

〈論文〉

未計測 中小流域의 月流出量 算定을 위한 多重回歸模型 研究

A Multiple Regression Model for the Estimation of
Monthly Runoff from Ungaged Watersheds

尹 龍 男* 元 錫 淵**
Yoon, Yong Nam Wone, Seog Yeon

Abstract

Methods of predicting water resources availability of a river basin can be classified as empirical formula, water budget analysis and regression analysis. The purpose of this study is to develop a method to estimate the monthly runoff required for long-term water resources development project. Using the monthly runoff data series at gaging stations alternative multiple regression models were constructed and evaluated.

Monthly runoff volume along with the meteorological and physiographic parameters of 48 gaging stations are used, those of 43 stations to construct the model and the remaining 5 stations to verify the model. Regression models are named to be Model-1, Model-2, Model-3 and Model-4 developing on the way of data processing for the multiple regressions. From the verification, Model-2 is found to be the best-fit model. A comparison of the selected regression model with the Kajiyama's formula is made based on the predicted monthly and annual runoff of the 5 watersheds. The result showed that the present model is fairly reasonable and convenient to apply in practice.

要 旨

水資源 賦存量의 평가를 위한 月流出量의 추정 방법은 통상 經驗式에 의한 方法, 물收支分析에 의한 方法 그리고 回歸分析에 의한 方法등이 있다. 본연구는 수위계측지점의 流出資料를 사용하여 多重回歸分析으로 回歸模型을 수립함으로써, 장기 수자원 개발계획의 수립에 필요한 月流出量의 推定을 가능토록 하였다.

사용한 자료는 총 48개 水位觀測所의 月流出量 및 氣象·地相 因子 이며 이중 43개지점은 模型의 開發에, 나머지 5개 지점은 模型의 檢證에 이용하였다. 또한 모형을 流域別模型과 全體模型, 平均值模型과 個別資料模型으로 구분하여 模型-1, 模型-2, 模型-3 그리고 模型-4의 4개 모형을 수립하였으며, 검증결과 模型-2가 가장 적절한 모형으로 판단 되었다. 선정된 回歸模型과 기존의 가지야마公式의 適用性을 統計的 方法에 의해 비교한 결과 본 多重回歸模型이 年流出量 뿐만아니라 月別流出量의 변화성향을 매우 잘 나타내고 있으며, 적용 또한 용이함이 입증되었다.

* 高麗大學校 土木工學科 教授

** 高麗大學校 土木工學科 大學院

1. 序論

河川上의 어떤 지점에 水工構造物을 設計하기 위해 가장 먼저 실시되어야 할 것은 그 지점에서의 水資源賦存量의 評價이며 그를 위해서는 장기간의 月流出量 資料系列의 獲得이 필요하다. 설계지점이 流出資料를 보유하고 있는 경우는 그 實測資料를 이용하면 되겠으나, 대부분의 경우 설계지점의 유출량이 계측되지 않은 것이 보통이므로 月流出量 推定方法이 사용된다. 月流出量을 필요로 하는 대표적인 경우로 댐運營分析과 流域 물收支分析을 들 수 있다. 댐運營分析은 주로 貯水地의 最適容量을 결정하는 것으로 月流出量 資料가 入力資料로 사용된다. 流域 물收支分析의 경우 月流出量은 설계지점의 과거의 流出實績(可用水量)을 대표하는 量이 된다.

우리나라의 경우 현재까지 적절한 月流出量 推定方法이 거의 없는 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 국내의 유량이 계측되어 있는 지점의 水文·氣象 그리고 地形因子들로부터 多重回歸分析을 실시하여 實務에 적용할 수 있는 模型을 提案하고자 한다.

2. 既存模型의 考察

미계측 지점의 月流出量 推定方法은 크게 물收支概念을 이용한 方法과 回歸式에 의한 方法, 그리고 經驗式에 의한 方法으로 분류될 수 있다.

물收支概念을 이용한 方法으로는 US SCS方法(1972)과 Alley方法(1984) 등이 있다. 이 방법들은 물收支概念에 입각하여 시간에 따른 月別 土壤含水量을 순차적으로 구한 후 月降雨量과 月蒸發散量을 계산함으로써 流出量을 推算하는 方法이다. 국내에서도 유사한 方法으로 KRIHS模型(1987)이 있다. 이 방법들은 이론적인 측면에서 볼 때 매우 합리적인 方法이나 土壤含水量이나 蒸發散量과 같은 模型變數를 결정해야 하는 어려

움이 있으며, 그 추정방법에 따라 모형의 정확도가 결정된다고 하겠다.

回歸式에 의한 대표적인 方法으로 USGS 方法(Thomas and Benson, 1975)을 들 수 있다. 이 방법은 流域의 氣象·地相因子들로부터 流出量을 추정하는 方法이며, 주된 氣象因子로는 月蒸發散量과 氣溫을, 地相因子로는 流域面積, 流域傾斜, 流域標高 그리고 森林面積을 사용하였다. 月流出量 推定의 경우 이 방법은 계산이 간편하다는 장점을 가지고 있다.

經驗公式은 流出特性을 대표하는 變數들을 媒介變數로 하여 降雨量으로부터 流出量을 계산하는 方法으로 국내에서 가장 많이 이용된 가지야마의 月平均流出高 公式(1929)을 들 수 있으며, 댐의 貯水容量 및 用水量 산정에 많이 이용된 바 있다. 이 공식은 1929년 가지야마에 의해 작성된 經驗式으로 1916년부터 1926년까지 우리나라 全域에 걸쳐 25개 지점의 月降雨量과 月流出量資料를 분석하여 만들어졌다. 이식은 많은 문제점을 가지고 있는 것으로 알려져 있으나(박성우, 1959, 1969; IHD, 1974; 홍영하, 1983) 현재까지는 가장 많이 사용되고 있는 것이 사실이다.

이상의 方法 이외에도 水文學的 同質性이 있다고 생각되는 인접 流域의 實測資料로부터 面積比를 계산하여 대상 流域에 그대로 적용하는 面積比 方法(건설부, 1984; 산업기지개발공사, 1984)과 동일한 大流域에 속하는 여러 小流域의 實測된 月別流出量과 月別降雨量을 구한 후 그 比를 계산하여 平均流出率을 결정하는 流域平均流出高 方法(건설부, 1986) 등이 있다.

3. 對象 流域의 選定

多重回歸模型의 개발에 필요한 對象流域은 水位觀測所가 설치되어 있고 水位-流量關係曲線이 작성되어 있는 지점이어야 한다. 현재 水位-流量關係曲線이 작성되어 있는 수위관측소는 총 117개 지점이나, 대하천의 분류에 위치하지 않고

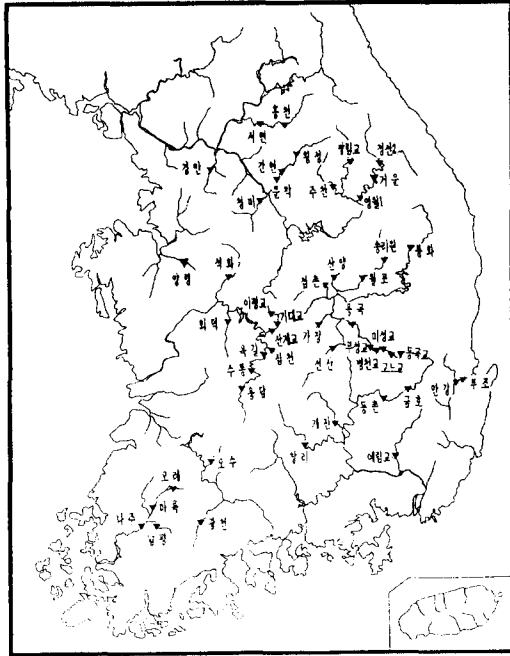


그림-1 對象 水位觀測所 位置圖

댐 지점등 人工的인 操作이 이루어지지 않는 지점중 水位資料가 양호하고 水位-流量 關係曲線의 적용이 가능한 지점을 조사하여 총 48개 지점을 선정하였다. 河川流域別 對象流域은 漢江流域이 12개, 洛東江流域이 18개, 錦江流域이 9개, 榮山江流域이 4개, 蟾津江流域이 2개 그리고 기타유역이 3개지점 이며 그림-1에 對象 水位觀測所의 位置를 나타내었다.

4. 資料의 獲得

多重回歸分析에 사용할 從屬變數로는 月流出量을, 獨立變數로는 月降雨量, 先行月降雨量, 月蒸發散量등의 氣象因子와 流域面積, 流路延長, 流域傾斜 그리고 流域標高差등의 地相因子를 우선적으로 선정하여, 48개유역에 대하여 韓國水文調查年報(建設部) 및 氣象月報(氣象廳)와 地形圖를 이용하여 그 값을 결정하였다.

-月流出容積

선정한 對象流域別로 1961年~1988年 동안의 결측분을 제외한 日平均 水位資料를 획득하여 水位-流量 關係曲線에 의해 日平均流量으로 환산하고 이를 日流出容積으로 바꾼후 월별로 합산한 값을 月流出容積으로 하였다.

-月降雨量

模型에 적용할 月降雨量을 계산하기 위해 建設部및 氣象臺 傘下 雨量觀測所의 月降雨量資料를 이용하였다. 全國의 총406개 雨量觀測所중 대상유역내 혹은 인근에 위치한 우량관측소를 택하였으며 그 수는 176개 지점이었다. 雨量觀測所의 閉鎖·新設 및 기록의 누락 등으로 인해 자료년한이 일치하지 않는 유역이 대부분이므로 本연구에서는 적용의 편의상 算術平均法에 의해 流域平均 降雨量을 계산하였다.

-月潛在蒸發散量

月潛在蒸發散量을 추정하는 방법은 Penman方法(1956), Thornthwaite and Holtzman方法(1939) Morton方法(1983) 그리고 Blaney Criddle方法(1958)등 여러가지 방법이 있다. 또한 우리나라에서는 현재 氣象臺 傘下의 氣象測候所와 觀測所에서 소형증발접시에 의해 日蒸發量을 측정하여 月別로 다른 氣象因子와 함께 氣象月報에 그 값을 收錄·發表하고 있다.

本연구에서는 비교적 정확한 것으로 알려져 있는 Penman方法과 적용이 손쉬운 Thornthwaite方法을 사용하여 潛在蒸發散量을 구한후 計器蒸發量과 비교하여 보았다. 증발산량 계산시 대상유역별 氣象因子 推定의 어려움 때문에, 기상관측소의 기상자료로부터 各 氣象觀測所別 月蒸發散量을 계산한후, 개개의 대상유역별 로 各測候所·觀測所의 지배면적을 구하여 면적비례로 평균하여 그 값을 對象流域別 月蒸發散量으로 하였다. 계산결과 대체적으로 蒸發散量의 크기는 計器蒸發量, Penman方法, Thornthwaite方法의 순으로 나타났고, 특히 Penman方法에 의한 추정치

表-1 對象流域別 地形因子

수계명	관측소명	유역면적 (km ²)	유로연장 (m)	유역경사	고도차 (ELm)	수계명	관측소명	유역면적 (km ²)	유로연장 (m)	유역경사	고도차 (ELm)	
한강	경안	264.2	34.5	0.0033	113.9	낙동강	산양	215.0	36.7	0.0006	22.0	
	서면	1174.0	116.3	0.0007	81.4		월포	1134.5	79.9	0.0006	47.9	
	홍천	874.3	78.5	0.0007	55.0		송리원	482.0	48.4	0.0018	87.1	
	침미	523.8	68.0	0.0012	81.6		봉파	712.5	101.5	0.0019	192.8	
	문막	1336.0	90.5	0.0023	208.2	금강	석파	1590.4	72.6	0.0007	50.8	
	간현	1173.7	82.1	0.0033	270.9		회덕	560.0	43.0	0.0077	33.1	
	황성	445.2	49.1	0.0004	19.6		산계교	475.6	49.0	0.0032	156.8	
	주진	528.8	72.0	0.0015	108.0		기내교	346.5	30.3	0.0032	97.03	
	방림교	519.8	51.8	0.0162	839.2		이평교	79.5	16.8	0.0047	79.0	
	영월1	2450.6	186.5	0.0004	74.6		심천	674.9	23.3	0.0028	65.2	
	거운	2272.1	167.4	0.0030	502.2		강	육길	2948.9	154.5	0.0018	278.1
	정선2	1682.1	108.6	0.0037	401.8		수룡	1599.3	46.4	0.0059	273.8	
							용담	989.5	60.3	0.0009	54.3	
							영산강	나주	2058.7	75.1	0.0006	45.1
					남평	576.2		41.4	0.0009	37.0		
					오례	36.4		12.0	0.0008	9.6		
					마북	683.9		56.0	0.0008	44.8		
낙동강	예림교	1330.6	66.2	0.0017	112.5	섬진강	광천	1019.3	98.5	0.0020	197.0	
	창리	925.0	58.2	0.0056	325.9	오수	350.9	35.7	0.0015	53.6		
	기진	856.0	58.7	0.0067	393.3	안성천	양령	388.0	24.7	0.0105	259.4	
	동촌	1544.0	89.4	0.0008	71.5		영산강	부조	1058.6	51.5	0.0080	412.0
	금호	1002.0	61.8	0.0012	74.1	안강		907.5	50.5	0.0081	409.1	
	선산	977.3	67.0	0.0009	60.3							
	용곡	1318.3	91.8	0.0004	36.7							
	무성교	472.5	42.8	0.0189	808.9							
	병천교	302.1	40.7	0.0197	801.8							
	미성교	171.3	30.9	0.0252	778.7							
고노교	109.7	18.9	0.0355	671.0								
동쪽교	33.6	8.6	0.0775	666.5								
가장	151.8	17.8	0.0014	24.9								
점촌	608.0	57.3	0.0004	22.9								

는 計器蒸發量과 매우 근접한 값을 보여주었다. 본연구에서는 모형의 독립변수로 채택할 月蒸發散量의 값으로 計器蒸發量을 택함으로써 모형의 적용을 보다 용이하게 할수 있도록 하였다.

-地形學的 因子

일반적으로 相關關係 模型設定에 필요한 地形因子로는 流域面積, 流路延長, 流域傾斜, 平均流域高度, 流域浸透能, 森林面積 그리고 河道特性因子 등을 들고있다. 본연구에서는 이중에서 月流出量에 비교적 큰 영향을 미치며 산정이 용이한 地形因子로서 流域面積, 流路延長, 流域傾斜 및 流域高度差등을 선정하였다. 각 對象流域別 地形特性因子는 1:50,000 地形圖上에서 圖上作業에 의해 산정하였으며 表-1에 그 결과를 수록 하였다.

-模型의 設定

既存의 많은 研究에서 月流出量의 對數値와 地形氣象因子들의 對數値는 線型關係를 가지며 그들사이에 多重線型關係를 수립할수 있음이 알려져 있다. 본연구는 월유출량 추정을 위한 回歸模型의 設定에 필요한 獨立變數로 月降雨量, 月蒸發散量, 先行月降雨量등의 氣象因子와 流域面積, 流路延長, 流域傾斜 및 流域의 高度差등의 地相因子를 一次로 선정하였으며, 이 獨立變數들 상호간에 部分相關解析을 실시하여 모형에 포함될 獨立變數를 試行錯誤的으로 결정하였다. 이들 獨立變數를 모두 포함할 경우 多重回歸模型의 식은 다음과 같은 형태를 가진다.

$$R = b_0 \cdot P^{b_1} \cdot P_{t-1}^{b_2} \cdot E^{b_3} \cdot A^{b_4} \cdot L^{b_5} \cdot S^{b_6} \cdot \Delta H^{b_7} \dots \dots (1)$$

여기서

R : 月流出量 (m³)

P : 月降雨量 (mm)

5. 多重回歸模型의 開發

- P_{t-1}: 先行 月降雨量 (mm)
- E: 月蒸發散量 (mm)
- A: 流域面積 (km²)
- L: 流路延長 (km)
- S: 流域傾斜
- △H: 流域의 高度差(m)
- b₀, b₁, b₂ ... b₇: 回歸常數

-獨立變數의 決定

模型的 獨立變數를 결정하기 위해서는 獨立變數와 從屬變數間 그리고 獨立變數 相互間의 部分相關係數(partial correlation coefficient)를 구하여, 部分相關分析을 行하여야 한다. 두 변수 X, Y 사이의 部分相關係數 ρ_{x,y}는 다음의 식에 의하여 계산한다.

$$\rho_{x,y} = \frac{COV(X,Y)}{\sqrt{VAR(X) VAR(Y)}} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 VAR(X)와 VAR(Y)는 X,Y의 分散이고 COV(X,Y)는 X와 Y의 共分散을 표시한다. 48개 對象流域중 模型的 檢正에 사용할 5개 區域을 제외한 나머지 43개 區域의 月流出量과 氣象 및 地相因子的 月平均値를 구하여 상호간의 部分相關係數를 구한 결과를 表-2에 單純相關係數行列 (simple correlation coefficient matrix)의 형태로 나타내었다.

表-2 變數 相互間의 部分相關係數

	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Y	1.000	0.538	0.407	0.328	0.570	0.507	-0.183	0.082
X1	0.538	1.000	0.482	0.474	0.003	-0.015	-0.031	-0.045
X2	0.407	0.482	1.000	0.405	0.003	-0.015	-0.031	-0.045
X3	0.328	0.474	0.405	1.000	0.020	-0.005	-0.020	-0.015
X4	0.570	0.003	0.003	0.020	1.000	0.858	-0.244	0.202
X5	0.507	-0.015	-0.015	-0.005	0.858	1.000	-0.290	0.240
X6	-0.183	-0.031	-0.031	-0.020	-0.244	-0.290	1.000	0.805
X7	0.082	-0.045	-0.045	-0.015	0.202	0.240	0.805	1.000

여기서: Y=log(R), X1=log(P), X2=log(P_{t-1}), X3=log(E),
X4=log(A), X5=log(L), X6=log(S), X7=log(△H)

모형에 포함할 獨立變數들은 獨立變數 상호간 에 독립적이어야 하며, 또한 從屬變數와 높은 상관성을 가져야한다. 表-2의 계수행렬을 보면 R은 P, P_{t-1}, E, A 및 L과 상당한 相關性이 있음을 보여주고 있으나 독립변수인 A와 L이 대단히 높은 相關性을 보이므로 L은 A에 의해 대표될수 있다고 보아, 模型에 포함할 독립변수로 月降雨量, 先行月降雨量, 蒸發散量 및 流域面積을 최종적으로 택하였으며 多重回歸分析을 위한 回歸方程式은 식(1)의 簡略型으로 다음과 같이 표시 된다.

$$R = b_0 \cdot P^{b_1} \cdot P_{t-1}^{b_2} \cdot E^{b_3} \cdot A^{b_4} \dots\dots\dots (3)$$

-模型的 種類

多重回歸分析에 사용된 月流出量 및 月氣象資料(月降雨量, 先行月降雨量, 月蒸發散量)의 종류에 따라 다음과 같은 4가지 類型을 설정하고 해당 資料를 분석하여 回歸常數를 계산함으로써 模型을 수립하였다.

- 模型-1: 全 對象流域(43개)의 全資料期間동안의 個個月資料 전부를 사용하여 回歸分析한 模型
- 模型-2: 全 對象流域(43개)의 個個 流域別 資料期間 동안의 月別 平均値를 구하여 回歸分析한 模型
- 模型-3: 模型-1의 경우와 동일한 月資料를 사용하나 主要 河川流域別(漢江, 洛東江, 錦江, 其他流域)로 回歸分析한 模型
- 模型-4: 模型-2의 경우와 동일한 月資料를 사용하나 主要 河川流域別로 回歸分析한 模型

-回歸分析의 結果

위에서 설명한 4개 資料群을 각각 사용하여 월별로 多重回歸分析을 통해 결정한 각 모형의 月別 回歸常數는 表-3 과 같으며 回歸模型에 의한 월별 추정치와 월별 실측치간의 單純相關係數(r)도 표에 수록하였다. 模型-3의 경우는 4개

表-3 模型의 回歸常數 및 相關係數

모형-1	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
전 체 유 역	b0	9.1516	8.4973	9.1388	8.3726	8.0255	7.7152	4.4603	7.7094	5.7307	8.2215	5.7025	7.0970
	b1	0.1601	0.3655	0.3814	0.7833	0.7140	1.1352	1.1354	1.1676	0.5486	0.3981	0.3763	0.2596
	b2	0.1514	0.1220	0.2723	0.0824	0.2839	0.1755	0.3221	0.0441	0.5752	0.2199	0.1780	0.3778
	b3	-0.4443	-0.2024	-0.5333	-0.3986	-0.2340	-0.4682	-0.0631	-0.4890	-0.0029	-0.2373	0.1676	-0.0155
	b4	1.0453	1.0453	1.1446	1.0366	0.8905	0.8195	0.9669	0.9638	0.9791	1.0648	1.1811	1.0399
r	0.6731	0.6883	0.7641	0.7920	0.7197	0.7632	0.8795	0.8535	0.8049	0.7446	0.7368	0.6827	
모형-2	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
전 체 유 역	b0	6.2934	6.9243	7.7834	3.2852	1.7644	2.1580	4.5588	6.4160	8.2220	10.5645	4.1367	7.9538
	b1	0.6738	0.1469	0.0762	1.4249	1.6112	1.1480	1.0056	1.2128	0.8974	0.8284	0.1984	0.4008
	b2	-0.0463	0.3506	0.2013	-0.5330	0.1331	0.5189	0.1842	-0.1926	0.0039	-0.3394	0.2536	-0.1041
	b3	0.1546	0.1750	0.1410	0.6532	0.3837	0.2569	0.2379	0.0289	0.2525	0.0551	0.6020	0.0253
	b4	1.1381	1.1040	1.1393	0.9904	0.9111	0.9252	0.9252	0.9639	1.0076	1.1780	1.2270	1.1253
r	0.8881	0.9054	0.9374	0.9135	0.9465	0.9512	0.9707	0.9633	0.9573	0.9380	0.9319	0.9130	
모형-3	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
한 강 유 역	b0	5.5597	7.7405	7.3086	5.0633	12.4873	-1.0645	7.0602	11.5134	2.8585	16.4772	8.2364	4.9067
	b1	-0.2149	0.3074	-0.0363	0.5851	0.7215	0.9259	1.3255	1.0641	0.7321	0.3021	-0.2337	0.9224
	b2	0.5561	-0.0882	0.1517	0.0706	-0.0333	0.4429	0.0634	-0.1250	0.2337	0.2337	0.3013	-0.0695
	b3	-0.3879	0.1046	-0.2612	-0.1605	-0.3415	0.7129	-0.5320	-0.9187	-2.7469	-2.7469	-0.5131	0.0779
	b4	1.6443	1.1211	1.5230	1.5374	1.3074	1.2527	0.9417	0.9332	1.4823	1.4823	1.4545	1.2753
r	0.7421	0.5821	0.6742	0.7773	0.8157	0.6888	0.9310	0.8263	0.8130	0.7394	0.6853	0.7344	
모형-4	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
한 강 유 역	b0	-0.6422	2.4082	-1.9958	13.8463	-6.4082	-6.1141	8.0627	6.0449	5.5112	20.5517	3.0027	-1.2379
	b1	-1.4466	-0.3076	-1.0565	1.7565	0.4666	1.5495	1.4546	0.7959	1.7900	0.2517	-0.5931	1.7878
	b2	2.5164	0.1787	-0.1986	-1.0818	0.4142	1.1750	0.6782	0.8044	-0.3827	1.6369	0.5917	-0.5547
	b3	-0.4644	1.1114	3.0170	-2.6033	2.8772	0.6175	-1.4542	-0.4433	-0.3810	-5.9600	1.3381	1.3383
	b4	2.2841	1.5695	2.0450	1.8244	1.1421	1.4403	0.8791	0.8218	1.1467	1.9224	1.2391	1.3906
r	0.8806	0.8509	0.9568	0.9782	0.8635	0.9597	0.9354	0.9072	0.9733	0.9264	0.9434	0.9325	
모형-4	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
낙 동 강 유 역	b0	7.7014	15.1939	22.2522	9.1495	-9.3049	-7.8206	2.9077	9.4568	4.1291	22.9177	7.8749	15.2132
	b1	1.2065	-0.7761	-0.4111	1.3241	1.8272	2.1785	0.7679	1.3220	0.8369	0.4546	-0.0342	0.2717
	b2	-0.3357	0.8014	-0.1604	-0.6549	0.3749	-0.2262	-0.2621	-0.0832	-0.5909	-0.0132	-0.3004	-0.0688
	b3	0.1120	-0.9619	-2.2628	-0.1783	2.2131	1.8143	1.3238	0.1306	1.4334	-2.2614	0.1334	-1.8567
	b4	0.8437	0.8309	1.0666	0.8620	0.8536	0.9707	0.9636	1.1081	0.9785	1.1187	1.3975	1.1792
r	0.9591	0.9586	0.9788	0.9749	0.9611	0.9670	0.9771	0.9713	0.9746	0.9552	0.9503	0.9075	
모형-4	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
금 강 유 역	b0	10.7871	-5.6477	-9.3685	-34.9677	-1.7789	23.3835	-8.7558	8.1488	8.3519	4.9114	-2.2634	3.7421
	b1	1.2565	2.8726	1.3108	2.1682	1.5664	1.2530	0.8480	2.2778	1.5693	1.5239	0.8807	0.8336
	b2	-0.7588	0.6279	1.7372	2.6610	0.1848	-3.1074	0.0830	-1.7061	-0.8869	-0.3234	-0.4224	-0.4110
	b3	-1.0302	1.6183	2.1471	5.4170	2.4521	-2.0867	3.3960	0.4586	-0.1159	0.2604	2.6233	1.3363
	b4	1.2251	0.6530	0.8845	0.8364	0.9254	1.1178	0.8944	0.8083	1.0749	0.9636	1.0006	0.9995
r	0.9524	0.9518	0.9839	0.9794	0.9862	0.9825	0.9737	0.9066	0.9290	0.9607	0.9787	0.9610	
모형-4	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
기 타 유 역	b0	-0.9251	18.6957	-26.3383	-25.7188	0.4822	-5.7404	-2.4974	-0.7546	8.9165	-66.1355	-26.8979	18.3761
	b1	-0.4466	1.4135	-0.2871	4.5069	0.3561	2.3466	0.3898	0.9206	1.3694	6.7887	1.9337	-0.6421
	b2	1.3585	-0.6764	0.9991	-1.9776	1.3923	-0.9122	1.2587	0.0772	-1.2196	0.8833	3.7801	0.4335
	b3	1.8150	-3.3942	7.1143	4.6322	0.5773	1.8073	1.1598	1.5550	0.7141	10.2287	3.8691	-1.8327
	b4	1.0884	1.2509	1.3844	1.1956	0.9803	0.9991	1.0464	0.9252	0.9184	0.7620	0.7006	0.7802
r	0.9763	0.9781	0.9944	0.9659	0.9009	0.9913	0.9947	0.9796	0.9836	0.9935	0.9736	0.9403	

流域에 대해 각각 回歸常數를 구하였으나 여기서는 漢江流域의 값만 수록하였다. 表-3을 관찰하면 模型-1과 模型-3은 模型-2와 模型-4에 비해 월별 추정치와 실측치간의 相關係數가 상대적으로 크게 낮음을 알수 있다. 이는 模型-1과

模型-3에서는 全資料期間 동안의 개개 월자료전부를 회귀분석에 사용했기 때문에 월자료의 분산이 심한 반면 模型-2와 模型-4의 경우는 전자료기간의 월자료의 平均值를 계산하여 43개 유역 혹은 주요 하천유역별로 회귀분석했기 때문

에 회귀자료의 散布度가 模型-1과 模型-3의 경우에 비해 훨씬 작기 때문인 것으로 해석된다.

6. 最適模型의 選定 및 評價

-最適模型의 選定

本 研究에서 수립한 4가지의 多重回歸模型의 상대적인 평가는 모형의 개발에 사용되지 않은 한강유역의 거운, 낙동강유역의 선산, 점촌, 금강유역의 수통 및 영산강유역의 마북등 5개 대상유역의 實測月流出量 및 年流出量을 기준으로 시행하였다. 즉 모형에 의해 산정된 月流出量이 그에 상응하는 實測月流出量에 가까운 값으로 계산되어야 할 뿐 아니라 산정된 12개월 流出量의 合인 年流出量 역시 실측된 年流出量에 가까운 결과를 줄 때 그 모형은 우수한 모형으로 평가될 수 있다.

이를 평가하기 위해 본 연구에서는 5개 선정 유역에 대해 유역별 자료기간 동안의 月平均 流出量 및 年平均流出量을 전술한 4개 모형으로 계산한후 流出量로 환산하여 그 추정치와 실측치를 비교함으로써 水資源의 月別 分布特性 및 年間 水資源賦存量을 평가하여 最適模型을 判別코져 하였다.

검정유역별 實測 流出高에 對比하여 모형에 의한 算定值의 相對的인 正確度를 評價 하기 위한 기준치로 流出高의 平均值와 分散을 사용하였다. 즉, 平均值는 2集團 t-Test(Two sample t-test)에 의해, 分散은 F-Test에 의해 검정하기로 하였다(Miller and Freund, 1965).

流出高의 平均值의 경우 實測值(X₁)와 모형 算定值(X₂)로 구성되는 資料集團의 媒介變數인 t는 다음과 같이 표시되며 이는 t-分布를 가지게 된다.

$$t = \frac{(\bar{X}_2 - \bar{X}_1) \sqrt{n}}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 n은 資料數이며 S₁, S₂ 는 X₁ 과 X₂ 의 標準偏差이다.

t-分布의 경우 (1-α)信賴度에 해당하는 限界 t值는 自由度(2n-2)와 α값에 따라 결정되며 95% 신뢰도를 基準으로 할 때의 限界 t_{α/2, 2n-2}值를 5개 유역에 대해 표시하면 表-4와 같다.

表-4 檢正流域別 t-Test와 F-Test의 限界值 (信賴度 1-α=95%)

유역	차료년(n년)	ta/2, 2n-2	Fa/2, (n-1, n-1)
거운	12	2.07	3.48
선산	15	2.05	2.92
점촌	11	2.09	3.72
수통	5	2.31	9.60
마북	9	2.12	4.03

한편, 流出高의 分散의 경우 두 資料 集團의 分散比로 표시되는 媒介變數 F는 다음과 같이 표시되며 이는 F-分布를 가지게 된다.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \dots\dots\dots(5)$$

(1-α)信賴度에 해당하는 限界 F-值는 自由度(n₁-1, n₂-1)과 α값에 따라 결정되며 5개 檢正流域에 대한 限界值를 表-4에 수록하였다.

表-3의 模型別 月流出量 算定值와 實測值간의 相關係數 비교에서 언급한 바와 같이 模型-1 과 模型-3의 경우는 相關度가 낮았으므로 t-및 F-test는 模型-2와 模型-4에 국한하였으며, 계산된 t值와 F值를 각각 表-5와 表-6에 수록하였다.

表-5의 t值를 流域別 限界值(表-4)와 비교해서 평가해 보면 年流出量의 경우 模型-2는 5개 유역의 限界t值 이내에 모두 들며 전반적으로 t值가 模型-4의 경우보다 작음을 알수 있다. 模型-4의 경우도 錦江流域의 수통 지점을 제외하고는 限界t值 以內에 들지만 전반적으로 模型-2의 t值보다 값이 큼을 알수 있다. 年流出量의 F值를 表-6에서 비교해 보면 模型-2의 경우는 5개 유역의 限界F值 以內에 들어가나 模型-4의

表-5 檢正流域別 月別 流出高의 t-值 比較

유역	월별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual
거 운	모형-2	0.484	-1.053	-0.088	0.360	1.217	0.124	-0.173	1.748	0.166	1.405	-1.514	0.186	0.912
	모형-4	0.138	0.220	1.907	1.366	1.151	0.357	-0.952	2.130	1.306	0.536	-0.237	0.045	2.060
선 산	모형-2	-0.427	-0.362	0.470	0.382	0.425	-0.151	0.163	-0.246	-0.149	0.660	-1.081	-1.241	-0.197
	모형-4	-0.009	0.068	0.198	0.024	0.899	2.014	0.459	0.040	0.232	0.086	0.125	-1.085	1.402
점 촌	모형-2	-1.594	-0.942	-0.912	-0.296	1.112	0.109	-0.613	-0.713	0.207	0.995	-0.219	-0.935	-0.624
	모형-4	-0.341	1.397	1.551	-0.406	0.908	0.583	-0.356	-0.123	0.733	1.362	0.330	-0.220	1.067
수 통	모형-2	-1.177	-1.189	2.859	1.556	1.456	1.264	0.007	-0.056	-0.230	1.375	-1.996	-1.950	0.583
	모형-4	0.207	0.753	2.759	1.192	0.729	1.487	-0.118	1.236	-0.483	2.532	-0.876	-1.565	2.689
마 륙	모형-2	0.471	0.369	-0.525	-2.216	-0.925	-0.728	0.136	0.437	0.334	0.335	-1.915	-2.173	-0.805
	모형-4	3.450	2.732	3.300	0.791	-0.297	0.021	0.426	-1.209	1.494	1.180	0.463	1.590	2.087

表-6 檢正流域別 月流出高의 F-值 比較

유역	월별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual
거 운	모형-2	1.155	0.130	0.034	0.750	7.863	0.267	0.470	1.351	0.980	3.071	0.214	0.174	0.887
	모형-4	5.997	1.886	12.596	40.838	2.761	2.499	0.354	0.679	10.433	17.305	12.852	1.190	5.885
선 산	모형-2	0.030	0.012	0.152	1.010	0.920	0.471	0.568	0.629	1.374	3.962	0.037	0.004	1.226
	모형-4	0.153	2.755	13.569	2.144	0.785	48.203	0.555	3.875	3.494	2.181	0.649	0.033	4.013
점 촌	모형-2	0.341	0.163	0.082	1.039	1.914	0.512	0.525	0.598	0.698	0.592	0.029	0.032	0.700
	모형-4	2.975	1.654	0.856	1.052	1.841	1.344	0.325	0.705	0.727	26.351	0.164	0.184	0.767
수 통	모형-2	1.062	0.692	1.553	4.456	3.143	1.006	0.326	0.593	0.681	2.507	0.065	0.483	0.504
	모형-4	12.301	31.837	5.333	4.566	2.614	7.024	0.301	7.054	0.477	25.394	0.238	0.790	0.974
마 륙	모형-2	7.048	0.255	0.153	1.040	1.751	0.263	0.739	1.418	1.126	1.198	0.048	0.408	0.976
	모형-4	21.159	4.346	9.741	14.241	0.385	1.056	6.782	0.166	17.46	15.652	4.412	64.592	77.889

경우는 점촌과 수통유역을 제외한 유역에서는
限界F值를 벗어남을 알수있다.

한편, 月流出量에 대한 表-5의 유역별 t值를 限界值(表-4)와 비교해 보면 模型-2의 경우는 수
통유역의 3月 流出量을 제외하고는 全流域, 全
월에 걸쳐 限界t值를 벗어나고 있다. 또한, 表-
6의 유역별 월별 F值를 限界F值와 비교해 보면
模型-2의 경우는 거운의 5月과 선산의 10月 및
마륙의 1月을 제외하고는 限界F值 이내에 들어
가나 模型-4의 경우는 限界F-值를 벗어나는 경
우가 더 많음을 알수 있다.

上記한 검토결과를 종합하여 보면 模型-2는
模型-4보다 實測 年 및 月流出量의 平均値와 分
散에 더 가까운 결과를 주고 있음을 알수 있으
므로 최종적으로는 模型-2를 最適模型으로 선정
하였다.

-가지야마 月流出高 公式과의 比較

本 研究 結果 最終적으로 선택된 多重回歸模

型(模型-2)을 국내에서 가장 많이 사용된 방법
인 가지야마 月流出高公式과 實測值를 기준으로
하여 비교 하였다. 두 방법의 적용성을 평가하
기 위하여 각 방법에 의한 推定值의 實測值에
대한 標準誤差(Standard Error of Estimates)를
구하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \sum (X_i - \hat{X}_i)^2} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 X_i 는 실측치 이며, \hat{X}_i 는 추정치이다.

가지야마 公式은 流域의 流出特性을 대표하는
變數인 f값에 의해 計算月流出高가 큰 영향을 받
는다. 각 유역별로 f값을 결정하여 계산하는 것
이 순서이겠으나 추정의 어려움 때문에, 본연구
에서는 f값을 0.6, 0.8, 1.0 그리고 1.2로 각각
가정하여 그 f값에 따른 月流出高를 각각 계산
하여 回歸模型과 비교하였다. 表-7에 月別 標準
誤差 및 年流出高의 標準誤차를 유역별로 나타내

表-7 修正流域別 月別의 標準誤差의 比較

유역	방법별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual
거 운	모형-2	18.1	14.9	15.1	64.8	36.4	18.5	62.6	61.7	57.6	16.8	27.7	12.9	76.9
	가 (f=0.6)	23.4	21.5	26.6	59.4	35.8	37.4	110.9	94.5	58.0	19.9	21.2	15.4	117.1
	지 (f=0.8)	20.7	18.3	26.8	64.4	40.0	31.1	99.3	82.3	56.5	24.3	22.9	15.8	129.1
	야 (f=1.0)	18.7	16.4	27.3	68.6	43.7	27.4	90.5	72.8	57.0	27.9	24.8	16.1	170.1
	마 (f=1.2)	17.2	15.3	27.8	72.1	46.9	25.5	84.4	65.7	58.8	30.9	26.7	16.3	213.6
선 산	모형-2	17.5	10.9	12.1	41.1	34.7	33.5	82.3	76.1	67.8	36.8	14.6	11.4	107.1
	가 (f=0.6)	19.1	11.8	10.0	25.8	27.1	74.6	87.3	77.4	72.2	19.8	12.9	11.7	160.0
	지 (f=0.8)	18/2	9.9	10.0	19.3	24.5	63.1	81.1	73.8	73.9	20.8	14.4	12.2	135.1
	야 (f=1.0)	17.7	9.3	10.3	15.3	23.3	53.6	78.5	73.3	76.4	21.9	15.5	12.5	143.7
	마 (f=1.2)	17.4	9.5	10.7	13.5	22.8	45.8	78.7	74.7	79.1	22.9	16.4	12.8	167.9
정 촌	모형-2	20.5	21.4	23.8	82.6	46.7	35.2	92.8	56.1	69.5	24.8	21.6	30.7	155.7
	가 (f=0.6)	16.7	21.9	27.4	52.6	34.3	57.4	100.7	65.9	65.8	15.7	22.7	31.5	122.9
	지 (f=0.8)	17.5	22.3	27.3	57.9	33.5	47.8	100.8	67.9	65.8	14.1	21.4	31.6	154.2
	야 (f=1.0)	18.3	22.6	27.5	62.6	34.5	41.2	103.5	71.7	67.5	14.0	20.9	31.7	201.8
	마 (f=1.2)	19.0	22.8	27.9	66.8	36.3	37.3	107.7	76.4	69.9	14.4	20.7	31.8	247.8
수 통	모형-2	26.7	32.7	14.8	20.4	30.9	44.0	54.4	32.8	22.7	70.6	37.9	53.0	159.9
	가 (f=0.6)	28.7	30.6	9.9	27.4	26.2	85.4	73.6	26.8	34.6	33.4	28.6	56.3	157.5
	지 (f=0.8)	29.0	32.2	12.6	26.2	24.2	74.9	57.4	24.0	39.6	34.0	29.8	57.2	150.1
	야 (f=1.0)	29.2	33.3	14.6	27.7	23.4	66.8	47.9	29.5	45.7	34.6	31.2	57.8	177.2
	마 (f=1.2)	29.3	34.1	16.1	30.3	23.3	60.6	45.9	37.6	51.9	35.2	32.5	58.2	214.1
마 복	모형-2	18.0	21.6	28.0	30.0	77.3	43.8	55.5	67.5	37.1	32.0	13.5	10.2	194.3
	가 (f=0.6)	22.6	18.4	26.5	26.6	44.1	50.2	53.2	79.1	45.2	16.9	21.6	13.1	285.2
	지 (f=0.8)	20.4	20.1	25.9	22.7	40.0	45.6	42.9	64.6	41.1	15.6	19.1	13.4	243.6
	야 (f=1.0)	19.0	21.9	26.3	23.9	37.6	43.3	38.5	53.3	40.3	15.1	17.9	13.7	230.5
	마 (f=1.2)	18.1	23.5	27.1	27.5	36.3	42.6	39.5	45.2	42.0	14.9	17.4	14.0	235.7

었다.

表-7의 年流出高를 기준으로 볼때 가지야마公式은 5개 유역중 거운, 점촌의 경우에는 f값을 0.6으로 취했을때 實測 年流出高에 가장 가까운 결과를 나타내었으나, 선산 수통의 경우는 f=0.8, 마복의 경우는 f=1.0일때 가장 좋은 결과를 보였다. 回歸模型의 경우는 유역에 따라 약간의 편차는 있으나 전반적으로 標準誤차가 작으며, 年流出高를 기준으로 했을 경우 가지야마 公式보다 훨씬더 정확한 것을 알수 있었다. 月別流出高의 標準誤差 또한 回歸模型의 경우가 가지야마公式보다 전반적으로 작음을 알수 있었다.

이상의 고찰에서, 선정된 回歸模型이 가지야마公式보다 좋은 결과를 주었을 뿐 아니라, 가지야마公式의 경우 f값 선택에 따라 推定值의 偏差가 크게 발생하는 것을 고려할때, 본연구에 의한 多重回歸模型이 좀더 일관성 있고 신뢰도

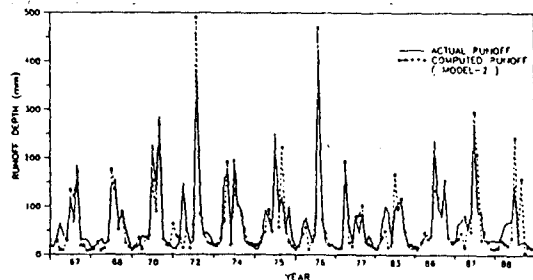


그림-2 實測月流出高와 模型-2에 의한 算定月流出高의 比較(거운)

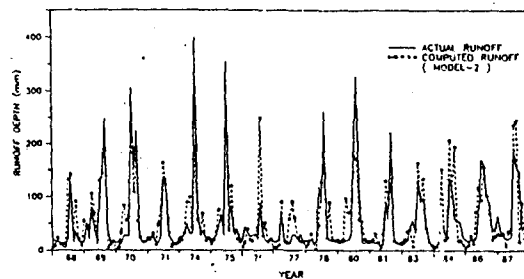


그림-3 實測月流出高와 模型-2에 의한 算定月流出高의 比較(선산)

높은 결과를 나타낸 것으로 평가된다.

참고적으로 그림-2~3에 모형의 평가를 위해 선정된 5개 유역중 거운과 선산유역의 자료기간 동안의 月別 實測流出高와 模型-2에 의한 月別 計算流出高를 비교 하였다.

7. 結 論

本研究에서는 未計測된 中小河川 유역에 貯水 用 水工構造物를 건설하고자 할때 構造物의 容量決定등 水資源計劃 혹은 運營을 하고자 할때 水文分析에 필요한 月流出量의 推定方法을 開發하기 위하여 多重回歸分析 方法을 적용 하였다.

實測月流出高와 模型-2에 의한 算定月流出高의 比較(거운) 그림-3 實測月流出高와 模型-2에 의한 算定月流出高의 比較(선산)

本 研究에 사용된 計測流域은 48개로 최초로 是 훨씬 더 많은 水位觀測地點을 대상으로 하였으나 Rating Curve 및 日水位資料에 문제점이 많아서 결국 48個 流域에 국한할 수밖에 없었다. Rating Curve가 있어서 實測 月流出量을 획득할 수 있는 地點의 경우도 低水位나 高水位의 Rating이 정확하지 못해 實測資料의 信賴度를 유지하는데 상당한 어려움이 있었다. 선정된 48개 유역중 43개 유역은 模型의 開發에 사용하였고, 나머지 5개 유역은 模型의 檢正에 사용하였으며 本연구의 結果를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 本 多重回歸模型에서는 月流出容積을 月降雨量, 先行月降雨量, 月蒸發散量 및 流域面積과 相關시켜 回歸分析 하였다. 流域의 地相因子 中 河川延長은 流域面積으로 代表될수 있었으며, 河川傾斜나 高度差는 月流出容積과는 큰 相關이 없는 것으로 나타났으므로 回歸式에서 제외 하였다.
- 2) 多重回歸 方程式은 從屬變數인 月 流出容積과 獨立變數인 月降雨量, 先行月降雨量, 月蒸發散量 및 流域面積間의 函數(power function) 關係로 표시하였다

- 3) 回歸分析에 사용된 資料의 類型과 流域의 範圍에 따라 4가지 模型을 설정하여 해당 資料의 分析에 의해 多重回歸方程式을 導出하였다. 이중 43個 全流域에 걸쳐 流域別 資料期間 동안의 月別 流出容積의 平均值와 그에 상응하는 氣象 및 地相因子를 사용하여 구한 回歸模型(模型-2)이 最適模型인 것으로 판명되었다.
- 4) 현재까지 未計測地點의 月流出高 算定에 사용되어온 가지야마 公式은 流域의 流出特性을 대변하는 f값의 크기에 따라 算定되는 月流出高의 量的 振幅이 상당히 커서 f값의 선택에 따라 큰 誤差를 유발시킬수 있다. 즉, 가지야마 公式을 어떤 未計測 流域에 적용코져 할때 f값의 客觀的인 선택방법이 없어 적용에 큰 어려움이 있다는 것이다. 그러나, 本 研究에서 제안된 最適模型인 模型-2는 回歸方程式에 算定코져 하는 月의 獨立變數를 대입함으로써 客觀性과 一貫性을 유지하면서 月流出容積을 추정 할수 있을뿐 아니라 實測資料로 評價分析을 실시한 結果 만족할 만한 結果를 얻었다.

謝 辭

本研究은 1990年度 國際水文開發計劃(IHP) 研究事業의 一部로 수행되었음을 밝히며 本研究를 가능케 支援해준 建設部에 심심한 謝意를 표한다.

參 考 文 獻

1. 建設部(1965-1986), 韓國 水文調查年報
2. 建設部(1974), IHP 代表試驗流域 調查報告書
3. 建設部(1983-1988), 國際 水文開發計劃(IHP) 代表 流域 研究調查 報告書
4. 建設部(1986), 中規模 多目的댐 豫備 妥當性 調查 最終報告書
5. 國土開發研究院(1987), 中小水系의 河川流出量 推定모델 開發研究 報告書, 87-6

6. 農業振興公社(1989), 消費水量 算定方法 實用化 研究
7. 김태철, 박성우(1984), 韓國河川의 月流出量 推定을 위한 地域化 回歸模型, 韓國 農工學會誌, 2권, 2호
8. 박성우(1959), 우리나라에 現存하는 몇개의 水文學的 公式에 대한 批判, 韓國 農工學會誌, 2권, 2호
9. 박성우(1969), 우리나라 可用水資源에 대하여, 물의 科學, 1권, 2호
10. 建設部(1984), 住岩댐 最終 設計報告書
11. 産業基地 開發公社(1984), 洪川 多目的 댐 基本計劃 報告書
12. 尹龍男(1986), 水文學, p454
13. 朝鮮總督府(1929), 朝鮮 河川調查報告書, 朝鮮河川의 月流出量 公式
14. 中央氣象臺(1962-1988), 氣象月報
15. 홍영하(1983), 貯水地 容量決定을 위한 가지야마 月流出高公式의 適用에 있어서의 問題點에 관하여, 韓國 水文學會誌, 16권, 1호
16. Alley, W.M.(1984), Treatment of Evapotranspiration, Soil Moisture Accounting and Aquifer Recharge in Monthly Water Balance Models, Water Resources Research, Vol. 20, No. 8
17. Criddle, W.D.(1958), Method of Computing Consumptive Use of Water, Proc. ASCE, J. Irrigation and Drainage Div., 84, No. IRI (Jan.)
18. Miller, I. and Freund, J.E.(1965), Probability and Statistics for Engineers, Prentice-Hall, N.J., USA
19. Morton, F.I.(1983), Operational Estimates of Areal Evapotranspiration and Their Significance to the Science and Practice of Hydrology, Journal of Hydrology, 66
20. Penman, H.L.(1956), Estimating Evaporation, Trans. Amer. Geophys. Union, 37, No. 1
21. Stephenie, P.J.(1985), SAS/STAT Guide for PC, Ver. 6 Edition, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
22. Thomas, D.M. and Benson, M.A.(1970), Generalization of Streamflow Characteristics from Drainage-Basin Characteristics, Water Supply Paper 1975, U.S. Geological Survey, Washington, D.C.
23. Thornthwaite, C.W. and Holtzman, B.(1939), The determination of evaporation from land and water surfaces, Monthly Weather Rev., Vol. 67, pp. 4-11
24. US SCS(1972), SCS National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture