

光陵 潤葉樹 天然老齡林과 針葉樹 人工幼齡林 그리고 楊洲 砂防地 混淆幼齡林的 樹冠通過雨量, 樹幹流下量 그리고 遮斷損失量에 관하여(I)

- 實驗的 測定結果를 中心으로 -

金景河* · 全宰弘 · 劉在閔 · 程龍鎬

국립산림과학원 산림환경부

Throughfall, Stemflow and Interception Loss of the Natural Old-growth Deciduous and Planted Young Coniferous in Gwangneung and the Rehabilitated Young Mixed Forest in Yangju, Gyeonggido(I) - with a Special Reference on the Results of Measurement -

Kyongha Kim*, Jaehong Jun, Jaeyun Yoo and Yongho Jeong

Department of Forest Environment, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요 약: 본 연구는 국립산림과학원에서 운용하는 경기도 광릉시험림 내 활엽수 천연노령림과 침엽수 인공유령림 그리고 양주 사방지 혼효유령림의 수관통과우량, 수간유하량, 그리고 차단손실량을 조사하여 앞으로 임상변화가 임내 우 및 차단손실량에 미치는 영향을 시뮬레이션 할 수 있는 전산모델을 개발하는데 필요한 자료를 확보하기 위하여 수행되었다. 본 연구 대상유역인 활엽수 천연노령림은 활엽수 천연림을 대표할 수 있으며, 잣나무와 전나무림으로 구성된 침엽수 인공유령림은 1976년 조립지로서 침엽수 인공림을 대표할 수 있다. 또한 양주 사방지 혼효유령림은 1974년 사방공사를 실시한 후 현재까지 보전되어 온 임분으로 사방림을 대표할 수 있다. 조사는 2003년 3월부터 2004년 10월까지 실시하였으며, 겨울에는 측정을 중지하였다. 임외강우량은 전도형 자기우설량계로 측정하였으며, 임내우량은 임분 내에 10m×10m의 표준구를 설정하고 수관통과우량과 수간유하량을 전도형 측정기와 CR10X 데이터 로거를 이용하여 30분 단위로 측정하였다. 약 2년간 자료를 종합한 결과, 임외강우량에서 수관통과우량과 수간유하량을 뺀 차단손실량은 잣나무림이 임외강우량(1,629.5 mm)의 37.2%인 606.6 mm로 가장 많았으며, 혼효림이 임외강우량(1,363.5 mm)의 22.6%인 308.6 mm로 가장 적었다. 수간유하량은 혼효림이 임외강우량의 10.7%로 가장 많았으며, 잣나무림이 2.4%로 가장 적었다. 임외강우량과 수관통과우량 간의 관계는 모든 조사구에서 직선회귀식으로 나타났다. 직선회귀식의 기울기인 평균 수관통과율은 수관유효도에 따라 66%에서 77%까지 분포하였다. 임외강우량과 수간유하량은 수관통과우량에 비해 편차가 크긴 하지만 모든 조사구에서 직선회귀식으로 나타낼 수 있었다. 임외강우량이 수간유하량으로 전환되는 비율은 잣나무림이 2%로 가장 낮았고 혼효림이 12%로 가장 높았다. 수간저류능은 활엽수림이 0.21 mm로 가장 높은 반면에 잣나무림이 0.003 mm로 가장 낮았다. 대체로 수간유하량은 침엽수림보다 활엽수림에서 많이 발생하였는데, 이는 임분구조에서 활엽수림이 수피가 매끄럽고 가지의 각도가 가파르기 때문이라고 판단되었다. 차단손실량은 임외강우량이 증가함에 따라 모든 조사구에서 직선적으로 증가하였다. 활엽수림과 혼효림의 경우 전나무림과 잣나무림에 비해 차단손실량의 편차가 크게 나타났는데, 이는 활엽수림과 혼효림이 계절적으로 낙엽에 의해 엽면적지수가 변하기 때문이라고 생각된다. 이상의 결과로 임분구조에 따라 임내우인 수관통과우량과 수간유하량, 그리고 차단손실량이 큰 차이를 보인다는 사실을 확인할 수 있었다. 그러므로 차단손실량을 산정하기 위한 전산모델은 임분구조에 따른 차단손실량의 변화를 나타낼 수 있어야 하며, 이는 임상별 특성과 엽면적지수 등을 매개변수로 한 모델이어야 할 것으로 판단된다.

Abstract: This study was conducted to understand the influences of forest structure on throughfall, stemflow and interception loss. The study plots included the natural old-growth deciduous, Pinus koraiensis and Abies holophylla forests in Gwangneung and the rehabilitated young mixed forest in Yangju, Gyeonggido. The Pinus koraiensis and Abies holophylla had been planted in 1976. The rehabilitated young mixed forest had been established to control erosion in 1974. Total and net rainfall were monitored from March, 2003 to October, 2004. Tipping bucket rain gauge recorded total rainfall. Throughfall and stemflow were measured by custom-

*Corresponding author
E-mail: kkyha@foa.go.kr

made tipping bucket and CR10X data logger at each 10 m \times 10 m plots at intervals of 30 minutes. Interception loss in the *Pinus koraiensis* plot were most as 37.2% of total rainfall and least as 22.6% in the rehabilitated young mixed forest. Stemflow in the rehabilitated young mixed forest was 10.7% of total rainfall and stemflow in the *Pinus koraiensis* plot was 2.4%. The average throughfall ratio ranged from 66% to 77% depending on the canopy coverage. The relationship of stemflow and total rainfall represented in a linear regression equation though the variation of data was large. The ratio of stemflow-conversion was 2% of total rainfall in the *Pinus koraiensis* plot and 12% in the rehabilitated young mixed forest, respectively. The stem storage of the natural old-growth deciduous was the largest of 0.21 mm whereas that of the *Pinus koraiensis* plot was the least of 0.003 mm. A deciduous forest produced stemflow more than a coniferous forest due to a smooth bark and steeply angled branches. Interception loss of all study plots increased linearly as total rainfall increased. The distribution of interception loss data related in total rainfall became wider in a deciduous forest than a coniferous. It resulted from seasonality of leaf area index in a deciduous forest. As considered above results, it was confirmed that there were great differences of throughfall, stemflow and interception loss depending on forest stand structures. The simulation model for predicting interception loss must have parameters such as forest stand characteristics and LAI in order to describe the influence of forest structure on interception loss.

Key words : throughfall, stemflow, interception loss, forest stand structure, seasonal variation

서 론

우리나라의 수자원은 전 국토의 약 65%인 산림유역을 거쳐서 공급된다. 지속적인 수자원 공급 및 관리는 산림유역의 수문학적 특성을 잘 이해해야 가능하다. 수문학적 으로 산림은 초지나 농지와 달리 높고 거친 수관부를 가진 임목으로 덮여 있기 때문에 수관표면의 공기동력학적 저항이 작아 높은 증발률을 나타낸다(塚本良則, 1992). 산림에서 강우 종료 후 수관표면에 저류된 빗물이 대기 중으로 증발할 뿐만 아니라 강우 중에도 상당량의 빗물이 증발한다(Ward와 Robinson, 1990). 반면에 임목에 의한 차단손실과정은 임지에 도달하는 강수량을 감소시키거나 우적의 최종도달속도를 완화시켜 토양유실을 방지하고 해발고도가 높은 산악지의 경우 안개를 포착하여 증우 효과를 나타내기도 한다(Black, 1991).

산림유역의 물 순환 과정에서 차단은 증산과 함께 중요한 손실과정으로 미계측 유역의 유출량을 예측하기 위해서 정확한 산정이 필요하다. 차단손실량은 산지전용이나 산림관리에 의해 단기적으로 물 순환 과정 중에서 가장 많이 변한다. 간벌 등 산림시업은 임목 및 수관밀도를 감소시키기 때문에 차단손실량이 감소하게 되는데 그 효과는 많은 연구자들에 의해 제시되었다. Breda 등(1995)은 참나무 43년생에 대하여 흉고단면적을 기준으로 35%를 간벌한 후 차단손실률이 23%에서 16%로 감소했다고 하였으며 Baumler와 Zech(1997)는 전나무, 가문비나무, 너도밤나무 혼효림에서 수간제적을 기준으로 40%를 간벌했을 때 차단손실률이 26.6%에서 18.1%로 감소했다고 보고하였다.

차단손실량은 임분구조에 따라 큰 차이가 있다. 일반적으로 침엽수림은 활엽수림에 비해 엽면적지수(leaf area index)가 크기 때문에 동일한 임령이라면 침엽수림의 차

단손실량이 많다. 또한 침엽수림은 활엽수림에 비해 연중 엽면적지수의 변화가 작아 계절에 관계없이 차단손실률이 높다. 차단손실률은 임분의 차단저류능과 밀접한 관계가 있다. 차단저류능(storage capacity)의 개념은 1919년 Horton이 바람이 없을 때 임목의 표면에 저장 또는 저류되는 수관투영면적 상의 물의 깊이 라고 정의한 이후, 많은 연구자에 의해 재정의되었다(Aston, 1979; Jackson, 1975). Grah와 Wilson(1944)은 실내실험을 통하여 차단저류량을 transitory, conditional, residual storage로 구분하여 측정하였고, Aston(1979)은 실내실험에서 수관저류능은 차단과정에서 가장 중요한 요인이며, 엽면적지수, 강우강도, 엽표면의 성질 등과 밀접한 관계가 있고, 단위 엽면적당 수관저류능은 수종에 따라 다르게 나타났다고 보고하였으며, Rowe(1983), Calder 등(1986)도 같은 결과를 발표하였다.

본 연구는 임분구조에 따른 수관통과수량, 수간유하량 및 차단손실량의 변화를 예측할 수 있는 추정모델을 작성하기 위하여 약 2년간 관측한 자료를 분석한 결과이다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

활엽수 천연노령림과 잣나무와 전나무로 구성된 침엽수 인공유령림 조사지는 경기도 포천시 소흘읍 직동리에 그리고 사방지 혼효유령림 조사지는 경기도 양주시 덕정동에 소재한 국립산림과학원 산림수문유역시험지에 위치해 있다(Figure 1). Table 1과 Figure 2는 조사지의 입지환경과 수관투영도이다.

활엽수림은 졸참나무, 서어나무, 까치박달나무 등으로 구성되어 있으며, 임령이 90년 이상의 천연노령림이다. 전나무와 잣나무림은 1976년에 인공조림으로 조성되어 현

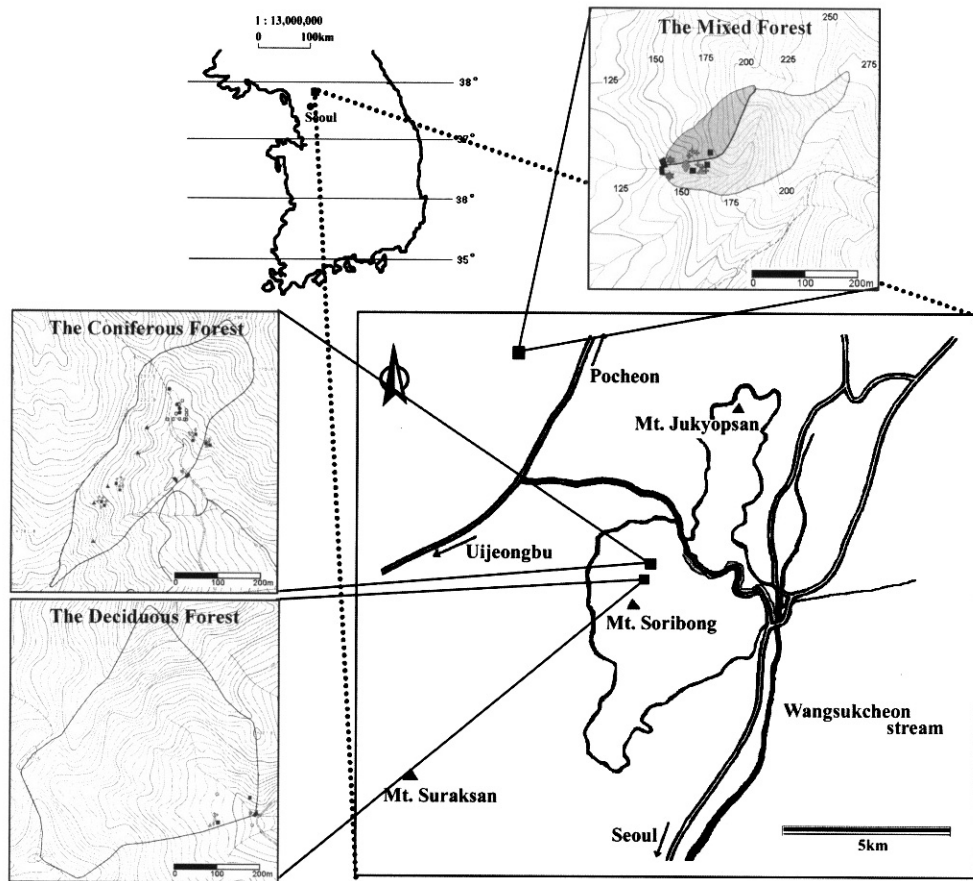


Figure 1. Location of the study sites for the natural old-growth deciduous(NOD), planted young coniferous(PYC) and rehabilitated young mixed(RYM) forests in Gwangneung and Yangju, Gyeonggi-do.

Table 1. The forest stand structures of the study plots in the dimension of 10 m × 10 m.

Plots	Number of trees	Crown coverage (%)	Average height (m)	Average clear-length (m)	Average DBH (cm)	Total BA (m ²)
NOD	17	98.8	10.5	4.1	22.7	0.85
PYC (Pinus)	19	89.5	12.8	3.0	16.7	0.44
PYC (Abies)	26	96.8	11.0	2.2	13.3	0.38
RYM	17	65.8	9.5	3.6	11.1	0.19

재까지 산림사업이 실시되지 않은 상태이다. 혼효림은 신갈나무, 소나무 및 사방오리나무가 주 수종이며, 1974년 사방조림으로 조성되었다.

2. 조사방법

임의강우량은 조사구에서 약 50 m 떨어진 개활지에 전도형 자기우설량계를 설치하고 CR10X 데이터 로거를 이용하여 30분 간격으로 측정하였다. 수관통과우량은 스테인레스 스틸로 길이 2.0 m × 폭 0.1 m × 높이 0.12 m의 집수통을 지상에서 1 m 높이에 설치하였다. 집수통은 등고선 방향으로 각 시험구에 6개씩 수관울폐상태를 감안하여 임의배치 하였으며, 2개씩 고무호스로 연결하여 측정하였

다. 집수통은 강우시 빗물 튀김과 배수구가 막히는 것을 방지하기 위해 얇고 거친 폴리에틸렌 섬유관을 깔았다. 수간유하량은 각 시험구에서 대표적인 흉고직경을 가지는 5그루를 선정 후 약 0.5 m 높이에 합성고무와 플라스틱 판 그리고 신축성 밴드를 이용하여 집수기를 설치하였다. 집수기는 아크릴관과 비닐호스를 연결하여 측정하였다. 수관통과우량과 수간유하량은 1회 전도량 약 50 ml의 전도형 측정기를 플라스틱으로 제작하여 측정하였다. 각 전도형 측정기는 실내에서 동적보정(dynamic calibration)을 거쳐 전도량을 유출량으로 전환하는 관계식을 구하였다. 전도형 측정기는 각 시험구에서 SDM-SW8A 모듈을 CR10X 데이터 로거에 연결하여 30분 간격으로 측정하였다.

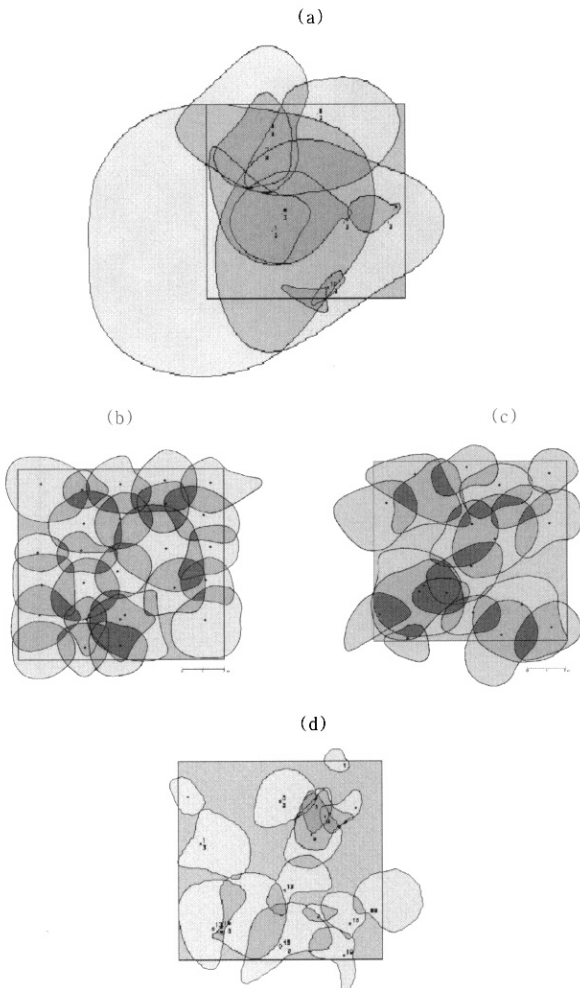


Figure 2. Crown projection views of NOD(a), *Abies holophylla* at PYC(b), *Pinus koraiensis* at PYC(c) and RYM(d).

결과 및 고찰

1. 임내우 및 차단손실량

Table 2는 2003년 3월부터 2004년 10월까지 활엽수 천 연노령림(이하 활엽수림), 전나무와 잣나무 인공유령림 그리고 사방 혼효유령림(이하 혼효림)의 임외강우량, 수관 통과우량, 수간유하량 및 차단손실량을 측정된 결과이다. 수관통과우량은 활엽수림이 가장 높았으며 잣나무림이 가장 낮았다. 수간유하율은 혼효림이 가장 높았고 잣나무림

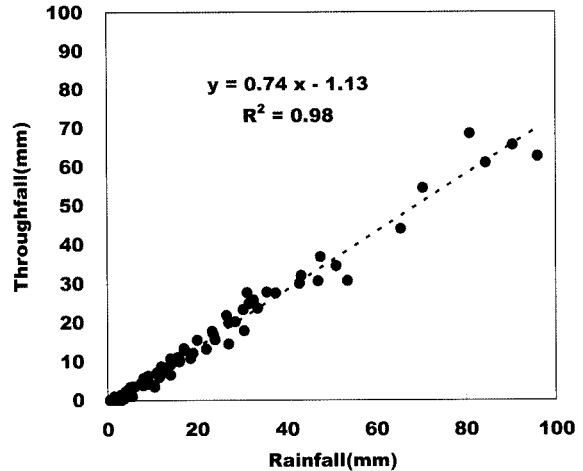


Figure 3. The relationship between rainfall and throughfall at NOD.

이 가장 낮았다. 차단손실률은 잣나무림이 37.2%로 가장 높았고 혼효림이 22.6%로 가장 낮았다.

각 시험구의 임외강우량과 임분조건이 동일하지 않아 차단손실률을 절대적으로 비교하기는 어렵지만 침엽수림이 활엽수림에 비해 차단손실률이 뚜렷하게 높았다. 침엽수림의 차단손실률이 높게 나타난 것은 1976년 조립된 이후 산림관리가 이루어지지 않은 관계로 임목밀도가 높고 지하고가 낮아 수관부의 차단저류능이 매우 커진 결과라고 판단된다. 수간유하율은 수피의 구조가 거친 잣나무림은 2.4%로 낮은 반면 수피가 매끄러운 신갈나무와 서어나무 등으로 구성된 혼효림과 활엽수림은 상대적으로 높았다. 잣나무림의 수간유하율이 특히 낮은 이유는 수피의 구조 이외에 수관부의 차단저류능이 높아 수간유하 전환율이 낮았기 때문에 나타난 결과라고 판단된다.

2. 임외강우량과 수관통과우량

Figure 3에서 6은 임외강우량과 수관통과우량의 관계를 나타낸 것이다. 모든 조사구에서 수관통과우량은 임외강우량에 대하여 직선적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 수관통과우량은 수관을 거치지 않고 떨어지는 직접통과우량과 수관이 빗물로 포화된 이후에 떨어지는 적하우량(滴下雨量)으로 구분할 수 있다. 직접통과우량은 수관울폐도

Table 2. Throughfall, stemflow and interception loss at NOD, *Abies holophylla*, *Pinus koraiensis* and RYM from March, 2003 to October, 2004. (unit : mm)

Plots	Total rainfall	Throughfall	Stemflow	Interception loss
NOD	1651.7	1128.0(68.3)	134.7(8.2)	389.0(23.5)
PYC(<i>Abies holophylla</i>)	1047.5	645.8(61.7)	60.8(5.8)	340.9(32.5)
PYC(<i>Pinus koraiensis</i>)	1629.5	983.6(60.4)	39.2(2.4)	606.6(37.2)
RYM	1363.5	908.8(66.7)	146.1(10.7)	308.6(22.6)

() means % of total rainfall.

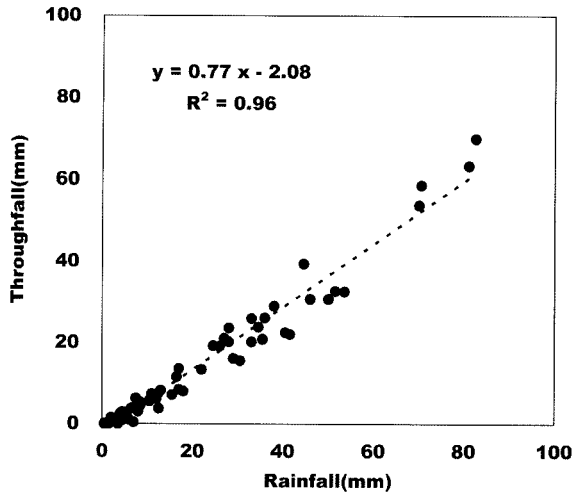


Figure 4. The relationship between rainfall and throughfall at RYM.

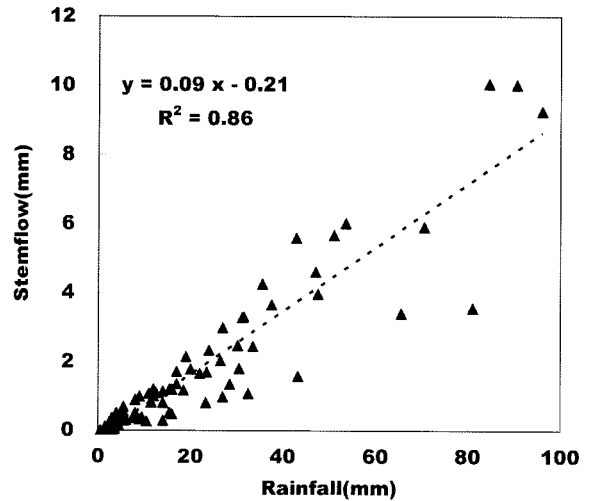


Figure 7. The relationship between rainfall and stemflow at NOD.

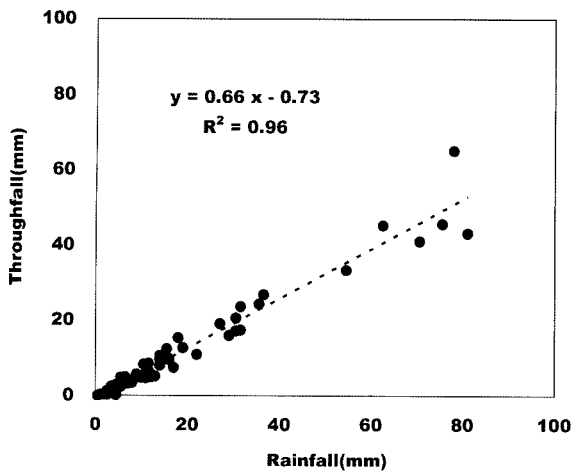


Figure 5. The relationship between rainfall and throughfall at PYC(*Abies holophylla*).

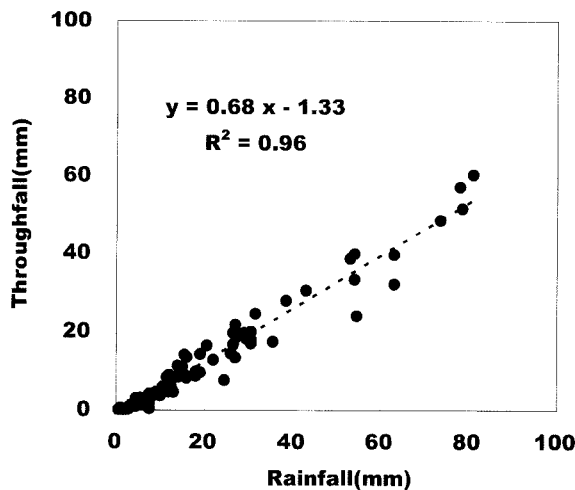


Figure 6. The relationship between rainfall and throughfall at PYC(*Pinus koraiensis*).

평균 수관통과율은 임외강우량과 수관통과우량의 관계식에서 기울기로 구할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 평균 수관통과율은 수관의 울폐도가 높은 전나무림이 66%로 가장 낮았고, 반대로 수관의 울폐도가 낮은 혼효림이 77%로 가장 높았다. Huber와 Iroume(2001)는 칠레의 29개 시험구에서 평균 수관통과율은 침엽수림의 경우 임외강우량의 55%~82% 그리고 활엽수림의 경우 60%~86%라고 했는데 이 연구의 경우 침엽수림은 평균 67%이고 활엽수림은 74%로 Huber와 Iroume(2001)의 연구결과 범위 내로 나타났다.

5. 임외강우량과 수간유하량

Figure 7와 10은 임외강우량과 수간유하량의 관계를 나타낸 것이다. 수간유하량은 그림에서 보는 바와 같이 전나무림과 잣나무림보다 활엽수림과 혼효림에서 많이 발생하였다. 수간유하량에 영향을 미치는 인자는 임목밀도, 수관울폐도, 가지의 각도 그리고 수피의 성질을 들 수 있다(Huber와 Iroume, 2001). 임외강우량과 수간유하량의 관계식에서 기울기는 평균 수간유하율을 나타내고, 절편은 수간저류능을 나타낸다. 평균 수간유하율은 혼효림이 12%로 가장 높았고, 잣나무림이 2%로 가장 낮았다. 수간저류능은 활엽수림이 0.21 mm로 가장 높았고 잣나무림이 0.003 mm로 가장 낮았다. 이는 침엽수에 비해 활엽수림과 혼효림은 수피가 매끄럽고 가지의 각도가 수직적이기 때문에 나타난 결과라고 생각한다.

6. 임외강우량과 차단손실량

Figure 11과 14는 임외강우량과 차단손실량의 관계를 나타낸 것이다. 그림과 같이 수관통과우량이나 수간유하량에 비해 다소 편차가 크긴 하지만 대체로 임외강우량이 증가할 수록 차단손실량은 직선적으로 증가하였다. 편차

와 관계가 있고 적하우량은 수관부의 차단저류능에 영향을 받는다.

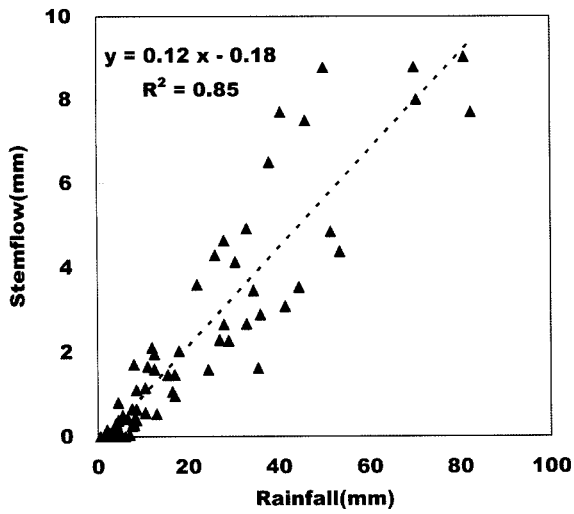


Figure 8. The relationship between rainfall and stemflow at RYM.

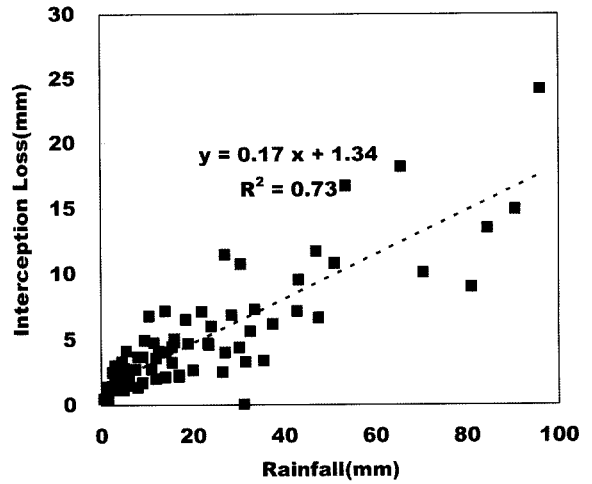


Figure 11. The relationship between rainfall and interception loss at NOD.

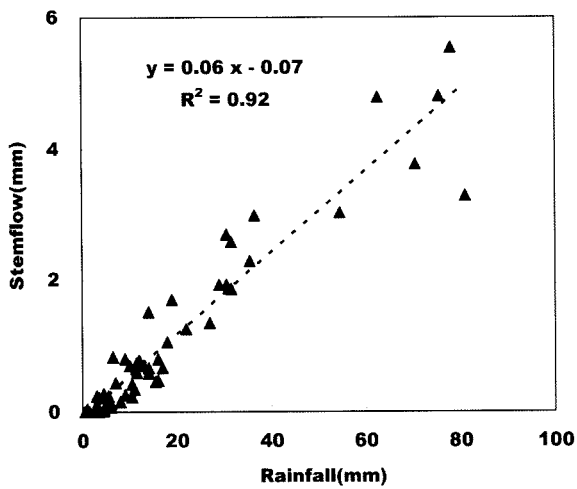


Figure 9. The relationship between rainfall and stemflow at PYC(*Abies holophylla*).

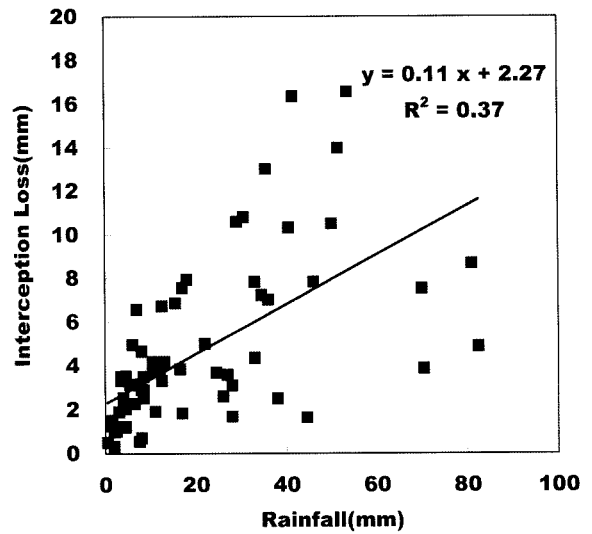


Figure 12. The relationship between rainfall and interception loss at RYM.

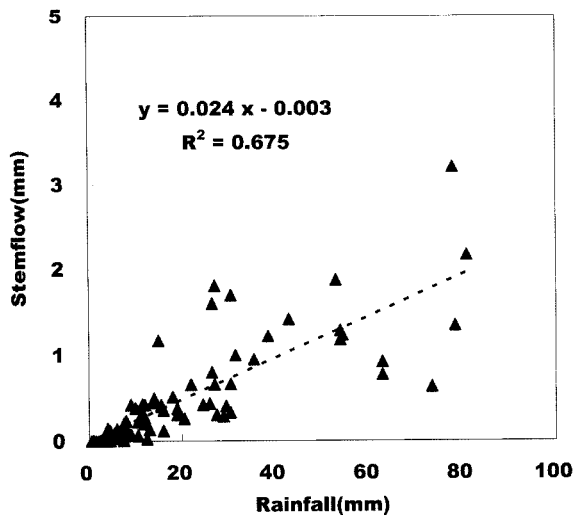


Figure 10. The relationship between rainfall and stemflow at PYC(*Pinus koraiensis*).

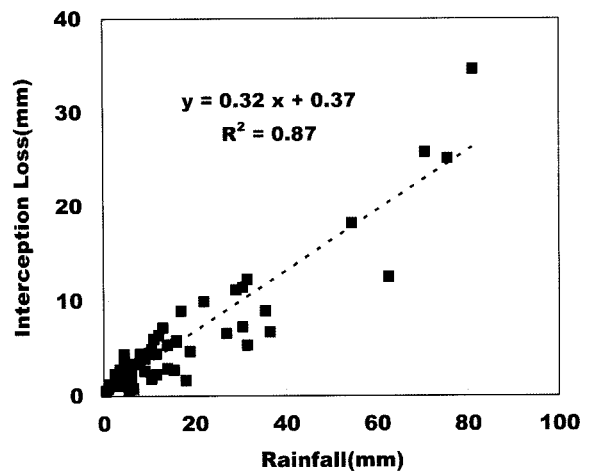


Figure 13. The relationship between rainfall and interception loss at PYC(*Abies holophylla*).

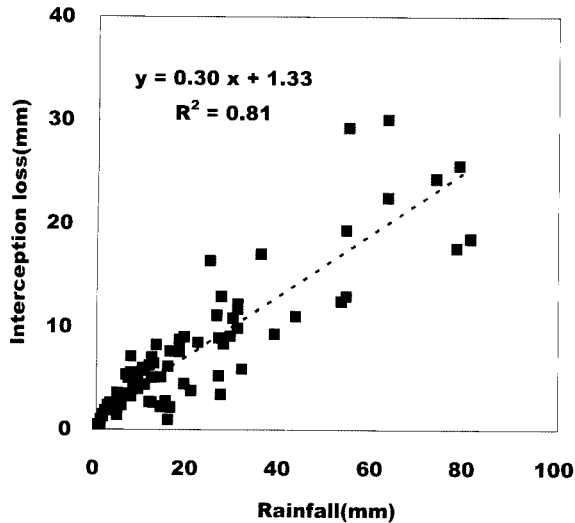


Figure 14. The relationship between rainfall and interception loss at PYC(*Pinus koraiensis*).

는 전나무림이나 잣나무림에 비해 활엽수림과 혼효림이 더 컸는데, 이는 활엽수림과 혼효림의 경우 계절적으로 낙엽기와 착엽기의 엽면적지수가 차이가 나기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 차단손실량을 추정하기 위한 경험식으로 Helvey(1967)는 임외강우량과 강우빈도를 이용하였고, Jackson(1975)은 임외강우량과의 log식을 개발하였다. 服部 등(1981)과 村井(1970), 그리고 김경하 등(2003)은 본 연구와 같이 임외강우량과 직선회귀식을 제안하였다.

결론

본 연구는 산림유역 물 순환의 중요한 수문요소(hydrological component) 중에 하나인 수관통과우량과 수간유하량 및 차단손실량이 임분구조에 따라 어떻게 달라지는지를 분석하기 위해 경기도 광릉에서 활엽수 천연노령림과 30년생 전나무와 잣나무 인공림을 대상으로 그리고 경기도 양주에서 1974년에 사방사업으로 조성된 혼효유령림을 대상으로 2003년 3월부터 2004년 10월까지 측정 한 결과를 분석하였다.

약 2년간 자료를 종합한 결과 임외강우량에서 수관통과우량과 수간유하량을 뺀 차단손실량은 잣나무림이 임외강우량(1,629.5 mm)의 37.2%인 606.6 mm로 가장 많았으며 혼효림이 임외강우량(1,363.5 mm)의 22.6%인 308.6 mm로 가장 적었다. 수간유하량은 혼효림이 임외강우량의 10.7%로 가장 많았으며, 잣나무림이 2.4%로 가장 적었다.

임외강우량과 수관통과우량 간의 관계는 모든 조사구에서 직선회귀식으로 나타났다. 직선회귀식의 기울기인 평균 수관통과율은 수관유효도에 따라 66%에서 77%까지 분포하였다. 임외강우량과 수간유하량은 수관통과우량에 비해 편차가 크긴 하지만 모든 조사구에서 직선회귀식으

로 나타낼 수 있었다. 임외강우량이 수간유하량으로 전환되는 비율은 잣나무림이 2%로 가장 낮았고 혼효림이 12%로 가장 높았다. 수간저류능은 활엽수림이 0.21 mm로 가장 높은 반면 잣나무림이 0.003 mm로 가장 낮았다. 차단손실량은 임외강우량이 증가함에 따라 모든 조사구에서 직선적으로 증가하였다. 활엽수림과 혼효림의 경우 전나무림과 잣나무림에 비해 차단손실량의 편차가 크게 나타났다. 이상의 결과로 임분구조에 따라 임내우인 수관통과우량과 수간유하량 그리고 차단손실량이 큰 차이를 보인다는 사실을 확인할 수 있었다.

인용문헌

1. 김경하, 정용호, 정창기. 2003. 전나무림에서 간벌과 가지치기가 임내우 및 차단손실량에 미치는 영향. 한국임학회지 92(3): 276-283.
2. 服部重昭, 近風弘榮, 竹内信治. 1981. ヒノキ林における樹冠遮斷量測定とその微氣象學的解析. 林業試驗場研究報告 318: 80-102.
3. 村井 宏. 1970. 森林植生による降水のしや斷について研究. 日本林業試驗場研究報告 232: 25-64.
4. 塚本良則. 1992. 森林水文學. 永文堂出版. 319pp.
5. Aston, A. R. 1979. Rainfall interception by eight small trees. Journal of Hydrology 42: 383-396.
6. Baumler, R. and W. Zech. 1997. Atmospheric deposition and impact of forest thinning on the throughfall of mountain forest ecosystems in the Bavarian Alps. Forest Ecology and Management 95: 243-251.
7. Black, P.E. 1991. Watershed Hydrology. Prentice Hall. 408pp.
8. Breda, N., A. Granier and G. Aussenac. 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Tree Physiol. 15(5): 295-306.
9. Calder, I.R. 1977. A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, Central Wales. Journal of Hydrology 33: 247-265.
10. Calder, I.R. 1990. Evaporation in the Uplands. John Wiley & Sons. 148pp.
11. Calder, I.R., I.R. Wright and D. Murdiyarso. 1986. A study of evaporation from tropical rain forest West Java. J. of Hydrology 89: 13-31.
12. Crockford, R.H. and D.P. Richardson. 1990. Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in Southeastern Australia. III. Determination of the canopy storage capacity of a dry sclerophyll eucalypt forest. Hydrological Processes 4: 157-167.
13. Gash, J.H.C. and A.J. Morton. 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from the Thetford forest. Journal of Hydrology 38: 49-58.
14. Grah, R.F. and C.C. Wilson. 1944. Some components of

- rainfall interception. *Journal of Forestry* 42: 890-898.
15. Hancock, N.H. and J.M. Crowther. 1979. A techniques for the direct measurement of water storage on a forest canopy. *Journal of Hydrology* 41: 105-122.
 16. Helvey, J.D. 1967. Interception by eastern white pine. *Water Resources Research* 3(3): 723-729.
 17. Herwitz, S.R. and R.E. Slye. 1995. Three-dimensional modeling of canopy tree interception of wind-driven rainfall. *Journal of Hydrology* 168: 205-226.
 18. Huber, A. and A. Iroume. 2001. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology*. 248: 78-92.
 19. Jackson, I.J. 1975. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forest. *Journal of Hydrology* 24: 215-238.
 20. Law, F. 1956. The effect of afforestation upon the yield of water catchment areas. *J. Br. Waterworks Association* 38: 489-494.
 21. Leyton, L., R.C. Reynolds and F.B. Thompson. 1967. Rainfall interception in forest and moorland. In: Sopper, W.E., Lull, H.W.(Eds.), *Forest Hydrology*. Pergamon Press. Oxford. 163-179.
 22. Liu, S. 1998. Estimation of rainfall storage capacity in the canopies of cypress wetlands and slash pine uplands in North-Central Florida. *Journal of Hydrology* 207: 32-41.
 23. Llorens, P. and F. Gallart. 2000. A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology* 240: 131-144.
 24. Olszyczka, B. and J.M. Crowther, 1981. The application of gamma-ray attenuation to the determination of canopy mass and canopy surface water storage. *Journal of Hydrology* 49: 355-368.
 25. Rowe, L.K. 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. *Journal of Hydrology* 66: 143-158.
 26. Ward, R.C. and M. Robinson. 1990. *Principles of Hydrology*. 3rd ed. McGraw-Hill, London. 365pp.
 27. Whelan, M.J. and J.M. Anderson. 1996. Modelling spatial patterns of throughfall and interception loss in a Norway spruce (*Picea abies*) plantation at the plot scale. *Journal of Hydrology* 186: 335-354.
-
- (2005년 9월 24일 접수; 2005년 10월 10일 채택)