

〈報 文〉

韓國의 森林水文研究의 背景과 動向

禹 保 命*

1. 우리나라의 森林水文 試驗研究의 現況

우리나라에서는 옛부터 治山治水를 대단히 중
요시하였으나 일반 水文水利分野에 비하여 森林
水文·森林理水分野에 대한 관측·조사·시험연
구결과 등을 정리해 놓은 자료 문헌이 매우 제
한된 것으로 생각된다. 1935년에 朝鮮總督府 林
業試驗場에서 林業試驗場特報로서 「朝鮮治水治
山史考」라는 책자를 발간한 것이 있다.

「朝鮮治水治山史考」에서는 三國時代, 新羅時
代, 高麗時代, 李朝時代에서의 治水와 治山에 관
한 중요한 史料 등이 수록되어 있다.

森林水文에 관한 觀測·試驗·研究를 위한 기
본이 되는 시설중에서 흔히 사용되는 量水웨어
(gauging weir) 시설의 규모와 수로써 森林水文
의 水準을 평가할 수도 있는데, 미국에서는 약
330여개소가, 日本에서는 약 130여개소가 活用
(active)되고 있다고하며, 우리나라에서는 불과

4~5개소에서 관측되고 있는 형편이다. 해방후
우리나라에서는 森林水文分野를 포함한 소위「流
水流土試驗」이라는 제목하에 주로 山林廳 林業
試驗場과 林木育種研究所에서 각각 수행되었으
며, 부분적으로는 서울대학교 林學科에서도 수
행된 바 있다.

현재까지의 山林分野에서의 森林水文 및 流水
流土에 관한 試驗研究 project 를 정리하면 表 1
에서와 같다.

우리나라에서는 처음으로 당시 東京帝大林學
科 森林理水 및 砂防研究室주관으로 1930년에
全南光陽郡玉龍面秋山里 東京大의 演習林(現 서
울大農大林學科演習林)에 3개소의 量水測定워
어를 설치하고 1945년경까지(?) 森林水文觀測
을 계속하였으나 불행하게도 6.25동란시에 시험
시설이 모두 파괴되고 또 시험관측기록도 모두
전소되어 國內에서는 그기록이 保存되지 못하고
日本東京大에 일부 보관되어 있는 것으로 생각
된다. 3개 시험유역에서는 林相別 流出變化를

表 1. 山林分野에서의 流水流土測定試驗施設

試驗地名	試 驗 機 關	試 驗 期 間	備 考
光陽	東京帝大	1930(?)~1945	森林理水
陝川	경상남도	1936~1938	流水流土
居昌	경상남도	1936~1938	流水流土
慶州	경상북도	1938~1938	流水流土
七寶山	林木育種研究所	1961~1967	流水流土
金陵	林業試驗場	1969~1974	流水流土
冠岳山	서울大學校林學科	1978~active	森林理水
揚州	林業試驗場	1979~active	森林理水 및
光陵	林業試驗場	1980~active	流水流土검용
祥林	서울大學校農工學科	1983~active	小河川水文

* 本學會 正會員 서울大學校 農大 林學科 教授

주로 관측하기 위하여 2 개소에는 직사각형칼날웨어(5개), 1 개소에는 삼각형칼날웨어가 설치되었다. 앞으로 복구하여 재활용할 가치가 있는 천혜의 입지적 조건을 구비한 시험지가 될 것이다.

합천시험지는 경남도사방과에서 1936~38 까지 합천면인곡리山地的 황폐지면적 약 2.15 ha (평균경사 35°)에서 3 개의 직사각형칼날웨어를 설치하고 주로 流水流土량을 측정하였다. 平均流出率은 약 33.3%(年降雨量 약 1200 mm)이었고, 流土量은 208.53 m³/ha/yr 이었다.

거창시험지는 경남사방과에서 1936~38 년까지 거창군상월면월성리의 황폐산지(면적 약 18.7 ha, 평균경사 약 35°)에서 수행되었는데, 3 개의 직사각형칼날웨어가 설치되었다. 年降雨量 약 1450 mm 에서 年平均流出率은 약 50.1%이었고, 流土率은 자료미비로 인용할 수가 없었다.

경주시험지는 경북사방과에서 1938 년도에 당시 경주군천북면신당리 황폐산지(경사 25°) 약 0.82 ha 에서 3 개소의 직사각형웨어를 설치하고 측정하였는데, 年降雨量 736.7 mm 의 약 63.9%가 流出하였고, 土壤流失率은 약 30.5 m³/ha/yr 이었다.

철보산시험시설은 林木育種研究所에서 1961~1967 년까지 수행되었는데, 이것은 우리나라에서 대표적인 流水流土測定試驗區(runoff experiment plots)이었다.

金陵시험지는 임업시험장에서 1969~1974 년까지 수행되었다. 지년관계로 다른 試驗施設에 대해서는 생략한다. 다만 현재 우리나라에서 가장 대표적으로 운용되고 있는 林業試驗場中部支場(光陵)과 楊州郡회천면울정리에 위치한 森林水文觀測施設은 추후에 소개하고자 한다. 서울大學校林學科에서는 安養市飛山洞 樹木園지역에 주로 樹幹流下量 및 樹冠通過量 등을 관측할 수 있는 自動觀測施設이 설치되어 있다. 光陵과 楊州의 森林水文測定內容은 洪陵에 있는 林業試驗場林地保全研究室에서 알아 볼 수 있다.

2. 森林의 降水遮斷影響

森林水文研究는 水文學의 한 分科에 해당되지

만 森林內에서 일어나는 여러가지 구체적이고 사실적인 測定·試驗·調査資料가 얻어질수 있다. 基本이 되는 內容에는 降水遮斷, 浸透와 透水, 蒸發散, 土壤水分, 山地流出, 森林流域水收支, 溪流水質 및 森林의 理水機能 등이 포함된다.

森林流域에 내리는 降水의 대부분은 林冠, 下草, 林床物에 떨어져서 일시 保留되었다가 그 일부는 그곳에서 蒸發하여 林地面에 도달하지 못하고 대기중으로 되돌아 간다. 이것이 降水를 소모하고 洪水를 경감해 주는 森林의 機能의 첫번째인 것이다.

1) 수관차단

森林地에 내리는 雨滴의 일부는 먼저 잎, 가지, 줄기 등과 같은 樹體의 표면에 닿고 여기서 널리 퍼지며, 表面張力과 重力의 균형에 의해서 부착하여 保留된다. 保留된 雨水의 일부는 대기중에 蒸發하지만, 한편, 降雨가 계속되면 保留雨量도 증가한다. 어느 정도 많아지면 保留雨量의 일부는 자연 혹은 바람 등에 의해서 두 힘의 균형이 깨지므로 滴下하게 되고, 혹은 잎에서 가지로, 가지에서 줄기로 흘러서 林床으로 移動한다. 前者를 樹冠滴下雨量(滴下雨量 drip), 後者를 樹幹流下雨量(stem flow)이라 한다. 降雨가 그치면 保留量은 증발에 의해서 손실된다. 森林地에 내린 雨滴의 잔여부분은 林冠의 공간을 통하여 樹體에 닿지 않고 林床에 직접 강하한다. 이러한 부분을 樹冠通過雨量(through fall)이라 한다. 滴下雨量과 通過雨量을 합해서 보통 林內雨量이라 한다.

강우지속기간을 포함하여 어느 기간내의 林冠上의 雨量, 즉 林外雨量으로부터 林內雨量과 樹幹流下雨量을 뺀 나머지 부분은 降雨中 혹은 降雨가 그친후에 樹體表面으로부터 蒸發하여 大氣中으로 되돌아간 雨量 및 그 기간의 終期에 樹體表面에 保留되어 있는 雨量으로, 이것을 그 기간의 樹冠遮斷雨量(crown interception), 또는 간단히 遮斷量 혹은 遮斷損失量이라 한다. 林外雨量에 대한 遮斷雨量의 百分率을 樹冠遮斷率이라 한다.

또, 樹體表面을 주로하여 樹冠에서의 保留量의 일부는 樹體內에서 吸收되기도 하지만 量的

으로 큰 문제가 되지 않는다.

降雪遮斷에 있어서도 대체로 비슷하다고 본다. 降雪의 일부 雪片은 樹冠에 쌓여서 冠雪로서 保留된다. 冠雪의 일부는 곧 雪面으로부터 蒸發하여 대기중으로 되돌아가지만 降雪이 계속되면 冠雪量은 증가한다. 어느 정도 다량이 쌓이게 되면 樹冠의 變形, 바람 등의 外力에 의해서 冠雪量의 일부는 崩落한다. 冠雪로부터의 融雪水는 樹幹流下하며, 降雪의 일부 雪片의 사이를 통과하여 직접 林床에 떨어진다. 降雪遮斷도 降雨遮斷과 대부분 비슷한 경과를 갖는다.

충분한 降雨가 있고, 이것이 정지하는 時點까지의 樹冠遮斷雨量은 다음式으로 표시된다.

$$i_c = s_c + \hat{c}rt \dots\dots\dots(1)$$

여기서,

i_c : 樹冠遮斷雨量(mm)

s_c : 降雨가 멈출때의 樹體表面保留雨量(樹冠投影面積上的 水高(mm))

\hat{c} : 樹冠投影面積에 대한 것은 樹體表面으로부터의 平均蒸發強度(mm/hr)

r : 樹冠投影面積에 대한 것은 樹體表面의 面積의 比

t : 降雨繼續時間(hr)

(1)式은 遮斷雨量이 樹體表面保留量과 一時保留된 것이 降雨中에 직접 蒸發된 量으로 구성됨을 알 수 있다. 後者의 量도 降雨條件이나 기타에 의해서는 무시되지 않는다. 또, (1)式은 遮斷量이 樹體側의 조건과 降雨기타 降雨中의 기상조건에 따라서 결정된다.

樹冠遮斷率은 다음式으로 나타낸다.

$$i_c(\%) = \frac{s_c + \hat{c}rt}{t \cdot \hat{p}} \cdot 100 \dots\dots\dots(2)$$

여기서,

\hat{p} : 平均降雨強度(mm/hr)

$i_c(\%)$: 樹冠遮斷率

(2)式에서 \hat{p} 가 동일하면 t 가 증가함에 따라서 遮斷率은 감소하게 된다.

s_c 이상의 一降雨量의 遮斷에 대해서 (1)式을 다음式과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_c = s_c + \frac{\hat{c}rt}{p} \cdot p \dots\dots\dots(3)$$

여기서, p : 林外雨量

s_c 는 주어진 林分에 대해서는 一定하고, $\hat{c}rt/p$ 도 주어진 降雨條件下에서 一定하다고 보고, 일정기간의 遮斷雨量과 林外雨量의 관계는 直線關係로 나타낼 수 있게 된다.

이와같은 關係를 算定함에는 現地測定法, 室內實驗에 의한 決定法 등이 있는데, 여기서는 理論的 決定法에 대해서 고찰한다.

對象森林內에 標本調査區를 설정하고 그 구역內的 林內雨量, 樹幹流下雨量을 測定하고, 한편으로 林外雨量을 測定해서 다음 式으로 遮斷雨量을 구한다.

$$i_c = p - (p_t + p_d + p_s) \dots\dots\dots(4)$$

여기서,

p_t : 樹冠通過雨量(mm)

p_d : 樹冠滴下雨量

p_s : 樹幹流下雨量

林外雨量은 보통 貯留型 또는 自己記錄型雨量計로 측정한다. 雨量計는 林冠上 또는 부근의 林外地, 혹은 林內空閑地에 설치한다.

林內雨量도 보통 雨量計로 측정하지만 林冠疎密, 간격의 不均一 등과 같은 地點에 의한 변동이 대단히 크기 때문에 적당한 標本추출에 의한 다수의 測點이 조사구內에 설치된다. 이때에 調査區, 測點의 수와 위치의 선정이 중요하다.

對象森林地域을 林相, 즉 樹種, 立木密度, 樹冠疎密度, 林齡 등이 유사한 구역으로 구분하여 수백~수천 m^2 의 조사구를 선정한다. 조사구에 수 m 간격의 格子線을 긋고 그 交點에서 無作爲로 선택한 위치에 雨量計를 놓는다. 이와같은 無作爲抽出法과 目測法에 의해서 雨量計를 多數設置하여 예비관측을 수행한다. 一降雨마다의 測定值를 사용하여 다음式에 의해서 일정한 精度를 유지하기 위해 필요한 雨量計數를 계산한다. 多寡의 여러가지 경우에 多數回의 降雨에 대한 雨量計個數中 最多의 것을 취하여 必要最少限雨量計個數로 한다.

$$n \geq \frac{N}{1 + Nc^2} \dots\dots\dots(5)$$

여기서,

n : 필요한 雨量計個數

N : 標本추출의 대상이 되는 母集團의 크기

A/a , A : 調査區의 면적 (m^2), a : 雨量計의 受雨口면적 (m^2),

α : 精度, c : 變異係數, 標本標準偏差 ÷ 標本平均值.

類似林相區域마다 ha 당 10 개 정도, 혹은 冬期 6 개, 夏期 13 개 정도 (단, 15 mm 정도 이상의 一降水에 대해서)의 標準口徑 (20cm)의 雨量計 또는 雪量計를, 예컨대 一降水 혹은 어떤 기간마다 임의의 장소에 置換해서 설치함이 바람직하다. 또 對象森林區域을 橫斷하여 調査線을 設定하고 線上에 일정한 간격으로 標準測器를 上述한 바와 같은 이동식으로 설치하는 방법이 좋다는 의견도 있다.

林冠의 疎密, 간격분포의 지점간 변동이 큰 경우에는 筒形의 受雨器를 조사구내에 無作爲 혹은 규칙적으로 배치하는 것이 좋으며, 최근에는 길이 수 m~수십 m, 너비 20cm, 깊이 25~30cm 정도로서 底部에 落葉을 제거할 수 있는 網을 깔은 것이 사용되는데, 水量은 貯留形 혹은 自己記錄型의 量水器로 測定한다.

樹幹流下雨量은 깔때기 모양의 고무관등을 樹幹의 基部부근에 collar 狀으로 감아 부착하여 流下水를 모아 量水器에 유도하여 측정한다.

測定木은 調査區의 林木을 胸高直徑別로 몇 단계 계급구분해서 각 계급에서 몇본을 선정한다. 全測定木의 平均測定値에 對象林分の 全林木本數를 곱해서 全樹幹流下量이 구해진다. 低木에 대해서도 위와에서 같이 測定木을 선정하고 뿌리부근에 아연도금한 鐵板을 環狀으로 둘러감고 內側에 油粘土를 채워서 流下水를 모은다.

林內, 林外降雪量은 標準口徑의 雪量計로서 測定하지만 積雪標를 併置해서 참고로 하는 것이 좋다. 積雪水의 樹幹流下量은 微量이므로 생략하는 때가 많다. 樹冠遮斷雨量의 測定에 있어서 (1)式에서 s_c 는 樹體의 表面과 물의 表面張力에 관계한다. 前者는 樹種, 表面狀態 등 森林의 제 조건에 따라 다르며 後者는 물의 粘性, 기상조건 등에 따라서 다르게 된다. 또, ϵ_{rt} 도 기상과 森林의 제 조건에 따라서 다르게 된다. 결국, 遮斷雨量은 氣象條件과 森林條件에 의해서 지배되지만, 前者에서는 總降雨量, 降雨強度, 降雨頻度, 風速, 氣溫 등이 주요한 支配要素이며, 後者에서는 일반적으로 林冠의 두께와 枝葉群의 密度着葉의 有無 등, 즉 樹種, 森林構造, 林令, 蓄積季節 등이 支配要素가 된다. 樹種에 대해서는 枝葉의 着生形態, 密度, 枝張形態, 樹皮의 상

표 1. 소나무林分の 一降雨階級別 樹冠遮斷雨量

林外一降雨量階級 (mm)	降雨回數	林外雨量 (mm)	林內雨量		樹幹流下雨量		樹冠遮斷雨量	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
0~1	64	0.6	0.1	17	—	—	0.5	83
1~3	77	1.7	0.6	35	0.0	0.0	1.1	65
3~6	41	4.2	2.5	60	0.0	0.0	1.7	40
6~10	43	7.3	4.8	66	0.0	0.0	2.5	34
10~15	40	12.2	9.4	77	0.1	0.8	2.7	22
15~20	34	17.2	14.1	82	0.1	0.6	3.0	17
20~30	30	24.5	20.7	85	0.2	0.8	3.6	15
30~40	20	35.8	30.9	86	0.3	0.8	4.6	13
40~60	13	46.7	40.5	87	0.4	0.9	5.8	12
60~80	3	63.3	55.8	88	0.7	1.1	6.8	11
80~100	4	90.4	77.7	86	1.3	1.4	11.4	13
100~150	2	107.1	95.6	89	1.6	1.5	9.9	9
150~	1	163.9	147.8	90	2.6	1.6	13.5	8

* 天然生, 40~45 年生. 胸高直徑平均 20 m, 樹高平均 15 m, 830 本/ha, 203 m^3 /ha, 樹冠 疎密度 85%, 岩手縣, 1956 年 10 月~1960 年 9 月. 各雨量은 平均值.

태 등이 관계한다. 눈도 雪質의 영향이 큰것 이외에는 대부분이 비와 비슷하다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 實測例가 많지 않은 樹冠遮斷雨量, 林內雨量, 樹幹流下雨量 등을 일반적으로 표시하기는 곤란하다. 그러나 測定事例는 國內外的으로 점차 증가하고 있으므로 이러한 자료로부터 類似條件의 森林의 遮斷雨量을 類推할 수 있는 것이다.

日本에서 소나무(赤松) 林分에서 測定한 事例를 참고적으로 例示하면 제 1 표와 같다.

美國에서 調査한 事例를 보면 폰테로사소나무林(65~75年生, 胸高直徑 10~45 cm, 평균 25 cm, 樹高 7~34 m, 平均 27 m, 1940~45年, California)의 樹冠遮斷雨量을 측정하고 平均値를 구하였다. 즉, 年降水量은 1202 mm(雨 785 mm, 雪 417mm)에 대하여 林內雨量의 비율은 84.3%(降雨時 82.8%, 降雪時 87.2%), 樹幹流下雨量의 비율은 3.4%(降雨時 3.0%), 年樹冠遮斷率은 12.3%(降雨時 13.6%, 降雪時 9.8%)이었다.

일반적으로 침엽수는 활엽수보다 차단이 많다. 針葉樹는 樹種에 따라서 차이가 상당하지만 闊葉樹의 주요한 것에서는 큰 차이가 없다고 본다. 물론 침엽수, 활엽수에서도 着葉時와 落葉時에 큰 차이가 있다.

年樹冠遮斷率은 少雨地方의 森林에서 크고 多雨地方의 삼림에서 작지만 거시적으로는 年樹冠遮斷率은 日本에서는 대체로 15~20%정도(一時保留率 20~25%, 樹幹流下率 5%)로 보고 있다. 美國과 뉴질랜드에서는 遮斷率이 40%이상인 보고서도 있지만 小雨와 降雪의 비율이 많은 지방의 사례이므로 주의를 요한다. 대체로 壯齡林에서는 약 5~10%정도로 이해함이 좋을 것이다.

樹幹流下는 小雨에서는 없고 어느정도 이상의 降雨(2~7 mm)에서 일어나며 樹幹流下率은 1~5%정도로 본다.

2) 하층식생에 의한 遮斷

林冠을 통과 혹은 滴下한 雨水의 일부는 林冠下의 下草 등에 젖어서 樹冠遮斷과 유사한 과정을 거쳐 차단된다. 林內下草의 차단에 관한 조사는 비교적 많지 않다. 이는 植物體가 작고 명

확한 冠狀을 보이지 않으며 형태가 變形되기 쉬워 신뢰할 수 있는 測定이 곤란하기 때문이다. 또 林內에서는 量的으로 樹冠遮斷보다 중요성이 낮기 때문이라고 생각된다.

3) 임상물에 의한 차단

樹冠 및 下草에 의한 차단을 면한 雨水는 林床에 도달하지만 그 일부는 落葉層에 부착 혹은 吸着된 후 대기중으로 증발한다. 이것을 林床物遮斷雨量(litter interception)이라 한다.

현지측정은 곤란하므로 보통 Sampling 된 試料를 가지고 室內實驗에서 推定한다. 즉 林床의 一定한 면적에서 林床物의 試料를 가급적 흐트러지지 않도록 채취해서 錫망체에 놓고 散水하거나 水中에 침적한후, 自然滴下시켜서 前後의 重量變化를 가지고 最大保留水量을 측정하고 遮斷雨量의 推定値에 대체하는 방법이다. 또 적당한 크기의 원통속에 되도록이면 林床物이 흐트러지지 않은 상태로 넣은 鐵網円筒을 달아내고 降雨後円筒의 밑에 모아진 雨水量을 同口徑의 円筒型雨量計의 受雨量과 비교하는 방법도 있다.

몇가지 기존 시험결과를 종합해 보면 最大保水量은 가능한 最大林床物遮斷雨量에 상당히 접근한다고 보여지지만, 실제 林內에서는 증발이 억제되기 때문에 현장의 遮斷雨量은 2~4 mm 정도로 추정된다. 그러므로 一降雨에 대해서 보면 少量으로 문제가 되지 않지만, 長期間에서 보면 降雨回數에 따라 상당한 量이 되므로, 少雨地方에서는 무시해서 안될 것이다. 林床物遮斷雨量은 낙엽의 종류(즉, 樹種), 분해정도, 퇴적상태, 퇴적량, 건습상태 등과 雨量強度, 雨量 등에 의해서 변화하므로 많은 조사자료가 필요하다.

4) 林分の 차단간수량

林分全體의 遮斷降水量은 다음式으로 나타낸다.

$$i = i_c + i_u + i_L + s_t \dots\dots\dots (6)$$

여기서,

i : 林分の 遮斷降水量

i_c, i_u, i_L : 각각 樹冠, 下層植生, 林床物의 遮斷降水量

s_t : 林分の 植物體, 林床物全體의 保留降水量

(mm)

林床에 도달한 降水量은 $p-i$ 로서, 이러한 遮斷降水量은 遮斷損失量(interception loss) 또는 斷遮量이라 한다. 遮斷損失量은 森林地의 蒸發散損失量의 일부가 되고, 森林流域水收支에서는 蒸發散損失量으로 일괄하여 취급한다.

遮斷損失量이 蒸發散損失量中에서 차지하는 비율은 후술하지만, 전술한 바와같이 森林의 종류에 따라서 차이가 있으며, 또 水收支에 영향을 미치는 것은 분명한 사실이다. 林種에 따른 遮斷作用의 비교에 대해서는, 降水條件이 동일하다고 가정하면 다음과 같다. 즉, 蓄積이 큰 林分은 작은 林分보다 林分에 의한 遮斷량이 많다. 울폐된 것으로부터 年生長량이 最大가 되는 사이의 壯令林은 幼令林, 老令林보다 많다. 陰樹는 陽樹보다 많다. 小葉片이 銳角으로 밀하게 小枝에 着生한 型의 樹種은 鈍角으로 着生한 型이나 平滑한 大葉片이 가지에 疎開해서 着生한 型의 樹種보다 많다.

3. 森林의 浸透 및 透水 影響

1) 森林이 浸透에 미치는 影響

林地面에 도달한 降水의 대부분은 土壤孔隙를 通하여 土壤中에 浸透(infiltration)한다. 森林은 林地의 土壤孔隙를 증강, 유지함으로써 降水의 浸透를 증강하고, 또 유지한다. 그러므로 많은 量의 降水가 있어도 많은 量의 流出을 억제하여 완화해 준다. 森林의 이와같은 作用은 洪水輕減

과 동시에 水源涵養에 좋은 影響을 주는데 이것이 森林의 重要한 機能인 것이다.

傾斜地面의 어떤 구역에서, 어느 시간내의 浸透水量은 그 時間內의 降雨量과 地面殘留水量을 포함한 地表流出水量의 差로 나타내며, 단위면적당 단위시간내의 浸透水量을 浸透強度(infiltration rate, 浸透度)라 하고 보통 mm/hr 또는 mm/min. 으로 표시한다.

浸透能을 決定하는 方法에는 浸透計(infiltrometer)로써 現場에서 測定하는 方法과 土壤試料를 되도록이면 自然상태로 채취하여 각종 Lysimeter에 채워서 室內實驗으로 측정하는 方法이 있다. 流域의 浸透能은 降水量, 流出量의 實測資料로부터 推定하기도 한다. 浸透計에 의한 方法은 선정된 지점에 天然降雨에 대신하여 인위적으로 물을 地表에 공급해서 실험적으로 浸透能을 측정하는 것으로서, 給水方法에 따라서 冠水型(flood-type), 流水型(flow-type), 散水型(rainfall-simulator-type)浸透計등이 사용되지만 浸透計는 一般水文研究에서도 종종 사용되므로 本稿에서는 생략하고자 한다.

森林은 根系에 의해서 「root-channel」 혹은 根系과 土壤과의 사이의 隙間에 큰 孔隙를 이루고 土壤中の 小動物을 풍부하게 하며, 그 生活活動을 활발하게 하여 그들이 파놓은 큰 孔隙이 더욱 많아지도록 하고 더우기 多量의 有機物의 공급에 의해서 粗孔隙이 많은 모양구조를 형성하고, 또 細孔隙도 적극적으로 증가해서 土壤의 孔隙性을 改善한다. 한편, 낙엽층이 地表를 被복

表 2. 森林地域의 地被狀態別 終期浸透強度의 比較

地 被 狀 態		針葉樹林地	闊葉樹林地	伐採跡地	草生地	山崩跡地	步 道
終期浸透強度	平 均	246	227	160	191	99	11
mm/hr	範 圍	104~337	87~395	15~289	24~281	22~193	2~29
	測 點 數	13	10	13	3	8	4

註 1. 針葉樹林: 소나무, 삼나무, 편백나무, 일본잎갈나무의 人工林, 22~45年生, 胸高直徑 6~35 cm, 樹高 7~22m.

闊葉樹林: 참나무류, 빗나무등의 天然林 60~190年生(일부는 20~35年生), 胸高直徑 16~80 cm(일부는 4~18 cm), 樹高 12~22 m(일부는 7~11m).

伐採跡地: 伐採作業에서 地表가 황폐된 부분에서도 測定.

2. 流水 400mm/hr(단지, 步道, 山崩壞地 200 mm/hr), 預備散水로서 野外保濕容量實驗

3. 各地域 第四紀砂岩, 頁岩, 第三紀의 凝灰岩, 輝石安山岩, 花崗岩, 火山灰.

해서 雨滴打擊에 의한 土壤微粒子의 分散을 防止하고 孔隙의 詰막힘을 防止하여 토층의 孔隙性을 유지한다. 이와같은 이유에서 森林地의 浸透性은 다른 지피상태에 있는 장소보다도 양호한 것이다.

日本 岩手縣에서 流水型浸透計에 의해서 森林地域內의 각종 지피상태의 終期浸透強度를 測定比較한 事例를 보면 제 2 표에서와 같다.

2) 森林이 浸水에 미치는 影響

透浸된 물은 土層, 土壤母材層의 孔隙를 통하여, 基岩風化層의 間隙을 통해서 이동한다. 이동은 重力, 毛管引力 및 浸透壓에 의해서 일어난다. 그런데 여기서 浸透壓은 중요하지는 않다. 이와같은 물의 움직임은 透水(percolation)라 한다. 單位時間當 單位面積을 透過하는 地中水分量을 透水強度라 하는데, 上部土層의 浸透強度와 地層의 성질에 의해서 변한다. 어느 地層에서 가능한 最大透水強度를 透水能이라 한다.

現地에서 큰 孔隙에 의한 重力水의 透水的 實流速을 측정함에는, 경사면의 위쪽과 아래쪽에 수 m 간격을 해서 「트렌치」에 湛水한 후 透下한 물의 浸出을 아래쪽의 「트렌치」에서 관측하는 방법, 또는 위쪽에서 一定한 強度의 散水を 하고 아래쪽의 切土面에서의 浸出水를 직접 관측하는 방법, 경사지의 일부 구역의 三方을 遮水壁으로 쌓고 그 구역에 散水해서 下流切土面에서 浸出水를 측정하는 방법, 이와같은 方法에서 透水中에 형광성(fluorescent), 우라늄 등과 같은 형광염료와 식염등의 추적물(tracer)을 첨가하는 방법 등이 사용된다.

土層의 透水性은 주로 非毛管孔隙의 量과 質에 의해서 결정되므로 큰 孔隙이 많은 土層에서는 높다. 土壤構造에 있어서는 團粒構造와 어느 종류의 粒狀構造의 土層에서 높지만 다른 粒狀構造에서는 비교적 不良하며, 堅果狀, 堅狀, 細粒狀構造의 土層에서는 대체로 不良하다. 土壤組織이 植質인 곳에서는 약하고 砂礫質인 곳에서는 좋다. 그러나 重植質土에서도 구조가 좋으면 透水性은 높다. 森林은 土壤構造의 改善, 즉 團粒構造의 발달을 촉진하고, 또 「root channel」의 큰孔隙의 量과 깊이의 발달을 좋게하여 土層

의 透水性을 增強한다.

森林은 根域범위의 土層의 透水性을 개선하고 유지하는 것은 분명한 것이다. 이와같은 점을 통해서 B層下部, C層, 혹은 基岩間隙層에서의 透水的 개선, 유지에 기여하는 것으로 고찰되지만 그 機構, 程度에 대해서는 아직까지 不明한 것으로 이해된다.

4. 山地小流域에서의 流出特性

1) 流出量의 測定法

森林地에 내린 降水는 森林의 각종 個別理水機能의 영향을 받은 다음에 그일부는 溪流에 流出한다. 그러므로 流出은 森林의 樣態에 따라서 달라진다. 森林流域 또는 林分으로부터의 流出量은 웨어法(堰測法), 流速法등으로 流量이 측정되고 그것을 면적으로 나누어서 決定한다.

그러나 아주 작은 小面積의 林分에서의 流量의 測定에서는 종종 量水槽 또는 量水器도 사용한다.

① 測定웨어法: 山地 小流域의 溪流에 測定웨어(量水堰, gauging weir)을 설치하고 웨어를 될 유하는 水深을 測定해서 流量을 구하는 방법이다. 웨어에는 여러가지 종류가 있으나 量水웨어로서는 完全越流하는 銳緣縮流웨어가 바람직하다. 예상되는 最小流量이 적은 때에는 三角形노치(v-notch)의 웨어(堰)를 사용하고, 비교적 큰 때에는 長方形노치의 웨어가 사용된다.

流量이 같을 때에는 三角形노치시일이 越流水深이 크므로 長方形노치보다 測定精度가 높다. 三角形노치의 頂角은 90°부터 60°까지 實用되지만 일반적으로 銳角의 것이 鈍角의 것보다 측정정도가 높다.

웨어의 上流에서 越流水深의 변화에 따른 背水曲線의 變化의 영향을 받지 않는 地點, 보통 越流水深의 2~3 배 떨어진 지점의 溪岸에 井戶(減勢井)의 위에 水位計를 설치하고 越流水深을 측정한다. 충분한 靜波施設이 있으면 직접 溪流上에 水位計를 설치하기도 한다.

어떤 基準面으로부터의 水面의 位置를 水位라 한다. 越流水深은 웨어의 低緣으로부터의 越流水의 水位로서, 流量은 이것과 일정한 관계에 있

고, 三角形에서는 다음 式으로 표시된다.

$$Q = \frac{4}{15} c \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} \left\{ 2(H+h)^{5/2} - (5H + 2h)h^{5/2} \dots\dots\dots (7) \right.$$

여기서,

Q : 流量,

c : 웨어에 따라 결정되는 定數, 流量係數.

g : 重力의 加速度,

θ : 三角形의 一치의 頂角

H : 越流水深,

h : 接近流速 v 때의 流速水頭 $= v^2/2g$.

웨어의 上流에 충분한 크기의 湛水가 있는 경우에는 接近流速이 무시되어 다음식을 나타낸다.

$$Q = \frac{8}{15} c \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} H^{5/2} \dots\dots\dots (8)$$

또는, $Q = c \cdot H^{5/2} \dots\dots\dots (9)$

여기서, c : 流量係數

노一치의 上流側에 量水槽를 설치하고, 流量과 對應하는 越流水深을, 越流水深의 각 계급에 대해서 여러번 實測해서 Q 와 H 의 關係曲線式 (Stage-discharge rating equation ; 流量曲線式) 이라 한다. 그러나 流量이 많은 경우에는 實測에 의해서 流量曲線式을 결정하기가 곤란하다. 이러한 경우에는 室內에서 溪流 및 웨어의 縮尺模型 水理實驗을 실시하거나, 現地에서 流速法에 의한 流量測定을 실행하고서 결정한다. 이 경우에도 小流量에 대해서는 量水槽에 의한 現地實測을 併行해서 참고함이 요구된다.

또, 長方形웨어의 流量曲線式은 다음과 같다.

$$Q = \frac{2}{3} c \sqrt{2g} b \{ (H+h)^{3/2} - h^{3/2} \} \dots\dots (10)$$

接近流速이 무시될 때에는

$$Q = \frac{2}{3} c \sqrt{2g} \cdot b \cdot H^{3/2} \dots\dots\dots (11)$$

여기서, b : 노一치의 너비

또는, $Q = cH^{3/2} \dots\dots\dots (12)$

水位流量曲線式이 얻어지면 水位를 測定함에 의해서 流量이 計算되며, 流量을 流域面積으로 나누어서 단위 면적당 流出量을 구하게 된다.

水位는 보통 自己水位計로 측정한다. 또, 一時點의 水位의 측정에는 水位標 「Hook gauge」가 사용된다.

노一치의 上流에 낙엽의 集積과 井戶水面의 氷

結이 자주 관측의 중요한 장애가 된다. 낙엽의 제거에는 적절한 格子 또는 網을 설치하는 것이 有效하다. 氷結에 대해서는 기름(油)를 부어 넣는 것도 고려되지만 완전하지 못하고, 실제로는 자주 검사하는 방법이 가장 有效한 것이다. 流出土砂도 웨어測定法の 重要因이 된다. 그러므로 보통 湛水池의 上流에 다시 沈砂池를 설치한다. 이것은 流出土砂中에 沈積한 부분의 측정에도 쓰인다. 流量曲線式은 때때로 檢定할 필요가 있다. 웨어測定法은 大流域(大流量)에서는 實行이 곤란하므로 경험적으로 20~30 ha 유역까지도 고려된다. 複合노一치웨어에서는 100 ha 정도의 유역에도 적용된다.

② 流速法 : 大流域 또는 아주 많은 流量이 예상되는 유역에서는 自然的인 流路 또는 이것을 정리한 量水路 (gauging channel)에서 流速과 流積을 측정하고 이의 곱으로써 流量을 구하는 방법이 사용된다. 舟上으로부터, 또는 流路上에 架設한 다리 혹은 케이블로부터 流速計에 의해서 流速을 측정한다. 測定웨어법에서와 같이 水位測定은 溪岸에 설치한 測水井에 水位計를 놓고 측정한다. 이 방법은 森林水文이외에서도 자주 취급되므로 여기서는 생략한다.

2) 삼림이수시험법

森林과 流出의 관계는 주로 試驗流域에 의해서 검토된다. 시험유역을 써서 森林과 流出 및 流域水收支의 관계를 시험하는 것을 森林水理試驗 (森林量水試驗, forest watershed experiment) 이라 한다. 廣義에는 森林流域內의 一林分에 있어서 地表流出, 中間流出은 물론 樹冠斷蒸, 蒸發散浸透, 土壤水分 變化 등 個別森林水文現象 및 林分水收支의 측정 등의 諸試驗을 포함한다. 試驗流域에 의한 森林의 종류 혹은 森林의 變化에 의한 流出 또는 流域水收支의 相違와 變化를 비교 검토함에는 4 종류의 방법이 쓰인다.

① 基準流域法 (對照流域法) (control watershed method) : 地形, 地質, 土壤, 氣象, 面積 등 流域條件이 되도록이면 유사하고, 더욱 가까이 있는 2개 이상의 유역을 선정하고 모든 유역에 같은 방법으로 水文觀測을 실시한다. 일정 기간 (期準期間, Calibration period, 혹은 虎理前期間) 이 지

난 다음에, 1개의 유역을 그대로 두고 다른 유역의 森林에 一時的 혹은 계속적인 試驗處理(例: 伐採)를 가한다. 이때 前者의 流域을 基準流域, 後者를 處理流域이라 한다. 基準流域에서는 森林植生の 生長에 의한 林相變化 및 이에 따른 地表土壤의 微弱한 변화등의 自然變化이외에 인위적인 급격한 변화를 모든 유역조건에 加하지 않는다. 그래서 基準, 處理兩流域도 地形, 地質兩條件은 변화하지 않는 것으로 생각된다. 그러므로써 森林處理後에 어느 기간(處理期間, treatment period, 혹은 處理後期間)동안 모든 유역에 대해서 基準期間과 같은 水文觀測이 계속된다. 그래서 基準期間에 있어서 基準, 處理兩流域間의 流出量關係와 처리기간에 있어서 동일한 내용을 얻은 관계를 비교해서 양자의 차이점으로부터 森林處理의 流出에 미치는 영향이 量的으로 검토된다. 물론 처리에 따른 森林의 변화와 차단, 침투, 증발산과의 개별 水文現象이 동시에 검토되면 流出에 미치는 영향의 내용에 대해서도 검토가 된다. 比較解析에는 回歸分析, 分散分析, 積算量曲線法, 平均值對比, 流出 hydrograph 對比, 流量繼續曲線對比, 流出特性值(流出變動係數, 河況係數)對比등의 方法이 쓰인다.

② 單獨流域法(single watershed method) : 前項의 方法에서 基準流域을 兩 경우로서 1개의 유역에서 基準, 處理兩期間의 사이에서 流出을 비교검토하는 방법이다. 이 때에는 일반적으로 森林處理에 따라서 영향을 받지 않는 기상자료와 流出과의 관계가 두 기간의 사이에서 回歸分析, 積算量曲線法, 流出 hydrograph 對比, 기타 前法에 준하는 방법으로 비교된다.

③ 併行流域法(parallel watersheds method) : 森林以外的 流域水文條件이 대체로 비슷한 유역을 2개~3개 근접해서 선정하고, 시험개시당 초로부터 森林植生の 차이에 의한 流出의 차이를 검토하는 방법으로 古來로부터 행하여져왔지만 水文條件이 이상적으로 비슷한 유역을 구하기가 어렵다. 이 방법에서는 유출양태, 각종 유출특정치가 직접 비교된다.

④ 多數併列流域法(multiple watersheds method) : 森林植生을 포함하여 水文條件이 서로 다

른 多數의 유역을 一地域으로 선정해서 각 유역 면적에 같은 水文觀測을 하여 얻어진 水文資料를 重回歸分析, 分散分析, 數量化要因解析 등으로 검토하여 유역조건 一의 하나로써 森林의 流出에 미치는 영향을 검토하는 방법이다.

위와같은 4 方法中에서 前三方法은 유역조건 중 森林만을 취급해서, 伐採, 불태우기 등 森林除去 혹은 造林, 天然更新 등 森林造成과 같은 森林處理에 의해서 森林의 영향을 검토하는 방법이며, 뒤의 한 방법은 유역조건 一의 하나로써의 森林의 영향을 유역조건과의 관련으로서, 활엽수림과 침엽수림, 우량림과 불량림등, 林相의 차이에 따라서 검토하는 것으로서 각각 목적이나 기타 사항에 의해서 선택한다.

5. 森林의 水資源涵養效果

森林은 강수차단, 투수능증진, 임지면증발억제, 지표유출완화, 적설과 용설의 변화, 增雨에 의한 降水의 流出등에 밀접히 관계됨을 검토해왔다. 이와같은 개별기능의 총합에 의해서 森林의 理水效果가 발휘되지만, 모든 요인이 洪水輕減, 水源涵養의 양면에 플러스방향으로만 작용하는 것이 아니고 때로는 마이너스로도 작용한다. 또 한편 각 기능이 영향을 주는 정도는 森林의 林況에 따라서 다르게 된다.

水源流域의 流出段階에서 洪水輕減, 즉 洪水流出量과 洪水 peak 流量의 저감을 위해서는 다음과 같은 일이 필요한 것이다.

- ① 流域降水量이 감소하도록 한다.
- ② 流域地表에 이르는 강수량을 流出前에 감소하도록 한다.
- ③ 降雨中 혹은 직후에 최단경로로 신속하게 배출되는 表面流出量을 감소하고, 긴 경로를 경유해서 배출시켜 地中流出量을 증가시키고 유출 계속시간을 길게 한다.
- ④ 용설기간을 연장하고 또한 流域各部의 용설시기를 같지 않도록 해서, 용설수가 시기적, 지연적으로 집중하는 것을 방지한다.

降水遮斷機能은 ①에, 蒸散機能은 ②에, 地表流出緩和, 土壤浸透能의 증강, 유지기능은 ③에, 각각 有效한 것이다. 森林의 취급을 조절함으로써

써 積雪의 방식을 변화시키는 기능과 融雪을 지체시키는 기능은 ④에 有効하게 된다.

그렇지만 增雨機能은 ①에 저축되는 것으로 洪水輕減을 위해서는 좋은 것이 못된다. 그러나 종래의 조사에 의하면 이 작용은 홍수의 직접원인이 되는 大雨때에 단시간에 급격히 증가하는 것에서는 아주 적고, 실제문제로는 마이너스효과를 안된다. 林地面蒸發抑制機能은 林床物과 表土層의 保有水分을 많게해서 出水時의 초기손실량을 감소해서 ③에 반대되는 역할을 한다. 그러나 실제로는 비교적 저강도의 小雨때에는 영향을 주지만 고강도의 大雨에서는 最的으로 그 영향은 작게 되므로 이러한 마이너스효과는 문제되지 않는다. 또 森林의 취급에 따라서는 融雪遲延機能은 融雪을 지연시키보다 봄철에 이르기까지 積雪이 保持되고, 더우기 급격한 暖氣 혹은 暖雨에 대해서는 오히려 雪代洪水流量이 증대되는 일이 있다. 특히 늦은 봄에 豪雨時에는 그 기능이 마이너스효과를 가져다주는 일도 있을 수 있다. 이와같은 점을 요약해 보면, 취급여하에 따라서는 플러스기능은 積雪變更機能, 融雪遲延機能을 제외하고는 降雨遮斷, 蒸發散, 地表流出緩和 및 土壤浸透能의 증강, 유지의 4대기능의 총합에 의해서 森林은 이른바 洪水防止效果를 발휘한다. 또 水源流域의 流出段階에서 水源涵養, 즉 低水時流出量의 豐富化, 安定化를 기함에는 적어도 다음과 같은 일이 필요하게 된다.

⑤ 流域降水量, 특히 降水季節의 雨量을 증가한다.

⑥ 流域地表에 달하는 降水가 流出前에 소실하는 것을 막는다.

⑦ 降雨中 및 直後에 최단거리에서 신속히 배출하는 表面流出量을 감소하여 증발산의 영향이 미치지 않는 地中土層의 긴 경로를 경유하도록 배출하여 地中流出量을 증가시키고, 유출계속시간을 길게 한다.

⑧ 降水가 눈을 주모하고, 夏期少雨의 地域에서는 積雪의 방식을 달리하여 녹기 쉽게 하고, 더욱 融雪期間을 연장해서 되도록이면 지연된 시기까지 流出을 연장시킨다. 또 積雪期의 渴水가 심한 지역에서는 적설기의 融雪을 촉진한다.

增雨機能은 ⑤에 林地面蒸發抑制機能은 ⑥에, 地表流出緩和와 土壤浸透能의 증강, 유지기능은 ⑦에, 각각 有効한 것이다. 그렇지만 降雨遮斷 蒸發散의 兩機能은 분명히 ⑥에 反對되는 마이너스기능인 것이다. 森林의 취급여하에 따라서는 融雪遲延機能과 積雪變更機能은 ⑦에 反對되는 마이너스기능도 될 수 있다.

총괄적으로, 플러스기능도 마이너스기능도 눈에 대한 기능을 제외하면, 前述한 4개의 플러스기능과 2개의 마이너스기능의 量的 балан스로서 森林의 水源涵養效果가 결정된다. 2개의 마이너스기능은 量的으로 상당히 큰 것이고, 無降雨, 低水流量時에 현저하게 되는 것이며, 또 4개의 플러스기능이 큰 森林은 동시에 2개의 마이너스기능도 크다고 본다. 그러므로 兩者의 量的 балан스의 관계는 간단한 것은 아니다. 지금까지의 연구에 남아있는 중요한 과제인 것이다.

그러나 앞에서 기술한 多數併列流域法에 의한 시험결과와 같은 사실에서, 우량삼림유역의 低水유량이 不良森林流域의 것에 비교하여 풍부하므로 영향이 큰 마이너스기능이 있음에도 불구하고 플러스기능이 有効하게 된다고 현재까지는 생각하고 있다. 그러나 항상 어디서나 플러스기능이 有効하게 되는 것은 아니고, 蒸發散機能이 큼에도 불구하고 浸透能의 증강, 유지기능 등에 의해서 低水流量이 森林에 의해서 함양되기 위해서는 적어도 2개의 조건이 만족되지 않으면 안된다.

제 1의 조건은 降水條件으로서 1年間을 통하여 항상 충분하게 蒸發散能을 초과하는 地中水分의 확보, 환언하면 충분한 降水量이 있어야 한다. 제 2의 조건은 地層의 투수조건으로서 증발산강도를 웃도는 透水強度를 허용하는 투수성지층이 根系集中層 혹은 地下水의 毛管上昇限度高를 초과하는 깊이에 존재하고, 그 下部位의 滯水層의 수 및 규모가 커야 한다.

이와같은 두 조건이 만족되는 곳에서는 森林에 의한 蒸發散損失이 많아도 殘餘의 충분한 降水量이 森林의 浸透能의 增強 및 維持機能에 의해서 ⑦의 사항을 실현해서 水源涵養을 이루는 것으로 생각된다. 그러나 제 2의 조건이 어느 정도 不充分해도 제 1의 조건이 充分할 때, 또는

역으로 제 1의 조건이 어느 정도 不充分해도 제 2의 조건이 충분할 때에는 같이 水源涵養이 이루어 지는 것으로 생각된다.

실제로는, 일반 山地의 浸透 및 透水強度條件은 증발산강도조건보다도 까다로우므로, 제 2의 조건보다도 제 1의 조건이 지배적인 것이다. 蒸發散能을 下回하는 정도의 지방에서는 前述한 바와같이 森林에 의한 水源涵養은 곤란하고 때로는 森林이 低水流量을 감소하는 일도 있게 된다.

또 少雨地方에서는 물론 多雨地方에서도 극히 小流域의 低水流出量은 비교적 淺層의 中間流出로서 구성되는 일이 많아서 森林에 의한 低水流出量의 감소가 일어난다.

그러나 일반적으로 우리나라의 대부분 지역은 蒸發散能을 초과하는 多雨의 지대이고, 큰 유역에 대해서 低水流出量의 多寡가 실제로 문제되

기 때문에 森林의 물소비에 구애되는 일은 없고 주로 浸透能增強 및 維持機能에 의한 水源涵養이 되는 것으로 생각함이 좋을 것이다. 그러나, 이와같은 생각에 대해서 보다 충분한 연구가 필요할 것이다.

積雪地方에서는 積雪期에도 低水流量이 나타난다. 이것을 증대하기 위해서는 同時期의 融雪을 촉진함이 요구된다. 이와같은 일은 常綠樹林의 落葉樹林으로의 전환, 유역내에서의 常綠樹林과 落葉樹林의 배치구역의 연구, 伐採區의 地區分配의 연구등에 의해서 어느 정도 가능할 것이다.

森林의 水源涵養效果의 量的表示에 대해서는 현재의 지식으로서는 정확하게 구체적으로 제시하기가 곤란하다고 생각된다.