

山間流域에서의 降雨量/流出量에 關한 綜合 Model解析

A Comprehensive Rainfall/Run-off Model for Upland Catchment Area.

洪 鍾 震*
Chong Jin Hong

Synopsis

Using hydrometric data from an upland river in North Wales, a relationship between rate of river flow and water stored within the catchment area (catchment storage) is assumed to exist, and is evaluated from an analysis of winter recession curves.

This storage/river flow relationship, when combined with water balance equations, produces a set of equations which may be used for "routing" input of rainfall through a storage with defined outflow characteristics, providing a straightforward method of flood prediction and analysis from rainfall data. Recorded and predicted flood hydrographs are compared, and the effectiveness and limitations of the method are considered.

The development of a complete mathematical model, embodying the storage/river flow relationship, and suitable for generation of continuous run-off records from rainfall and evaporation data, is also considered.

I. 緒 言

大流域 河川 및 一般河川에서의 水文水理學的 理論解析이 農工分野에서 切實하게 要請된 것은 農業用水開發事業 規模가 漸進的으로 大型化 乃至 綜合化로 變向하면서 부터 일 것이다. 아울러 河川에서의 取水施設(Dam, 沓 閘門 等) 및 水資源利用計劃時엔 低水位에서 洪水位에 이르기 까지 水文水理事象을 處理해야 할때가 頻繁하다. 그러나 資料 및 觀測施設 未洽에 따라 그 解析精度가 相異한 것은

自他가 公認하는 事實이다. 그러나 우리의 技術, 裝備施設이 漸次 現代化 됨에 따라 現代 世界潮流에 適應하는 우리의 姿勢도 必要 할 것이다.

本稿에서는 任意 河川上流流域에서 降雨가 發生할 時에 觀測流量 資料를 利用해 目的하는 Dam 設置地點이나, 既存 Dam sites에서 24時間後의 流入量을 豫測하여 水門操作을 施行함으로써 洪水로 因한 災害와 人命被害의 防止 財產保護等을 할 수 있는 極히 簡單한 降雨量/流出 Model에 대하여 記述 하고자 한다.

本資料는 英國에서 開發한 一名 "Lambert Mo-

*農業振興公社 研修院

del"이라고 稱하는 것으로서 North Wales의 Dee 江流域(Dee River Basin)에서 研究開發하여 實用 하는 Model 方法이다. 本 Model로 算定한 값에 依 하여 Control Tower에서 各 Dam에 對한 運營操作 을 하고 있는 實用資料로서, 多少 與件이 우리와는 차이가 있겠으나 우리의 技術과 觀測資料가 電算化 되어 감에 따라 앞으로 上記와 같은 Model開發使用 은 不可避할 것으로 生覺되며 本 Model에 多少의 修正을 加하면 流域綜合開發事業計劃施行에 도움이 될 것으로 믿어진다.

II. 概 要

蒸發量 및 降雨量 變量의 影響을 받는 自然 河川 에서 流出量을 算出하는 數學模型에 關한 開發은 1967年(Linsley 1967) 當時에 相當한 注目을 끌 어 온 것으로서 本稿에서는 Dee江 流域에서 調查研究 된 內容(Collinge氏)을 收錄하였다.

流域面積이 43.7 sq. mile (114km²)인 山間地帶 이고 年平均雨量이 35~80" (889mm~2,032mm)인 Dee江流域 Ceiriog支流的 Brynkinalt weir 水文觀 測所에 對한 內容을 主題로 하였다.

流域內 帶水層에서는 有意性이 없었으며 流量은 最少 12cfs(0.34m³/s)에서 最高 2,000cfs(56.63m³/ s) 以上이었다.

III. 流域內貯溜 및 流出關係

假定: (i) 表面流出, 中間流出, 基底流出 分類는 不必要함

(ii) 流出量(q)는 流域面積內에 貯溜되는 量(即 帶水層, 土壤層, 溜池等)과 一 致한다.

貯溜係數: S

誘導方法

冬季減勢曲線(英國에는 冬期間의 暴雨가 夏期의 降雨에 相當하는 경우가 있음) 分析은 (即 貯溜係 數 S에서 誘導할때 流量임) 流出量 q(mm/day)와 S(mm) 關係式 誘導에 使用한다. 本方法은 Wakins (1962) 外 여러 專門家들에 依해서 使用한 方法과 類似한 方法이다.

Fig. 1에서 보는바와 같이 初期貯溜를 S=S₀로 假 定하면

$$S=S_0 \quad \text{Corresponds to } q_0$$

$$S=S_1=S_0-Q_{01} \quad \text{Corresponds to } q_1$$

$$S=S_2=S_1-Q_{1,2} \quad \text{Corresponds to } q_2$$

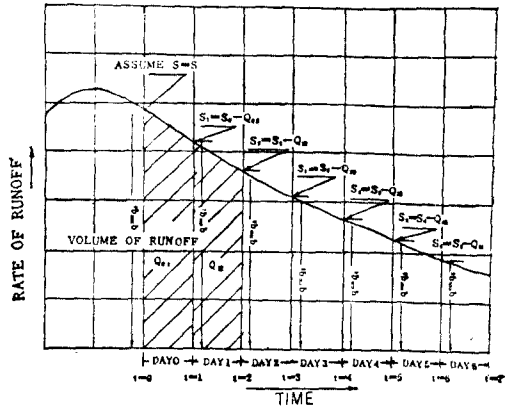


Fig. 1. Recession Curve Analysis

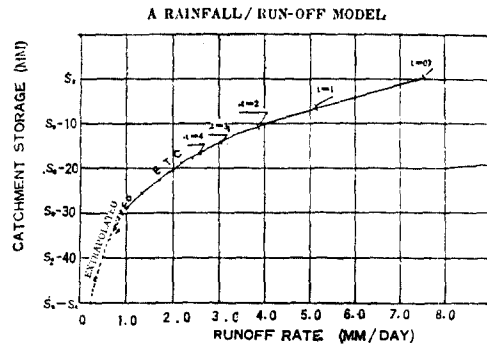


Fig. 2. Catchment Storage/Run-off Rate Relationship

Fig. 1.에서 抽出한 Data를 Fig. 2.와 같이 點畫 (plotting)시킨 結果 S=10mm가 增加하면 q는 倍로 增加하고 S=10mm 減少되면 q=1/2程度로 된다.

이것을 方程式으로 表示하면

$$\Delta S = K \cdot \log_e \left(\frac{q_2}{q_1} \right) \dots \dots \dots (1)$$

여기서 $\Delta S = 10\text{mm}$

$$\frac{q_2}{q_1} = 2 \text{ 일 때, } k = \left(\frac{10}{\log_e 2} \right) = 14.5\text{mm}$$

IV. 물收支 方程式과의 組合

簡單한 물收支를 導入하면 (2)式과 같이 表示할 수 있다.

$$\frac{ds}{dt} = -q + R - E \dots \dots \dots (2)$$

여기서 R=單位期間의 降雨量, mm/day

E =單位期間의 蒸發量, mm/day

q =單位期間의 流出量, mm/day

(1)式을 微分方程式으로 表示하면

$$\frac{dq}{ds} = \frac{q}{k} \dots\dots(3)$$

蒸發量을 無視할때 ($E=0$)

方程式 (2)과 (3)式을 聯立(組合)하면

$$\frac{dq}{dt} = \frac{dq}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{-q(q-R)}{k} \dots\dots (4)$$

1. $R=0$ 일때, 積分하면

$$\int_{q_0}^{q_r} \frac{-dq}{q^2} = \int_0^T \frac{dt}{k}$$

$$\frac{1}{q_r} - \frac{1}{q_0} = \frac{T}{k} \quad \text{or} \quad \frac{q_r}{q_0} = \frac{1}{(1+z)}$$

.....(5A)

where $Z = q_0 \cdot \frac{T}{k}$

2. $R \neq 0$ 일때

$$\int_0^T \frac{dt}{k} = \int_{q_0}^{q_r} \frac{dq}{q(q-R)} = \int_{q_0}^{q_r} \frac{dq}{R} \left\{ \frac{1}{q-R} - \frac{1}{q} \right\}$$

或은

$$-\frac{RT}{k} = \left[\log e(q-R) - \log e q \right]_{q_0}^{q_r}$$

$$= \log e \left\{ \frac{q_0(q_r-R)}{q_r(q_0-R)} \right\}$$

$$X = e^{-\frac{RT}{k}} \quad Y = \frac{R}{q_0} \text{를 代入하면}$$

$$\frac{q_r}{q_0} = \frac{1}{X + \frac{(1-X)}{Y}} \dots\dots(5B)$$

V. 流出量 豫報

蒸發量 및 Interception을 無示할 때

1. 季節的制限(Seasonal limitation)

植生被覆狀態에 따라 降雨遮斷 및 蒸發量을 降雨量, 關係式에서 無視할 境遇에 Dee江流域에서 關係式 (5A)와 (5B)는 一般的으로 當該年 10월부터 翌年 3月까지는 流量曲線(Hydrograph of Rirer flow)에 任意의 時間間隔 T 를 定해서 懸案地點에서 段階的으로 洪水豫報하는데 使用可能한것으로 判定되었다. 本 Model에서 時間間隔 T 를 增加시키려면 降雨期間中의 降雨強度變化에 重點을 두고 施行하

여야 한다. 試驗結果 Dee江 支流인 Ceiriog에서는 2時間 間隔이 適當하였다.

2. 水文曲線圖豫測(Predicted Hydrographs)

數個 冬季減勢曲線을 相異한 Duration에 對한 K 值變量調査를 實施하였든바 그 範圍는 10mm~25 mm로 나타났는데, 大部分의 地域에서는 14mm로 나타났다. 降雨量이 많은 流域에서는 降雨量/流出量 Model에 降雨資料를 入力시킬 때는 다음 結果

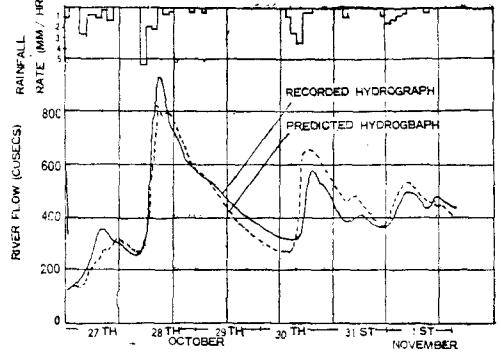


Fig. 3. Hydrograph Prediction 27/10/67 to 1/11/67* 1967 (1 cfs=0.0283m³/s)

를 考慮해야한다. 流域中央地域에 位置한 自動計測記錄 Data를 利用하여 分析한 結果 全流域平均降雨量과 比較하면 月間 Error가 ±8% 以內였으나, 短期間記錄을 入力시켰을 때에는 20% 以上의 Error가 생겼다. 그러나 이것은 그리 不合理한 것은 아니라고 生覺된다.

本稿에서는 6日間의 降雨 Data로서 實測值와 豫測值를 Fig. 3. 에서와 같이 比較作圖하였으며, 降雨量에 依한 流出量豫報 計算例를 Table 1에 收錄하였다. 最初에는 實測流量(126 cfs, 2.72mm/日)으로 計算 始作하여 2시간後(2.2mm/2hr 강우後)에 平均降雨量(26.4mm/日)을 降雨曲線圖에서 抽出하고 X, Y 의 값을 求한다. 公式(5B)을 사용하여 $\frac{q_r}{q_0}$ 의 값을 구하고 이어서 q_r (3.13mm/日)를 計算한다. 以上과 같이 求한 q_r 를 다음 2시간後에 $\frac{q_r}{q_0}$ 의 값을 求할 때 q_0 로 適用하고 順次的으로 上述한 方法에 의해 反復過程을 하면 된다.

萬一 2시간間의 降雨量이 없을 境遇엔 Z 의 값과 公式(5A)를 利用하여 $\frac{q_r}{q_0}$ 를 算定한다.

觀測值들은 다음과 같은 關聯性이 있는데

(가) 降雨/流出 Model로서 算定되는 q 는 全流域 內에서 推定한 平均降雨量에 相當한 量이 내렸을때

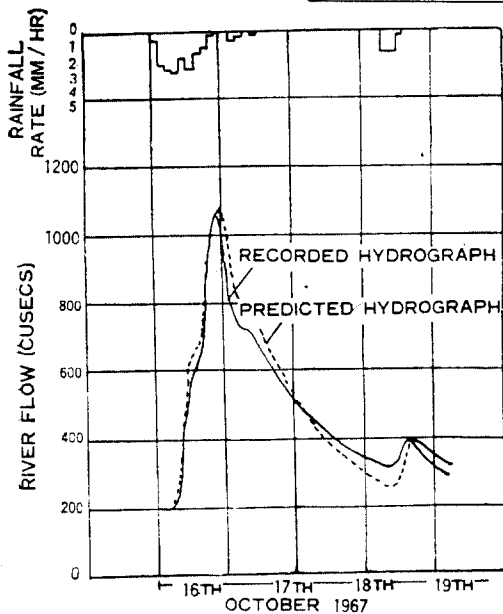


Fig. 4. Hydrograph Prediction 16/10/67 to 19/10/67 (1cfs=0.0283m³/s)

그 流域全體面積에 對한 값으로서 流域內에서 地域的으로 降雨強度의 差異가 있을수 있으나 考慮하지 않으며, 河川에 貯溜로 因한 Hydrograph의 變形도 考慮치 않는다. 그러나 例를 들어 降雨增加로 因하여 河川流量이 平水量에서 洪水量으로 變動할 境遇엔 Model에 依한 q가 懸案地點에 到達하는 lag-time 을 고려하는 것이 妥當할것이다. Table 1에 豫測 流出量을 Fig. 3에 plot하기 前에 lag-time만큼 Set-Back 해야한다.

(나) 降雨觀測 Data上에 誤差도 있을수 있지만 實測 Hydrograph와 豫測 Hydrograph는 相當히 잘 符合된다. 이때에 最大 差異는 約 22% 程度이나 一般的으로 ±16% 以內이다. Fig. 3의 Hydrograph에서 流出量의 標準誤差는 約 7%이나, 이것은 冬季 單獨 降雨期間에 降雨/流出 Model의 正確度를 表示하는 代表的인 값이다. Fig. 4는 實測值과 豫測 值를 比較한 것이다.

(다) 豪雨期間中에 Automatic telemetry system 또는 綜合計測裝置 및 水位計를 利用해 洪水豫測

Table-1. Hydrograph豫測 67. 10. 27~67. 10. 29 K=14mm; 1mm/日=46. 3cfs;

$$X=e^{-RT/K}; Y=\frac{R}{q_0} (1cfs=0.0283m^3/s) \quad Z=\frac{q_0 \cdot T}{K}; T=\frac{1}{12} \text{ day}$$

日 字	時 間	降雨 (R) mm/日	初期流出 (q ₀), mm/日	X	Y	Z	q _r / q ₀ (5A) or (5B)	最終流出量	
								mm/日	cfs
27日	09:00	26.4	2.72	0.855	9.71		1.150	3.13	145
	11:00	1.2	3.13	0.993	0.383		0.989	3.09	143
	13:00	3.6	3.09	0.979	1.165		1.003	3.10	143
	15:00	61.2	3.10	0.695	19.75		1.407	4.37	202
	17:00	22.8	4.37	0.873	5.22		1.115	4.87	226
	19:00	21.6	4.87	0.879	4.43		1.104	5.37	249
	21:00	26.4	5.37	0.855	4.91		1.131	6.07	281
	23:00	6.0	6.07	0.965	0.988		1.000	6.07	281
	01:00	33.6	6.07	0.819	5.53		1.174	7.13	330
	03:00	2.4	7.13	0.987	0.337		0.975	6.95	322
	05:00	—	6.95			0.041	0.960	6.68	309
	07:00	—	6.68			0.040	0.962	6.42	297
28日	09:00	—	6.42			0.038	0.963	6.18	286
	11:00	—	6.18			0.037	0.965	5.96	276
	13:00	132.0	5.96	0.455	22.15		2.085	12.43	575
	15:00	46.8	12.43	0.756	3.76		1.220	15.17	703
	17:00	51.6	15.17	0.735	3.40		1.230	18.67	865
	19:00	2.4	18.67	0.987	0.129		0.920	17.17	795
	21:00	18.0	17.17	0.899	1.048		1.004	17.23	797
	23:00	14.4	17.23	0.918	0.835		0.985	16.96	785
	01:00	2.4	16.96	0.987	0.142		0.928	15.73	728
	03:00	—	15.73			0.094	0.914	14.39	657

	05 : 00	—	14.39			0.086	0.921	13.25	613
	07 : 00	14.4	13.25	0.918	1.088		1.007	13.34	618
29日	09 : 00	2.4	13.34	0.987	0.179		0.943	12.60	583
	11 : 00	14.4	12.60	0.918	1.143		1.012	12.73	590
	13 : 00	—	12.73			0.076	0.930	11.84	548
	15 : 00	—	11.84			0.071	0.934	11.07	512
	17 : 00	1.2	11.07	0.993	0.108		0.946	10.47	485
	19 : 00	—	10.47			0.062	0.942	9.86	456
	21 : 00	—	9.86			0.059	0.944	9.31	431
	23 : 00	—	9.31			0.055	0.948	8.82	408
	01 : 00	—	8.82			0.053	0.948	8.37	388
	03 : 00	—	8.37			0.05	0.953	7.97	369
	05 : 00	—	7.97			0.048	0.955	7.61	353
	07 : 00	—	7.61			0.045	0.957	7.27	337
	09 : 00	—	7.27						

방법을 適用할 境遇 不正確한 豫測을 했다면 Table 1에서 最近流量記錄은 適當한 lag-time으로 調整함으로써 System을 원상복귀 시킬수 있다.

3. 結 論

蒸發量과 Rainfall Interception을 無視할 境遇에 本 節雨/流出量 Model로서 任意의 水文觀測地點에서 適正한 Hydrograph를 豫測할 수 있으며, 本 Model은 降雨量 變化에 높은 感應度를 나타냈다. 따라서 $K=14mm$ 가 一般的으로 洪水豫報에 滿足할만한 結果를 주지만 冬 冬節에 地表面이 凍結하는 高山地帶에서는 $K=10mm$ 정도가 보다 適正한 것으로 나타났다. K 變量에 關한 精密調査는 觀測施設이 稠密하게 設置된 試驗流域內에서만 標本觀測으로 可能할 것이다.

本 Model의 長點은 例題와 같이 直接 表를 作成하여 計算할수도 있고 簡單히 computer programme化 할 수 있는 利點이 있다. 또한 本 Model은 1949年 Linsley, Kohler & Paulhus, 1967年 Lamert 등이 提議한 것의 中間媒介로서 河川流量을 分離할 必要가 없으며 降雨對直接流出의 相關性이 要求되는 Unit hydrograph 方法에 比하여 使用이 簡便하다. 다만 Ceiriog江에서의 貯溜 및 流量關係式인 (1)式은 傾斜가 急한 流域에서 適正한 것으로 되어 있지만 任意의 流域에서의 貯溜流出 關係式을 Fig 1, 2에 提示한 方法과 물收支方程式을 導入하여 表示한 (5A)와 (5B)式으로 對應關係를 誘導할 수 있다.

Table-2. Ceiriog江의 平均 日流出量(cfs), 1967
예측치 : Model에 의한 예측
기록치 : 관측소의 기록치(1cfs=0283m³/s)

日 号	4 月		5 月		6 月		비 고
	예측치	기록치	예측치	기록치	예측치	기록치	
1	67	46	28	33	111	139	
2	79	68	27	33	98	122	
3	73	60	31	37	87	109	
4	67	52	41	85	79	98	
5	62	48	51	106	72	88	
6	58	47	68	81	66	79	
7	56	48	83	91	61	73	
8	58	62	106	103	57	67	
9	58	87	95	91	53	61	
10	55	63	85	84	50	57	
11	51	58	77	81	47	53	
12	48	55	74	77	45	51	
13	46	54	80	80	42	47	
14	43	51	97	122	40	44	
15	41	49	180	277	38	42	
16	39	48	154	230	37	39	
17	37	45	130	201	35	37	
18	36	43	112	170	34	35	
19	34	42	111	162	32	33	
20	36	39	101	137	31	31	
21	41	37	110	178	30	30	
22	39	35	148	185	32	31	
23	37	37	207	227	32	32	
24	36	37	219	262	41	55	
25	38	39	192	232	50	48	
26	34	39	156	191	47	37	
27	32	38	183	206	59	36	

山間流域에서의 降雨量/流出量에 關한 綜合 Model 解析

28	31	35	182	208	59	33
29	30	35	163	204	55	30
30	29	34	139	184	51	29
31			128	157		

Interception store는 降雨觀測網이 稠密해야 하는 條件이 要望나되 Table 2의 값은 實測降雨量에 의한 것이다. Synthetic Rainfall로 算定한 流出量은 既存값들과 相當히 近接함을 보여주고 있다.

VI. 流出量豫測

蒸發 및 Interception의 有意性

流域植生被覆面에서의 降雨貯溜와 蒸發量을 同時에 考慮하는 流域綜合數學模型(Comprehensive Mathematical Catchment Model)에 降雨量/流出 Model을 擴大使用하는 것은 實測蒸發量과 正確한 降雨 Data의 未洽으로 極히 限定되어 使用되어 왔다. 夏節期 Recession curve 檢討에서 季節別로 變化하는 最大 K값은 Interception에서 大部分이 蒸發되는 關係로 冬季節에서 發生한 K值와는 若干의 差異밖에 없었다. Table 2에 收錄된 內容은 Ceir-log流域內 三個月間 降雨量(2時間間隔)資料를 入力 시켜 Computer에 依하여 Model을 修正한後 實測日 平均 流量과 豫測值를 比較하여 나타낸것으로 Crude 地點에서의 값이다. 보다 精密하고 適正한 Seasonal

VII. 例 題

上述한 內容을 實際 應用에 理解를 돕기 爲하여 實測降雨와 流量을 가지고 24時間後의 流出量을 豫測하여 보면 다음 豫算表와 같다.

資料: 流域面積, 33.9km² (River Dee)

日字: 1977. 12.5 07:00

使用公式은 Dee流域에서 一般式 $q=f(s)$

即 $S=K \log e q \dots \dots (1)$ 과 Water Balance式인

$\frac{ds}{dt} = -q + R - E \dots \dots (2)$ 式을 聯立한 Lambert eq 을 使用하기로 한다.

$$R=0; q_r=q_0 \frac{1}{(1+Z)}$$

여기서 $Z = \frac{q_0 \cdot T}{K}$

$$R \neq 0; q_r = q_0 \frac{1}{\left[X + \frac{(1-X)}{Y} \right]}$$

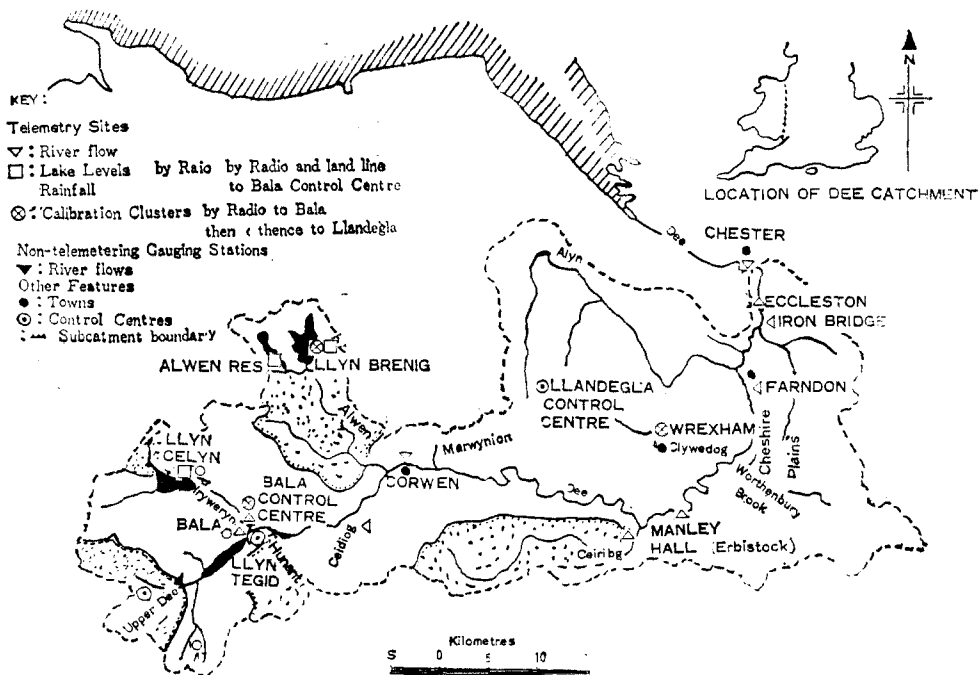


Fig. 5. Dee catchment area

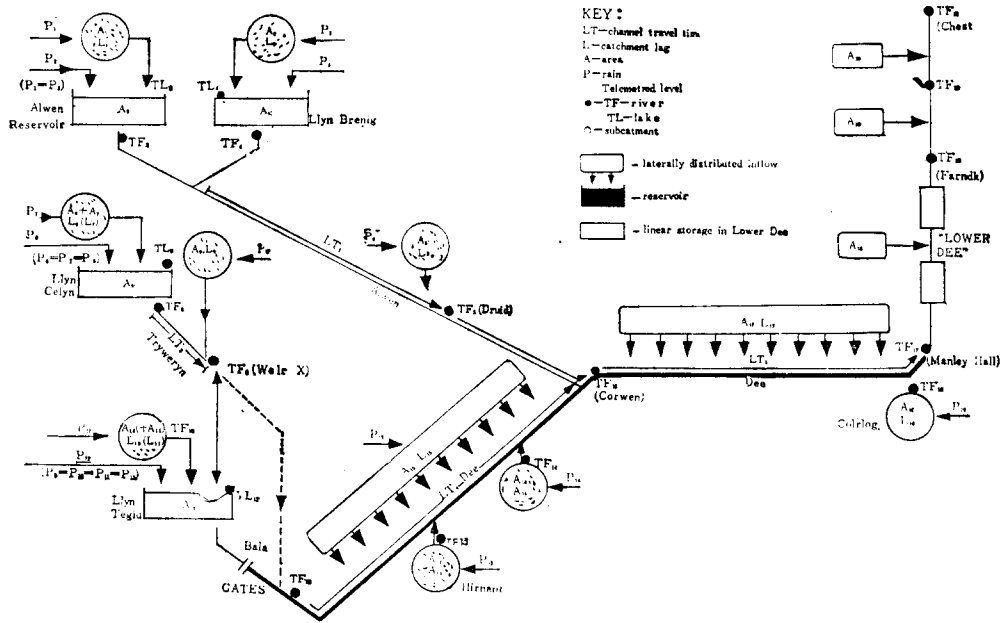


Fig. 6. Schematic diagram of the Dee system

$$\text{여기서 } X = e^{-\frac{RT}{K}}$$

$$Y = \frac{R}{q_0}$$

單位 → q_0, q_T : Runoff rate, mm/hr 또는 m^3/sec

R , 강우, mm/hour

T : 시간, 0.5時間

$$q_0(\text{mm/hr}) = \frac{q_0(\text{m}^3/\text{sec}) \times 3.6}{\text{유역면적}(\text{km}^2)}$$

以上과 같은 條件으로서 流域內 parameter ($K=11.7$)로써 다음과 같이 計算한다.

Table-3. 24시간 예측 ($\frac{1}{2}$ 시간 간격) 1977. 12. 5.

日 時 ①	강우량 (mm/ 0.5hr) ②	관측치 (m^3 / sec) ③	예측치 (m^3 / sec) ④	Resid ual (m^3 / sec) ⑤	비 고 ⑥
12月 5日 07:00	1.84	6.523	6.523	0.0	
07:30	1.64	7.468	7.397*	0.071	
08:00	1.56	8.828	8.214**	0.614	
08:30	1.96	10.533	9.025	1.508	
09:00	1.44	12.142	10.216	1.926	
09:30	0.64	12.983	11.011	1.972	
10:00	0.28	13.017	11.062	1.955	
10:30	0.52	12.852	10.782	2.070	

11:00	1.84	12.885	10.735	2.150
11:30	1.76	13.553	11.933	1.620
12:00	1.92	15.243	13.105	2.138
12:30	1.48	18.013	14.504	3.509
13:00	1.16	19.848	15.351	4.467
13:30	1.36	23.095	15.823	7.272
14:00	2.24	22.486	16.516	5.970
14:30	0.72	23.001	18.474	4.527
15:00	0.08	24.588	18.083	6.505
15:30	0.00	23.142	16.822	6.320
16:00	0.20	20.325	15.629★	4.696
16:30	0.76	18.958	14.837	4.121
17:00	0.44	17.254	14.803	2.451
17:30	0.12	15.833	14.385	1.448
18:00	0.12	15.316	13.639	1.677
18:30	0.40	14.701	12.972	1.729
19:00	0.24	14.347	12.665	1.682
19:30	0.00	13.757	12.218	1.539
20:00	0.00	13.116	11.576	1.540
20:30	0.20	12.688	11.998	1.690
21:00	0.44	12.269	10.652	1.617
21:30	0.00	12.110	10.541	1.569
22:00	0.00	11.953	10.059	1.894
22:30	0.12	11.580	9.621	1.960
23:00	0.40	11.274	9.311	1.963

山間流域에서의 降雨量/流出量에 關한 綜合 Model 解析

12月 6日	23 : 30	0.28	11.064	9.238	1.826
	24 : 00	0.72	10.856	9.076	1.780
	0 : 30	0.12	10.621	9.259	1.362
	1 : 00	0.28	10.331	8.975	1.356
	1 : 30	0.00	9.935	8.829	1.106
	2 : 00	0.00	9.630	8.489	1.141
	2 : 30	0.28	9.331	8.174	1.157
	3 : 00	1.24	9.439	8.069	1.370
	3 : 30	0.20	9.575	8.637	0.938
	4 : 00	0.04	9.277	8.452	0.825
	4 : 30	0.44	9.011	8.167	0.844
	5 : 00	0.44	8.932	8.172	0.760
	5 : 30	0.36	8.880	8.176	0.704
	6 : 00	0.48	8.932	8.125	0.807
6 : 30	0.32	8.932	8.158	0.774	
7 : 00	0.20	8.750	8.081	0.669	

計算 : 1) 表에서 12月5日 07 : 00時의 ④欄은 ③欄에서 直接移記
 2) ⑤欄은 ③-④
 3) ⑥欄은 上에서 下로는 各日 다음과 같은 計算過程을 連續的으로 하여 얻는다.
 卽 ④의 * 表示 數値는

$$R \text{ 卽일 때 } R=1.84\text{mm}/0.5\text{hr} \text{ (②欄)}$$

$$K=11.7$$

$$R(\text{mm}/\text{hr})=1.84 \times 2=3.68\text{mm}/\text{hr},$$

$$q_0(\text{m}^3/\text{sec})=6.523$$

$$X=e^{-\frac{RT}{K}} = e^{-\frac{3.68 \times 0.5}{11.7}} = 0.8547$$

$$q_0(\text{mm}/\text{hr}) = \frac{6.523 \times 3.6}{33.9} = 0.692\text{mm}/\text{hr}$$

$$Y = \frac{R}{q_0} = \frac{3.68}{0.692} = 5.312$$

$$q_T = 6.523 \times \frac{1}{0.8547 + \left(\frac{1-0.8547}{5.312}\right)} = 7.397\text{m}^3/\text{sec}$$

** : $R=1.64\text{mm}/0.5\text{hr}$

$$R_0=1.64 \times 2=3.28\text{mm}/\text{hr}$$

$$X=e^{-\frac{RT}{K}} = e^{-\frac{3.28 \times 0.5}{11.7}} = 0.869$$

$$q_0=7.397\text{m}^3/\text{sec}$$

$$= \frac{7.397 \times 3.6}{33.9} = 0.786\text{mm}/\text{hr}$$

$$Y = \frac{R}{q_0} = \frac{3.28}{0.786} = 4.17$$

$$q_T = 7.397 \times \frac{1}{0.869 + \left(\frac{1-0.869}{4.17}\right)}$$

$$= 8.214\text{m}^3/\text{sec}$$

*** : $R=1.56\text{mm}/0.5\text{hr}$

$$R_0=1.56 \times 2=3.12\text{mm}/\text{hr}$$

$$X=e^{-\frac{3.12 \times 0.5}{11.7}} = 0.875\text{m}^3/\text{sec}$$

$$= q_0=8.214\text{m}^3/\text{sec} \frac{8.214 \times 3.6}{33.9}$$

$$= 0.872\text{mm}/\text{hr}$$

$$Y = \frac{R}{q_0} = \frac{3.12}{0.872} = 3.577$$

$$q_T = 8.214 \times \frac{1}{0.875 + \left(\frac{1-0.875}{3.577}\right)}$$

$$= 9.025\text{m}^3/\text{sec}$$

★ : $R=0.00$

$$q_T = q_0 + 1 \frac{1}{1+Z}$$

$$q_0=16.822\text{m}^3/\text{sec} \frac{16.822 \times 3.6}{33.9}$$

$$= 1.786\text{mm}/\text{hr}$$

$$Z = \frac{1.786 \times 0.5}{11.7} = 0.076$$

$$q_T = 16.822 \times \frac{1}{1+0.076}$$

$$= 15.629\text{m}^3/\text{sec}$$

以上과 같이 Table 3의 ④의 값들을 順序的으로 計算할 수 있다.

References

Collinge, V.K. 1966 River Management Symposium (Maclaren and Son, Ltd).

Lambert, A.O. 1967 Journ. I.W.E. Vol. 21(Aug) p525, "An Investigation into Infiltration and Interception Rates During Storm Rainfalls and their Application to Flood prediction".

Linsley, R.K. 1967 Journ of Hydrology, Vol V, No4, "The Relation between Rainfall and Runoff".

Linsley, R.K. Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H. 1949 "Applied Hydrology", Chapter 16 (Mc Graw Hill Book Company, New York and London).

Nash, J.E. 1966 "River Engineering and Water Conservation Works," Ed. R. B. Thorn (Butterworths, London).

Watkins, L. H. 1962 "The Design of Urban Sewer Systems" (D.S.I.R., Road Research Technical Paper No.55, H.M. Stationery office, London).