

森林에서 林冠에 의한 降雨遮斷 損失에 關한 研究(I)¹

金景河² · 禹保命²

Study on Rainfall Interception Loss from Canopy in Forest(I)¹

Kyong Ha Kim² · Bo Myeong Woo²

要 約

1986年 7월부터 10월까지 서울大學校 冠岳樹木園 內에서 24年生 리기테다스나무로 구성된 針葉樹林分과 14年生 신갈나무등으로 구성된 闊葉樹林分을 대상으로 森林의 降雨遮斷現象을 究明하고자 樹冠通過雨量과 樹幹流下量을 測定하여 分析한 結果를 要約하면 다음과 같다. 1) 測定期間동안 내린 總降雨量은 773.8mm였으며, 樹冠通過雨量은 針葉樹林에서 593.5mm(76.7%), 闊葉樹林에서 663.1mm(81.8%)이었다. 林外降雨量(P)과 樹冠通過雨量(T)의 關係는 針葉樹林: 闊葉樹林: $T = -1.8675 + 0.8320P$, $T = 1.8179 + 0.8805P$ 이었다. 2) 樹幹流下量(S)은 針葉樹林에서 37.4mm(4.8%), 闊葉樹林에서 15.5mm(2%)가 測定되었으며, 林外降雨量이 2.5mm이하인 때는 樹幹流下量이 測定되지 않았다. 林外降雨量과 樹幹流下量의 關係式은 針葉樹林: $S = -0.6155 + 0.0698P$, 그리고 闊葉樹林: $S = -0.0497 + 0.0183P$ 이었다. 3) 遮斷損失量은 針葉樹林에서 總降雨量의 18.5%인 142.9mm, 闊葉樹林에서 125.2mm(16.2%)로 針葉樹林이 闊葉樹林보다 약14.1%가 많았다. 4) 遮斷量(I)과 林外降雨量(P)의 關係는 針葉樹林에서 $I = -0.3693 + 0.3666P - 0.0033P^2$ ($R^2 = 0.72$), 闊葉樹林에서 $I = -0.4817 + 0.3109P - 0.0026P^2$ ($R^2 = 0.61$)로 나타났다.

ABSTRACT

To investigate the effects of forest stand and storm characteristics on interception loss from canopy trees, throughfall and stemflow under the canopy of a pine stand and a hardwood stand were measured during 4-month periods (July to October, 1986) at the Kwanak Arboretum near Anyang, and the data were analysed by correlation and regression methods. The main results obtained from this study are summarized as follows:

1. The overall throughfall collected during measurement period were 593.5mm(76.7%) in the pine stand and 663.1mm(81.8%) in the hardwood stand out of total precipitation of 773.8mm. Combined regression analysis describes the relation between total precipitation(P) and throughfall(T) in the pine stand as $T = -1.8675 + 0.8320P$, in the hardwood stand as $T = 1.8179 + 0.8805P$.
2. And the sum of stemflow from measurement of total precipitation in the pine stand and the hardwood stand were 37.4mm(4.8%) and 15.5mm(2%), respectively. In total precipitation less than 2.5mm,

¹ 接受 7月 13日 Received on July 13, 1988.

² 서울大學校 農科大學 College of Agriculture, Seoul Nat'l University, Suwon 440-744, Korea

stemflow were not measured in both the pine stand and the hardwood stand. Regression equations for the pine stand and the hardwood stand are $S = -0.6155 + 0.0698P$, $S = -0.0497 + 0.0183P$. The mean slope and intercept of the individual regression of stemflow on rainfall for each forest stand indicate the proportion of the rain diverted to the trunks and trunk water capacity, respectively.

3. Interception loss accounted for 142.9mm(18.5%) in the pine stand and 125.2mm(16.2%) in the hardwood stand.
4. By quadratic predictive model of relation between interception loss and total incident rainfall, the extent of variance in interception loss explained was about 72% and 61% in the pine stand and the hardwood stand respectively.

Key words : interception loss ; throughfall ; stemflow.

緒 論

地球上의 물은 에너지의 狀態에 따라 大氣, 地表, 및 地中을 끊임없이 循環한다. 이와같은 물의 순환은 降水·遮斷·浸透·貯留·蒸發散·流出 등 일련의 과정을 통하여 시간과 공간에 따라 分布 및 狀態의 差異를 나타내고 있다.^{15),18),23),25),26)} 우리나라의 경우 降水量의 分布는 심한 季節性을 보이고 있어서 年平均降水量 1,159mm 중 약 2/3가 6~9월이 集中되고 있으며 年度別 變動幅도 600~2,000mm에 이르고 있어 風水害와 旱害를 일으키고 있다.³¹⁾ 따라서 집중 降雨로 인한 災害를 防止하고 보다 지속적이고 安定된 水資源을 공급하기 위해서는 洪水調節用dam과 같은 人工構造物에 의한 방법과 水源涵養林 造成과 같은 自然的인 방법이 있다.

심숙한 森林은 홍수시 첨두유량(peak flow)을 低減시키고⁷⁾ 渇水시 지속적으로 수자원을 공급해주는 理水機能이 있다. 이와같은 여러가지 森林水文現象중에서도 林冠에 의한 遮斷損失機能에 대한 計量的 分析이 매우 重要視된다. 일반적으로 樹冠遮斷量은 林內雨量(樹冠通過雨量+樹幹流下量)과 林外雨量의 차이를 말하는데^{5,6,9,10,13)} Horton(recited)²¹⁾, Jackson¹⁶⁾, Aston¹⁾ 등은 理論的으로 차단과정이 林冠貯留와 蒸發成分으로 나누어지고 이것을 식으로 나타내면 $I = S + E \cdot r \cdot t$ 가 된다고 하였다. 즉 I는 차단량, S는 植生에 의해 貯留된 量, E는 植生表面의 蒸發率, r은 수관투영면적과 증발면적의 비, t는 강우지속시간이다.

Calheiros de miranda와 Bulter⁸⁾는 사과나무의 경우, 3個月間 총강우량 135mm에 대해 遮斷量은 15.2%, 樹冠通過雨量은 84%, 樹幹流下量은

0.8%였으며 총강우량(P)과 차단율(Ip) 및 수관유량(S)의 관계는 $I_p = 4.03 - \frac{95.97}{(1 + 1.36P)}$, $R^2 = 0.76$, $S = 0.01P - 0.005$ ($R^2 = 0.92$)였다고 하였으며, 14년생 *Picea sitchensis*에 대하여 Ford와 Deans⁹⁾는 총강우량이 1,639mm일때 遮斷量이 30%로 비교적 높게 나타났다고 보고 하였다.

시업방법에 따른 樹冠通過雨量의 변화에 대하여 Helvey와 Patric¹³⁾은 無施業區, 擇伐區, 皆伐區에서 수관통과우량은 각 82%, 89%, 94%로 나타났으며 Lawson²⁰⁾에 의하면 Ouachita 산맥에서 소나무와 참나무로 구성된 林分에서 차단량은 12.7%, 수관통과우량은 84.9%, 수관유하량은 2.4%로 나타났으며 총수관유하량의 75%가 하층활엽수에서 발생하였다고 보고하였다. 柳³²⁾는 6월부터 11월까지 6個月동안 林冠密度가 64%인 針葉樹林과 81%인 闊葉樹林 및 83%인 針闊混淆林의 遮斷量은 각각 19%, 26%, 28%였다고 보고하였다.

林外降雨量과 樹冠通過雨量의 關係에 대하여 Coffay(recited)^{4,8)}, Jackson¹⁶⁾ 등은 이들간의 관계를 曲線回歸式으로 나타낼 수 있다고 하였으며 Woodall³⁰⁾, Rowe²⁹⁾, Pathak et al.²⁴⁾ 등은 적선회귀식을 이용하여 나타냈으며 Helvey¹²⁾, Rothacher²⁸⁾, Lawson²⁰⁾, Rogerson과 Byrnes²⁷⁾, Helvey와 Patric¹³⁾ 등도 같은 결과를 보고 하고 있다.

本 試驗은 1986년 7월부터 10월까지 4개월 동안 서울대학교 관악수목원내의 24년생 침엽수일분과 14년생 활엽수일분에서 삼림의 임관에 의해 나타나는 降雨의 遮斷效果를 밝히기 위하여 수행되었다.

材料 및 方法

1. 試驗地 概況

森林의 林冠에 의한 遮斷損失量을 測定하기 위하여 京畿道 安養2洞 所在(北緯37°25' 東經195°) 서울大學校 附屬 冠岳樹木園內의 森林을 試驗地로 選定하였으며 試驗區는 24年生 리기테다소나무로 구성된 針葉樹林分과 신갈나무와 물오리나무가 主樹種인 闊葉樹林分에서 各各 100m²(10×10m)의 지역을 設定하였다.

2. 試驗內容 및 方法

1) 總降雨量(Gross rainfall : P)

총강우량의 측정은 침엽수구에서 50m, 활엽수구에서 80m떨어진 약100m²의 땅지에 tilting siphon rainfall recorder를 이용하여 측정하였으며 雨量計는 受水口의 45°인장선상에 방해물이 없도록 設置하였다.

2) 樹冠通過雨量(Throughfall : T)

수관통과우량은 各 試驗區에 길이 130cm, 너비 15cm, 깊이 15cm의 trough gauge 3대를 설치하여 측정하였다. 하부는 하층 식생의 영향과 지면의 파김현상(splash)을 防止하기 위하여 높이 약 50cm의 고정대를 사용하였으며 各 gauge의 雨水는 vinyl hose를 통하여 中間集水筒을 거쳐서 Nylometer에 고어, 上部에 設置된 water level recorder에 의해 集水된 雨水의 水位를 1/5의 比率로 기록하였다.

3) 樹幹流下量(Stemflow : S)

수관유하량은 各 試驗區에서 DBH를 대표하는 5本の 樹木을 選定한 後 胸고높이에 collar를 부착하여 集水할 다음 自己雨量計를 使用하여 測定하였다. collar는 폭 3~4cm의 環形 collar를 사용하여 樹皮부분을 잘 다듬어 벗겨내고 裝着하였으며 漏水를 防止하기 위하여 silicon glass와 wax로 密封하였다.

4) 地形 및 林況調査

1986年 6月 28日에 各 試驗區에 대한 地形 및 林況調査를 실시하였으며 결과는 表1과 같다.

3. 分析方法

1) 樹冠通過雨量

試驗區 內의 樹冠部分과 樹冠이 없는 部分을 區分하여 平均樹冠通過雨量를 計算하였다.²⁴⁾

$$T = (A_w R + A_c R_1) / A$$

A_w = area without overhead canopy(m²);

R = rainfall in the open air(mm);

A_c = area under canopy(m²);

R₁ = throughfall under canopy(mm);

A = area of plot(m²);

T = throughfall(mm)

2) 樹幹流下量

樹幹流下量은 이것과 胸高斷面積과 胸高斷面積과 樹木密度를 組合하여 Killingbeck과 Wail¹⁷⁾이 고안한 공식을 사용하여 추정면적당 강우깊이를 나타내었다.

$$S = \frac{1}{2} (D_1 + D_2) / D_1 \cdot B_1 + B_2 \cdot B_1 \cdot V_2 / A$$

D₁ = total tree density

D₂ = tree density of non-collared trees

B₁ = total tree basal area(m² per plot);

B₂ = basal area of non-collared trees(m² per plot);

V₂ = volume of stem flow collected (l per plot);

A = area of plot(m²);

S = stemflow(mm)

3) 遮斷損失量

測定期間동안 27回의 單位降雨에 대하여 遮斷損失量은 총강우량에서 樹冠通過雨量 및 樹幹流下量을 뺀 값을 사용하였다.

結果 및 考察

1. 降雨分布

1986年 7月부터 10月까지 測定된 降雨量別 빈도

Table 1. Topographical and vegetational conditions of experimental plots.

Plot	Aspect	Altitude (m)	Slope (%)	Species	Age (yr)	Height (m)	D.B.H. (cm)	Basal Area (m ² /ha)	Canopy Density (%)
needle	N20°E	100	15	<i>P. rigitaeda</i>	24	$\frac{11}{7-16}$	$\frac{13}{6-20}$	31.4	74
broad	N 5°E	100	25	<i>Q. mongolica</i> <i>A. hirsuta</i>	$\frac{14}{8-20}$	$\frac{7}{5-14}$	$\frac{7}{4-16}$	11.5	70

Table 2. Mean values of throughfall(T), stemflow(S) and interception loss(I) for different rainfall totals.

Class	Frequency	T		S		I	
		(%)		(%)		(%)	
		N	B	N	B	N	B
P<10	9	6.4	6.7	1.8	6.2	15.0	14.2
10≤P<20	6	9.9	10.2	8.2	10.9	13.8	12.1
20≤P<30	2	6.6	6.4	4.4	7.7	5.9	6.0
30≤P<40	1	5.0	4.9	5.5	3.9	4.5	4.9
40≤P<50	3	15.2	15.5	8.3	22.7	25.9	24.0
50≤P<60	2	13.6	13.5	13.6	18.8	15.1	15.6
60≤P<70	1	8.9	8.3	9.7	3.2	4.3	7.7
70≤P	3	34.4	34.5	48.5	26.6	15.7	16.5

Note: N is needle-leaved, B is broad-leaved species.

Table 3. Amount of throughfall, stemflow, interception loss and characteristics for monthly rainfall.

		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Total precipitation (mm)		225.7	364.7	106.7	76.7
Rainfall duration (hr)		103.0	94.5	50.5	37.5
Average intensity (mm·hr ⁻¹)		2.2	3.9	2.1	2.0
Throughfall (mm)	N	174.1	294.0	76.1	49.3
	B	165.6	318.8	92.6	56.0
Stemflow (mm)	N	7.9	23.0	92.6	56.0
	B	5.5	5.5	2.0	2.5
Interception loss (mm)	N	43.8	47.7	26.3	25.3
	B	54.6	40.3	12.1	18.2

Note: N is needle-leaved, B is broad-leaved species.

와 분포는 표2와 같다.

降雨量別 빈도는 20mm以下가 전체 강우빈도의 56%를 나타내고 있으며 강우량이 증가할수록 수관통과우량과 수간유하량은 대체로 증가하는 경향을 보이고 있다. 單位降雨는 先行降雨(antecedent rainfall)에 의해 樹冠飽和量(canopy saturation value)이 영향을 받지 않도록 最小限 8時間 單位로 구분하였다.

표3은 조사기간동안 月別 降雨量, 樹冠通過雨量, 樹幹下流량의 分布狀況 및 降雨特性을 나타낸 것이다.

조사기간중 月別 降雨分布는 8月이 總降雨量의 47.1%인 364.7mm로 가장 많았고, 10月이 9.9%에 불과하였다.

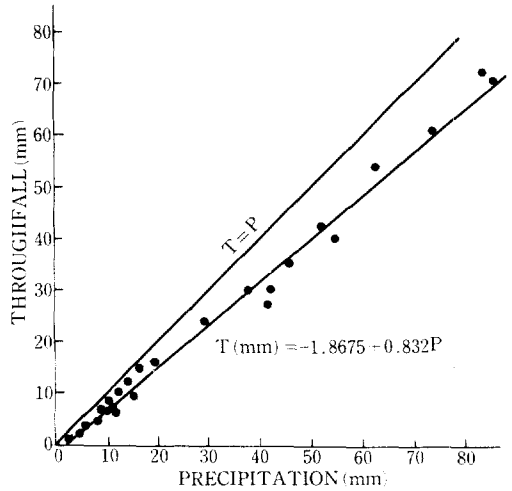


Fig. 1. Throughfall(T) relative to storm size(P) in needle-leaved trees.

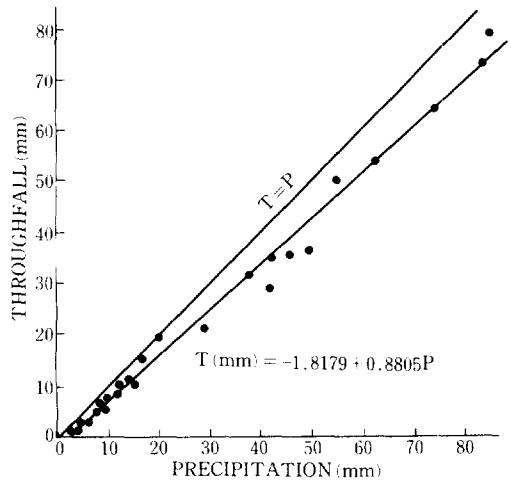


Fig. 2. Throughfall(T) relative to storm size(P) in broad-leaved trees.

2. 樹冠通過雨量

1986年 7月부터 10月까지 總 27回의 單位降雨에 對한 降雨量과 樹冠通過雨量의 관계는 그림 1,2와 같다.

樹冠通過雨量은 針葉樹林에서 593.5mm로 측정 기간 중 總林外降雨量(773.8mm)의 76.7%, 闊葉樹林에서 633.1mm(81.8%)였고, 침엽수와 활엽수 간에 6.7%의 차이가 있었다.

林外降雨量과 樹冠通過雨量의 關係를 調査하기 위하여 回歸分析한 結果, 針葉樹는 $T = -1.8675 + 0.8320P$ ($R^2 = 0.988$) 이었고, 闊葉樹林에서는 $T =$

$-1.8179 + 0.8805P (R^2 = 0.982)$ 의 直線回歸關係를 나타내었는데 林外降雨量이 증가함에 따라서 樹冠通過雨量이 증가하는 경향을 보였다. Pathak et al.²²의 研究結果에 의하면 6種의 林相에 대한 수관 통과우량의 차이는 1% 수준에서 유의하게 나타났으며 林外降雨量과 樹冠通過雨量의 關係는 침엽수(*Pinus roxburghii*)의 경우 $T = -1.365 + 0.837P$, 활엽수(*Shorea robusta*)는 $T = -0.660 + 0.853P$ 로 보고한 바 있다.

그러나 Henderson et al.¹⁴은 미국의 Tennessee 주 동부에서 4種의 서로 다른 林相間의 수관 통과우량의 차에 있어서는 유의하지 않았으며, Rogerson과 Byrnes²⁷도 침엽수와 활엽수에 대하여 위와 유사한 결과를 보고하였다.

3. 樹幹流下量

調査期間中 수관유하량은 針葉樹林에서 37.1 mm, 闊葉樹林에서 15.5mm가 發生하여 各各 林外降雨量의 4.8%와 2%이었다.

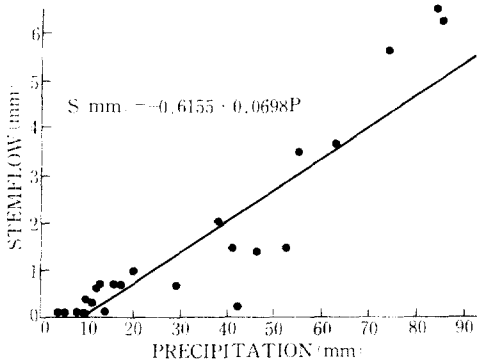


Fig. 3. Stemflow (S) relative to storm size (P) in needle-leaved trees.

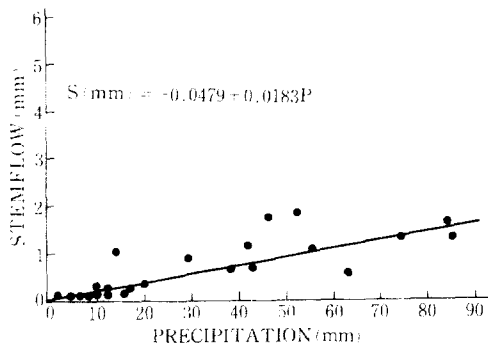


Fig. 4. Stemflow (S) relative to storm size (P) in broad-leaved trees.

그림3, 4는 樹幹流下量과 林外降雨量과의 關係이다. 分析結果 算出된 回歸式은 針葉樹林의 경우, $S = -0.6155 + 0.0698P (R^2 = 0.854)$, 闊葉樹林에서는 $S = -0.0479 + 0.0183P (R^2 = 0.671)$ 이었다.

針葉樹의 경우 11mm이하의 降雨範圍에서는 樹幹流下量이 闊葉樹보다 적게 나타났으나 그 이상의 降雨에서는 闊葉樹보다 크게 增加하였다. 이것은 闊葉樹에 비하여 針葉樹의 樹皮가 거칠고 樹幹表面積이 넓어서 降雨量이 적은 경우 樹幹에 保有되는 率이 크지만 강우량이 많은 때는 일단 樹幹貯留能(trunk water capacity)을 포화시키고 나면 樹幹流下量으로 전환되는 降雨量이 增加하였기 때문에 나타난 결과라고 생각한다.

樹幹流下量은 降雨初期에는 樹冠과 樹皮에 貯留되기 때문에 일정한 강우가 유입된 後 발생한다. Aldridge와 Jackson(recited)²⁰은 수관유하량은 降雨量이 2.2mm이상일때 發生하기 시작한다고 보고한 바 있고 Pathak et al.²⁴도 같은 결과를 발표하였으며, Kittredge et al.¹⁹는 *Pinus canariensis*에서 樹幹流下量이 發生하기 위해서는 2.5mm의 선형강우가 필요하다고 하였는데 이는 本 研究에서 나타난 결과와 대체로 일치하고 있다.

Gash와 Morton⁹, Rowe²⁹, Gash et al.¹¹ 등이 研究에서 밝힌 樹幹流下量으로 전환되는 比率(P_i)과 樹幹의 水分保有能(S_i)을 求한 결과 針葉樹의 경우 P_i가 闊葉樹의 약 3.8배이며 S_i의 경우도 12.4배에 해당하는 0.616을 나타내었는데, 이는 針葉樹林分의 胸高斷面積이 闊葉樹에 비해 약 2.7배 이상 크기 때문으로 意料된다.

4. 遮斷損失量

調査期間동안 發生한 遮斷損失量은 針葉樹林에서 總降雨量의 18.5%인 142.9mm였으며, 闊葉樹林에서 125.2mm로 總降雨量의 16.2%였다. 表4는 林外降雨量과 遮斷量의 關係를 回歸分析한 것으로서 直線式, 二次式 그리고 log形態의 回歸式 가운데 二次式이 가장 적합한 model로 나타났으며 침엽수의 경우 $I = -0.3693 + 0.3666P - 0.0033P^2$ 이고 활엽수는 $I = -0.4817 + 0.3109P - 0.0026P^2$ 으로 나타났다.

Jackson¹²은 log形態가 直線式이나 二次式 形態보다 적합했으며 間歇性降雨(intermittent storm)는

Table 4. Interception and gross rainfall.

Model	R ²	Regression coefficient	Standard error regression coefficient	F-value	
N* linear	0.4744	a	2.4310	22.571**	
		b	0.0999		0.0210
quadratic	0.7179	c	-0.3693	30.543**	
		d	0.3666		0.0607
		e	-0.0033		0.0007
logarithmic	0.5737	r	-2.8803	33.644**	
		s	2.8109		0.4846
B* linear	0.4683	a	1.7098	22.022**	
		b	0.1023		0.0218
quadratic	0.6088	c	-4817	18.676**	
		d	0.3109		0.0736
		e	-0.0026		0.0009
logarithmic	0.5079	r	-3.2837	25.804**	
		s	2.7249		0.5364

Note : Equation forms : linear $I = a + bP$; quadratic $I = c + dP - eP^2$; logarithmic $I = r + s \ln P$, where P is gross rainfall per storm in mm ; I is interception loss during storm in mm ; N* is needle-leaved, B* is broad-leaved species. **indicate significance at 1% level.

model의 적합도를 減少시키는 경향이 있다고 하였다.

結 論

1986年 7월부터 10월까지 森林에 의한 降雨遮斷 損失량을 分析하고자 서울大學校 冠岳樹木園 内の 리가네다소나무가 主樹種인 針葉樹林分과 신갈나무가 主樹種인 闊葉樹林分에서 수관통과우량과 수간유하량 및 차단손실량을 測定分析한 結果 다음과 같았다.

4個月의 조사기간동안 總降雨량은 773.8mm로 樹冠通過雨量은 針葉樹林에서 593.5mm였으며 闊葉樹林에서는 633.1mm로서 林外雨量과의 관계식은 침엽수가 $T = -1.8675 + 0.8320P$ ($R^2 = 0.988$), 활엽수가 $T = -1.8179 + 0.8805P$ ($R^2 = 0.982$)였다.

式에서 보는 바와 같이 임외강우량은 수관통과우량을 98%이상 說明하고 있으며, 두 變數 間의 直線回歸關係는 많은 研究結果에서 나타나고 있다.^{2,3,4,5,6,16,22)}

樹幹流下量은 針葉樹林에서 37.1mm, 闊葉樹林에서 15.5mm가 發生하여 各各 林外降雨량의 4.8%와 2%를 나타내었으며, 2.5mm이하의 林外降雨量에서는 發生하지 않았다. 林外降雨量과의 回歸式은 침엽수림의 경우 $S = -0.6155 + 0.0698P$

($R^2 = 0.854$)로 비교적 說明度가 높았으며 闊葉樹林의 경우 $S = -0.0497 + 0.0183P$ ($R^2 = 0.671$)로서 精度가 多少 떨어졌다.

遮斷量과 林外降雨量의 關係를 直線式, 二次式, 그리고 log 式을 利用하여 相關分析한 結果 二次曲線回歸式에 依한 model이 가장 적합한 것으로 나타났다. 침엽수는 $I = -0.3693 + 0.3666P - 0.0033P^2$ ($R^2 = 0.718$), 활엽수는 $I = -0.4817 + 0.3109P - 0.0026P^2$ ($R^2 = 0.6088$)로 나타났다.

引 用 文 獻

1. Aston, A.R. 1979. Rainfall interception by eight small trees. J. Hydrology 42 : 383-396.
2. Calder, I.R. 1977. A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in plynlimon central wales. J. Hydrology 33 : 247-265.
3. Calder, I.R. 1986. What are the limits on forest evaporation? - A further coment. J. Hydrology 89 : 33-36.
4. Calder, I.R. and P.T.W. Rosier. 1976. The design of large plastic-sheet net-rainfall gauges. J. Hydrology 30 : 403-405.
5. Calheiros de miranda, R.A. and D.R. Bulter. 1986. Interception of rainfall in hedgerow apple orchard. J. Hydrology 87 : 245-253.
6. Davis, W.E. 1939. Measurement of precipitation above forest canopies. J. Forestry 37 : 324-329.
7. Federer, C.A. 1973. Forest transpiration greatly speeds streamflow recession. Water Resources Research 9 : 1599-1604.
8. Ford, E.W. and J.D. Deans. 1978. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation. J. Applied Ecology 15 : 905-917.
9. Gash, J.H.C. and A.J. Morton. 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford forest. J. Hydrology 38 : 49-58.
10. Gash, J.H.C. and J.B. Stewart. 1977. The evaporation from Thetford forest during 1975.

- J. Hydrology 35 : 385-396.
11. Gash, J.H.C., I.R.Wright and C.R.Lloyd. 1980. Comparative estimates of interception loss from some coniferous forests in Great Britain. *J. Hydrology* 48 : 89-105.
 12. Helvey, J.D. 1967. Interception by eastern white pine. *Water Resources Research* 3 : 723-729.
 13. Helvey, J.D. and J.H.Patric. 1965. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. *Water Resources Research* 1 : 193-206.
 14. Henderson, G.S., W.P.Harris, Jr, Todd and T.Degrizzard. 1977. Quantity and chemistry of throughfall as influenced by forest type and season. *J. Ecology* 65 : 365-374.
 15. Hewlett, I.D. and W.L.Nutter. 1969. An outline of forest hydrology. Univ. Georgia Press Athens. 136pp.
 16. Jackson, I.J. 1975. Relationship between rainfall parameters and interception by tropical forest. *J. Hydrology* 24 : 215-238.
 17. Killingbeck, K.T. and M.K. Wali. 1978. Analysis of a North Dakota gallery forest. nutrient, trace element and productivity relations. *Oikos* 30 : 29-60.
 18. Kittredge, J. 1948. *Forest Influences*. Dover Publ. Inc., N.Y. 394pp.
 19. Kittredge, J., H.J.Loughead, A. Mazurak. 1941. Interception and stemflow in a pine plantation. *J. Forestry* 39 : 505-522.
 20. Lawson, E.R. 1967. Throughfall and stemflow in a pine-hardwood stand in the Ouachita mountains of Arkansas. *Water Resource Research* 3(3) : 731-735.
 21. Linsley, R.K., M.A.Kohler. and L.H.Paulhus. 1982. *Hydrology for engineers*. McGraw-Hill, Ind. 3rd ed. 508pp.
 22. McNaughton, K.G. and T.A.Black. 1973. A study of evapotranspiration from a Douglas fir forest using the energy balance approach. *Water Resources Research* 9(6) : 1579-1590.
 23. Molchanov, A.A. 1960. *The Hydrological Role of Forests*. Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR : 405pp.
 24. Pathak, P.C., A.N.Pandey and J.S.Singh. 1985. Apportionment of rainfall in central Himalayan forests(INDIA). *J. of Hydrology* 76 : 319-332.
 25. Raudkivi, A.J. 1979. *Hydrology*. Pergamon Press. 479pp.
 26. Reidl, O. and O. Zachar. 1984. *Forest Amelioration*. Statni zeme de nakladatelstvi. Praha. 623pp.
 27. Rogerson, J.L. and W.R. byrnes. 1968. Net rainfall under hardwoods and redpine in central Pennsylvania. *Water Resources Research* 4 : 55-57.
 28. Rothacher, J. 1963. Net precipitation under a douglas-fir forest. *Forest Sci.* 9 : 423-429.
 29. Rowe, L.K. 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest. Nelson, New Zealand. *J. Hydrology* 66 : 143-158.
 30. Woodall, S.L. 1984. Rainfall interception losses from melaleuca forest in Florida. *Forest Service Research Note SE-323* : 12pp.
 31. 朴成宇, 權純國, 徐承德, 安秉基, 李淳赫, 崔禮煥. 1984. *應用水文學*. 鄉文社. 364pp.
 32. 柳澤圭. 1986. 森林에 있어서 물收支에 관한 試驗研究. 江原大學校 博士學位論文. 28pp.