

大邱를 中心한 洛東江流域 盆地의 물 收支 研究

李 賢 英

— <目 次> —	
1. 序 論	3. 물 收支의 分布
2. 물 收支의 計算法과 分析	(1) 季節的 分布
(1) 물 收支의 算定方法	(2) 夏季의 空間的 分布
(2) 平均 물 收支와 累年 물 收支의 比較	4. 河川 流量과 流出量의 比較
(3) 물 不足과 물 剩餘의 頻度	5. 結 論

1. 序 論

급격한 都市人口의 增加 및 各種産業의 近代化로 인하여 오늘날 물 資源에 대한 問題는 乾燥氣候地域에서 뿐만 아니라, 濕潤氣候地域에서도 지대한 관심사가 되고 있다. 특히, 우리 나라와 같이 旱魃과 洪水가 빈번하게 발생하는 지역에 있어서는 물 資源에 대한 관심이 해마다 거의 주기적으로 高潮되고 있는 실정이다.

물 資源의 賦存狀態는 일차적으로 降水量에 의하여 결정된다. 그러나, 그것은 大氣狀態, 植生, 土壤 등의 諸要因과 밀접한 關係를 가지고 있기 때문에 特定地域의 물 資源 또는 氣候의 乾燥性 및 濕潤性은 降水量만으로는 精確하게 알 수 없다.

물 資源의 實際를 파악하기 위해서는 우선 그 地域에서 필요로 하는 물의 需要量보다 降水量이 많은지 또는 적은지 알 필요가 있다. 이러한 물 收支(water balance)에 관한 研究分野에서는 일정한 期間에 特定地域에서 일어나는 水分의 流入과 流出間의 關係를 주로 다루는데, 이 分野는 오늘날 氣候學에서도 중요한 하나의 研究 課題가 되고 있다.

本論文에서는 水文氣象學의 立場에서 洛東江流域의 물 收支에 대해서 考察해 보고자 한다.

水文氣象學의 물 收支 研究에서는 降水量 중 大氣로 되돌아가는 蒸發散位(evapotranspiration)에 充當할 수 있는 水分과 에너지, 즉 氣溫間에 일어나는 相互作用을 重點적으로 다루는데, 이 점이 氣候要素를 重點적으로 연구하는 전통적인 방법과 크게 다르다.

물 收支의 研究에서는 일반적으로 氣溫과 水分을 活性 氣候要素로 취급하고 있다. 이 接近方法에 의하면 물 不足 및 植生의 成長에 부족한 水分(moisture)의 量, 그리고 蒸發散位나 土壤 水分의 補充에 쓰여지고 남은 물 剩餘의 index를 算出할 수 있다. 물 剩餘는 地下水 補充 및 河川 流出에 이용될 수 있는 水分을 말한다.

本研究에서는 洛東江流域의 물 資源 實態를 Thornthwaite의 可能蒸發散(potential evapotranspiration)과 물 收支 model에 의거하여 파악하고자 하였다. 복잡한 물 循環(hydrologic cycle)을 비교적 단순화시킨 이 model은 비교적 좁은 지역의 環境要素를 分析하는 데 有利하다. 그러나 土壤型, 流域盆地의 氣候 및 地形의 特徵, 地下水面, 植生 등의 局地的인 영향을 세밀하게 검토할 수 없으므로 문제점을 지니고 있다. 그리고 Thornthwaite의 方法에서는 可能蒸發散量을 算出할 때 氣溫을 사용하는데, 日射量과 氣溫間의 時差 때문에 春季와 午前에는 蒸發散量이 실제보다 낮게 算出되고 秋季와 午後에는 반대로 높게 算定되는 경향이 있다. 예를 들면,

釜山의 경우 1月の 可能蒸發散量이 거의 0에 가까운데 실제로는 0°C 以上の 氣溫下에서는 항상 蒸發現象이 일어나고 있는 것이다. 그리고 Thornthwaite 方法에서는 濕度에 관계없이 같은 氣溫下에서는 같은 蒸發散量이 있는 것으로 가정하였는데, 실제로는 乾燥한 季節이나 乾燥地域에서는 蒸發散量이 濕潤한 季節이나 濕潤地域에서 보다 높아진다. 즉 습윤한 季節에는 相對濕度가 높아지므로 蒸發散量은 낮아지게 마련이다. 또 다른 문제점은 이 방법이 바람의 영향을 고려하지 않은 데 있다. 예를 들면, 샌프란시스코의 경우, advection이 현저한 冬季의 실제 蒸發散量은 算出된 蒸發散量보다 약간 높다. 그러나, 現時點에서 洛東江流域 盆地에서 標準이 될만한 氣象 및 氣候資料와 調査施

設의 未備로 말미암아 보다 엄밀한 Penman 式 水文氣象學的 model의 適用은 어려운 실정에 있다.

그리고 물 收支의 각 component를 特殊分野에 적용하려면 일반적으로 많이 쓰이고 있는 平均 물 收支를 求하는 것보다는 累進의 月別 물 收支를 구하는 것이 더 바람직하다고 생각된다.

本研究에서 試圖한 바 累進의 月別 물 收支를 구하여 이를 분석하고 Thornthwaite 方法에 따라 流出量을 算出한 후 그것을 實測値와 비교하여 이 方法을 韓國에 적용하는 것이 妥當한가를 檢證하는 일은 물 資源 開發事業을 가장 合理的으로 수행하기 위한 基礎資料를 提供할 수 있기 때문에 매우 중요하다고 생각된다.

研究對象地는 大邱를 중심한 洛東江流域 盆地이다(그림1). 어떤 地域의 氣候特色을 이해하

려면 長期間의 氣候資料가 필요하다. 대단히 乾燥한 地域이나 대단히 濕潤한 地域과 같이 季節 및 年變化가 심하지 않은 氣候地域은 10년 정도의 氣候資料로서도 그 地域을 대표할 수 있는 平均値를 얻을 수 있지만, 韓國과 같이 乾季와 雨季가 명확히 구별되고 또 季節 및 年度에 따라 그 변화가 다양하고, 심한 지역에서는 이러한 平均値를 얻는데 있어서 적어도 50년 이상의 氣象資料가 필요하다는 것은 알려진 바이다. 洛東江流域 盆地內에 위치한 大邱와 이에 인접한 釜山은 50년 이상의 연속적인 氣象資料가 빠짐없이 있고, 使用 目的에 충분하지는 못하지만 10년 이상의 氣象觀測値를 갖추고 있는 地點이 7個所가 있다. 그리고 洛東江流域 盆地는 氣象 및 水文條件이 비교적 均等하다고 假定할 수 있으므로 이 지역을 研究對象地로 선정하였다.

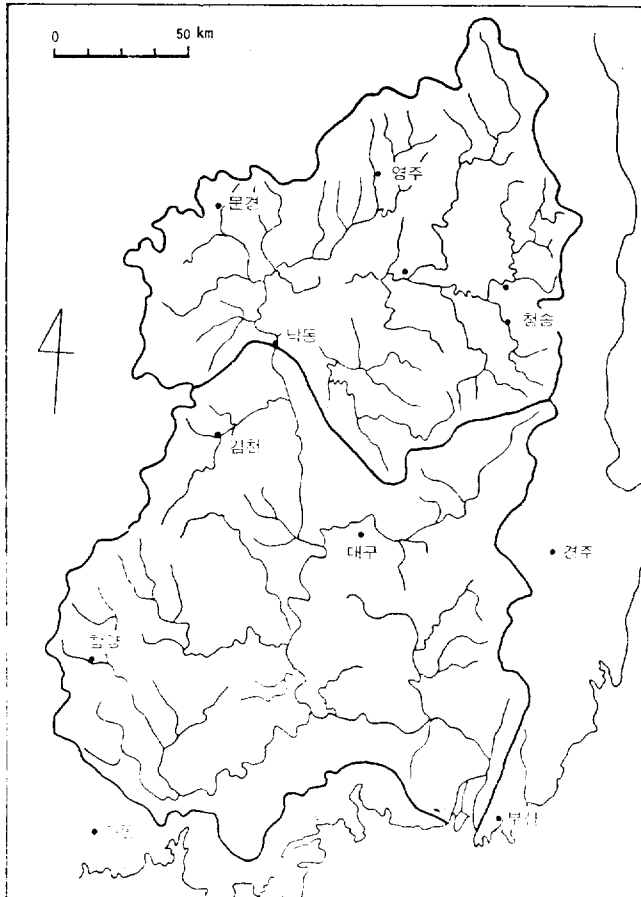


그림 1. 洛東江 流域盆地와 主要 氣象觀測所

2. 물 收支의 算定方法과 分析

(1) 물 收支의 算定方法

近來 많은 地理學者들과 環境科學者들이 Thornthwaite의 可能蒸發散量과 물 收支 model에 큰 관심을 보여주고 있다.

그것은 물 收支의 方法이 局地氣候에서 가장 중요한 要素가 되고 있는 에너지(可能蒸發散量)와 水分(降水量)간의 相互作用 關係를 잘 나타낼 수 있기 때문이다. 최근 Palmer는 地域的인 旱魃研究¹⁾, Marther는 食糧增產²⁾, 그리고 Muller는 都市化에 따른 流出量增加³⁾ 등의 諸問題를 연구하는데 위의 方法을 응용한 바 있다.

물 收支의 算出過程을 소개하는데 있어서 가장 효율적인 方法은 平均 물 收支를 展開하는 것인데, 大邱의 경우를 例로 들고자 한다. 大邱는 대체로 洛東江流域 盆地의 中央에 위치하고 있으며, 6·25 動亂의 피해도 적어서 間斷없이 비교적 長期間의 氣候資料를 얻을 수 있는 測候所의 所在地이다.

Thornthwaite와 Marther는 經驗的인 方法에 기초를 두고 물 收支 計算에 관한 表와 指針書⁴⁾를 출판하였다. 이 單行本에는 물 收支의 算定 方法이 기술되어 있다. 韓國에서도 그 計算方法은 이미 비교적 자세하게 소개되었으므로⁵⁾ 여기에서는 大邱의 平均 물 收支를 분석한 하고자 한다.

물 收支를 算定하는데 있어서 우선 問題가 되는 것은 金蓮玉이 지적한 바와 같이⁶⁾ 土壤水分 保有量을 어떻게 定하느냐는 것인데 그는 Thornthwaite가 大陸別 平均 물 收支(Asia편)에서 韓國의 물 收支를 계산하는데 택했던 것과 같은 300 mm를 土壤水分 保有量으로 定하였다. 이에 대해서 金光植은 水原 農業氣象觀測所의 實測結果를 토대로 하여 農作物의 뿌리群의 깊이를 30 cm로 보고 各地方의 圃場容量(field capacity)을 약 33%로 하여 土壤面이 飽和되었

을 때 약 100 mm에 해당되는 물이 保有될 수 있다고 하였다.⁷⁾

洛東江流域內的 土地利用을 살펴보면 農耕地面積은 全流域의 20.5%에 불과하고(1965년), 山地가 70.4%에 달하며 河川, 貯水池, 湖水 그리고 宅地, 墓地, 道路 및 그 밖의 施設物이 9.1%를 占有하고 있다. 그리고 農耕地 중에서 논이 面積은 地方에 따라 25.8%에서 92.8%에 이르고 있다. 여기에서 물 收支 分析의 例로 選定한 大邱地方을 흐르고 있는 琴湖江에 면한 地方은 논이 面積이 60.9%이며, 그 나머지는 대부분이 山地로서 森林으로 덮여 있다.⁸⁾ 그리고 大邱地方의 土壤은 대부분 沙質壤土 내지 植質壤土로 되어 있다. 이러한 諸條件을 고려하여, 本論文에서는 水分의 包藏收容量을 15%, 벼를 비롯한 農作物의 뿌리群의 깊이는 50~100cm, 果樹 및 樹木의 뿌리群의 깊이는 100~150 cm이므로 土壤水分 保有量(soil moisture storage)을 平均 150 mm로 정하여 물 收支를 계산하였다.

表 1은 大邱의 平均 물 收支를 보여준다. 이 表에서 月別 氣溫과 降水量이 일반적으로 사용되고 있는 統計表 등의 平均值와 약간 다르게 나타난다. 그것은 같은 期間의 累進 물 收支의 平均值와 비교하기 위하여 1924년부터 1973년까지 50년간의 月別 氣溫 및 降水量을 平均한 값이기 때문인데 그 差가 극히 적으므로 이로 인하여 물 收支 結果에 큰 차이는 없을 것으로 생각된다.⁹⁾

大邱는 平均 年降水量이 1000 mm 미만으로서 우리 나라에서 降水量이 비교적 적은 地方에 속하는데도 平均 물 收支法에 의하면 年中 물 不足

- 1) Palmer, W.C., 1965, *Meteorological Drought*, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C., Research Paper No. 45
- 2) Marther, J.R., 1968, "Irrigation agriculture in humid areas" *Assoc. of Pacific Coast Geographers Yearbook* Vol. 30, pp. 107-122.
- 3) Muller, R.A., 1969, "Water balance evaluation of effects of subdivisions on water yield in Middlesex County, New Jersey," *Pro. Assoc. Am. Geographers*, Vol.1, pp. 121-126.
- 4) Thornthwaite, C. W., and J.R. Marther, 1957, *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*, Publications in Climatology, Vol. X, No. 3, pp. 185-311.
- 5) 金蓮玉, 1970, "Thornthwaite 方法에 의한 韓國의 水分收支" 地理學, 第5號, 大韓地理學會, pp. 16-17.
- 6) 金蓮玉, 1970, 上揭論文. p.29.
- 7) 金光植 外, 1973, 韓國의 氣候, 一志社, p.291.
- 8) UNDP 洛東江流域 調查團, 1968, 洛東江 水資源 開發計劃, 第2卷, pp. 22~28.
- 9) 연강수량의 差는 9.3mm 이고 年평균 기온은 같았다.

表 1. 大邱의 平均 물 收支 (1924~1973)

<단위 mm>

	T°C	PE	P	P-PE	ST	△st	AE	D	S
1	-1.3	0	17.6	17.6	150.0	0	0	0	0
2	0.7	0	26.5	26.5	150.0	0	0	0	26.0
3	5.7	15.5	46.3	30.8	150.0	0	15.5	0	30.8
4	12.1	46.2	66.8	20.6	150.0	0	46.2	0	20.6
5	17.7	90.8	73.0	-17.8	132.2	-17.8	90.8	0	0
6	21.7	124.4	127.7	3.3	135.5	3.3	124.4	0	0
7	25.6	160.0	218.8	58.8	150.0	14.5	160.0	0	44.3
8	26.1	153.1	167.6	14.5	150.0	0	153.1	0	14.5
9	20.5	98.9	146.9	48.0	150.0	0	98.9	0	48.0
10	14.2	55.3	44.5	-10.8	139.2	-10.8	55.3	0	0
11	7.7	20.6	30.8	10.2	149.4	10.2	20.6	0	0
12	1.3	0	22.1	22.1	150.0	0.6	0	0	21.5
全 年	—	764.8	988.6	223.8	—	—	764.8	0	206.2

T (Temperature)

PE (Potential evapotranspiration)

P (Precipitation)

ST (Storage)

△st (Change of Storage)

AE (Actual evapotranspiration)

D (Deficit)

S (Surplus)

氣溫

可能蒸發散量

降水量

土壤水分保有量

土壤水分的變化量

實際蒸發散量

물 不足量

물 剩餘量

의 달이 전연 나타나지 않는다. 降水量이 可能蒸發散量에 미치지 못했던 5월과 10월에는 保有되었던 土壤水分 중에서 蒸發에 필요한 만큼 水分이 差出될 수 있었기 때문에 植物 成長에는 지장이 없었을 것이라고 생각된다.

土壤水, 地下水 및 河川의 流量을 充足시켜 주는데 사용되는 물 剩餘는 12월(冬季), 2~4월(春季), 7~9월(夏季)에 나타난다. 1월에는 평균 17.6 mm의 降水量이 있었음에도 불구하고 물 剩餘가 없는데 그 이유는 1월의 平均氣溫이 -1.3°C라는데 있다.

즉, 降水는 눈(雪)으로 내려서 地表에 쌓이게 되므로 그것은 土壤水分化 할 수가 없으며 月平均氣溫이 -1°C 이상이 되면서부터 漸次 流出되기 시작한다.

(2) 平均 물 收支와 累進 月別 물 收支의 平均 과의 比較

물 收支의 內容(components)을 전문적인 분야에 적용하려면 月平均氣溫과 月平均降水量에 의거한 方法보다는 매일 또는 매월 連續적으로

累進하여 물 收支를 구한 結果가 더욱 적절하다는 것은 잘 알려진 사실이다. 대단히 乾燥하거나 또는 대단히 濕潤한 地域에서는 두 方法에 의한 결과 간에 큰 差異가 없다.

그러나, 韓國과 같이 雨季가 분명하고, 또 年變化가 심한 곳에서는, 平均 물 收支法에 의하면 氣候의 週期的 變化를 고려할 수 없는데 대해서 累進하여 물 收支를 算出하면 可能蒸發散量, 降水量 및 土壤水分 保有量의 日變化 혹은 月變化를 보다 더 실제에 가깝게 계산할 수가 있고, 물 收支變化의 패턴을 이해할 수도 있을 것이다.

表 2는 連續적인 두 해의 물 收支를 例示한 것이다. 이 表는 또한 月別 및 年別 降水量의 차이가 심하다는 것과 이와 관련하여 月別 및 年別 물 不足 및 물 剩餘가 어떻게 변하고 있는가를 보여준다. 1939年度는 調查期間인 50年(1924~1973) 중에서 가장 건조했던 年度로서 年 물 不足量이 同期間의 平均値인 65.6 mm의 3배를 초과하고 있다. 1939年度의 물 剩餘量은 단지 39.4 mm로서 가장 적은 값을 보이고 있다. 그

表 2. 大邱의 물收支 (1939~1940)

1939	T	PE	P	P-PE	ST	△st	AE	D	S
1	-2.3	0	3.2	3.2	133.5	0	0	0	0
2	0.6	0	14.2	14.2	147.7	13.3	0	0	0
3	5.8	12.4	54.1	41.7	150.0	2.3	12.4	0	39.4
4	12.6	49.5	18.5	-31.0	122.0	-28.0	46.5	3.0	0
5	17.2	83.5	31.7	-51.8	86.0	-36.0	67.7	15.8	0
6	23.1	131.8	38.3	-93.5	45.0	-41.0	79.3	52.5	0
7	28.3	186.0	38.6	-147.4	17.0	-28.0	66.6	119.4	0
8	26.5	156.6	140.1	-16.5	15.0	-2.0	142.1	14.5	0
9	21.9	102.0	156.3	54.3	69.3	54.3	102.0	0	0
10	15.4	58.2	9.6	-48.6	51.0	-18.3	27.9	30.3	0
11	7.2	15.5	76.2	60.7	111.7	60.7	15.5	0	0
12	1.1	0	0.2	0.2	111.9	0.2	0	0	0
全 年	13.1	795.5	581.0	-214.5	-38.1	—	560.0	235.5	39.4
1940	T	PE	P	P-PE	ST	△st	AE	D	S
1	-3.2	0	8.1	8.1	111.9	0	0	0	0
2	0.2	0	30.3	30.3	142.2	30.3	0	0	0
3	5.8	15.5	8.3	-7.2	135.0	-7.2	15.5	0	0
4	11.5	42.9	83.6	40.7	150.0	15.0	42.9	0	25.7
5	18.1	94.4	18.5	-75.9	90.0	-60.0	78.5	15.9	0
6	21.8	124.4	176.2	51.8	141.8	51.8	124.4	0	0
7	26.0	163.7	234.8	71.1	150.0	8.2	163.7	0	62.9
8	24.6	139.2	105.9	-33.3	120.0	-30.0	135.9	3.3	0
9	19.3	86.5	151.3	64.8	150.0	30.0	86.5	0	34.8
10	14.7	58.2	72.9	14.7	150.0	0	58.2	0	14.7
11	7.9	20.6	14.7	-5.9	145.0	-5.0	19.7	0.9	0
12	2.2	2.5	12.2	9.7	150.0	5.0	2.5	0	4.7
全 年	12.4	747.9	916.8	168.9	—	—	727.8	20.1	142.8

T: 氣溫, PE: 可能蒸發散量, P: 降水量, ST: 土壤水分保有量, △st: 土壤水分變化量, AE: 蒸發散量, D: 물 不足量, S: 물 剩餘量

리고 剩餘現狀도 3 月에만 있었을 뿐이다. 극심한 물 不足의 해였던 1939 년도에는 심한 損害로 農作物이 큰 피해를 입었을 것이다. 그 다음 해인 1940 年度の 물 不足량은 20.1mm 인데, 이것은 50 年間의 平均値의 1/3 에도 미치지 못하는 값이다. 즉 이 해에는 降水量 916.8mm 중에서 727.8mm 가 蒸發散位로서 大氣로 되돌아가고 38.1mm 는 土壤水分 再補充에 쓰여졌음을 볼 수 있다. 따라서 1940 年度에는 前年에 비하여 어느 정도 물 不足 現狀을 회복하였으나, 역시 年間 20.1mm 의 물 不足이 있었다. 이 값이 50 年間의 平均値와 비교할 때 물 不足이 심하다고 할 수는 없으나, 播種期인 5 月에 15.9mm 나

부족하므로 역시 灌溉를 필요로 한다.

1924 년도부터 1973 년도까지 50 년간의 물 收支를 平均 收支法에 의해 算出하여 圖解한 것이 그림 2 이고, 年度別 물 收支를 累進하여 月別 물 收支를 구하여 算術平均한 것이 그림 3 이다. 그림 2 에는 물 不足의 달이 한 번도 없는데 대하여 그림 3 에는 5 월에 4.2mm, 6 월에 10.4mm 7 월에는 13.9mm, 8 월에는 15.5mm, 9 월에는 4.4mm, 10 월에는 6.0mm 등 6 個月에 물 不足이 나타나서 年平均 물 不足량은 65.6mm 에 달하고 있다.

물 剩餘에 있어서도 前者의 方法에 의하면 1 월, 5 월, 6 월, 10 월, 11 월 등 5 個月間이나

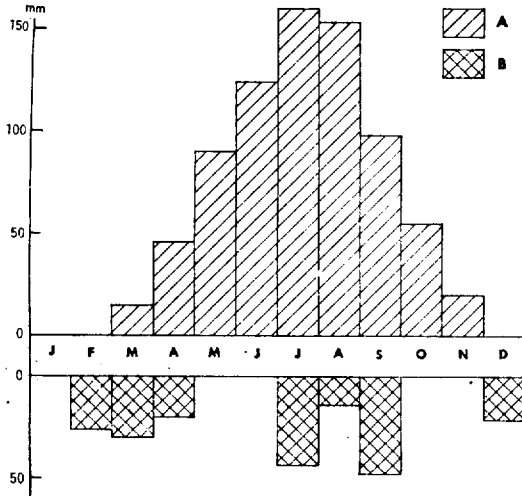


그림 2. 1924~1973년간의 平均 물 收支. A는 蒸發散量 B는 물 剩餘이다.

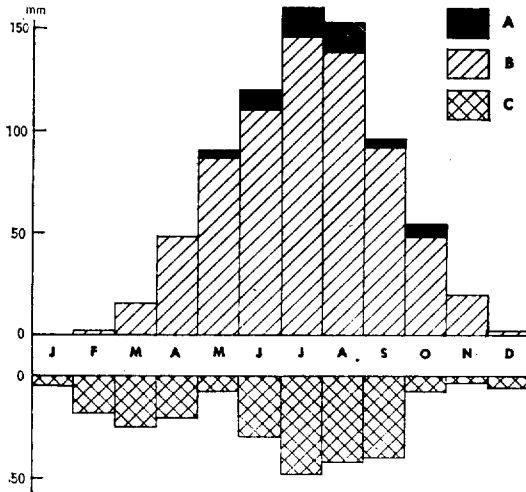


그림 3. 1924~1973년간의 累進 물 收支의 平均. A는 물 不足, B는 蒸發散量, C는 물 剩餘이다.

물 剩餘가 전연 나타나지 않는다. 그러나, 後者의 方法에 따르면 물 剩餘가 없는 달이 없을 뿐 더러 6월에는 그 양이 67.8 mm 나 된다. 그리고 年平均 물 剩餘量은 22.8 mm 이다. 그러므로, 水資源管理와 관련자를 때 前者의 方法에 의해서 算出한 平均 물 收支는 거의 의미를 잃게 된다.

10) 金光植外, 1973, 前掲書, pp.266~267.

11) 金光植外, 1973, 前掲書, p.290.

(3) 물 不足과 물 剩餘의 頻度

氣象의 異變으로 인하여 과거부터 人類는 수 없이 많은 피해를 입어왔다. 世界的으로 볼 때 韓國은 自然災害의 頻도가 큰 편은 아니지만 國民所得에 비하면 災害로 인한 부담이 큰 나라에 속하고 있다.¹⁰⁾ 韓國의 自然災害 중에서 비중을 많이 차지하는 것이 氣象災害라는 사실은 널리 알려진 바이다. 그리고 諸般 文化施設의 확충과 人口增加로 인하여 氣象災害의 被害額은 날로 증대되고 있다. 그리하여 이에 대한 對策을 수립하기 위하여서도 氣象災害의 內容을 검토해 보는 것은 매우 중요하다고 생각된다.

氣象災害에는 여러 가지가 있으나 물 收支로 알 수 있는 것은 물 不足과 물 剩餘이다. 물 不足의 상태가 심하여지면 旱害가 발생하는데, 旱魃은 物理的인 입장에서 뿐만 아니라, 生物學的인 입장에서도 중요시되어야 한다. 왜냐하면 旱魃이란 植物, 土壤, 大氣狀態間의 복잡한 관계를 반영하는 것이므로 같은 氣象條件下에서도 植物의 種類 및 土壤環境에 따라 被害程度가 달리 나타나기 때문이다. 旱魃은 分野에 따라 다르게 定義되고 있는데 이를 要約하면 다음과 같다.

① 주어진 期間의 降水量이나 無降水 繼續日數 등으로 定義하는 氣象學的 降水旱魃(A. Cole).

② 氣溫 바람 및 濕度 등에 의한 大氣旱魃(W. Knochenhauer).

③ 月別 또는 年別 平均値와 當該年度의 月別 또는 年別 降水量과 百分率로써 定義하는 氣候學的 旱魃(A.J. Henry).

④ 農作物의 生育에 직접 관계되는 土壤水分에 의한 農業旱魃(C.W. Thornthwaite)

⑤ 河川, 貯水池, 地下水 등의 水位에 증점을 두고 生活用水나 工業用水 등의 不足에 의해서 定義하는 水文旱魃(Sabrahmanyam)¹¹⁾

그러므로, 旱魃을 단순히 降水量의 統計의 數值만으로 취급하는 것보다 물 不足의 基礎概念에 의하는 것이 합리적이라고 할 수 있다.

表 3. 月別 물 不足과 물 剩餘의 累加 百分比 度數分佈

<단위 : %>

	mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
물 不 足	≥30	—	—	—	—	—	12	24	20	—	2	—	—
	≥20	—	—	—	—	—	18	—	28	8	8	—	—
	≥10	—	—	—	—	18	36	26	36	18	22	2	—
	≥5	—	—	—	4	26	48	32	44	26	46	8	—
	≥0.1	—	—	10	26	68	62	40	54	32	70	22	4
	=0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
물 剩 餘	≥200	—	—	—	—	—	6	10	—	2	—	—	—
	≥150	—	—	—	—	—	8	16	8	6	2	—	—
	≥100	—	—	2	4	—	12	22	20	18	—	—	—
	≥50	2	10	14	16	4	18	40	30	34	4	—	2
	≥0.1	26	64	80	60	26	32	52	40	42	12	18	32
	=0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

洪水 역시 旱魃과 같이 물 收支에 큰 영향을 미치고 있다. 洪水로 인한 經濟的인 피해 또한 旱魃과 견줄만하다.

그런데 洪水의 定義는 가뭄보다도 더 모호하다. 洪水는 자연적인 상태에서는 河川이 氾濫하여 피해를 입히는 상태로서 河川이 自然堤防을 흘러 넘칠 때 발생한다. 그러나, 오늘날에는 댐이나 人工堤防을 쌓아 洪水를 방지하고 있어서 그것이 발생할 수 있는 조건은 地域開發의 進前과도 밀접한 관련을 가지게 되었다. 그렇기 때문에 洪水는 河川이 増水하여 피해를 입힐 가능성이 있는 水位에 도달할 때 발생하게 된다.

表 3은 累進하여 물 收支를 算出한 月別 물 不足과 물 剩餘의 發生頻度를 보여준다. 이 表에 따르면 50년 동안에 1월과 2월에는 단 한번도 물 不足이 없었고 물 不足의 發生率이 50% 이상으로 나타난 달은 10월(70%), 5월(68%), 그리고 6월(62%)이다. 月不足量이 10mm보다 많은 대표적인 달은 6월과 8월인데 이 두달 동안에는 각각 19회씩 물 不足 현상이 발생하여 36%를 차지한다. 不足量이 30mm보다 많은 달은 6월(12%), 7월(24%), 8월(20%)로서 물 不足이 심한 때가 夏季임을 알 수 있다.

한편 물 剩餘의 發生率이 높은 달은 3월(80%), 4월(60%), 2월(64%) 그리고 7월을 들 수 있으나 2월부터 4월까지는 月剩餘量이 대체로 10mm 이하이다. 氾濫 혹은 洪水를 수반할

가능성이 큰 月剩餘量 150mm를 초과하는 달은 6~9월로서 주로 夏季인데 이 時期는 前述한바와 같이 물 不足이 심한 계절이기도 하다. 夏季에 물 剩餘가 많은 것은 局地性 소나기型的 降雨과 불규칙적으로 來襲하는 颶風의 時期가 겹치기 때문이다.

즉, 이 지방의 夏季는 해마다 혹은 달마다 그 變化가 다양하고 심하여(그림 4 참조), 水資源開發 및 利用을 위한 계획을 수립하는 데 있어서 經濟 및 技術的인 측면에서 많은 問題點을 안겨 준다.

특히 물 不足과 물 剩餘가 크게 나타나는 6~8월에 있어서 물 收支의 내용은 表 4와 表 5에 요약되어 있다.

表 4. 夏季의 물 不足의 頻도와 不足量 (1924~1973)

月	發生頻度 (회수)	平均不足量 (mm)	月最多不足量 (mm)	不足量中間值 (mm)
6	18	25	52.5(1939)	22
7	13	51	119.4(1939)	47
8	18	41	87.0(1928)	43

表 5. 夏季의 물 剩餘의 頻도와 剩餘量 (1924~1973)

月	發生頻度 (회수)	月平均剩餘量 (mm)	月最多剩餘量 (mm)	剩餘量中間值 (mm)
6	6	169	268.0(1946)	182
7	11	233	434.9(1948)	166
8	10	170	199.5(1933)	145

3. 물 收支의 分布

(1) 물 不足과 물 剩餘의 季節的 分布

그림 4는 大邱의 물 收支를 季節別로 나타낸 것이다. 계절의 分類에서는 春季에 3~5월, 夏季에 6~8월, 秋季에 9~11월 그리고 冬季에 12~2월을 각각 포함시켰다. 각 季節을 代表하는 數値는 각각 3個月間의 不足量 혹은 剩餘量을 合算한 것이다. 그리하여 어떤 해에는 같은 季節에 물 剩餘와 물 不足狀態가 同時에 나타난다.

그림 4에 의하면, 冬季에는 물 不足을 表示하기 어려울 정도로 적다(平均 물 不足量이 0.09 mm인데, 이것도 50년간에 단 2회의 부족량을 算術平均한 것).

그리고 冬季에는 물 剩餘 역시 적은편이다(平均 29 mm).

冬季는 植物의 成育期가 아니므로 농작물의 피해는 크게 입지 않지만, 水力發電이나 工業用水 등지속적으로 물을 사용하는 產業에는 충분하다고 할 수 없을 것이다.

春季의 평균 부족량은 4.8 mm 이고 平均 剩餘量은 54.7 mm이다. 이 時期는 播種期이기 때문에 旱魃이 발생한다.

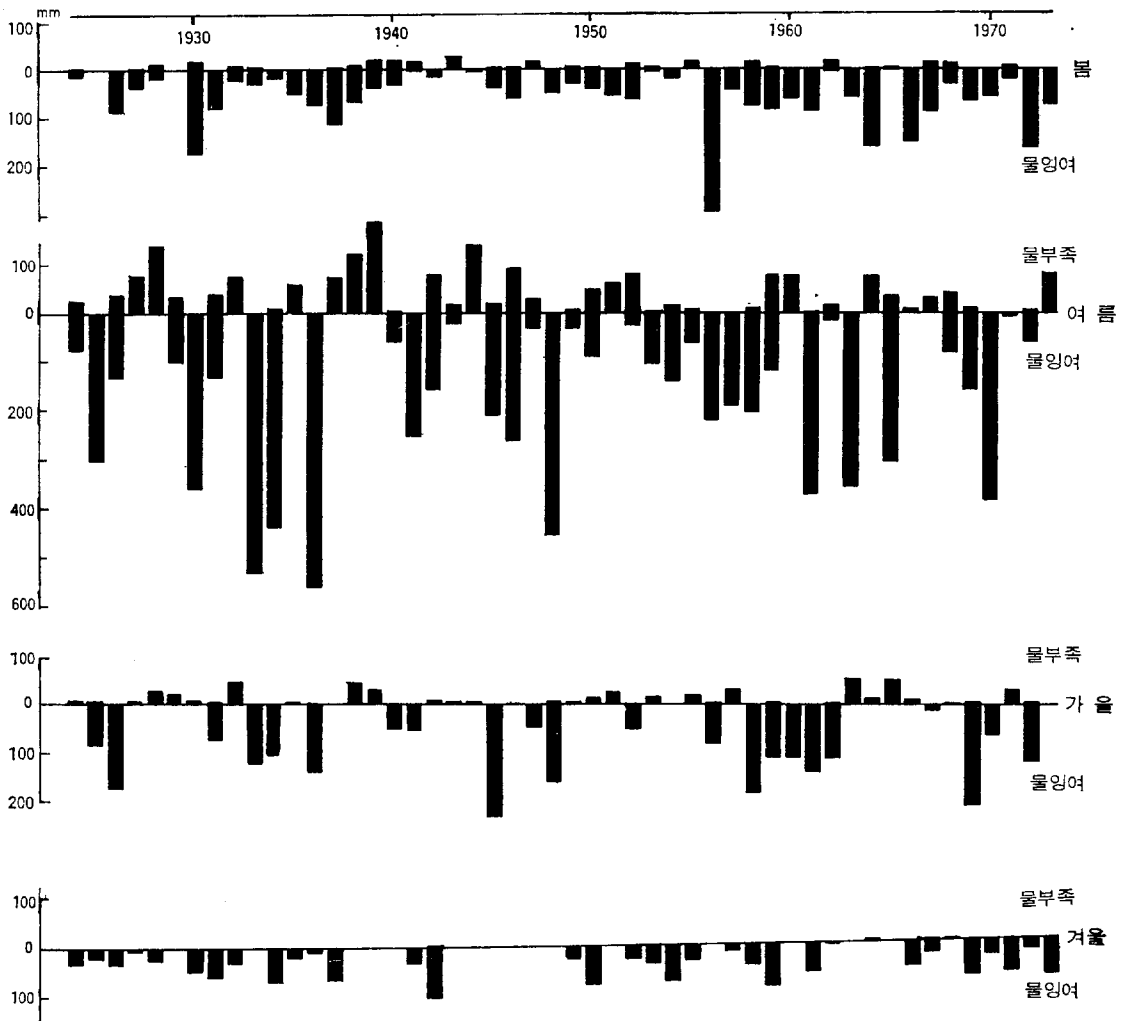


그림 4. 大邱의 물 不足과 물 剩餘의 季節的 分布(1924~1973)

夏季는 물 剩餘의 季節이다. 그러나, 同時에 물 不足도 顯저하게 나타난다.

더우기 問題가 되는 것은 해에 따라 變動이 크다는 것이다. 그리고 夏季의 集中豪雨로 인한 過多한 물 剩餘量은 土壤의 包容量(capacity) 이상으로는 보유되지 못하고 대부분 流出되기 때문에 특수한 貯水施設이 없는 한 다음에 發生할 수 있는 물 不足을 應當하는 데 이용되지 못한다.

秋季에도 물의 不足과 剩餘가 交代로 나타나고 있다. 秋季의 平均 물 剩餘는 49.8 mm 이고, 물 不足量과 그 頻度는 오히려 春季보다 큰 편이다. 그러나, 收穫의 季節이므로 營農에 큰 피해를 주는 것 같지는 않다. 그러나, 冬季와 마찬가지로 大都市의 食水, 工業用水, 發電用水 등의 諸問題를 해결하기에는 어려운 점을 내포하고 있다.

(2) 夏季의 물 不足과 물 剩餘의 空間的 分布

한 地域內의 水資源開發에 관한 계획을 수립하려면 그 地域의 물 收支가 空間的으로 어떻게 分布하는지 精確히 이해해야 한다. 그럼에도 불구하고 아직까지 累進的 方法에 의한 물 收支의 空間的 分布(spatial organization)에 관한 研究가 거의 이루어지지 못한 實情에 있다. 많은 學者들이 이에 대한 研究의 急需함을 示인하는데도 極히 不進한 原因은 Muller가 지적한 바와 같이 作業過程이 단순하면서도 많은 時間과 노력을 필요로 하기 때문이다.¹²⁾

洛東江流域內에서 물 不足과 물 剩餘가 모두 심한 夏季 물 收支의 空間的 패턴에 대하여 살펴보고자 그림 5를 작성했다.

이 그림은 9개 지점의 基礎資料를 이용한 것이다.

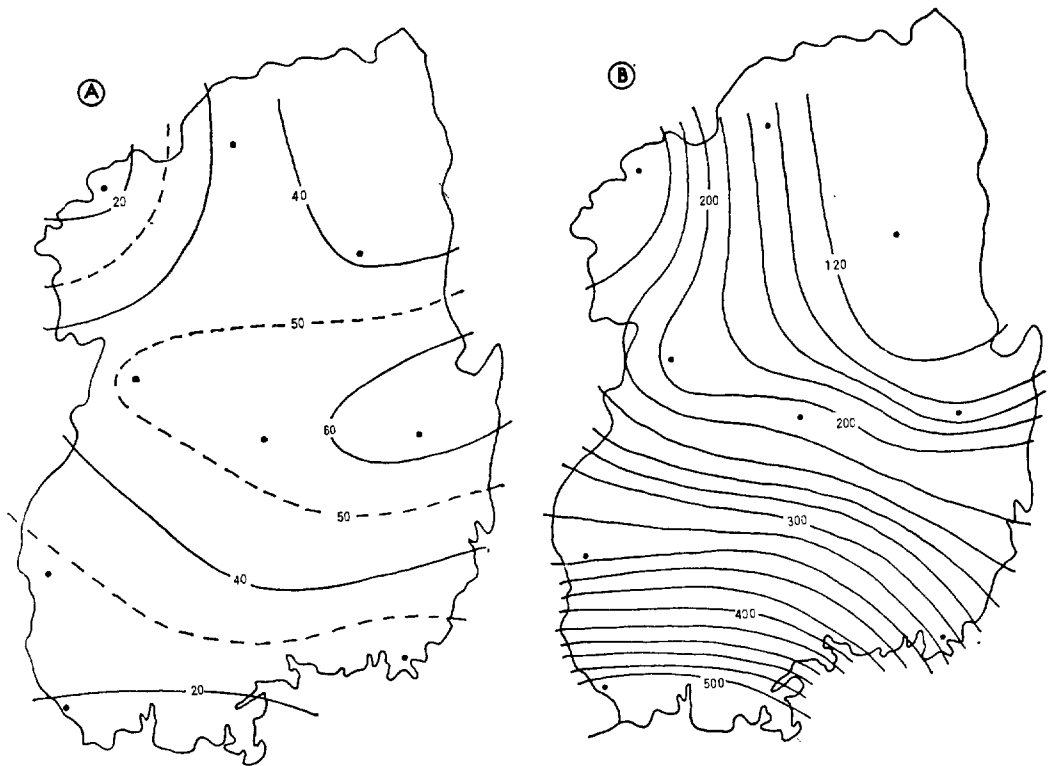


그림 5. 夏季의 물 不足(A)와 물 剩餘(B)의 空間的 分布. 단위는 mm이다.

12) Muller, R., 1970, *Water Balance in Louisiana Estuaries*, Coastal Studies Inst. & Dept. of Marine Science, Louisiana State Univ., pp.43-44.

각 지점에서 累年 물 收支方法으로 12년간 (1931~1942)의 물 不足과 물 剩餘의 月平均値를 산출하여 이들이 모두 가장 많은 6~8월의 것을 각각 合算한 것이다. 보다 많은 地點의 氣象資料를 필요로 하지만 그렇게 하지 못한 것은 長期間에 걸쳐 漏落없이 氣象觀測이 행하여진 지점이 제한되어 있기 때문이다. 그리고 한 地域內에서 물 收支의 趨勢를 파악하기 위한 대표 값을 구하려면 50년 이상에 걸친 氣象資料가 필요한데 本研究地域에 있어서는 그런 자료도 단지 大邱와 洛東江流域 盆地에 인접한 釜山에만 있으며, 같은 時期에 10년 이상의 資料를 갖춘 곳은 聞慶, 金泉, 咸陽, 靑松과 이에 인접한 河東, 慶州 등 7개 지점뿐이다.

10월 平均値로서 그 地域의 물 收支를 이해하려면 信賴度가 낮아지는 難點이 있으나 現實情下에서는 다른 方法이 없다. 이제 流域盆地內에서 물 不足이 심한 편에 속하는 大邱와 물 剩餘가 큰 釜山을 標本으로 하여 50년간의 累年 물 收支와 12년간의 그것을 비교하면, 表 6과 같다. 물 不足의 경우에는 그 偏差가 大邱에서는 5.1 mm, 釜山이 9.3 mm로서 큰 편이 아니고, 물 剩餘의 경우도 大邱가 -10.4 mm, 釜山이 -48.0 mm로서 釜山에서 그 偏差가 큰 편이지만 釜山地方에서는 等值線의 간격이 대단히 밀접해 있는 것으로 보아(그림 5의 B참조), 패턴에 큰 변화는 없을 것으로 생각된다.

表 6. 期間에 따른 年 물 收支內容의 比較

(단위 : mm)

	大邱		間山	
	물不足	물剩餘	물不足	물剩餘
50年間累年물收支의 平均	65.6	273.5	28.6	963.0
12年間累年물收支의 平均	60.5	283.9	37.9	64.50
偏 差	5.1	-10.4	9.3	-48.0

그림 5의 A는 물 不足의 發生率이 가장 높고 不足量 또한 많아서 旱害가 가장 심하게 나타나는 夏季(6~8월)의 地域別 平均 물 不足量의 분포를 보여준다. 이 그림에 따르면 洛東江의 中流地方, 즉 琴湖江을 중심으로 東西로 퍼진 地方이 50 mm 이상의 물 不足量을 기록하며

兎山江 流域인 慶州 일대는 60 mm를 넘고 있다. 大邱에서부터 南西쪽으로 가면서 점차 不足量이 감소되어 慶尙南道의 海岸地方에는 洛東江 中流地方의 半에 미치지 못하는 20 mm 선이 지나고 있다. 그리고 洛東江 上流地方에서도 榮州—安東을 縱軸으로 하여 이 地方에서부터 멀어질수록 점차 감소하는 경향이 있다.

그림 5의 B는 年中 물 剩餘가 가장 많이 나타나는 夏季의 물 剩餘의 空間分布를 보여준다. 물 剩餘가 가장 많이 나타나는 곳은 不足量이 가장 적었던 三千浦 附近의 海岸地方으로서 500 mm 이상을 보여주고 있다. 이곳에서부터 東北쪽으로 가면서 물 剩餘量이 점차 적어져서 洛東江 上流地方에서는 120 mm 정도이다.

南海岸地方의 많은 물 剩餘量은 장마전선 및 熱帶性 低氣壓에 기인하는 것으로 생각된다. 그리고 물 剩餘의 分布는 年間 洪水 發生頻度와 그 패턴이 밀접하게 一致하는 경향이 있다¹³⁾.

4. 河川流量과 流出量의 比較

그림 6은 年度別로 測定된 河川流量과 計算하여 구한 流出量을 비교한 것이다. 比較地點을 洛東으로 택하고 비교 기간을 1931년부터 1940

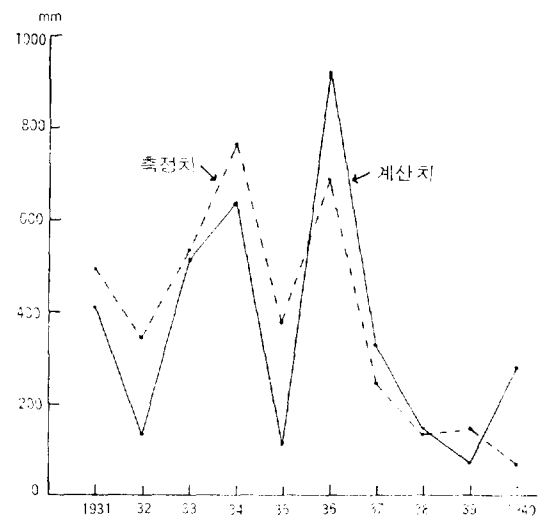


그림 6. 河川流出量과 計算에 의한 流出量의 年度別 比較

13) 金光植外, 1973, 前掲書, p. 287.

년까지로 한 것은 첫째 誤差를 적게 하기 위하여 河川의 上流를 선정하는 것이 이상적이고, 둘째 洛東에서는 長期間의 水位資料와 流量曲線을 얻을 수 있었기 때문이다.

洛東보다 上流의 流域盆地에서 流出되는 실제 流量을 알기 위해서 우선 洛東에서 측정된 洛東江의 日別 水位로부터 月平均 水位를 구하고, 이 지점의 流量曲線(rating curb)을 이용하여 각 水位에 해당하는 月平均 流量(discharge)을 구하였다. 그리고 地圖上에서 洛東地點의 集水面積을 planimeter로 구하여 실제 면적으로 환산한 다음에 流量을 集水面積으로 나누어 月別 流出量(runoff)을 구하였다.

한편 물 收支式에 의하면 $流出量 = 降水量 - 증발산량 - 토양수분 변화량$ 이다. 따라서 土壤水分의 변화를 고려한 Thornthwaite의 model에 따르면, 每月의 流出量은 물 剩餘量의 50%이고 그 나머지는 토양에 貯水되었다가 다음 달의 물 剩餘量에 積算되어 50%씩 유출된다. 그리고 融雪에 의한 流出은, 洛東地點의 流域盆地는 해발 고도가 1600 m이하이므로 月平均 氣溫 -1°C 이상이 되는 첫째 달에 積雪量의 10%가 그 달의 물 剩餘量에 加算되어 流出되고 나머지는 그 다음 달에 50%씩 流出된다. 流出量의 計算值를 얻기 위해서 洛東地點의 流域盆地內에 위치하는 靑松, 聞慶, 榮州 등 3개 지점의 氣象資料를 이용하였다.

1931년부터 1940년까지 10년간의 年流出量을 測定된 年流出量과 비교하여 보면 測定된 年流出量이 계산된 것보다 평균 21.4 mm가 많다. Muller는 筆者와 같은 方法으로 미시시피강 三角洲地帶에 위치한 작은 河川인 Comite River와 Bogue Chitto의 流出量을 계산한 바 있는데¹⁴⁾, 위의 差異(21.4 mm)는 Muller의 약 50 mm 보다는 훨씬 작다. 이러한 差異는 植物被覆, 土壤의 종류, 地下水面 등이 지방에 따라 다르기 때문에 나타나는데, Thornthwaite의 model은 局地的인 변화를 고려할 수 없는데 기인하기도 하겠으나 특히 洛東 地點에서의 差異는 資料의 부족(測候所數)에 연유하는 것으로

생각된다.

榎根勇 등은 日本의 河川의 年流出量을 알기 위하여 實驗流域을 設定하여 고찰한 바 Thornthwaite의 方法에 따르면 年 50~100 mm 정도의 差가 있다고 지적했다. 그리고 高度가 높은(3,000 m 이상) 지방에 비하여 낮은(1,000 m 이하) 지역에서는 그 차가 적게 나타나며 Thornthwaite 方法이 특히 平地에서는 신빙도가 높다고 하였다.¹⁵⁾ 이러한 점을 고려할 때 洛東江流域에서도 Thornthwaite 方法은 妥當度가 높다고 보겠다. 그리고 작은 流域盆地에서는 한 지점의 氣象值로 구한 流出量이 그 流域內의 실제 流出量을 대표할 수도 있다고 할 수 있다.

그림 6에서는 비록 數個年(1932, 35, 36년)은 비교적 큰 차를 보이고 있으나 측정된 流出量과 계산된 流出量이 대체로 일치하고 있다. 즉 1935년에는 計算值가 測定值보다 260 mm 정도 작은데 반하여, 1936년에는 230 mm 정도 많이 나타나고 있다. 그리고 일반적으로 流出量이 平均值(측정치는 375 mm, 계산치는 354 mm)에서 멀어질수록 誤差가 커지는 것을 볼 수 있다.

5. 結 論

洪水의 發生頻度 및 그 규모가 크고, 부득이 또는 심한 洛東江流域 盆地의 水文氣象學的 情報은 물 資源의 합리적인 운영에 基礎資料로서 필요불가결하다. 그러나, 氣象 및 河川水文資料의 빈곤으로 달미암아 全流域盆地에 걸쳐 신뢰도가 높은 結果를 기대하기는 곤란하다.

Thornthwaite의 물 收支 算定法에 따라서 먼저 大邱의 평균 물 收支와 연속적인 累進的 물 收支를 비교해 보았다. 大邱는 비교적 降水量이 적은 지방임에도 불구하고 前者의 方法으로는 물 不足의 달이 전혀 나타나지 않는다. 그러나 後者의 方法에 의하였을 때는 물의 差異는 있으나 12월부터 4월까지 5개월간을 제외한 5월부터 11월까지 7개월은 물 不足을 보여주고 있어 實用的인 면에서 累年 물 收支法이 보다는

14) Muller, R., 1970, 前掲書, pp. 50~58.

15) 榎根勇·竹内浩, 1971, "本邦にある 河川の 年流出率について," 地理學評論, Vol. 44, No. 5, pp. 347~356.

미있는 것임을 확인하였다.

그리고 大邱는 물 不足과 물 剩餘의 빈도가 클 뿐 아니라, 그 深度도 깊은 편이다. 그리고 그 變化 또한 예측하기 어렵게 해마다 또는 달마다 不足과 剩餘가 교대로 반복되고 있다. 특히 雨期로 알려져 있는 夏季에 물 剩餘는 물론 물 不足이 심하게 발생하고 있다. 春季의 물 不足은 秋季보다 그 量은 적지만 播種期이므로 營農에 지장을 줄 수 있다. 그리고 冬季에는 물 不足이 없지만 물 剩餘量이 충분하지 못하여 지속적으로 필요한 工業用水나 水力發電 및 大都市의 食水 등에 있어서 不足을 초래할 가능성이 크다.

물 不足과 물 剩餘가 가장 심한 夏季의 收支의 地域的 分布를 보면 浦項, 慶州, 大邱를 연

결하는 洛東江 中流地方에 가장 물 不足량이 많고 河東, 巨濟를 중심으로 하는 南東海岸地方이 물 剩餘가 가장 많다.

洛東 地點에서 測定된 水位와 流量曲線을 이용해서 얻은 流量과 그 地點의 集水區域內에 위치하고 있는 聞慶, 榮州, 靑松의 氣象資料에 기초를 두고 물 收支法에 따라 계산한 流出量을 年度別로 비교하면 밀접하게 一致하는 경향이 있다. 이 사실은 Thornthwaite의 물 收支原理가 우리 나라에도 적용될 수 있다는 것을 의미한다. 流域內의 水文氣象 觀測網이 확장되고 間斷없는 관측이 장기간 실시되면 물 收支의 實態는 더욱 정확하게 파악될 수 있을 것이다.

(首都女子師範大學 專任講師)

A Study on the Water Balance of the Nakdong River Basin

Hyoun Young Lee

Summary:

The objective of this paper is to describe the water balance of the Nakdong River basin and to make its inventory as related to water resources and management. The methodology utilized here is based on the Thornthwaite and Marther potential evapotranspiration and water balance models. These relatively simple models are considered very useful for the analyses of seasonal and annual hydroclimatic cycles.

The atmosphere rarely delivers average conditions to a place for month, season, or year especially in the case of precipitation. For resource problems, it is much more appropriate to utilize continuous monthly water balance, which is more representative of actual conditions through time. In terms of averages, the Nakdong River basin has not any moisture deficit month through years, but the seasonal or annual floods are intermixed with moisture deficits which are severe enough to have ecological, economic, and agricultural significance.

The water balance analysis in this paper for

the period from 1924 through 1973 suggests a quite regularly recurring pattern of deficits and surpluses of moisture within the basin area. Because of the relatively short climatic records, 10 to 50 years, the frequency in the table of this paper give only very rough approximations of probabilities of occurrence in the future.

At Nakdong, located in the upper valley of the Nakdong River, streamflow data agree quite closely with the average annual surplus of runoff calculated from the Thornthwaite and Marther potential evapotranspiration and water balance models.

Management of the water resources will require as much inventory water balance data as can be assembled with reasonable effort. To fill out the inventory there are a number of shorter term records which should be subjected to analysis. In addition, a few very long-term records can be selected for analysis back through time to 1900 to obtain some general notions about fluctuations over a number of decades.