

國土保全 및 水資源生産面에서 본 森林의 効用に 관한 再照明

—美國 東部에서의 森林地 利用과 放牧地 利用時的 影響을 中心으로—

서울大學校 農科大學

禹 保 命

I. 緒 論

제한되어 있는 林地資源을 用材生産 및 水資源造成과 自然環境保全 등을 포함하는 森林資源造成을 위한 森林地로 利用할 것인가 또는 草資源造成을 위한 放牧林地나 放牧草地로 利用할 것인가와 같은 土地利用 競合問題는 비단 우리나라에서와 같이 人口密度가 높고 傾斜가 급한 山林面積率이 높은 나라에서 뿐만 아니라 先進 美國과 같은 큰 나라에서도 이미 오래 전부터 대두되고 있다.

人間生活에 日常 關係되는 快適한 自然環境資源의 造成 및 提供에 관한 森林만이 지닌 固有한 機能이나 効用을 強調하는 편이 優勢할 때에는 그 土地가 森林資源의 造成에 利用될 것이지만, 이와 반대로 人間生活에 또 없어서는 아니되는 肉類生産이 優先해야 될 경우에는 그 土地가 草地資源造成에 利用될 것이다. 최근 우리나라에서의 쇠고기 문제를 해결하기 위한 한가지 방법으로 「山地草地」를 造成하는 문제에 대하여 畜産人이나 林業人 뿐만 아니라 많은 國民들이 관심을 갖게 되었다.

현재 森林資源造成에 利用되고 있는 山地라 하더라도 그것이 自然環境保全 및 水資源造成 면에서 뿐만 아니라 經濟性 提高의 면에서도 林業的 利用보다는 畜産的 利用이 效果의이라고 評價되는 山地는 土地利用 形態를 森林生産의 場에서 草資源生産의 場으로 바꾸어도 森林資源造成에 미치는 影響은 그리 크지 않을 것이다.

장래 우리 人間이 質 높은 生活을 영위하기 위해서는 森林의 用材生産機能도 強調되어야 하겠지만, 이에 더하여 森林의 이른바 間接的 効用に 대해서도 분명한 理解와 올바른 認識이 필요할 것이다.

森林資源만이 가지고 있는 固有한 多面的 利益的 効用, 즉 國土保全機能(土砂流出防止 및 土砂崩壞防止, 防蝕, 防雪, 防風, 防砂 등), 水資源涵養機能(洪

水調節 및 出水調節機能, 理水機能, 保水機能, 流量平準化機能), 環境保全機能(環境 및 大氣淨化機能, 酸素供給機能, 保健衛生的機能, 防水機能, 環境保安機能, 保健休養機能, 風致景觀機能, 騒音減殺 및 防止機能, 野生動物保護機能 등), 森林レクリエーション機能, 敎化的 機能 등에 대하여 높이 評價되고 있다.

특히 最近에 國土의 약 67%에 달하는 山地에서 향후 10年間に 약 20만ha의 山地에 草地를 造成하려는 計劃이 발표되자 이에 關連되는 分野에서는 山地草地造成計劃을 成功的으로 수행함에 도움이 되는 귀중한 의견과 자료를 제시하고 있다.

일반적으로 森林地와 放牧地 利用에 관한 의견이나 資料를 보면 日本에서의 試驗結果가 대부분이므로,筆者는 美國에서의 각종 試驗結果(東部地域)를 整理하여 山地草地造成에 有用한 參考資料로 使用할 수 있도록 이에 報告하고자 한다. 本稿에 發表한 資料에 대한 더욱 상세한 情報나 資料는 參考文獻에서 찾아 볼 수 있을 것이다.

II. 水資源涵養能力에 작용하는 森林의 効用

地球上에 있는 水資源의 근원은 降水이며, 森林은 降水가 國土 위를 流出하는 過程에서, 樹冠에서의 蒸騰, 땅속으로의 浸透, 土壤水分의 保留, 地表위의 물 흐름, 地表下流(中間流), 土壤의 凍結, 그리고 降雪의 각 方面에서 다른 어떤 要因보다도 막대한 影響을 미치고 있다.

1. 降水의 樹冠에서의 遮斷效果

森林은 林冠에 의해서 降水를 遮斷하는데, 遮斷率은 降雨量이 적은 비에서는 크지만 강우량이 많은 비에서는 작게 된다. 예를 들면 着葉期の 闊葉樹는 1.3mm까지의 작은 비에서는 대체로 100%, 2.5mm까지는 60%, 13mm까지는 12%, 51mm까지는 8%

정도를 遮斷한다. 그러나 落葉期에서는 이보다 훨씬 적은 것이다.

일반적으로 잣나무계통의 林分(white pine)의 遮斷량은 10, 35, 60年生 林分에서 51mm의 一降雨量을 각각 8, 11, 17% 정도를 遮斷하고, 또 生育期の 壯齡闊葉樹林은 7%, 休眠期에서는 4%를 遮斷한다. 이와 같은 遮斷測定例는 다른 곳에서도 많지만, 豪雨時의 遮斷測定例는 매우 희귀한 것이다.

降水에 대한 林冠에서의 遮斷作用이 流出量의 低減에 현저한 영향을 미치는 것은 사실이지만, 특히 豪雨時에 洪水防止의 面에 量的으로 큰 영향을 미치는 사례는 아직 입수하지 못하고 있다.

2. 土壤内の 浸透能 增大効果

林床(forest floors)이 황폐되지 않은 森林에서는 土壤의 浸透強度는 降雨強度보다 일반적으로 크므로 地表流(surface flow)가 발생하지 않는다.

森林土壤의 浸透能은 각종의 浸透計(infiltrometer)로서 測定된다. 미국의 West Virginia州의 闊葉樹林地에서는 1,270mm/hr의 強度가 측정된 例도 있다. 또, New Hampshire州의 針闊混生林地에서도 356~1,270mm/hr의 값이 測定되었다. Pennsylvania州의 황폐되지 않은 林地 29개 지점에서 腐植層과 A層의 Core에 透水試驗(permeability)을 실시한 결과 「물」腐植에서는 5,994mm/hr, 黑泥土에서는 1,600mm/hr, A₁層에서는 3,353mm/hr, A層에서는 203~432mm/hr의 透水強度가 測定되었다. 이러한 測定値는 美國 東部の 林地에 있어서 100年 確率最大 30分間 降雨強度 76~152mm/hr보다도 훨씬 큰 것이다.

林地浸透強度가 降雨強度를 초과하지 않으면 隣接農地로부터의 地表流를 吸收하게 된다. Wisconsin州의 山地의 조사에서는 山頂部 능선의 無林地의 地表流는 山腹下의 林地斜面に 浸透해서 流路에는 대부분 到達하지 아니하였다.

裸地 때에는 粘土質 土壤에서는 浸透強度가 낮고, 砂質土壤에서는 높지만, 森林植被下에서는 浸透強度에 큰 차이가 없고, 특히 어느 경우에도 浸透強度는 降雨強度를 초과하여 높았다.

3. 土壤水分的 保留効果

流域의 流出強度는 林冠, 地表의 凹地, 透水性 土層, 透水 可能な 岩層, 流路에 의한 降水의 保留(貯留, storage), 즉 抑留作用(毛管貯留, retention)과

滯留作用(重力貯留, detention)에 의해 결정된다. 抑留된 降水는 곧 大氣中에 되돌아가고, 滯留된 降水는 어느 정도의 시간을 가지고 流路에 排出된다.

滯留된 降水의 일부는 地表下流 또는 中間流(地表下의 낮은 土層中の 물의 흐름, sub-surface flow)로서 보다 낮은 곳으로 流下하여 增水流出의 일부가 되고, 때로는 洪水流의 일부를 구성하기도 한다. 다른 일부는 다시 깊이 透下해서 增水流出에 작용하지 아니한다. 아주 낮은 地表下流는 森林流域의 增水流出에 합세하므로, 森林流域에서는 地表流가 없는 降雨中이거나 降雨直後에 溪流에 增水가 일어나게 되는 것이다.

保留容量은 장소에 따라서 큰 차이가 있다. 즉, 土層의 두께와 構造, 組織 등에 따라서 변동한다. 많은 森林土壤은 13~25cm로부터 51~76cm 깊이로써 일반적으로 깊지 못하다. 그래도 긴 건조기간 후에는 수 10mm의 물을 抑留(貯留)하게 된다. 그러나 降雨가 있는 각 地點에서 抑留되는 水量은 土層의 保留容量보다도 有意性 있는 先行降雨 以後의 乾燥에서 빼낸 水量, 즉 土壤水分保留機會(soil moisture storage opportunity)에 의해서 결정된다.

流域의 最大土壤水分保留機會는 긴 無降雨期間의 후에 내리는 大雨의 雨量과 增水流出量의 差로서 알 수 있다. 이러한 例로서, West Virginia州의 Fernow試驗林에서 109~119mm, Pennsylvania州의 林地에서 137mm, New Hampshire州의 Hubbard Brook試驗林에서는 102mm의 값이 보고되었다. 이와 같은 測定値에는 林床의 有效한 保留量도 포함되어 있다. 平均 약 5cm 두께의 腐植層에서 保留는 약 20mm, 즉 總抑留量의 15~20%에 달한다.

土壤水分保留機會는 季節에 따라서 變動한다. 生育機가 지난 다음의 土壤水分은 가을의 降水로서 補給된 후에 봄까지 保留機會는 最低가 된다. 生育期の 降雨는 頻도가 높으면 保留機會는 制限된다. Fernow試驗林의 最大保留機會는 2종류의 保留容量에 대해서 11年間의 生育期(4~11月)의 日水收支推定値로부터 다음과 같이 推定된다.

表 1. 森林土壤의 最大水分保留機會(W. Virginia)

區 分	102mm 保留 容量의 경우	254mm 保留 容量의 경우
1956 最低期	30 mm	30 mm
1957 最高期	74	112
11年間의 平均	56	76

表 1에서의와 같이 일반적으로 保留機會는 크지가 않다. 가장 건조했던 해(1957)에도 254mm 保留容量에 대해서 保留機會는 生育期 244日 중에서 61日간은 51mm 이상으로 平均 33mm이었다. 그리고 1956年은 비가 내린 날이 많아서 生育期の 平均保留機會는 겨우 6mm에 지나지 아니하였다.

그러나 美國 南東部の 土深이 깊은 지방에서는 保留機會가 대단히 크게 조사되었다. 즉, South Carolina州의 Peat Mont의 50年生 소나무類(短葉松)와 闊葉樹의 混種林分下에서 3年間에 걸쳐서 土壤水分이 測定되었는데, 1~4月の 濕潤期와 5~12月の 乾燥期에 대해서 25mm(1인치) 階級으로 保留機會의 日數 百分率을 조사한 結果를 보면 表 2에서의와 같다.

表 2. 森林에서의 水分保留機會의 百分率

保留機會(mm)	1~4月(%)	5~12月(%)
0.0	8	-
2.5~25	19	-
28~51	31	3
53~76	31	1
79~102	8	10
104~127	3	21
130~152	-	21
155~178	-	37
180~203	-	7

어떠한 경우에도 保留機會가 커짐에 따라서 森林의 洪水流出低減의 效果는 증대되지만, 先行降雨가 있을 때에는 大雨時에 保留機會가 작아지고, 또 雨量이 크면 保留機會의 效果는 相對的으로 작아진다.

그러나 다른 土地利用에 比較해서 森林流域에서의 洪水流出量이 적다고 하는 것은 相對的으로는 林地의 保留機會가 洪水輕減에 有效하다는 것을 보여주는 것이다. 한편 森林內에서는 雨水가 전부 浸透해서 地表流를 볼 수 없을지라도 洪水流出이 發生되는 것은 地中保留가 대부분 短時間의 滯留라는 것을 보여주는 것이다. 여기서 滯留, 즉 地表下流의 強度에 대한 研究가 要請되고 있다.

4. 地表流와 地表下流(中間流)에 대한 効果

일반적으로 森林內에서는 地表流는 發生되지 아니한다. 단지 代採搬出, 放牧, 산불로서 礦物土壤이 露出된 부분은 별도로 한다.

美國의 南東部 Alaska의 試驗地에서, 低木林의 急傾斜의 山腹에서 30日間에 걸쳐서 10,000mm 이상의 물이 散水되었어도 地表流는 적고 3%가 地表下流로서

流路에 도달하였다.

물론 극히 제한된 局所에서는 林內에서도 地表流를 볼 수 있는 것이다. 枝葉의 퇴적이 적은 능선부에서나, 또는 地表의 微小 凹凸의 凸部の 裸地面 등에서 볼 수 있는 地表流는 傾斜面의 下部의 林床에서 소멸되어 땅속으로 浸透된다.

일반적으로 林地에서는 浸透가 限定되고, 地表流가 없게 되므로 森林流域의 增水流出은 주로 地表下流에 의해서 이루어진다. 그리고 地表下流는 表土層의 큰 孔隙中에서 이루어진다. 즉, 層을 이루는 微細組織의 土層에서는 地表下流는 飽和水 以前에서도 相互 연결된 틈(crack)과 물길을 통해서 움직인다. 粗粒組織의 土層에서는 얇은 틈과 물길에 모이지 않고, 基岩이나 혹은 微細土層에 도달할 때까지 透下한다.

地表下流의 速度는 빠르며, 洪水가 일어나는 濕潤狀態에서도 中部斜면에 浸透한 물이나, 下部斜면에 浸透한 물도 流路에 대부분 대를 같이 하여 排出된다. 流路까지 土中을 透水하는 시간은 浸透水의 增加에 要하는 시간보다도 적다.

溪岸의 小面積이 增水流出에 크게 공헌하는 透過流를 提供한다는 견해도 있다.

5. 土壤의 凍結에 대한 効果

土壤의 凍結은 浸透를 방해하여 地表流를 증가시킨다. Michigan州 East Ransing에서 農地에서는 最大 깊이 76cm의 土壤이 凍結되었을 때에, 降雨量의 4.6%가 地表流出 되었으나, 인근의 林地에서는 0.2%의 流出이 發生되었다. 이와 같이 地表流가 다른 것은 凍結이 林內에서는 散在的으로 이루어져 있다는 사실에 의한다. 그리고 Azirondack의 幼齡林分에서 凍結을 조사한 바에 의하면 약 5cm 깊이의 凍結이 標本地點의 30~40%에 달하였으나, 代期林分에서는 15% 정도 밖에 되지 아니 하였다. 凍結은 闊葉樹林下에서 보다도 소나무林下에서 많고, 또 無林木地는 이것보다도 더욱 많다. 예를 들면 New Hampshire州 Puri-mos 근처의 40年生 소나무林分, 40~50年生 참나무類林分, 牧野에서의 凍結地點의 百分率은 表 3에

表 3. 森林 및 牧野地에서의 土壤凍結地點의 百分率

區 分	1月 12日 (%)	1月 26日 (%)	2月 7日 (%)
牧 野	100	75	54
White pine林	93	43	43
Red pine 林	21	25	14
闊 葉 樹 林	39	14	14

와 같다.

表 3에서와 같이 White pine의 1月 12日의 값을 제외하고서는 林地의 凍結은 적으며, 또 地表流發生에 대한 영향도 적다는 것을 알 수 있다. 이와 비슷한 결과가 다른 곳에서도 조사되었다.

6. 降雪에 대한 効果

森林은 降雪을 遮斷하는데, 闊葉樹林에서는 10%, Red pine과 White pine林에서는 약 25%를 遮斷한다. 그리고 林冠은 融雪을 지연시킨다. Oregon州에서 3日間の 降雨과 融雪에 의한 洪水流出이 解析되었는데, 森林은 融雪強度를 40% 감소시키고, 또 洪水流出量을 10% 감소시킨다고 推定하였다.

그러나 어떤 조건하에서는, 森林은 融雪洪水 peak 流量을 증가하는지도 모른다. Algeni高原에서 조사한 자료를 보면 이른 봄까지 林冠下에서 融雪이 지연되었던 積雪이 봄에 갑자기 高温이 내습하면 시간적으로 集中해서 融解하게 된다.

森林은 遮斷에 의해서 雪代流出量을 감소하지만, 融雪遲滯에 의해서 봄부터 高温期까지 積雪을 남겨서, 봄의 雪代洪水 peak 流量을 크게 하기도 한다.

皆伐은 逆效果를 가져 온다. Hubbard Brook 試驗林의 小闊葉樹林流域에서 森林이 皆伐되었을 때에 融雪初期의 Peak 流量이 $0.62\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 에서 $0.82\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 로 35% 증가하였다. 그러나 融雪後期에서는 $0.35\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 에서 $0.13\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 로 66% 감소하였다.

Ⅲ. 森林 및 放牧地利用이 洪水流出에 미치는 影響

山地流域에서 洪水流出에 큰 영향을 미치는 주요한 森林의 管理技術 要因에는 林木의 伐採, 산불, 放牧, 更新 등이 있지만, 본고에서는 伐採와 放牧에 대해서 고찰한다.

1. 森林의 伐採로 인한 影響

洪水에 미치는 森林의 영향은 降雨遮斷, 蒸散, 높은 浸透能에 의한다. 그러므로 洪水流出에 대한 森林收穫의 영향은 林木伐採의 比率과 多孔質의 土壤이 황폐된 정도에 따라서 따르게 된다. 全林木이 除去되어도 황폐되지 않은 土壤이 남아 있으면 森林의 效果는 어느 정도 發揮된다.

(1) 遮斷에 대한 影響

洪水量에 대한 森林의 降雨遮斷量은 그리 크지가 않은 것이다. 그러므로 伐採에 의한 遮斷量의 減少는 큰 변동이 일어나지 않는다. 美國 東部地方에서는 伐採跡地에서의 樹草의 再生이 빠르고, 또 무성해지므로 伐採木의 末木과 枝條를 林內에 잔존시키므로써도 충분히 遮斷作用을 발휘할 수 있다. 林內의 伐開地에 눈이 많이 퇴적되면 이것이 融雪洪水의 peak 流量을 증대하게 되므로 주의를 요한다.

(2) 浸透와 地表流에 대한 影響

伐採時에 土壤이 攪亂되고 壓密되는 장소에서는 浸透能이 低下된다. 林木이 除去되는 그 自體는 관계가 되지 않는다. Fernow 試驗林에서 伐採收穫 후에 浸透計로써 浸透強度를 測定한 결과 「불도저」道에서는 현저히 低下되었으며, 이곳에서는 분명히 降雨時의 地表流가 發生하였다. 다른 攪亂되지 않은 부분에서는 浸透能은 높았으며 또 모두 地表流를 볼 수가 없었다. Coweeta 水文研究所에서도 또 Hubbard Brook 試驗林에도 이와 같은 결과를 얻었다.

Vintsofarness 試驗林에서는 90年生の 참나무林의 皆伐後 4年까지도 林床에는 많은 腐植이 남아 있었다. 皆伐後에도 높은 浸透強度가 유지되는 것은 이러한 腐植 때문인 것이다. Fernow 試驗林에서도 皆伐과 樹草再生後 6年間に 腐植의 깊이는 皆伐前과 대체적으로 큰 차이가 나타나지 아니했다.

그러나 伐採와 搬出作業은 일부 林地를 荒廢시키게 된다. 運材路는 대체로 伐採對象地의 20% 정도를 점하고, 集材道와 集材場 기타를 합하면 地表가 壓密되는 面積은 약 40%에 달하게 된다. 그러나 각종 集材路 및 集材場 등의 배치에 충분히 주의하면 10% 정도로 감소할 수도 있는 것이다.

(3) 土壤水分 保留에 대한 影響

林木의 伐採로 인해서 토양이 황폐되면 물 保留容量(土壤孔隙量)이 減少된다. 그러나 再生樹草로서 속히 회복되면 그 영향은 아주 작게 된다. 伐採에 의해서 蒸散이 감소되면 保留容量은 그만큼 水分으로 채워지는 일이 많으므로, 降雨가 침입할 餘地(土壤水分 保留機會)를 적게 한다. Fernow 試驗林에서 皆伐後 여름의 peak 流量은 平均 21% 증가되었는데, 이것은 土壤水分保留機會의 減少에 기인된 것이었다.

(4) Peak 流量에 대한 影響

林木의 伐採의 영향은 皆伐에 의해서 가장 크게 나타난다. Coweeta 水文研究所에서는 약 13ha의 闊葉樹林을 皆伐한 후 그 伐倒木을 그 장소에 잔치하고 林外로 運搬하지 아니 하였다. 그리고 萌芽는 매년 伐

倒하였다. 그 결과 年流出量은 평균 약 280mm 증가 하였으나, 降雨時의 最大 peak 流量은 증가되지 아니 하였다. 또, 이 試驗林에서 약 44ha의 闊葉樹林이 皆伐하여 搬出되었는데, peak 流量은 평균 9% 증가하고 또 增水流出量(直接流出量)은 평균 11%(평균 53mm의 增水流出量에서 5.8mm) 증가되었다.

皆伐에 의한 遮斷과 土壤水分保留機會의 減少가 增水peak를 10~20% 增加한다. 이러한 增加는 土壤 깊이, 先行氣象 및 土壤條件 기타 요인에 의해서 좌우 된다.

林木의 伐採量이 적으면 그 영향도 적어진다. Coweeta 水文研究所에서 下木과 溪岸의 일부 林分이 伐採되었어도 最大 peak 流量은 증가되지 아니 하였다. 또 Fernow 試驗林에서 直徑制限으로 20% 및 59% 皆伐을 실시하였는데, peak 流量에는 영향이 없었다.

洪水는 森林伐採에 의해서 일어나는 것이라고 간단히 말할 수는 없는 것이다. 完全한 森林破壞가 有害한 것은 더 말할 필요가 없지만, 急傾斜地에서 放牧草地와 農地로 轉換하기 위한 森林除去와 地表攪亂이 작은 方法으로 실행한 후에 後繼樹草가 있는 森林伐採와는 區別하지 않으면 아니 된다. 林床이 대부분 원래대로 남아 있도록 실행하는 森林伐採는 森林의 水文의 效果의 큰 부분을 변경시키지 않는 것이다.

Hubbard Brook 試驗林에서 16ha의 流域의 皆伐과 林床除去가 試驗的으로 실시되었는데, peak 流量이 크게 증가되었다. 最大 211%의 증가도 있었다. 이러한 이유는 利用되는 土壤水分保留機會는 물론 保留容量도 감소되었기 때문이었다.

皆伐에 의한 洪水流出量과 洪水peak 流量의 증가를 4 가지로 나누어 고찰할 수 있다. 제 1은 林床이 황폐되지 않으면 皆伐해도 地表流는 일어나지 않는다. 그러나 peak 流量과 增水流出量에는 실제로 그 양이 적으면서도 효과는 크게 증가된다. 제 2는 搬出路 및 集材場 기타 이와 유사한 곳에서 일어나는 地表流의 대부분은 그 부근의 황폐되지 않은 林床에서 吸收된다. 제 3은 peak 流量과 增水流出量의 증가는 後繼樹草의 遮斷과 蒸散(土壤水分保留機會)에 의해서 5~10年 정도는 무시될 量으로 低減한다. 제 4는 收穫 保續原則에 의한 森林經營下에서는 1년에 大面積皆伐을 하는 일은 실제로 稀少하며 또 森林所有의 分散과 林相의 地域의 多樣性이 大面積皆伐을 실제로 制限하는 일이 많다. 皆伐의 分散은 洪水量의 增加를 억제한다.

2. 山地放牧으로 인한 影響

林內放牧은 林地를 壓密하여 浸透能을 減少시키므로서 地表流를 增加시키게 된다. Wisconsin州에서 浸透強度의 比較測定을 실시한 결과는 表 4에서의 같다.

表 4. 禁牧林과 放牧林에서의 浸透強度(mm/hr)

區 分	浸 透 強 度
禁牧 참나무林	189
放牧 참나무林	1
禁牧 Scotch pine 林	280
放牧 Scotch pine 林	32

Wisconsin州 Curee 試驗林에서 比較流域 試驗을 실시한 결과, 8回의 大雨에서 放牧林地流域에서는 平均率 8.5%로써 每回마다 地表流出이 발생되었지만, 放牧하지 않은 林地流域에서는 2回에 微少한 流出이 일어났다. 이 試驗林과는 別도의 試驗에서 5回의 大雨에서 重度放牧林地流域에서는 平均 3%의 流出率로 每回마다 地表流出이 일어났지만, 無放牧林地流域에서는 測定될 수 있는 流出이 없었다. Coweeta 水文研究所의 59ha의 闊葉樹林流域에서 9年間 每年 5月부터 9월까지 平均 6頭의 소를 放牧한 결과 下木 下草는 대부분 먹여졌다. 그 결과 地表流가 發生되고 peak 流量도 증가되었다. 放牧 前은 流出開始 時點으로부터 peak 流量 時點까지의 雨量 51mm로 peak 流量은 $0.20m^3/sec/km^2$, 放牧 後는 같은 量의 비로서 $0.35m^3/sec/km^2$ 로 증가되었다. 또 102mm의 雨量에 대해서는 $0.35m^3/sec/km^2$ 가 $1.31m^3/sec/km^2$ 로 증가되었다.

美國의 東北部 諸州에서는 이와 같은 試驗結果의 影響을 받아서 林內放牧이 현저히 감소되었다. 예를 들면 North Central의 東部地方에서는 1930년에 507만 ha나 되던 放牧地가 1964년에는 289만ha로 감소되었고, 또 같은 기간에 New England州에서는 127만ha가 33ha로 감소되었다. 美國의 東部の 北部諸州에서는 林內放牧과 水 保全의 문제가 현금에도 대단히 중요시되고 있다.

3. 土地 利用形態 變化로 인한 影響

農地, 牧草地, 都市地域 등과 같은 非林地에서의 洪水流出量은 다른 제조건이 같을 때에는, 林地에서의 그것보다 일반적으로 많다. 森林은 土地의 全面을 피복하여 太陽輻射의 反射率이 작고, 깊은 根系를 이루며 장기간의 잎에 의하여 農作物보다 많은 蒸散을 하므로서 土壤水分保留機會를 많이 하여 洪水流出을 減

少시킨다.

美國 東部地方은 원래 森林이 대단히 무성한 지대이 었으나, 傾斜가 緩하고 土壤이 깊은 土地는 伐採하여 農地를 조성하고, 소위 山地(mountain)에만 森林(forests)을 남기었다. 이러한 山地는 일반적으로 비가 많고, 기온이 낮으며, 경사가 급하여 토양이 비교적 얇다. 이 때문에 실제 森林地帶에서는 流出이 많다. 그러므로 단순히 실제의 非林地와 林地를 비교함은 그 의미가 없는 것이다.

森林地帶와 非森林地帶의 境界地帶에서는 土地利用의 변화가 일어나므로, 여기를 대상으로 하여 森林地와 다른 土地利用과의 비교에 많은 관심이 모아지고 있다.

(1) 森林地를 農地로 轉換할 時의 影響

밭의 農作物의 降雨遮斷은 林木의 그것보다도 훨씬 적고, 또 浸透強度도 낮다. 蒸散도 적고 土壤水分保留機會도 적다. 결국 農地의 地表流와 增水流出量은 森林地보다 훨씬 큰 것이다.

流出은 林地에서보다도 農耕地에서 훨씬 많다. 예를 들면 Mississippi 州에서 목화밭과 成熟참나무類林의 비교시험을 한 바 목화밭에서는 年流出水量 940 mm(流出率 58%)에 대하여 森林에서는 13 mm(0.01%)에 불과하였다.

農地에서는 植物이 완전히 地表를 점하지 못하고, 蒸散의 기간이 짧으므로 林地에 비하여 土壤水分保留機會가 적다.

農地의 peak 流量은 林地의 그것보다도 큰 것이다. North Carolina 州의 小流域試驗에서 관리부실한 農地로부터의 평균 peak 流量은 $4.39 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 로 洪水가 發生하였지만, 比較한 林地에서는 $0.916 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 로 洪水가 發生되지 아니하였다. Wisconsin 州에서 4種의 地被型의 小流域에서의 流出率과 peak 流量이 5回の 大雨의 平均으로 比較된 結果를 보면 表 5와 같다.

表 5. 地被型別 流出率과 peak 流量

地 被	流出率 (%)	Peak 流量	
		mm/hr	$\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$
옥수수 또는 보리	48	37	10.34
草 地	14	15	4.15
오래된 原野	11	15	4.22
放 牧 林 地	3	3	0.84

그리고 無放牧森林流域에서는 流出은 발생되지 아니하였다. 이와 같은 例는 農地로부터의 peak 流量은 林地에서의 그것보다도 5~10배나 된다는 것을 보이

는 것이다.

Coweeta 水文研究所에서 9.3ha의 森林流域이 옥수수밭 2.4ha, 牧草地 2.8ha, 雜木林 4.1ha로 轉換되었는데, peak 流量은 대단히 증가되었다. 15분간 降雨量에 대한 peak 流量의 증가는 表 6과 같다.

表 6. 15分間 降雨量에 대한 peak 流量의 增加

15分間 雨量	Peak 流量($\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$)	
	森 林	農 地
51 mm	0.120	0.294
76	0.294	0.916
102	0.469	1.537
127	0.643	2.147

이와 대략 비슷한 降雨에서 農地에의 轉用 前에는 $0.87 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 의 peak 流量이 일어났으나, 山地農耕 後에는 $7.303 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 가 發生되었다. 특히 林地일 때에는 152mm/hr 이상의 浸透能이 踏壓을 받은 牧草地와 放牧옥수수밭에서는 15mm/hr로 減少되었다.

美國에서는 近年에 農耕을 위해서 森林을 除去하는 일은 거의 볼 수가 없고, 역으로 放棄된 傾斜農地에 造林을 하여 다시 回復시키고 있다.

(2) 森林地를 放牧地로 轉換할 時의 影響

重度로 放牧한 牧草地는 農地와 같거나, 혹은 그 이상으로 洪水流出을 發生한다. 특히 풀은 다른 農作物보다 降雨遮斷量이 적고, 家畜의 踏壓에 의해서 浸透強度도 저하되고, 또 蒸散도 적어서 결국 地表流가 많아지게 된다. 물론 한편으로는 年中을 통하여 풀이 토양을 보호하는 면도 있다. 그러나 결국 종합해 보면 放牧草地는 森林은 물론 全面에 作物이 재배되는 農地보다도 많은 地表流를 發生한다. North Carolina 州 Bent Creek 流域에서 放牧農地로부터의 平均最大流量은 $22.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로써, 放棄農地의 $11.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 약 2배나 되었다. Wisconsin 州에서 比較試驗을 실시한 結果를 보면 表 7과 같다.

表 7. 放牧度의 比較試驗에서의 流出率

地 被	流出率 (%)	Peak 流量	
		mm/hr	$\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$
重度放牧草地	21	25.1	6.97
輕度放牧草地	6	8.1	2.26
放 牧 林 地	3	3.0	0.84

그리고 無放牧林地에서는 表面流出은 일어나지 아니 하였다.

물 保全上으로 바람직하지 않은 草地의 취급은 放

牧草地 自體로서도 바람직하지 못하며, 放牧草地로서 바람직한 취급은 副産物로서 洪水流出 防止效果도 나오지 된다.

IV. 森林 및 放牧地 利用이 土砂流出에 미치는 影響

1. 山地浸蝕과 土砂流出

森林伐採, 放牧, 산불 등에 의해서 林地 地表가 裸出되거나 壓密되면 地表流가 많이 일어나고 또 土壤의 浸蝕이 發生된다. 역으로 浸蝕이 發生된 土地에 森林을 造成하면 地表流도 浸蝕도 減少된다.

土壤이 浸蝕되면 溪流와 河川에 土砂가 流入된다. 土壤이 浸蝕되면 生産性이 높은 土壤과 함께 土壤肥料도 損失되어 土地를 매우 척박하게 만든다. 浸蝕은 또한 土壤의 損失 뿐만 아니라, 道路의 파괴, 地表의 景觀 및 自然環境을 훼손하게 된다. 流出土砂는 用水를 汚濁하고, 水面레크리에이션을 방해하고, 貯水地를 埋沒하여 效用을 低下시키며, 河床을 상승시켜 航行의 障害를 초래하고, 또 河川의 通水容量을 減少시키므로써 洪水災害를 증가시키며, 養魚地를 매우 고 또 道路와 市街地에까지 災害를 일으킨다.

2. 森林流域에서의 土砂流出

美國에서 全國적으로 260km² 이하의 流域의 平均年流出土砂量은 지방에 따라서 큰 차이가 있다. 예를 들면 東部에서도 북쪽과 5大湖 各州에서는 228ton/km², Mississippi州 南部에서는 6,544ton/km² 으로 報告된 바 있으며, 또 面積 0.52km²~1,399km²의 73개 流域에서 測定된 것은 年流出 土砂量이 17.4~247.0 ton/km²의 범위이었다.

森林流域에서는 土砂流出이 매우 적다. 闊葉樹林의 小流域에서 비가 내리지 않을 때에 溪流에 의해서 운송되는 流出 土砂는 1.5~1.9ton/km²/年, 또 増水流量에 의해서 운송되는 것은 1.9~3.9ton/km²/年이었다.

Fernow 試驗林과 Coweeta 水文研究所의 二次林流域의 흐름에서 각각 2ppm, 5ppm의 平均濁度를 보였으며, 비가 내리지 않을 때에는 물은 탁하지 아니했다. Hubbard Brook 試驗林의 흐름은 1ppm이었다. 平均年流出水量 610mm 에서 平均濁度 2ppm의 Fernow의 森林流域의 年流出土砂量은 1.5ton/km²/年, 또 940mm의 Coweeta의 5ppm은 1.9ton/km²/年, 660mm의 Hubbard Brook의 1ppm은 0.772

ton/km²/年에 相當한다. 그러나 이러한 溪流의 増水時의 濁度는 최고 80ppm(54~84ton/km²/年에 相當)에 達하였으나, 일반적으로 10ppm(7~10ton/km²/年에 相當)이하이었다. 만약 이러한 流域의 總流出水量의 약 1/4이 増水流出量에서 나온다면, 그 平均流出土砂量은 대개 3.9~5.8ton/km²/年이 되며, 3.9ton은 推定容積重을 1.20으로 본다면 土壤體積의 7.7m³에 相當한다.

더욱 土砂流出量이 많이 조사된 報告도 있다. Maryland州의 Ganpordafull 流域의 林地에서는 약 19.3ton/km²/年, Pennsylvania州 Swata Creek 流域의 石灰岩의 森林地帶에서는 11.6~13.5ton/km²/年, 石灰岩地帶에서는 19.3~23.2ton/km²/年, TVA의 貯水地의 森林面積率이 높은 流域에서는 115.8ton/km²/年으로 조사되었다. 이러한 많은 報告值(11.6~115.8ton/km²/年の 값)는 農地에 있어서 許容限度인 24.8~123.8ton/km²/年을 훨씬 밑도는 것이다.

森林面積率이 크면 流出土砂量은 감소된다. 예를 들면 Potomac江의 20~25% 森林面積率의 15支流域에서는 平均 年流出土砂量은 34.8~193.1ton/km²/年, 60~90%의 17支流域에서는 7.7~77.2ton/km²/年の 범위에 있었다.

또, 森林面積率이 5배로 증가되면 流出土砂量은 1/18로 감소되었다.

一般的으로 土砂流出은 小森林流域의 3.9~5.8ton/km²/年으로부터 大流域의 11.6~34.8ton/km²/年の 범위에 있다.

土地利用 形態가 土壤浸蝕 및 土砂流出에 미치는 영향은 河川의 濁度로서도 표시할 수 있다. Wisconsin州의 試驗에서 土地利用 形態別로 表 8에서와 같은 濁度가 測定되었다.

表 8. 土地利用 形態別 浮遊土砂

土 地 利 用	浮遊土砂(ppm)
全面耕作	238000
重度放牧草地	82000
輕度放牧草地	13000
重度放牧林地	55900
Alfalfa草地	19800
伐採搬出林地	3600
오래된 放棄農地	300
荒廢되지 않은 林地	100

3. 放牧林地와 放牧草地流域에서의 土砂流出

林內放牧에 의한 土壤浸蝕은 서서히 시작되고, 또

그 량도 크지 않다고 報告되고 있다. Wisconsin 州의 放牧闊葉樹林流域에서는 0.346ton/ha/年の 比率로 土砂가 流出되었다. 물론 비교된 無放牧林流域에서는 土砂流出은 거의 없었다. 同州의 다른 한 試驗에서는 放牧, 無放牧小林地流域의 濁度는 각각 最大 55,900ppm과 100ppm 이었다.

그러나 過放牧에 의해서 地被植生이 황폐되면 土壤浸蝕이 發生된다는 것은 경험적으로 알고 있는 사실이다. 적절한 관리하에서는 浸蝕 기타의 피해가 적으므로, 美國 東部の 南部地方에서는 林木生産과 畜産과를 兩立하는 곳도 있다.

放牧草地에서는 洪水流出量은 크지만 이것에 比例해서 土砂流出量이 증가되지는 않는다. 예를 들면 Coweeta 水文研究所의 試驗에서 重度放牧에서 洪水流出은 20% 이하가 증가되었다. Wisconsin州에서는 放牧草地流域의 流出率은 4.7%이었고 土砂流出은 없었으나, 放牧林地에서는 1.2%의 流出率이 있었고, 역으로 0.35ton/ha/年の 土砂流出이 있었다.

그러나 mississippi 州 北部의 試驗에서는 小放牧草地流域의 土砂流出은 平均 4.0ton/ha/年으로 森林流域의 0.050ton/ha/年 보다도 훨씬 많았다. 그러나 農地流域의 54.5ton/ha/年 보다도 훨씬 적었다.

V. 森林 및 放牧의 影響에 관한 試驗資料의 綜合的 結論

1. 水資源生産 및 洪水防止에 대한 影響

(1) 森林은 降雨遮斷, 浸透, 土壤水分保留機會에 의해서 降水의 地表流出을 減少한다. 즉, 森林地의 降水浸透能 및 土壤水分保留機會은 대부분의 경우에 放牧地에서 보다도 크고 또 降水強度보다도 큰 것이다.

(2) 森林地는 다른 어떤 土地利用 形態보다도 水資源貯留涵養能力이 커서 年中 많고 풍부한 用水를 生産하고, 또 洪水peak 流出 低減作用으로 洪水災害를 防止하는 效用이 큰 것이다.

(3) 森林流域에서는 그 流路에 공급하는 洪水流出의 主要 源은 地表下流(中間流)인 것이다. 얇은 地表下流는 透水性이 큰 林床과 表土層을 통해서 傾斜下部로 속하게 移動된다.

(4) 森林은 土地浸蝕과 土砂流出을 防止함으로써 河川流路의 通水容量을 維持하는 作用을 하며, 이로써 洪水氾濫을 最少限으로 減少하여 増水容量을 流過시킨다.

(5) 森林地被의 取扱方法에 따라서 融雪強度가 변화됨으로 融雪流出 peak를 增加 또는 減少시킨다. 그리

고 土壤의 凍結은 地表流出에 많은 影響을 미친다.

2. 土砂流出 및 山林荒廢에 대한 影響

(1) 一般的으로 森林地는 다른 어떤 土地利用 形態보다도 土壤浸蝕 및 土砂流出 防止에 대한 效果가 큰 것이다. 森林地에서의 浸蝕은 林木의 伐木除去 그 自體로 發生되는 것이 아니라, 보통 伐採에 수반되는 地表의 攪亂에 의한 荒廢化過程을 통해서 發生된다.

(2) 林地放牧에서도 土壤의 浸蝕이 일어나지만 그 開始는 다소 느린 편이다. 그러나 過度한 放牧은 林地荒廢에 미치는 影響이 대단히 큰 것이다.

(3) 다른 條件이 동일하면, 流域內의 傾斜農耕地(田)의 比率이 클수록 流域에서의 土砂流出量은 많아진다.

3. 要 約

이상과 같은 各種 試驗調查 結果를 綜合해 볼 때에 森林地流域은 放牧草地流域에서보다도 특히 地表下流出 및 土壤水分保留機會의 增大作用으로 水資源貯留涵養 및 用水生産, 洪水防止 및 旱魃克服對策 등과 같은 國家의 效果의인 水資源管理에 대단히 有效한 影響을 미치지만 土砂流出에 미치는 影響에는 결정적인 차이가 나타나지 않는다고 要約할 수 있다.

參 考 文 獻

1. Arend, J. L. 1941. Infiltration rates of forest soils in the Missouri Ozarks as affected by woods burning and litter removal. J. For. 39: 726-728.
2. Aubertin, G. M., and J. H. Patric. 1974. Water Quality after clearcutting a small watershed in West Virginia. J. Environ. Qual. 3:243-249.
3. Bailey, R. W. 1948. Reducing runoff and siltation through forest and range management. J. Soil and Water Conserv. 3:24-31.
4. Benson, M. A. 1963. Flood peaks related to hydrologic factors in the South west. U. S. Dep. Inter. Geol. Surv. Res. 1962: E161-E163. Prof. Pap. 450-E. Article 229.
5. Berndt, H. W. 1961. Some influences of timber cutting on snow accumulation in the Colorado Front Range. U. S. D. A. For. Serv. RMExp. Res. Note 58, 3pp.
6. Califford, B. 1973. Forest Hydrology. U. S. D.

- A. For. Serv. Northern Region. 171pp.
7. Colman, E. A. 1953. Vegetation and Watershed Management. Ronald Press Co., New York. 412pp.
 8. F. A. O. 1962. Forest Influences. F. A. O. Forestry studies No. 15. 307pp.
 9. Hewlett, J. D. 1972. An analysis of forest water problems in Georgia. Ga. For. Res. Counc. Bull. 3:4-20.
 10. Hibbert, A. R. 1967. Forest Treatment effects on water yield. In Forest hydrology. Sopper, William E., and Howard W. Lull, eds. per.
 11. Hoover, M. D. 1971. Snow interception and redistribution in the forest. In proc. Int. Seminar for Hydrology professor (Purdue Univ., W. Lafayette, Indiana), 3:114-122.
 12. Hornbeck, J. 1967. Clear cutting and the erosion hazard. North. Logger Timber Process. 10:14-15, 38-39, 48.
 13. Hornbeck, J. W. 1973. Storm flow from hardwood-forested and cleared watersheds in New Hampshire. Water Resour. Res. 9:346-354.
 14. Johnston, A. 1962. Effects of grazing intensity and cover on the water-intake rate of fescue grassland. Jour. Range Mangt. 15(12):79-82.
 15. Kittredge, J. 1948. Forest Influences. Dover pub. Inc., New York. 394pp.
 16. Lull, H. W. and H. W., Anderson. 1968. Important watershed characteristics affecting water yield, flood peaks, and erosion and sedimentation and the basic data needed for prediction. Int. Conf-on Water for peace 4:572-581.
 17. Lull, H. W., and K. G. Reinhart. 1967. Increasing water yield in the Northeast by management of forested watersheds. U. S. D. A. Forest Serv. Res. Pap. NE-66. 45pp.
 18. Lull, H. W., and K. G. Reinhart. 1972. Forests and floods in the eastern united states. U. S. D. A. Forest Serv. Res. Pap. NE-226. 94pp.
 19. Molchanov, A. A. 1966. The hydrological role of Forests. The Israel Program for Scientific Translations. 407pp.
 20. Patric, J. H., and K. G. Reinhart. 1971. Hydrologic effects of deforesting two mountain watersheds in West Virginia. Water Resour. Res. 7:1182-1188.
 21. Reinhart, K. G., A. R. Eschner, and G. R. Trimble, Jr. 1963. Effect on stream flow of four forest practices in the mountains of West Virginia. U. S. D. A. Forest Serv. Res. Pap. NE-179pp.
 22. Sampson, A. W. 1952. Range Management. McGraw Hill. Co.
 23. Stoddart, L. A., and Smith, A. D. 1955. Range Management. McGraw Hill. Co.
 24. Stoeckeler, J. H. 1959. Trampling by livestock drastically reduces infiltration rate of soil in oak and pine woods in southwestern Wisconsin. U. S. D. A. Forest Serv., Lakes States, Forest Exp. Stn., Tech. Note 556, 2pp.
 25. U. S. D. A. 1954. A manual on conservation of Soil and Water. Soil conservation service Agr. Handbook No. 61. 206pp.
 26. U. S. D. A. Forest Serv. 1957. A guide to the Coweeta Hydrologic Laboratory. U. S. D. A. Forest Serv. Southeast Forest Exp. Stn., 40pp.
 27. U. S. D. A. Forest Serv. 1964. Hubbard Brook Experimental Forest. U. S. D. A. Forest Serv., Northeast Forest Exp. Stn. 13pp.
 28. U. S. D. A. Forest Serv. 1975. Municipal Watershed Management. Symposium Proceedings. Forest Service. GTR. NE-13, 196pp.
 29. U. S. D. A. Forest Serv. 1976. Forest and Water. Forest Service. GTR. PSW-18/1976. 115pp.
 30. 井上揚一郎. 1966. 山地の放牧利用. 日本林業技術協會. 最新林業技術 9, 45pp.
 31. 井上揚一郎. 1970. 混牧林の經營. 地球出版. 234pp.
 32. 三井計夫. 1968. 草地の造成と管理. 養賢堂. 351pp.
 33. 村井宏. 1972. 混牧林施業と林地保全. 日本林業技術協會 林業研究解説 49, 50pp.
 34. 村井宏. 1972. 林内放牧が浸透および侵蝕に及ぼす影響. 水利科學研究所. 水利科學 87:61-87.
 35. 武藤博忠. 1973. 森林の近代的 公益的 效用. 森林科學調查會 55pp.
 36. 中野秀章. 1973. 森林の水土保全機能とその活用.

- 日本林業技術協會.
37. 中野秀章. 1972. 森林と水資源. 水利科學研究所. 水利科學 86:26-58.
38. 中野秀章. 1977. 森林と洪水. 日本治山治山協會. 46 pp.
39. 中野秀章. 1976. 森林水文學. 共立出版. 228pp.
40. 野口陽一. 1963. 森林の影響. 地球出版. 223pp.
41. 嶋田鏡外 3人. 1973. 草地の生態學. 築地會館. 287pp.
42. 金東岩. 1976. 草地造成과 管理技術. 文運堂. 225 pp.
43. 農村振興廳. 1968. 牧野造成技術. 農事改良材料 68-10. 179pp.