

降雨—流出 解析의 基礎와 應用 (I 報)

—降雨記錄의 整理 및 解析—

李 淳 赫*

1. 緒 論

우리나라의 發展하는 經濟와 文明의 發達は 日常生活을 爲한 生活用水는 勿論 工業化를 爲한 工業用水, 農業의 近代化를 爲한 農業用水의 急増하는 需要에 對處해야만 하는 現今에 이르렀다. 이러한 産業發展에 原動力이 되는 水資源 開發 및 保全을 如何히 해나갈 것인가 하는 것은 매우 重要且大한 課題이 아닐수 없다. 특히 우리 나라와 같이 主産業이 農業生産이라는 점에서 볼때 水資源의 確保는 더욱 重要하며 近來 農地의 高度利用과 營農의 近代化 및 食糧增産을 爲하여 大單位 農業用水開發計劃 및 農地保全이 重要한 課題로 登場하고 있다. 이를 爲해서는 보다 合理的인 用水源施設의 設計 및 施工이 뒤따라야만 한다. 그러나 우리나라는 아직까지도 이들 水文設計에 必要한 諸般 公式들을 外國의 公式들을 多少 修正하여 쓰는 경우도 있으나 때로는 그대로 받아들여 쓰고 있는 경우가 많아, 이는 氣候의 異나 地形의 異로 相異한 우리나라의 水文學的인 條件에 비추어 볼때 큰 모순이 아닐수 없다. 이에 筆者는 水資源 開發 및 保全을 爲한 水文學的 設計의 根幹이 되는 降雨과 流出解析의 基礎와 이에 關聯된 例題, 應用을 添加하여서 水文 初步者라도 쉽게 理解할수 있고 應用할수 있도록 內容을 展開해 나가고자 한다.

2. 降雨 缺測 記錄의 補完

어느 觀測所에서 얼마기간 동안 雨量計의 故障이나 其他 事情에 依해 觀測記錄이 中斷되어 그 期間 동안의 記錄을 推定補完 해야할 必要가 생기게 된다. 이 缺測值를 補完하기 爲해서는 그 觀測所에서 되

도록이면 가까운 距離에 있는 3個 觀測所의 缺測期間에 該當하는 記錄을 利用하여 다음 4가지 方法에 依해 補完한다. 첫째로 3 觀測所의 30年 以上の 年平均降雨量과 缺測值를 가진 觀測所의 年平均降雨量과의 差가 10% 以內인 境遇에는 3個 觀測所에서의 缺測期間 동안의 記錄值를 算術平均하여 缺測補完值로 하고 두번째 方法으로는 3個 觀測所中의 어느 한 觀測所라도 그 差가 10% 以上일 경우에는 30年 以上の 年平均降雨量의 比率를 곱하는 平均比率法(Normal ratio method)을 쓴다. X 라는 觀測所에서의 缺測期間에 該當하는 降雨量

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right) \quad (1-1)$$

여기서 P_x 는 降雨量, N 은 正常年平均降雨量, A, B, C 는 주위의 3個 觀測所, X 는 缺測된 觀測所이다. 셋째로 缺測值를 가진 觀測所 X 의 附近에 但 1個의 A 觀測所만이 있다면 이때는 單純比例法에 依해 補完한다.

$$P_x = \frac{P_A}{N_A} N_x \quad (1-2)$$

여기서 P_x, N_x 는 X 觀測所에서의 缺測期間에 該當하는 降雨量과 正常年平均 降雨量이며 P_A 와 N_A 는 A 觀測所에서의 降雨量 및 正常年平均降雨量이다.

넷째로 美國氣象局에서 使用하는 方法을 紹介하면 그림 1-1에서 보는바와 같이 缺測된 觀測所 X 를 原點으로해서 x, y 軸을 取하고 觀測所 X 를 基點으로 하여 觀測所 A, B, C, D, E 및 F 까지의 距離를 $\Delta x, \Delta y$ 로 하여 거리의 自乘, $D^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$ 으로 한다.

여기에서 거리自乘의 逆數를 W 로 놓고 X 觀測所에서의 缺測值를 式(1-3)에 의거 補完한다.

$$P_x = \frac{\sum (P_i \times W_i)}{\sum W_i} \quad (1-3)$$

여기서 P_x 는 X 觀測所의 缺測補完值

* 忠北大學校 農科大學

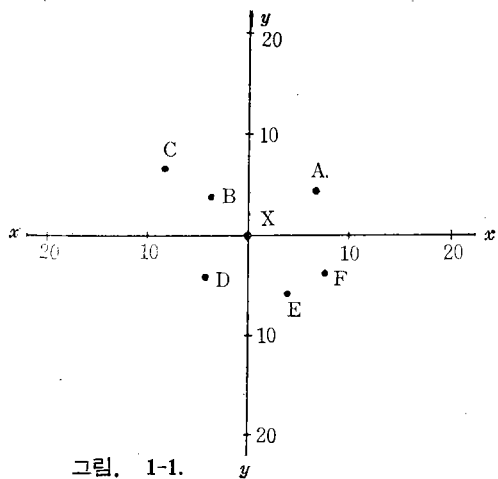


그림. 1-1.

P_i 는 X관측소 주위의 觀測值
 W_i 는 X관측소에서 隣近 各 觀測所까지의
 距離 自乘의 逆數

【例題 1】 X雨量觀測所에서 豪雨期間中 降雨量이 缺測된 일이 發生하였다. 이 期間中 周圍 3個 觀測所 A,B,C의 降雨量은 98mm, 118mm, 110mm 이었으며 X,A,B,C 觀測所의 正常年平均 降雨量은 各各 910mm, 950mm, 1,115mm, 1,050mm 이었다. X觀測所에서의 缺測降雨量을 求하여라.

【解】

觀測所	X	A	B	C
降雨量		98	118	110
正常年平均降雨量	910	950	1,115	1,050

$$\frac{N_B - N_X}{N_X} = \frac{1,115 - 910}{910} = 0.225 > 10\%$$

誤差가 10% 以上이므로 式(1-1)의 平均比率法을 使用하여야한다. 단약 10% 以內인 경우에는 3個 觀測所에서의 降雨量을 算術平均하면 된다.

$$P_X = \frac{1}{3} \left(\frac{N_X}{N_A} P_A + \frac{N_X}{N_B} P_B + \frac{N_X}{N_C} P_C \right)$$

$$= \frac{1}{3} \left(\frac{910}{950} 98 + \frac{910}{1,115} 118 + \frac{910}{1,050} 110 \right)$$

$$= 95.17\text{mm}$$

【例題 2】 그림 1-1과 같은 X觀測所 缺測期間中 周圍의 A,B,C,D,E, 및 F의 降雨記錄值가 다음 표-1과 같다. X觀測所에서의 缺測值를 補完하라.

表-1. 各 觀測所 別 降雨量

觀測所	X	A	B	C	D	E	F
降雨量(mm)	?	75	70	68	59	65	72

【解】 먼저 各 觀測所別 $\Delta x, \Delta y$ 에 依해 D^2 을 求한 다음 式(1-3)에 의거 X觀測所의 觀測值를 補完한다.

表-2. X觀測所의 缺測值 計算

觀測所	降雨量(mm)	Δx	Δy	D^2	$W \times 10^3$	$P \times W \times 10^3$
X	—	—	—	—	—	—
A	75	7	5	74	13.5	1,012.5
B	70	3	3	18	55.6	3,892.0
C	68	8	7	113	8.8	598.4
D	59	4	4	32	31.3	1,846.7
E	65	3	6	45	22.2	1,443.0
F	72	8	3	73	13.7	986.4
Σ	—	—	—	—	145.1	9,779.0

$$P_X = \frac{\Sigma(P_i \times W_i)}{\Sigma W_i} = \frac{9,779.0}{145.1} = 67.4\text{mm}$$

3. 二重累加雨量分析(Double Mass Analysis)

降雨觀測所에 있어서 만약 雨量計의 位置, 雨量計의 型, 觀測方法 내지는 周圍環境에 變化가 생겼을 때 雨量에도 變化가 나타나게 된다. 이로써 降雨資料의 一貫性(Consistency)이 없게되는 結果를 가져오게 된다. 故로 이를 校正하기 위하여 이용하는 方法을 二重累加雨量分析 이라한다. 이는 어떤 觀測所의 年別 또는 季節別 降雨量의 累計와 이 觀測所를 둘러싸고 있는 周圍觀測所들의 平均雨量의 累計를 同一한 時間에 대해서 求한후 이들을 比較함으로써 上述한 觀測所의 記錄의 一貫性을 檢討하는 것이다. 이 分析을 爲해서는 附近의 10個 以上의 觀測所를 選擇하여야 한다. 이 分析 方法을 適用할 때에는 그림에서 傾斜의 變化가 最少限 5年 以上 繼續되지 않을 때 위에서 말한 雨量計의 位置, 觀測方法 등의 變化에 依한 傾斜의 變化라고 速斷해서는 안되며 充分한 檢討와 注意를 기울여야 한다.

【例題 3】 X雨量觀測所와 附近 20個 觀測所에 대한 平均年降雨量은 다음의 표-3과 같다. 資料의 修正이 必要하다면 二重累加雨量分析에 依해 修正하고 變化가 생기기 始作한 年度 以後의 修正된 X觀測所 平均年雨量을 修正前과 比較하라.

表-3. 二重累加雨量 分析

年 度	年 度 別 강우량(mm)		年 강우량 누가치(mm)	
	X관측소	20개 관측소 평균치	X관측소	20개 관측소 평균치
1944	1,007	878	27,794	28,603
1945	1,254	1,084	26,787	27,725

1946	1,165	940	25,533	26,641
1947	825	691	24,368	25,701
1948	1,295	1,045	23,543	25,010
1949	1,060	911	22,248	23,965
1950	950	825	21,188	23,054
1951	925	813	20,238	22,229
1952	1,108	845	19,313	21,416
1953	1,170	1,052	18,205	20,571
1954	818	855	17,035	19,519
1955	603	759	16,217	18,664
1956	621	712	15,614	17,905
1957	606	759	14,993	17,193
1958	893	924	14,387	16,434
1959	850	1,015	13,494	15,510
1960	853	945	12,644	14,495
1961	572	704	11,791	13,550
1962	537	704	11,219	12,846
1963	615	695	10,682	12,142
1964	880	995	10,067	11,447
1965	756	789	9,187	10,452
1966	617	743	8,431	9,663
1967	774	851	7,814	8,920
1968	752	865	7,040	8,069
1969	888	1,008	6,288	7,204
1970	920	1,120	5,400	6,196
1971	456	513	4,480	5,076
1972	870	1,045	4,024	4,563
1973	731	760	3,154	3,518
1974	785	897	2,423	2,758
1975	1,025	1,149	1,638	1,861
1976	613	712	613	712

〔解〕 表-3에서 보는바와같이 X觀測所와 附近 20個 觀測所의 年度別 降雨量으로부터 累加值를 求하여 1944년도 부터 1976년까지 계산하였다. 이들의 累加值를 그려본 結果 그림 1-2에서 보는바와 같이 1954년 이전과 이후의 資料가 異質性임을 알수 있다. 그림에서 2직선의 傾斜를 求하면 각각 1.20, 0.851이다. 이로서 X觀測所의 1954年 以前의 年降雨量 資料는 傾斜比 $\frac{0.851}{1.20} = 0.709$ 를 곱하여 修正하면 全 資料가 一貫性을 갖게된다고 볼수있다. X觀測所의 33年間에 걸친 年平均降雨量을 表-3으로부터 計算하면

1) 資料를 修正하지 않을 경우

$$R_{m1} = \frac{X觀測所의 總累加雨量}{總記錄年數} = \frac{27,794}{33} = 842.2mm$$

2) 資料를 修正할 경우

$$R_{m2} = \frac{(1955\sim 1976年 累加值 + 1944\sim 1954年 累加值)}{總記錄年數} = \frac{16,217 + (27,794 - 16,217) \times 0.709}{33} = 740.2mm$$

4. 流域의 面積雨量

治水나 利水計劃을 爲해서는 어느 地點의 降雨量보다 對象地域에 내린 降雨量이 더 重要하다. 이를 面積雨量(Area rainfall)이라고 하고 이는 直接 觀測할 수 없고 流域內의 觀測所에서 觀測한 값인 地點雨量으로부터 計算하여 推定한다.

一般의으로 面積雨量을 推定하는에는 對象地域의 面積이 5~10km²程度 以下로서 降雨의 地域分布가 적은 地域에서는 1~2點이 必要하며 對象地域이 50km²以上이며 精密度가 높은 面積雨量을 求하려는 적어도 3點의 觀測點이 必要하다고 본다. 平均面積雨量을 求하는 方法으로는 算術平均法, Thiessen法 等雨量線法, 格子法, 降水量高度法 및 平均面積高度法 等の 여러가지가 있으나 여기에서는 比較의 많이 使用되고있는 算術平均法, Thiessen法, 等雨量線法 만을 說明하기로 한다.

가. 算術平均法(Arithmetic mean method)

가장 簡單한 方法으로서 流域內 觀測地點의 地點降雨量을 算術平均하여 面積雨量을 求하는 方法이다. 各 觀測地點의 降雨量을 R₁, R₂, ..., R_n 이라하고 n을 觀測點의 數라면 面積雨量 R는 다음과 같다.

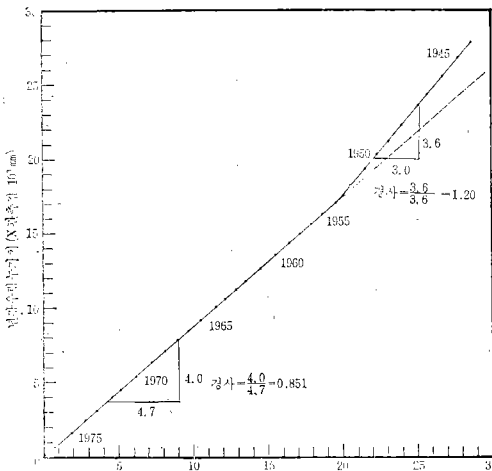


그림. 1-2. 년강우량 누가치(20개 관측소 평균치 10⁶mm)

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (1-4)$$

이 방법은 降雨에 對한 山岳 効果, 雨量計의 分布 狀態 및 密度 等에 어떠한 考慮도 되지 않았기 때문에 되도록이면 降雨 分布가 均一한 平野 地帶에서 使用하는 것이 좋다.

나. Thiessen法

雨量計가 流域內에 不均一하게 分布되어 있을 경우 使用하며 全 流域面積에 對한 各 觀測點의 地 貌面積比를 加重因子(weighing factor)로 하여 이 를 各 雨量值에 곱하고 合算한 後 이들을 全體 流 域面積으로 나누어 面積雨量를 求하는 方法으로서 一名 Thiessen의 加重法 이라고도 한다. 對象地域 內외의 觀測點에 對한 降雨量을 各各 R_1, R_2, \dots, R_n , 이에 對應하는 面積을 A_1, A_2, \dots, A_n 이라면 面積雨量 \bar{R} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \\ &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A} \\ &= W_1 R_1 + W_2 R_2 + \dots + W_n R_n \quad (1-5) \end{aligned}$$

式에서 W_i 는 加重因子로 $W_1 = \frac{A_1}{A}, W_2 = \frac{A_2}{A} \dots$

$$W_n = \frac{A_n}{A}$$

이 方法에 依한 作圖 順序는 다음과 같다.

- ① 地圖上에 各 觀測點의 位置와 降雨量을 表示한 後 되도록이면 正三角形이 되도록 全 地域에 걸쳐 그림 1-3과 같이 點線의 三角網을 만든다.
- ② 各 三角形의 各 邊에 垂直二等分線을 그어 各 觀測點의 周圍에 多角形을 만든다.
- ③ 多角形으로 둘러싸인 面積이 各 雨量計의

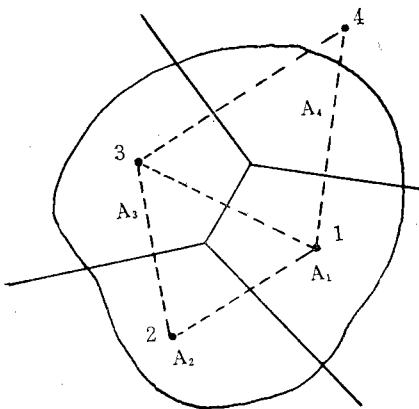


그림. 1-3. Thiessen法에 依한 面積 分割

支配面積이 되며 이 面積을 求積器(planimeter)로 求한다.

다. 等雨量線法(Isohyetal method)

이 方法은 山岳의 影響을 考慮한 것으로서 對象地域의 地形圖上에 對象地域 內외의 降雨記錄을 利用하여 10~30mm 간격으로 等雨量線圖(Isohyetal map)를 그린後 各 等雨量線間의 面積을 求積器로 求한다. 다음 全流域面積에 對한 等雨量線間 面積比를 該當 等雨量線 間의 平均雨量에 곱하여 合計하고 이를 全面積으로 나누면 面積雨量를 求하게 된다.

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i R_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1-6)$$

等雨量線圖를 그리는 方法은 그림 1-5에서 보는 바와같이 A, B點의 降雨量을 R_A, R_B 라하고 AB線上에서 等雨量線 間隔을 r 이라고 할때 等雨量線이 通過하는 地點을 a_1, a_2 로하고 A로부터 a_1, a_2 까지의 水平距離를 d_1, d_2 라 하면

$$\frac{R}{D} = \frac{r_1}{d_1}, \quad \frac{R}{D} = \frac{r_2}{d_2}$$

$$\therefore d_1 = \frac{D}{R} r_1, \quad d_2 = \frac{D}{R} r_2. \quad (1-7)$$

上式으로 a_1, a_2 가 각각 求해진다.

[例題 4] 그림 1-5의 下端에서와 같이 A, B點의 降雨量을 各各 163mm, 195mm, A, B의 水平距離를

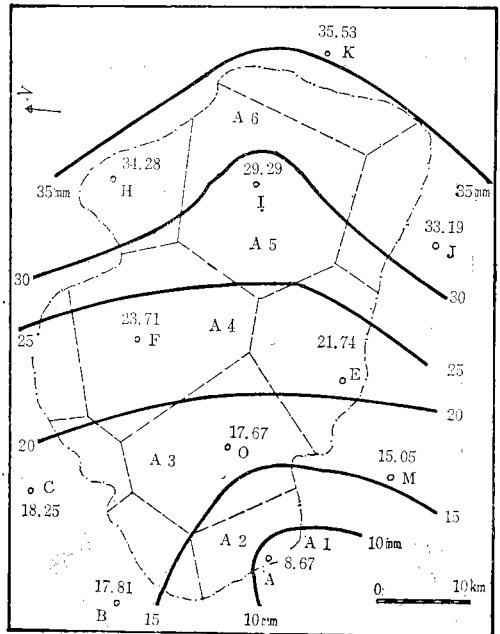


그림. 1-4. Thiessen法과 等雨量線法

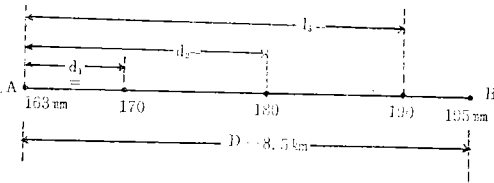
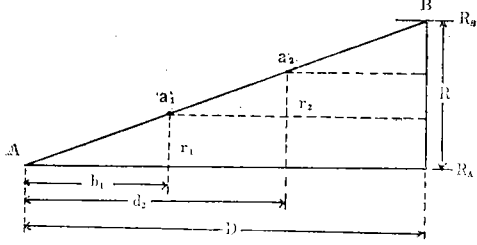


그림. 1-5. 等雨量線 作圖法

8.5km라 할때 10mm 간격의 等雨量線이 지나는 點의 位置를 求하여라.

[解] A, B, 관측점의 경우 差

$$R = R_B - R_A = 195 - 163 = 32\text{mm}$$

10mm 간격의 等雨量線 이므로 A點에서 B點으로 가면서 170mm, 180mm, 190mm가 되므로

$$r_1 = 170 - 163 = 7\text{mm}$$

$$r_2 = 7 + 10 = 17\text{mm}$$

$$r_3 = 17 + 10 = 27\text{mm}$$

$$D = 8.5\text{km}$$

$$\therefore d_1 = \frac{D}{R} \cdot r_1 = \frac{8.5}{32} \times 7 = 1.86\text{km}$$

$$d_2 = \frac{D}{R} \cdot r_2 = \frac{8.5}{32} \times 17 = 4.52\text{km}$$

$$d_3 = \frac{D}{R} \cdot r_3 = \frac{8.5}{32} \times 27 = 7.17\text{km}$$

관약 1/50,000 地形圖를 使用했다면 d_1, d_2, d_3 의 圖上距離는

$$d_1 = \frac{1.86 \times 1,000 \times 100}{50,000} = 3.72\text{cm}$$

$$d_2 = \frac{4.52 \times 1,000 \times 100}{50,000} = 9.04\text{cm}$$

$$d_3 = \frac{7.17 \times 1,000 \times 100}{50,000} = 14.34\text{cm}$$

表-4. 觀測所別 降雨量

관측소명	A	B	C	D	E	F
우량(mm)	8.67	17.81	18.25	17.67	21.74	23.71
관측소명	G	H	I	J	K	
우량(mm)	24.95	34.28	29.29	33.19	35.53	

[例題 5] 그림. 1-4와 같은 流域에 降雨가 發生하였다. 流域內의 6個 觀測所와 流域外의 5個 觀測所에서 測定된 雨量은 表-4와 같다. 이 流域의 面積雨量을 Thiessen法 및 等雨量線法에 依해서 求하라.

[解] 1) Thiessen法

式(1-5)에 表-5의 값을 代入하면

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$= W_1 R_1 + W_2 R_2 + \dots + W_n R_n$$

$$= \frac{41634.6}{1687} = 24.67 \div 24.7\text{mm}$$

表-5. Thiessen法에 依한 計算

觀測所名	雨量 R_i (mm)	多角形面積 A_i (km ²)	Thiessen 加重因子 (W_i)	$W_i R_i$	$A_i R_i$
A	8.67	90	0.053	0.47	780.3
B	17.81	72	0.043	0.76	1,282.3
C	18.25	33	0.020	0.36	602.3
D	17.67	249	0.147	2.60	4,399.8
E	21.74	186	0.110	2.40	4,043.6
F	23.71	320	0.190	4.50	7,587.2
G	24.95	62	0.037	0.92	1,546.9
H	34.28	115	0.068	2.33	3,942.2
I	29.29	349	0.207	6.06	10,222.2
J	33.19	115	0.068	2.26	3,816.9
K	35.53	96	0.057	2.01	3,410.9
計	—	1,687	—	24.67	41,634.6

2) 等雨量線法

前述한 等雨量線圖 作圖法에 依해 그린 結果는 그림 1-4와 같고 等雨量線 間의 面積을 求한 後 $A_i R_i$ 를 求한 結果는 表-6과 같다. 表-6의 結果值를 式(1-6)에 代入하면

$$\bar{R} = \frac{\sum A_i R_i}{\sum A_i} = \frac{40663.5}{1687} = 24.1\text{mm}$$

表-6. 等雨量線法에 依한 計算

等雨量線間 面積番號	等雨量線間面積, A_i (km ²)	等雨量線間平均雨量, R_i (mm)	$A_i R_i$
A ₁	14	9.0	126.0
A ₂	116	12.5	1,450.0
A ₃	357	17.5	6,247.5
A ₄	458	22.5	10,305.0
A ₅	316	27.5	8,690.0
A ₆	426	32.5	13,845.0
計	1,687	—	40,663.5

參 考 文 獻

1. A.J. Raudikivi, An advanced introduction to Hydrological Processes and Modelling, Pergamon Press, 1979, pp. 77—92.
2. D.M. Gray, Handbook on the Principles of Hydrology, Water Information Center Publication, 1973, pp. 2.56—2.64.
3. E.F. Schulz, Problems in Applied Hydrology, Water Resources Publications, 1976, pp. 111—117.
4. A.T. Hjelmfelt and J.J. Cassidy, Hydrology for Engineers and Planners, Iowa State University Press, 1975, pp. 56—61.
5. E.M. Wilson, Engineering Hydrology, Macmillan, 1972, pp. 10—14.
6. Warren Viessman, J.W. Knapp and G.L. Lewis, Introduction to Hydrology, Harper & Row Publishers, pp. 21—38.
7. 李淳赫外, 新制 水文學, 鄉文社, pp. 66—77.

식량 절약 식량 자급

- 너와 나의 식량 절약 이룩되는 식량자급
- 오늘의 식량절약 내일의 식량자급
- 식량은 국력이다 절약으로 자급하자
- 절약하는 쌀 한톨에 일어나는 우리경제
- 식량절약 실천하여 식량자급 이룩하자
- 피땀흘려 지은 식량 절약으로 보답
- 너와 나의 식량절약 알뜰생활 이룩하자
- 혼식에 빈부없고 절미에 너나 없다