.5%로 낮아졌다가 3월 7일에서 3월 14일 사이에 0.9% 가까이 감소하면서 0.6%로 급격히 낮아졌다. 이 시기는 수액 출수량이 최고치에 달하였다가 급격히 감소하는 시기(Fig. 4)에 해당하였고 포도당과 과당의 함량은 0.5%까지 증가하였다. 이전의 연구(Marvin, Morselli & Laing, 1967; Robert 등, 1987)에서는 수액의 출수에 자당과 같은 2당류 이상의 당의 존재가 중요한 역할을 함이 보고되었고, 또한 수액의 출수 부피는 자당의 농도와 방사조직 세포량과 정 상관관계가 있는 것(Johnson 등, 1987)으로 보고되었다. 본 시험의 결과에서 고로쇠나무 수액 출수가 지속되는 기간 중에는 자당의 농도가 1.5~

1.7%의 일정 수준을 유지하였고 출수가 멈추기 시작한 시점에 0.5% 수준으로 1/3까지 떨어지는 것을 볼 때 위에서 언급한 기존의 연구와 유사한 결과를 나타내었으며 자당의 농도와 수액 출수 사이에는 밀접한 관련성이 있을 것으로 생각된다. 또한 수액채취현장의 생산자들이 단맛이 떨어지거나 당도가 낮아지면 “끝 물”이라 하여 수액 채취가 끝나는 시점을 예견하는 경험적 설명과도 일맥상통하는 것으로 생각되나, 본 연구에서는 자당의 농도가 수액 출수에 영향을 미치는가에 대한 명확한 증거를 찾기 어려웠다. 한편으로는 자당, 맥아당, 유당, 라피노스와 같은 수용성 다당류를 포함한 당 함량의 일일 변화량 조사, 수액 출수에 관련된 당의 농도 및 수간압 그리고 온도의 영향에 관한 세부적인 연구가 더 수행되어야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 지리산 북동권역 함양지역의 고로쇠나무를 대상으로 수액 출수에 영향하는 인자들을 분석하였다. 고로쇠나무의 흉고직경과 출수량과의 상관성은 출수량이 높은 날일수록 높았으나 출수일수와 시기는 서로 다른 경급의 공시목 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러므로 수액 출수 여부에는 기온과 같은 외부 인자가 영향을 하며, 고로쇠나무의 목질량과 관련된 흉고직경은 출수시기의 출수량에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 수액 출수는 기존의 연구 결과와 유사하게 2월 28일~3월 12일의 기간에 집중적으로 나타났고, 시험기간 중 출수량이 높았던 날들의 기온은 일평균기온 $1.2 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$, 일최저기온 $-4.3 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 그리고 일최고기온 $11.8 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 수액 출수는 일일 기온이 영하의 온도를 지속하거나 영상의 온도를 지속할 경우에는 관찰되지 않았고, 일중에 영하와 영상의 기온이 교차하는 날에 관찰되고 이 때 일최고기온과 일평균기온이 높으면 출수량도 높아지는 경향을 나타내었다. 수분의 흡수와 수액의 출수에는 영상과 영하의 기온이 일중에 교차하는 기후 조건이 필요하고 특히 수간압 형성에 필요한 영상의 일최고기온이 높을수록 출수에 유리한 조건이라 생각하며, 이러한 견해는 백운산 지역을 대

상으로 한 이전의 연구(최 등, 2010)에서도 제시된 바 있다. 환편 수액의 출수 기간 동안 자당의 농도는 일정 수준을 유지하다가 출수가 종료되는 시점에서 급격하게 감소하는 것으로 나타났으나 당의 함량이 수액출수에 미치는 영향에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 김철수, 곽애경. 1994a. 고로쇠나무의 수액출수에 미치는 환경요인과 그 군락의 자원화에 관한 연구 : 생육지 환경과 군락의 구조. 한국생태학회지 17(3): 333~344.
2. 김철수, 곽애경. 1994b. 고로쇠나무의 수액출수에 미치는 환경요인과 그 군락의 자원화에 관한 연구(2) : 환경요인 및 공시목의 회복. 한국생태학회지 17(4): 533~545.
3. 김홍은, 권기철, 박철하, 조남석. 1998. 소백산지역의 수액 채취수종의 분포 및 수액채취량. 목재공학 26(3): 81~92.
4. 박정호, 안종만, 강학모. 1999. 수액채취 생산활동이 농림업생산구조에 미치는 영향에 관한 연구. 산림경제 연구 7(2): 65~75.
5. 박형순, 송원도, 나천수. 1989. 백운산 지역 고로쇠나무의 수액채취량과 생장 및 온도와의 관계. 임업육종연구 보고 25: 30~34.
6. 산림청. 2008. 수액의 채취 및 관리지침. <http://civil.forest.go.kr>.
7. 안종만, 강학모, 김준선. 1998. 고로쇠나무 수액의 채취와 유통구조에 관한 연구. 한국임학회지 87(3): 391~403.
8. 윤승락, 조종수, 김태욱. 1992. 자작나무와 단풍나무류의 수액채취 및 이용. 목재공학 20(4): 15~20.
9. 이경준, 차윤정, 박종영, 박정호. 1995. 고로쇠나무 자생지의 기상, 입지환경, 나무크기, 천공방법이 수액 유출에 미치는 영향. 서울대학교 농과대학 연세림보 31: 1~16.
10. 이병두, 정주상, 권대순. 2006. 퍼지집합과 GIS를 이용한 고로쇠나무 임분의 수액채취 적지 분석. 한국임학회지 95(1): 38~44.
11. 조남석, 김홍은, 민두식, 박철하. 1998. 건강음료로서의 자작나무 수액의 유출량에 미치는 영향인자. 목재공학 26(3): 93~99.
12. 최원실, 박미진, 이학주, 최인규, 강하영. 2010. 고로쇠나무 수액의 출수에 미치는 영향인자 분석 : (I) 광양지역. 목재공학 38(1): 66~74.
13. Johnson, R. W., M. T. Tyree, and M. A. Dixon. 1987. A requirement for sucrose in xylem sap flow from dormant maple trees. Plant Physiol 84: 495~500.
14. Marvin, J. W. 1958. The physiology of maple sap flow. In KW Thimann, ed., The physiology of Forest Trees. Ronald Press, New York pp. 95~124.
15. Marvin, J. W., M. F. Morselli, and F. M. Laing. 1967. A correlation between sugar concentration and volume yields in sugar maple: an 18-year study. For. Sci. 13: 346~351.
16. Marvin, J. W. and M. T. Greene. 1951. Temperature induced sap flow in excise stems of Aver. Plant Physiol 26: 565~580.
17. Marvin, J. W. and R. O. Ericson. 1956. A statistical evaluation of some of the factors responsible for the flow of sap from the sugar maple. Plant Physiol 31: 57~61.
18. Milburn, J. A. and P. E. R. O'Malley. 1984. Freeze-induced sap absorption in *Acer pseudoplatanus* : a possible explanation. Can. J. Bot. 62: 2101~2106.
19. Johnson, R. W., and M. T. Tyree. 1992. Effect of stem water content on sap flow from dormant maple and butternut stems : Introduction of sap flow in butternut. Plant Physiol 100: 853~858.
20. O'Malley, P. E. R. and J. A. Milburn. 1983. Freeze-induced fluctuations in xylem sap pressure in *Acer pseudoplatanus*. Can. J. Bot. 61: 3100~3106.
21. Robert, W. J., T. T. Mevin, and A. D. Michael. 1987. A Requirement for sucrose in xylem sap flow from dormant maple trees. Plant Physiol 84: 495~500.
22. Sauter, J. J., W. Iten, and M. H. Zimmermann. 1973. Studies on the release of sugar into the vessels of sugar maple (*Acer saccharum*). Can. J. Bot. 51: 1~8.
23. Sauter, J. J. 1971. Physiology of sugar maple. Harv. For. Annu. Rep. 1970-1971, pp 10~11.
24. Tyree, M. T. 1983. Maple sap uptake, exudation, and pressure changes correlated with freezing exotherms and thawing endotherms. Plant Physiol 73: 277~285.
25. Tyree, M. T. and S. Yang. 1992. Hydraulic conductivity recovery versus water pressure in xylem of *Acer saccharum*. Plant Physiol. 100: 669~676.
26. Yang, S. and M. T. Tyree. 1992. A theoretical model of hydraulic conductivity recovery from embolism with comparison to experimental data on *Acer saccharum*. Plant Cell Environ 15: 633~643.