

線形計劃法으로誘導된代表單位圖를이용한可能最大洪水量算定

Probable Maximum Flood Estimation using Unit Hydrograph
derived by Linear Programming Algorithm

신용노*, 이희승**, 유태상***

1. 序論

Sherman이 제안한 單位圖 기본 개념에 따르면 한 유역에서 일정한 특성을 지닌 호우로 인한 유출 수문곡선은 일정한 특성을 갖는다. 그러나 실제로는 어떤 한 유역에서 여러 호우 사상으로부터 각각 유도된 단위도는 호우마다 다르다. 이는 주로 자료에 대한 오류와 유역을 선형계로 취급한 단위도 이론의 기본 가정의 한계성에 기인한 것이다. 따라서 비례, 중첩, 일정 기저 시간, 유역 특성에 따른 時間不變(Time invariant)인 선형계 이론에 강우의 시간적, 공간적 균일성에 근거한 단위도 이론을 바탕으로 하여 여러 복합 호우로부터 대표 단위도(Multiperiod Representative Unit Hydrograph)를 유도함으로써 단일 복합호우에 의한 단위도 유도에 포함되는 여러가지 문제점을 해결하려는 연구가 Mays(1980, 1982, 1984)등에 의해 진행되었다. 이 방법은 단일 호우로부터 유도된 단위도를 평균하는 방법보다 훨씬 대표성을 가진 것으로 밝혀 졌으며, Singh 등(1976, 1981, 1982)에 의하면 단위도 유도를 위한 9 가지 방법을 비교한 결과 선형계획법(LP), 조합 함수법(HA), 최소 자승법(LS) 등에 의한 방법이 우수한 것으로 평가 되었다. 특히 선형계획법에 의한 방법은 다소의 자료에 오류가 포함되어 있을 경우에 최적치, 즉 대표 단위도를 얻는데 효과가 좋은 것으로 밝혀졌다. 따라서 본 연구에서는 수분 최대화, 호우전이 및 포락 등 水文 氣象學的方法으로써 傳統的方法(Traditional Approach)을 채택하여 昭陽江댐의 可能 最大 降水量(PMP)를 추정하였으며, 可能 最大 洪水量(PMF) 산정을 위하여 적용된 단위도는 유역에 발생했던 여러개의 호우사상을 동시에 고려하여 분산값을 최소화 하는 최적화 기법을 적용하였다.

2. 可能 最大 降水量(PMP)

가. PMP의 概念的 定義

Paulhus와 Gilman(1953)에 의하면 기상학적 방법으로 수문 설계를 위한 강수량을 유도하는 개념은 1930년대 중엽부터 도입된 것으로 알려져 있다. 물론 이러한 기상학적 개념이 도입되어 사용되어 왔으나 확정적인 개념이 수립되지 않았던 관계로 설계 강수량의 값은 수문학적 설계 목적에 따라 값이 다르게 사용되었다. 강수량의 상한계는 가능 최대 강수량(Probable Maximum Precipitation ;PMP)으로 알려져 있는데, 이는 최근 Hansen 등(1982)에 의해 다음과 같이 정의 되었고 이것이 개념적 정의로 알려져 있다. “주어진 지속기간에 있어서 어느 특정 위치에 주어진 호우 면적에 대하여 년중 어느 지정된 기간에 물리적으로 발생할 수 있는 이론적 최대 강수량의 깊이”. 본 정의는 유역의 형상과 관계없이 호우의 우량 분포를 중심으로 잠재 강수량의 상한계를 나타낸 것이기 때문에 이 정의하에서 유도된 PMP를 임의 유역에 직접 적용할 수 없다. 따라서 유역 평균 PMP를 추정하기 위해서는 호우 중심 PMP를 약간 수정할 필요가 있다. Hansen등(1982)에

- * 정희원 한국수자원공사 수자원연구소, 연구원
- ** 정희원 한국수자원공사 부사장, 기술사
- *** 정희원 한국수자원공사 수자원연구소, 연구원

의하면 PMP 호우 분포와 알맞은 설계 절차로 유역 전체에 걸쳐 호우 중심 PMP를 분포시킨 후에 그 유역 전체에 평균 PMP를 추정하는 것으로 PMP를 정의하고 있다.

나. 可能 最大 降水量

PMP를 推定하는 方法에는 水文氣象學的 方法(Hydro-Meteorological Method)과 統計學的 方法(Statistical Method)이 이용되고 있다. 水文氣象學的 方法은 大氣中의 水分量을 算定하기 위한 露點, 氣溫, 風速, 大氣壓 등 여러 氣象資料로써 最大可能降水量을 決定하는 方法이고, 統計學的 方法은 年 최대 강우량과 같은 要素를 母集團이라 부르는 많은 數中의 한 標本으로 생각하고 이 標本內의 값을 數學的 法則에 따라 近似的인 값을 찾아내는 方法을 말하는데 본 연구에서는 수분 最大化, 호우전이 및 포락등 수문기상학적 方法으로써 전통적 方法(Traditional Approach)을 채택하여 소양강 다목적댐의 PMP를 추정하였다. 濕潤 最大化는 同一場所와 同一季節의 豪雨露點溫度와 그 地域의 最大露點溫度에 의한 比濕(Specific Humidity)으로 부터 大氣中에 降水로 變할 수 있는 水分量(Precipitable Water)을 다음 식으로 구할수 있다.

$$W = \bar{q} \cdot \Delta p / g \cdot \rho \quad \text{----- (1)}$$

여기서, W는 降水可能水分量(c^3), \bar{q} 는 氣層의 平均比濕(g/kg), Δp 는 上下氣層의 壓力差(mb), g는 重力加速度(cm/sec^2), ρ 는 水蒸氣密度(g/cm^3)이다. 따라서 濕潤最大化比(Moisture Maximization Ratio : MMR)는 다음식으로 表示될수 있다.

$$R_m = W_m / W_s \quad \text{----- (2)}$$

여기서, W_s 는 豪雨의 露點溫度에 의한 降水可能 水分量, W_m 은 最大露點溫度에 의한 降水可能 水分量이다. 豪雨의 轉移는 既往의 豪雨가 發生한 地域에서 다른 地域으로 轉移하는 것을 의미하며, 轉移限界는 모든 豪雨에 있어서 同一한 地域으로 轉移되며, 氣象學的 要素에 상당한 影響을 받는 轉移比(Transposition Ratio : TR)는 다음 식으로 表示될 수 있으며, 한강유역에 발생한 극치호우를 소양강 다목적댐 유역으로 전이시 수평 및 수직 전이비와 지형 영향비를 고려하여 전이 하였으며, 이때 지형 영향비는 100년, 지속시간 24시간 확률 강우량도를 기준으로 삼았다.

$$R_{ts} = W_t / W_s \quad \text{----- (3)}$$

여기서, W_t 는 移轉地域의 最大露點溫度에 대한 降水可能 水分量이다. 따라서 豪雨最大化比는 다음 식으로 구할수 있다.

$$R_{sm} = R_m \cdot R_{ts} \quad \text{----- (4)}$$

여기서, R_{sm} 은 豪雨最大化比, R_m 은 濕潤最大化比, 그리고 R_{ts} 轉移比이다. 결국 PMP는 각 持續期間別 最大降水量에 豪雨最大化比를 곱함으로써 算定된다. 소양강 다목적댐 유역의 PMP추정을 위한 전이대상 호우는 한강유역 일원에 가장 큰 홍수피해를 입혔고 강우 기록상 기록적인 표 1의 3개 호우를 선택하여 미국 기상국의 표준 方法으로 권장하는 누가 곡선법을 이용하여 분석된 DAD 자료를 상기식을 이용하여 수분 最大化 및 전이한 후 포락을 실시하였다. 이때 포락을 실시한 강우 지속 시간은 12, 18, 24, 48 및 72 시간이며 그 결과는 그림 1과 같다.

표 1 漢江 유역 일원에 발생한 극대 호우의 기상 개황

호우 기간	호우 중심 원 인	위도	경도	대표이슬점은도(°C)	이슬점 추정소	호우 평균표고(EL. m)
84. 8.31~9. 4	속초 저기압	38-15	128-34	24.4	보령, 부여	540.0
87. 7.21~7.24	부여 "	36-12	126-55	24.4	장흥, 해남, 고흥	100.0
90. 9. 8~9.13	이천 "	37-17	127-26	24.0	장흥, 해남	443.0

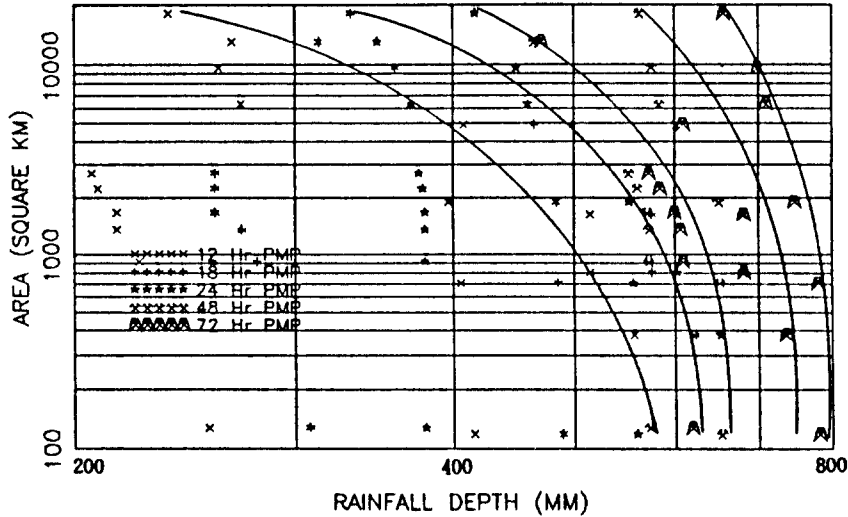


그림 1 강우 지속 시간별 PMP 포락 곡선

3. 確率 洪水量 및 可能 最大 洪水量

가. 代表 單位圖

한 流域에 대해 유도된 개개 단일 호우 또는 복합 호우로부터 구한 單位圖는 서로 다르다. 이를 해결하기 위해 지금까지는 각각의 단위도의 침투 종거값과 그 발생 시간을 단순히 산술 평균하고 면적이 1 이 되도록 任意로 조정하였다. 그러므로 이와같은 방법으로 구한 단위도에 대표성을 부여할 만한 合理性이 결여되어 있음을 인정하지 않을 수 없다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로 Mays and Coles(1980)는 Multiperiod Storm의 초과 강우량에 대한 복합 단위도의 종거를 결정하기 위한 선형계획 모형을 제시 하였으며, Mays 및 Taur(1982)등은 직접 유출의 실측치와 계산치의 차로 구성되는 2차식으로 목적함수를 구성하여 비 선형 계획법에 의하여 유효우량과 단위도 종거 추정 모형을 제안 하였으며, 이를 확장하여 Mays 및 Unver(1984)는 지수 형태의 침투능식을 고려하여 단위 유량도의 종거 및 손실 함수의 매개 변수를 추정하는 비선형 모형의 연구를 수행 하였다. 本 研究에서는 한 유역의 복합 호우를 동시에 고려할수있는 最適化 線形 計劃法을 응용하여 소양강 다목적댐의 대표 단위도를 유도하였으며, 이때 구성된 모형은 다음과 같다.

目的 函數

$$\text{Min } Z_o = \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^{N_i} (Z_{i,n} + V_{i,n}) \quad \text{----- (5)}$$

여기서 $Z_{i,n}$, $V_{i,n}$: Hydrograph에서 관측치 와 계산값의 차

制約 條件

$$P_{i, n} U_1 + P_{i, n-1} U_2 + \dots + P_{i, n-m+1} U_m + Z_{i,n} - V_{i,n} = Q_{i,n} \quad \text{----- (6)}$$

$$\sum_{n=1}^M U_n = 1 \quad \text{----- (7)}$$

$$2U_m \leq U_{m-1} + U_{m+1} \quad (m > m_p : m_p \text{ 하강부 변곡점}) \quad \text{----- (8)}$$

$$U_n \geq 0 : Z_{i,n} \geq 0 : V_{i,n} \geq 0 \quad \text{----- (9)}$$

여기서, 單位 換算 係數 K 값은 강우 단위가 mm 이고 유량 단위가 m^3/s 일때 다음과 같이 환산된다.

P_i : 강우량, mm
 U_m : 단위도 종거, m^3/s

$$K = 3.6 \Delta t / A \quad \text{----- (10)}$$

여기서, Δt : 단위 강우 측정시간
 A : 유역면적, km^2

또한 대표 단위도의 종거수는 식 (11)을 사용하여 결정하였다.

$$M = \text{MAX} \{ M_i, M_j, M_k, \dots \} \quad \text{----- (11)}$$

여기서, M_i, M_j, M_k, \dots : 개별 호우의 단위도 종거수

이상과 같이 模型을 구성하여 LINDO(Linus Schrage, 1991) 프로그램을 3개 홍수사상에 적용하여 단위도를 산정한 결과 상승부에 진동이 있어, 수문곡선 상승부에도 다음과 같은 제약조건을 추가하여 소양강 다목적댐의 대표 단위도를 유도한 결과는 다음의 그림 2와 같다.

$$- U_{m-1} + 2 U_m - U_{m+1} \leq 0 : (2 \leq m \leq m_p - 1) \quad \text{----- (12)}$$

다. 昭陽江 多目的 澗 流域의 PMF

昭陽江 多目的 澗 流域의 PMP에 代表 單位圖를 適用하여 PMF 산정시 HEC-1(HEC, 1987)을 이용하였다. 소양강 다목적댐 유역의 PMF(Probable Maximum Flood)를 算定하기 위한 HEC-1 Program의 주요입력 변수인 강우량 손실률은 有效雨量 분석시 산정된 값중 최소값, 즉 초기 손실 4.0 mm, 일정손실 1.9 mm 와 소양강 다목적댐 공사지에 수록된 일정 손실 우량의 최소값인 1.1 mm 와 앞 절에서 誘導된 대표 단위도를 소양강 다목적댐 유역에서 발생한 가장 큰 홍수인 '84년 9월 홍수

('84. 8. 31. - 9. 9.)에 적용한 결과, 一定 損失率을 1.1 mm로 채택시 계산 오차가 상대적으로 적으므로 初期 損失量은 4.0 mm, 일정 손실량은 1.1 mm로 최종 選擇 하였으며, PMP의 공간 분포는 상류 수위표 지점의 Rating Curve가 신뢰성이 부족하여 유역 평균 PMP를 적용하였으며, 시간 강우량 분포는 '90년 9월 관측 호우형을 이용하였다. 또한 홍수 도래 이전의 유량을 의미하는 기저유량은 소양강 다목적댐 건설당시 추정된 최대 기저 유량 400 m³/s를 초기 유량 값으로 채택하여 基底 流量을 計算하였으며, 시간에 따른 기저유량은 다음식을 이용하였다. 홍수 Hydrograph 減水曲線上에서 地下水流出이 시작되는 시점의 유하량(Recession Threshold Flow)은 Peak유량의 9 %로, 減水曲線 기울기는 1.02를 각각 적용 하여 산정한 PMP 지속 시간별 PMF는 아래의 표 3과 같고, 이값들은 소양강 다목적댐 지점의 1,000년 에서 10,000년 頻度 사이의 洪水量으로 나타났다.

$$Q = Q_0 (RTIOR)^{-n\Delta t} \text{ ----- (13)}$$

여기서, Q_0 : 초기유량 혹은 홍수 Hydrograph 감수곡선상에서 지하수 유출이 시작되는 시점의 유하량
 RTIOR : Hydrograph 감수 곡선상의 기울기
 $n\Delta t$: 시간

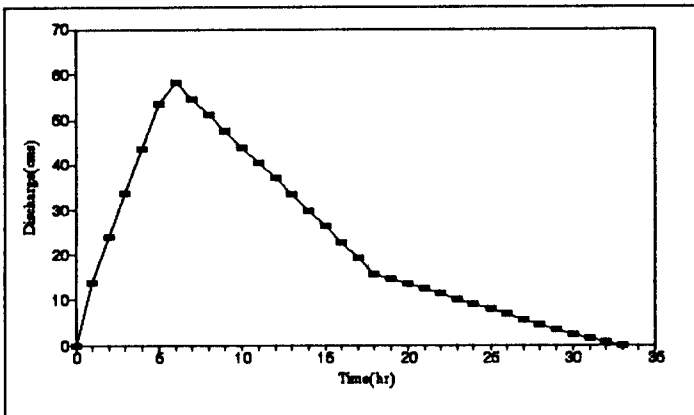


그림 2 소양강댐의 대표 단위도

표 3 소양강댐 유역의 PMP 지속 시간별 PMF

지속시간 (hr)	PMP (mm)	PMF (m ³ /s)	비 고
12	420	18100	
18	521	18900	
24	590	19100	
48	690	17400	
72	760	18100	

4. 結 論

本 研究는 20년전에 建設 완료된 우리나라 最大 多目的댐인 昭陽江 多目的댐의 最惡의 氣象 條件을 고려한 可能 最大 降水量 (PMP) 및 可能 最大 洪水量 (PMF)를 推定한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 水文 氣象學的方法에 의한 昭陽江 多目的댐 流域의 72時間 持續 PMP는 760 mm로 나타났다.
2. 昭陽江 多目的댐 流域의 代表 單位圖는 여러개 豪雨 事象을 동시에 考慮할수 있는 最適化 技法으로 誘導 하였으며, PMP 시간 분포는 '90년 9월 觀測 호우형을 이용하여 산정한 72 지속 시간 PMF는 18,100 m³/s로, 이는 1,000년 에서 10,000년 頻度 사이의 洪水量으로 나타났다.

參 考 文 獻

- HEC, "HEC-1 Flood Hydrograph Package", User's Manual, 1987.
- ICOLD F, "Selection Of Design Flood", Commission International des Grands Barrages
- W.M.O. "Manual For Estimation Of Probable Maximum Precipitation Second Edition" Operation Report No. 1, WMO-NO. 332, 1986.
- U.S.B.R., "Design Of Small Dams", 1977.
- Linus Schrage, "User's Manual For Linear, Integer And Quadratic Programming With LINDO, Release 5.0", 1991.
- Paulhus, J.L.H. And Gilman, C.S., "Evaluation of Probable Maximum Precipitation", Transactions A.G.U Vol. 34, No. 5 Oct. 1953.
- Hershfield, D.M., "Method For Estimating Probable Maximum Precipitation", Jour. Of The A.W.A. Vol 57. pp 965-972, 1965.
- Mckay, G.A., "Statistical Estimates Of Precipitation Extremes For The Prairie Provinces", Canada Department of Agriculture, 1965.
- U.S.W.B., "Probable Maximum Precipitation, North-West States", Hydrometeorological Report No. 43, 1966.
- Schreiner, L. C., and Riedel, J. T., "Probable Maximum Precipitation Estimates, U.S. East of the 105th Meridian", Hydrometeorological Report No. 51, National Weather Service, U.S. Dept. of Commerce, Silver Spring, Md., 1978.
- Mays, L.W., and S.L. Coles, "Optimization of Unit Hydrograph Determination," J. Hydraul. Div., ASCE, 106(HY1), pp 85-97, 1980.
- Mays, L.W., and C.K. Taur, "Unit Hydrographs via Nonlinear Programming", Water Resour. Res., 18(4), pp 744-752, 1982.
- Olcay Unver and Larry W.Mays, "Optimal Determination of Loss Rate Functions and Unit Hydrographs", W.R.R, Vol.20, 1984.
- Newton, D.W., and J.W Vinyard, "Computer - Determined Unit Hydrographs From Floods", J. Hydraul. Div., ASCE, 93, pp 219-234, 1967.
- Diskin, M.H., and A. Boneh, "Determination of an Optimal IUH for Linear, Time Invariant System from Multi-Storm Records", J. Hydrol., 24, pp 57-76, 1975.
- Singh, K.P., "Unit hydrograph - A comparative study", Water Bull., 12, pp 381,1976.
- Singh, V.P., A. Baniukiewicz, and R.S. Ram, "Some empirical methods of determining the unit hydrograph, in rainfall-runoff relationship", pp 67-90, Water Resources Pub., 1982.
- Singh, V.P. and A. Baniukiewicz, "A Study of some empirical method of determining the unit hydrograph", Interim Report NO. 1, Water Resources Research Institute, Mississippi State University, 1981.
- 산업기지개발공사, "소양강 다목적댐 공사지", 1974.
- 산업기지개발공사, "포장 수력 조사 보고서", 1974.
- 건설부, "수자원 관리 기법 개발 연구조사 보고서 제 3 권 가능 최대강수량 추정", 1988.
- 조희구, "최대 홍수량 산정에 있어서 수문기상학적 고찰," 한국수문학회지 제 5권 1호 pp 18 - 26, 1971.
- 이광호, "낙동강 유역의 P.M.P 추정에 관하여," 한국기상학회지 제 7 권 2호 PP. 57-64, 1971.
- 건설부, "재해 연보", 1990.
- 유태상, "선형계획법에 의한 대표단위도 유도", 1991.