

月流下量の推計學的模擬發生資料를 사용한 貯水池活用貯水容量의確率論的決定

A Probabilistic Determination of the Active Storage Capacity of A Reservoir
Using the Monthly Streamflows Generated by Stochastic Models

尹	龍	男*
Yoon,	Yong	Nam
尹	康	薰**
Yoon,	Kang	Hoon

Abstract

A methodology for the probabilistic determination of active storage capacity of an impounding reservoir is proposed with due considerations to the durations and return periods of the low flow series at the reservoir site.

For more reliable probabilistic analysis the best-fit stochastic generation model of Monte Carlo type was first selected for the generation of monthly flow series, the models tested being the Month Carlo Model based on the month-by-month flow series (Monte Carlo-A Type), Monte Carlo Model based on the standardized sequential monthly flow series (Monte Carlo-B Type), and the Thomas-Fiering Model. Monte Carlo-B Model was finally selected and synthetic monthly flows of 200 years at Hong Cheon dam site were generated.

With so generated 200 years' monthly flows partial duration series of low flows were developed for various durations. Each low flow series was further processed by a nonsequential mass analysis for specified draft rates. This mass analysis furnished the storage-draft-recurrence interval relationship which gives the reservoir storage requirement for a specified water demand from the reservoir during a drought of given return period. Illustrations are given on the application of these results in analyzing the water supply capacity of a particular reservoir, existing or proposed.

要 旨

댐地點에서의低流量의持續期間과再現期間을 고려하여貯水池의活用貯水容量을確率論的으로 결정하는方法을 제안하였다.

確率論的分析의 신뢰도를 제고시키기 위해月流量資料系別의模擬發生에 흔히 사용되는模擬模型 중 Monte Carlo模型과 Thomas Fiering模型의適合性を 비교 검토하였으며 그 결과月流量資料系列을標準化한系列月流量資料를 근거로 하는 Monte Carlo模型(Monte Carlo-B)이最適模型으로 선정되었다. Monte Carlo-B模型에 의해 洪川댐地點에 대한 200年間の月流量系

* 正會員·高麗大學校 工科大學 教授

** 正會員·韓國建設技術研究院

를 발생시켰으며 이로 부터 各種 持續期間別 低流下量 系列을 작성하였다. 여러 크기의 用水 需要를 표시하는 常時流量에 대하여 持續期間別 低流下量 系列의 累加容積解析을 실시함으로써 活用貯水容量 - 常時流量 - 再現期間(Active Storage-Draft-Recurrence Interval) 관계가 수립되었으며 이 關係는 旱魃再現期間別로 用水需要를 보장할 수 있는 貯水池의 活用容量을 결정하는 基準을 제공하게 된다. 또한, 이 關係를 사용하여 貯水池의 設計再現期間別 滿水位 標高別 常時 可用水量을 추정하는 方法과 特定 貯水池의 用水供給能力을 評價하는 方法을 例示하였다.

1. 序 論

貯水池의 각종 용수공급을 위하여 필요한 貯水容量의 합리적인 결정은 댐 경제라는 측면에서 볼때 대단히 중요하다.

지금까지 댐의 활용 貯水容量 결정은 대체로 Rippl 方法⁽¹⁾에 의해 댐 지점에서 可用한 月流量 記錄의 累加容積解析에 의해 왔다. 실제에 있어서 댐 예정지점에서의 月流量 記錄의 期間은 대부분의 경우 짧은 것이 보통이며 Rippl 方法 자체가 低流下量의 持續期間이나 發生頻度 개념을 도입하지 않고 確定論的으로 貯水池의 所要容量을 결정하는 것이므로 유출이라는 수문현상의 確率論的 生起特性을 고려하여 보다 더 합리적인 貯水池의 所要容量을 결정하는 方法의 개발은 중요하다고 하겠다.

따라서, 본 연구에서는 우선 댐 예정 지점에서의 단기간 月流量資料로부터 원하는 만큼의 장기간 流量資料를 합성하기 위한 몇가지 推計學的 模擬發生模型을 비교 검토하여 最適의 模擬發生模型을 설정하였다. 설정된 模型에 의해 각종 資料年수별로 月流量資料 時系列을 模擬發生하여 貯水池의 활용 貯水容量 결정을 위한 低流下量系列에 대한 여러가지 分析을 실시하였다.

2. 月河川流量의 推計學的 模擬發生

2.1 方法論의 考察

推計學的 이론에 의해 河川流量을 模擬發生시키는 근본적인 목적은 한정된 기간의 짧은 流量 記錄만으로는 水資源시스템의 거동에축이나 시스템 조작기준의 설정을 정확하게 할 수 없기 때문에, 可用한 짧은 流量記錄의 통계학적 特性을 유지하는 장기간의 河川流量資料를 發生시켜 시스템에 입력 시킴으로서 보다 합리적인 시스템

分析을 실시하는데 그 목적이 있다.

河川流量의 模擬發生方法은 일반적으로 流量資料系列이 수문학적 持續性을 가지는가의 여부에 따라 두가지의 각각 다른 方法을 사용하게 된다. 持續性을 갖지 않는 資料系列의 경우에는 Monte Carlo 方法⁽²⁾을 사용하는 것으로서 流量資料系列의 適正確率分布를 선정후 기존 流量資料로부터 設定한 해당 確率分布의 각종 변수와 난수의 發生에 의해 流量資料를 模擬發生시키는 方法으로서 月 河川流量과 같이 수문학적 持續性을 가질 경우에는 이 方法의 적용이 불가능한 것으로 알려져 있다.

한편, 資料系列이 持續性을 가질 경우에는 수문량의 模擬發生을 위하여 AR(autoregressive)模型, MA(moving average)模型, ARMA(autoregressive moving average)模型, ARIMA(autoregressive integrated moving average)模型 및 FGN(fractional gaussian noise)模型^(3,4,5,6,7,8,9,10,11,12) 등이 사용되며 주로 수문학적 持續性을 갖는 年 流量資料系列의 模擬發生模型으로 많이 사용되어 왔다.

月河川流量과 같이 계절성을 지니는 時系列은 수문학적 持續性을 가지는 것이 보통이므로 AR 模型에 속하는 Thomas-Fiering 模型^(13,14) 및 Box-Jenkins 模型⁽¹⁵⁾ 등이 주로 사용되어 왔으며, 이중 Thomas-Fiering의 다계절 模型과 Box-Jenkins 模型에 속하는 ARIMA(1, 0, 1) 模型이 대체로 月流量의 發生에 적합한 單一變數模型(univariate model)으로 알려져 있다⁽¹⁶⁾.

전술한 바와 같이 Monte Carlo 模型은 연속되는 月流量간의 持續性 때문에 月流量의 模擬發生模型으로는 적합하지 않은 것으로 알려져 있으나 資料 年수 동안의 12개 月別 流量資料를 각각 資料值 系列로 보아 持續性 검사를 한 후

月別 適正分布型을 선정하여 流量資料를 模擬發生시키바 있다⁽¹⁷⁾. 뿐만아니라, 持續性을 가지는 月流量系列은 資料 기간 동안의 月別 平均値와 標準偏差를 이용하여 Young-Piano⁽¹⁸⁾ 方法으로 流量系列을 標準化시키면 時系列의 持續性이 없는 무작위 時系列化가 가능하여 질것으로 판단되며, 따라서 Monte Carlo 方法에 의한 月流量의 模擬發生도 가능하여 질것으로 믿어져 본 研究에서는 이 方法도 검토하여 보았다.

2.2 資料 및 分析方法

본 研究에서 사용한 資料는 북한강의 주요 지류중의 하나인 흥천강 하류에 계획되고 있는 흥천댐 예정지점의 月流下量 資料⁽¹⁹⁾로서, 화천댐 지점의 과거 22년간(1961~1983)의 月流下量실측 資料를 이용하여 유역면적비와 년 강우량을 작용하여 댐 예정지점의 月流下量 資料系列을 얻은 후 이에 月別 수로상 강수량을 더하고 月別 증발량은 감하여 줌으로서 22년간의 假想貯水池로의 原月別流下量을 획득하였으며 流量의 단위는 資料分析의 편의를 위하여 m^3/sec 의 통상단위를 유역면적($1,473 km^2$)을 사용하여 $cm/month$ 단위로 환산하여 표시하였다.

본 分析에서 月流下量資料의 模擬發生을 위하여 사용된 模型은 3가지로서 그 첫째는, 月別 流下量資料群(22년분) 12개 각각에 적용한

Monte Carlo 方法(Monte Carlo-A)이며, 둘째는 月別 發生順序를 고려한 全流量時系列을 月別 平均値의 標準偏差를 사용하여 標準化한 單一時系列에 적용한 Monte Carlo 方法(Monte Carlo-B)으로 模擬發生 月流量資料는 發生시킨 난수의 역변환에 의하여 얻어지게 된다. 셋째로는 月流量系列의 模擬發生에 가장 흔히 사용되어온 方法인 Thomas-Fiering 模型⁽¹⁸⁾으로서 앞의 두 方法과의 비교를 목적으로 사용하였다.

2.3 分析結果와 模擬發生 月流量系列의 작성

전술한 Monte Carlo-A 模型과 Monte Carlo-B 模型에 의한 月流量 資料의 模擬發生의 타당성을 검사하기 위하여 흥천댐 예정지점에서의 22년간 原月流量系列의 持續性 검사(persistence test)를 Approximate significance test, Exact test 및 Turning point test⁽²⁰⁾로 실시하여 본 結果 두 경우 모두 資料系列이 持續性을 가지지 않는 무작위 時系列임이 판정되었다. 따라서 Monte Carlo 模型의 적용은 적절하다고 보았으며 비교의 목적으로 Thomas-Fiering 模型에 의해서도 月流量系列을 模擬發生하기로 하였다.

Monte Carlo 및 Thomas Fiering 模型에 의한 月流量의 模擬發生을 위해서는 무작위 난수의 發生이 필요하며 이 난수의 確率分布는 原資料值 系列의 確率分布와 동일하여야 하므로 22년

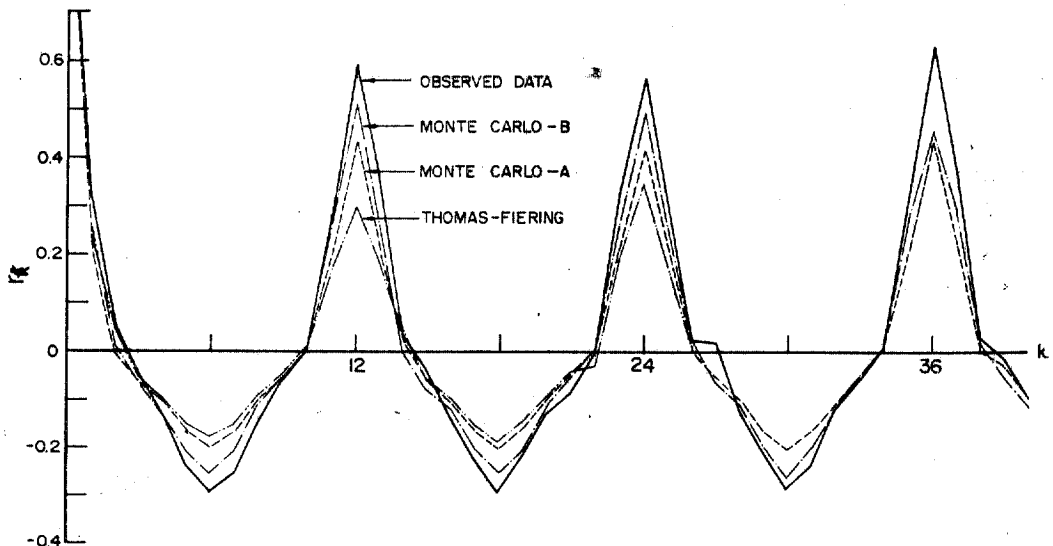


그림 1. Comparison of correlograms for monthly streamflow series.

간의 原流量資料를 사용하여 전술한바 세가지 模型의 경우에 대한 適正確率分布型을 검정하였다. 검정의 대상 確率分布는 正規分布, 對數正規分布 및 2변수 감마分布였으며 Chi-square test 및 Kolmogorov-Smirnov test⁽²⁰⁾를 실시한 結果 對數正規分布 및 2변수 감마分布는 신뢰수준 95%로 받아들여졌으나 正規分布는 받아들여지지 않았다. 對數正規分布와 2變數 감마分布의 경우 Chi-Square 값을 비교해 본 결과 對數正規分布의 경우가 適合性이 더 높았으므로 對數正規分布를 適正確率分布型으로 하여 위의 세가지 方法에 의해 200년간의 月流下量 資料를 각각 模擬發生 시켰다. Monte Carlo-A 模型의 경우는 1월부터 12월까지 각 月단위로 200개씩 月流量資料를 發生시킴으로서 2,400개의 月流量資料를 획득하였으며 이를 연속되는 200년간의 月流量 時系列로 간주하였다.

그림 1은 이와같이 3개 模型으로 模擬發生된 200년간의 月流量系列의 系列相關度(correlogram)를 22년간의 原流量資料系列의 系列相關度와 비교하고 있다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 原流量資料系列과 模擬發生 流量資料系列의 系列相關度는 진동폭에 있어서 약간의 차이가 있으나 12個月을 주기로 하는 주기성 혹은 계절성을 분명히 보이고 있어 月流量資料系列의 주기상 재연에 적절함을 알 수 있다.

위에서 살펴본 3개 模型중 어느 模型에 의한

模擬發生流量을 택할 것인가는 模擬發生 月流量의 통계학적 特性值가 原資料值의 통계학적 特性值를 얼마만큼 정확하게 재연시켜 주는가를 기준으로 삼을 수 밖에 없다. 표 1은 3개 模型에 의한 模擬發生 流量系列과 原資料系列의 통계학적 特性值중 가장 중요한 平均値와 標準偏差를 月別로 각각 비교하고 있으며 95% 신뢰수준으로 평가한 T-test⁽²¹⁾의 변수값도 수록 비교하고 있다. 표 1로부터 알 수 있는 바와 같이 Monte Carlo-A 模型과 Monte Carlo-B 模型은 T-test에서 95% 수준으로 모든 月에 걸쳐 받아들여지고 있으나 Thomas-Fiering 模型의 경우에는 3월과 8월의 경우 T-test의 한계值인 $T=1.960$ 을 초과하게 되어 받아들여지지 못하고 있다. 또한 Monte Carlo-A와 Monte Carlo-B 模型의 경우 12個月간의 상대오차의 平均값을 계산하여 보면 平均値에 있어서 각각 4.2% 및 4.1%이나, 標準偏差에 있어서는 각각 20.7%와 18.6%로 Monte Carlo-B 模型의 경우가 더 우수함을 알 수 있었다.

따라서, Monte Carlo-B 模型 즉 原月流量 資料를 標準化한 時系列을 근거로하여 Monte Carlo 方法으로 模擬發生시키는 模型을 最適模型으로 선정하였으며 이 模型으로 發生시킨 200년간의 月流量 資料系列을 貯水容量 결정을 위한 分析 資料로 이용하기로 하였다.

그림 2는 이와같이 얻어진 200년 模擬發生

표 1 발생모형별 모의유량계열의 통계특성치 비교

월	원자료(22년)			Monte Carlo-A 모형			Monte Carlo-B 모형			Thomas-Fiering 모형					
	평균치	표준편차	준차	평균치	표준편차	준차	$T\alpha$	평균치	표준편차	준차	$T\alpha$	평균치	표준편차	준차	$T\alpha$
1	0.765	0.291		0.781	0.300		0.754	0.762	0.265		0.160	0.782	0.331		0.726
2	1.214	0.371		1.207	0.393		0.251	1.251	0.401		1.304	1.200	0.407		0.486
3	2.901	1.613		3.052	1.584		1.348	2.807	1.385		0.959	2.660	1.489		2.288
4	8.461	8.973		7.794	6.393		1.475	7.905	7.251		1.084	8.323	6.707		0.290
5	4.338	3.384		4.202	3.899		0.493	4.326	3.328		0.050	4.109	3.524		0.918
6	4.635	4.475		4.788	4.885		0.442	4.295	4.546		1.057	4.658	4.369		0.074
7	26.958	20.410		31.034	33.716		1.709	29.358	31.730		1.069	25.430	26.341		0.820
8	24.153	10.462		24.393	12.093		0.280	24.534	12.014		0.448	26.066	12.873		2.101
9	12.279	9.268		12.620	12.505		0.385	12.690	12.162		0.477	13.720	12.692		1.605
10	3.738	3.200		3.572	1.919		1.223	3.540	2.059		1.359	3.707	2.326		0.188
11	3.036	1.926		2.862	1.470		1.673	2.898	1.647		1.184	2.962	1.601		0.653
12	2.012	1.146		2.014	1.082		0.026	1.918	0.932		1.426	1.975	0.968		0.540

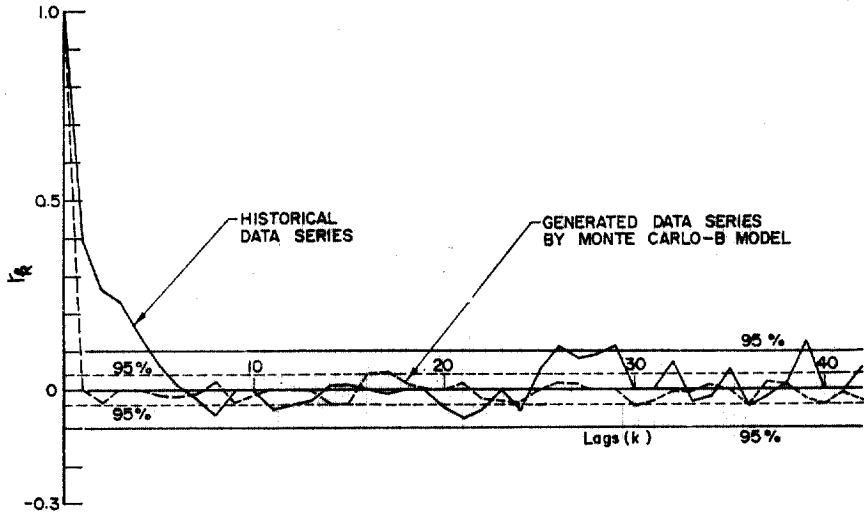


그림 2. Comparison of correlograms of standardized monthly streamflow series

月流量과 22년간의 月流量資料를 각각 標準化한 時系列의 系列相關도를 표시하고 있다. 그림 2의 系列相關도로부터 두系列 공히 무작위 時系列에 속하고 있음을 系列相關도의 해석에 의하여 쉽게 알 수 있었다.

3. 貯水池 活用貯水容量의 確率論的 決定

3.1 方法論의 考察

多目的 貯水池의 活用貯水容量 決定을 위해 종래부터 사용되어온 Rippl의 方法은 진술한 바와 같이 記錄上의 短期間 低流量 系列을 累加容積 分析하고 이를 특정 常時可用水量(용수 수요량)의 累加值에 대비하여 最大 旱魃 危險期間 동안에 所要되는 貯水量을 決定하는 이른바 確率論的 方法(deterministic method)이다. 그러나 근년에 와서는 전통적인 Rippl의 方法에 임의의 甚도와 持續期間을 가진 旱魃이 發生할 確率의 算定을 가미하여 이른바 旱魃의 再現期間別로 所要常時可用水量을 공급하기 위한 貯水容量을 決定하는 確率論的 方法(probabilistic method)을 개발하는 방향으로 研究가 進행되어 왔다^(16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24).

이 方法에서는 우선 가능한 月流量資料 系列을 사용하여 각종 旱魃持續期間을 가지는 低流量 系列(low flow series)을 전개한 후, 작성된

持續期間別 低流量系列의 各 流量값에 再現期間을 부여하여 이른바 旱魃 持續期間別 低流量의 頻度曲線^(31, 32)을 작성하게 된다. 이와같이 얻어지는 再現期間別, 旱魃 持續期間別 低流量資料를 댐 지점에서의 流入量으로 하여 累加流入量曲線을 작성하고 貯水池로부터 예상되는 所要可用水量의 累加曲線을 그려 累加流入量曲線과 累加所要可用水量曲線간의 最大偏差를 해당 再現期間에 대한 所要貯水量으로 삼게 된다⁽³³⁾. 따라서 旱魃의 再現期間別로 常時所要流量의 공급을 충족시킬 수 있는 所要貯水量을 決定할 수 있게 되며 이 關係를 貯水容量—常時流量—再現期間(storage-draft-recurrence interval)關係라 한다.

3.2 低流量系列의 作成과 生起頻度分析

일반적으로 급수용 貯水池는 1년 또는 그 이상 貯水池로의 流入量보다 貯水池로부터의 용수 공급량이 많아서 계속적으로 수면이 강하할 경우가 많다. 따라서 低流量系列을 전개함에 있어서 流下量의 年차적 변동에 영향을 받지 않도록 低流量系列을 선택하여야 한다는 사실이 대단히 중요하다. 이와같은 목적을 위해서는 低流量의 部分持續期間系列⁽²⁰⁾이 가장 適用性 있고 적합한 것으로 알려져 있으며, 특정한 기본 流下量으로는 各 持續期間別 平均流下量을 선택하

여 이보다 작은 流下量만으로 구성되는 部分持續期間系列을 작성하여 生起頻度を 分析하고자 하였다.

본 研究에서 低流下量系列의 작성에 사용된 流量資料는 전술한 바와 같이 原資料를 標準化한 單一時系列을 사용한 Monte Carlo 模型으로 模擬發生시킨 200 년간의 月流下量系列이며, 模擬發生 資料年수가 所要容量의 크기에 미치는 영향을 비교 평가하기 위해 資料年수 50 年 100 年 및 150 年인 月流下量系列도 模擬發生시켜 分析하였으며 그 結果에 대해서는 후술하기로 한다.

여기서 선택된 旱魃의 持續期間은 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 및 30 個月의 10 개 持續期間이며 持續期間別 低流下量系列의 작성절차는 대략 다음과 같다. 예를 들어 12 個月 持續期間의 低流下量系列을 구성하기 위해서는 우선 模擬發生된 月流下量으로부터 12 個月 연속 流下量을 合算하는 절차를 반복한 후 12 個月 연속 流下量의 合算値가 가장 작은 것을 선택하여 低流下量系列의 첫번째 流下量으로 삼는다. 다음 두번째 流下量의 決定에 앞서 첫번째 12 個月 연속 流

下量으로 삼는다. 다음 두번째 流下量의 決定에 앞서 첫번째 12 個月 연속 流下量의 合算値에 해당하는 月을 포함하여 12 개의 合算値를 제거한 후 두번째로 작은 流下量 合算値를 선택하고 동일한 절차를 반복하므로써 12 個月 지속시간의 低流下量系列을 작성하게 된다.

이상과 같은 절차를 따르면 10 개의 持續期間別로 低流下量系列을 얻을 수 있으며 部分期間值系列의 基準値(여기서는 上限値)로서는 전술한 바와 같이 月平均 流下量을 사용하였다. 持續期間別 低流下量系列을 구성하는 개개 流量의 生起確率は 다음과 같이 표시되는 平均再現期間 T 의 함수로 정의 된다. 즉

$$T = \frac{N}{m} \dots\dots(1)$$

여기서 N 은 低流下量系列을 구성하는 資料의 年수이며 m 은 特定持續期間의 低流下量系列을 구성하는 流下量을 크기의 역순으로 나열하였을 때의 순위이다.

따라서 10 개 持續期間을 가지는 低流下量系列의 개개 流量값에 식 1(california 공식이라 부름)로 再現期間을 부여함으로써 持續期間別,

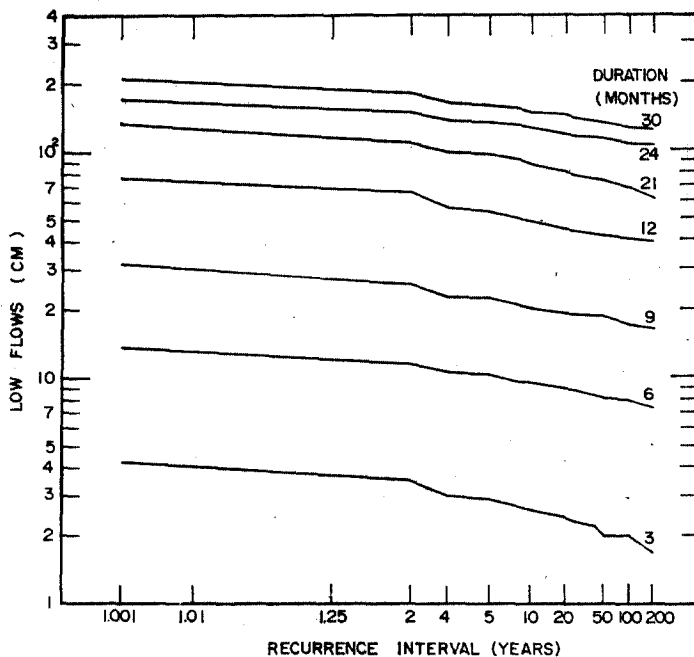


그림 3. Low flow frequency curves.

再現期間別低流下量の 크기가 決定되므로 그림 3과 같은 低流下量の 頻度曲線을 작성할 수 있게 된다. 그림 3은 對數正規確率지 상에 표시된 旱魃持續期間別 頻度曲線으로서 댐지점에서의 旱魃流量的 特性을 표시하여 주고 있다.

3.3 累加容積曲線 解析에 의한 所要貯水容량의 決定
 貯水池의 貯水容량 決定에 가장 보편적적으로 사용되어온 方法은 Rippl 方法으로 最大危險期間(critical period)동안의 累加常時流量과 累加流入流量의 차이가 곧 임의의 特定 常時流量을 확보하기 위한 저수容량이 되는 것이다. 여기서 最大危險期間이란 特定한 再現期間을 가진 각종 持續期間의 低流下量 즉 累加流入量과 累加常時流量의 차이가 가장 큰 期間으로서 最大 貯水가 요구되는 期間을 말한다. 따라서 累加容積曲線圖로부터 最大 危險期間을 정하면 特定常時流量의 확보를 위한 貯水容량이 決定되는 것이며 이 最大 危險期間은 통상 記錄상의 과우년에 일어난다.

累加容積曲線 解析에 의한 所要 貯水容량의 크기를 決定하는 方法이 그림 4에 표시되어 있다. 즉 그림 4에는 再現期間 200년에 대한 累加流入量曲線을 低流下量の 頻度曲線(그림 3)을 사용하여 그렸으며, 흥천 댐 지점에서의 平均流

下量の 50%를 常時流量으로 확보코자 할때 200년 頻度の 旱魃로 인한 最大危險期間은 21個月이고 이때의 所要貯水容량은 20.0cm 임을 그림 4로부터 決定할 수 있다. 實際에 있어서 常時流量으로는 旬別 혹은 月別로 변동하는 用水需要의 累加曲線을 사용하여야 하나 여기서는 일반적인 경우로서 常時流量을 月平均流量의 百分率로 가정하여 分析하였다.

표 2. 저수용량—상시유량—재현기간관계

재현기간 (년)	상시 유량(평균 유하량의 백분율, %)				
	10	30	50	70	90
200	0.6 (3)	6.7 (6)	20.0(21)	52.8(21)	88.3(30)
100	0.3 (3)	6.1 (6)	18.1 (9)	46.8(21)	87.1(30)
50	0.3 (3)	5.9 (6)	16.6 (9)	42.1(21)	79.4(30)
40	0.1 (3)	5.7 (6)	16.4 (9)	42.0(21)	77.3(30)
25		5.2 (6)	16.2 (9)	36.4(21)	73.0(30)
20		5.1 (6)	16.1 (9)	35.0(21)	69.0(30)
10		4.5 (6)	14.9 (9)	29.3(18)	63.5(30)
8		4.4 (6)	14.9 (9)	28.4 (9)	60.2(30)
5		4.1 (3)	13.3 (6)	27.0 (9)	52.9(30)
4		4.0 (3)	13.0 (6)	26.5 (9)	50.1(30)
2		3.5 (3)	11.9 (6)	23.2 (9)	38.8(21)
1		2.8 (3)	9.7 (6)	19.1 (9)	31.5 (9)

주 : 유하량의 단위는 cm 이고 괄호안의 숫자는 최대 위험기간임.

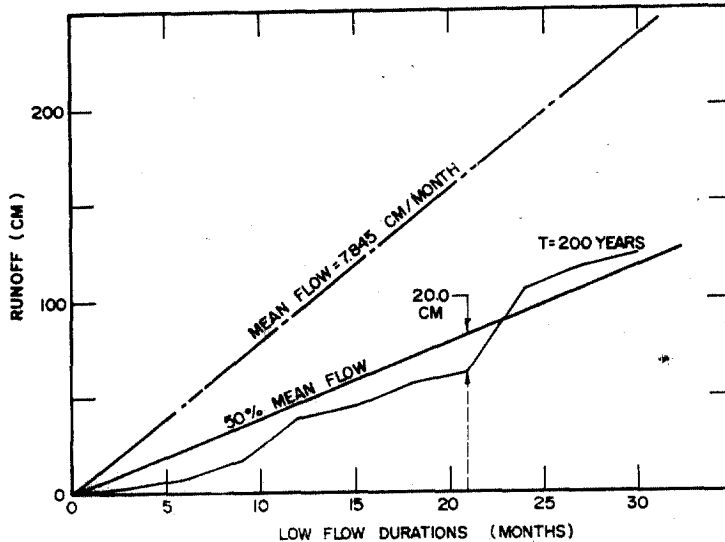


그림 4. Mass curve analysis for reservoir capacity determination.

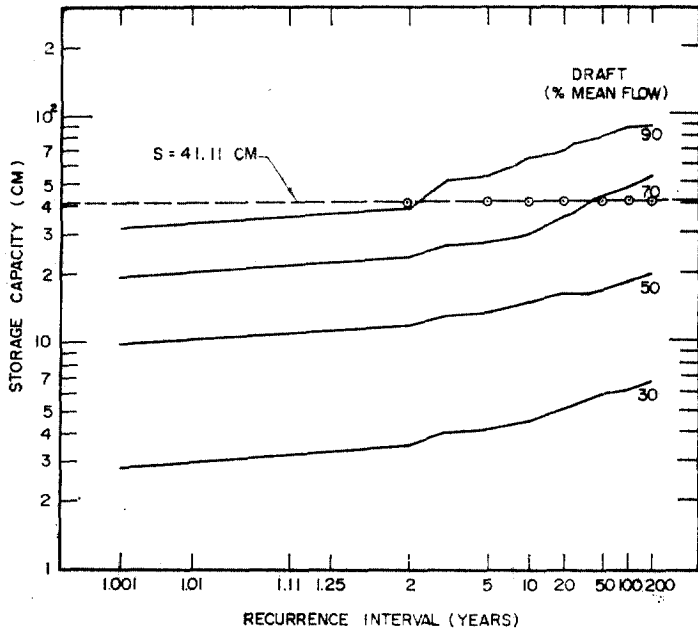


그림 5. Storage-draft-recurrence interval relations.

이상과 같은 절차에 의한 累加容積曲線解析은 旱魃의 再現期間과 貯水池로부터의 常時流量의 크기를 변화시켜 가며 실시할 수 있으며 이러한 방법으로 표 2와 같은 所要貯水容量-常時流量-再現期間 關係를 수립할 수 있다. 표 2는 홍천댐 지점에 있어서의 再現期間別 旱魃이 發生할 경우 貯水池로부터 요구되는 常時流量을 충분히 공급하기 위하여 所要되는 貯水池 容量을 표시하고 있으며 이를 曲線關係로 표시하여 보면 그림 5와 같다.

4. 分析結果의 應用

低流量系列의 確率論的 頻度解析으로 얻은 貯水容量-常時流量-再現期間關係는 貯水池의 貯藏규모 설정 등의 실무에 직접 應用될 수 있다.

4.1 設計 再現期間別, 滿水位 標高別 常時 可用水量 推定

貯水池의 設計를 위한 旱魃의 再現期間이 선정되고 나면 進술한 바의 貯水容量-常時流量-再現期間 關係에 의해 所要 貯水容量別 常時 可

표 3. 상시유량별 소요저수용량

(T=200년 일대)

평균 유하량 (%)	상 시 유 량		소요저수용량	
	d (cm/month)	D (10^6 tons/day)	s (cm)	S (10^6 tons)
10	0.785	0.385	0.6	0.088
30	2.354	1.156	6.7	0.987
50	3.923	1.926	20.0	2.946
70	5.462	2.697	52.8	7.777
90	7.061	3.467	88.3	13.007
100	7.845	3.852	104.6	15.410

주 : $D=1,473\text{km}^2 \times d\text{cm/month}=491,090d(\text{tons/day})$
 $S=1,473\text{km}^2 \times s\text{ cm} =1,473 \times 10^7 s(\text{tons})$

용수량을 결정할 수 있으므로 貯水池의 滿水位 標高別 常時 可用水量의 推定이 필요하다. 예를 들어, 홍천댐의 設計 再現期間을 200년으로 할 경우 常時 流量別 所要貯水容量은 표 2로부터 표 3과 같이 계산할 수 있다.

표 3의 常時流量(D)別 所要 貯水容量(S) 關係는 그림 6에 표시되어 있으며 홍천 貯水池의 特性線曲資料를 사용하여 貯水容量(S)와 수면標

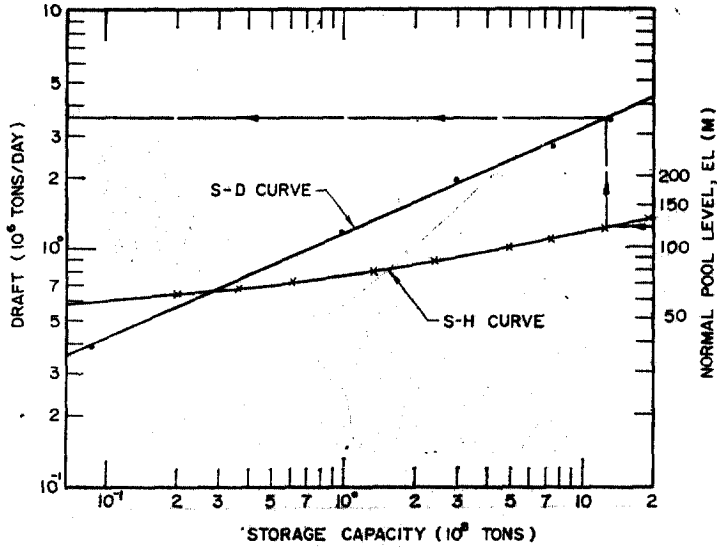


그림 6. Normal pool level-storage-draft.

표 4. 한밭의 재현기간별 상시유량
(만수의 EL. 104m, 용량 41.11cm)

재현기간	상시유량	
	평균유하량(%)	D(10 ⁶ tons/day)
2	91	3.42
5	82	3.08
10	78	2.93
20	74	2.78
50	69	2.59
100	67	2.52
200	66	2.48

주: 평균유하량=7.845cm/month=3.76×10⁶tons/day

고(H)간의 관계곡선(19)도 그림 6에 표시하였다. 그림 6에 도식적으로 표시한 바와 같이 홍천댐의 常時 滿水位를 EL. 121.00m로 할 경우 常時 可用水量은 약 350만 tons/day로서 댐 지점에서의 月平均 流下量의 약 90%(표 3참조)에 해당함을 알 수 있다. 마찬가지로 方法으로 特定 크기의 常時 流量을 공급하기 위한 所要 貯水 容量의 크기와 그에 상응하는 만수면 標高를 그림 6으로부터 決定할 수 있게 된다.

4.2 特定 貯水池의 用水供給能力 評價

본 研究의 結果로 얻어진 貯水 容量—常時 流量

再現期間 關係의 分析資料는 어떤 容量의 貯水池를 建設한다고 가정할 때 각종 頻度의 旱魃 도래시 貯水池로 부터 供給할 수 있는 能力을 評價하는 데에도 應用할 수 있다. 예를 들면 홍천댐 지점에 常時 滿水位 EL. 104m인 댐을 建設한다면 그림 6의 S—H 曲線으로 부터 活用貯水 容量은 $6.056 \times 10^8 \text{m}^3 = 41.11 \text{cm}$ (流域 等價流 出高)이다.

200년 模擬發生 資料의 確率論的 分析으로 작성된 그림 5의 S—D—T 關係曲線에서 S=41.11cm 일때의 再現期間別로 可用한 常時 流量은 平均 流下量의 백분율로 보간법에 의해 읽을 수 있으며 이를 流量(ton/day)으로 환산하면 표 4와 같다.

표 4의 再現期間別 常時 流量을 曲線關係로 표시한 것이 그림 7이며 그림 7로 부터 홍천댐 지점이 活用 貯水 容量 41.11cm의 貯水池를 建設하였을 경우 200년 頻度의 旱魃 도래시 常時 供給 가능 流量은 $2.48 \times 10^6 \text{tons/day}$ 임을 알 수 있다. 또한 홍천 댐으로 부터의 用水 수요가 크게 증가하여 所要 常時 流量이 $2.78 \times 10^6 \text{tons/day}$ 가 되면 20년 頻度의 旱魃이 發生하더라도 불 부족현상을 겪을 수 밖에 없음을 알 수 있다.

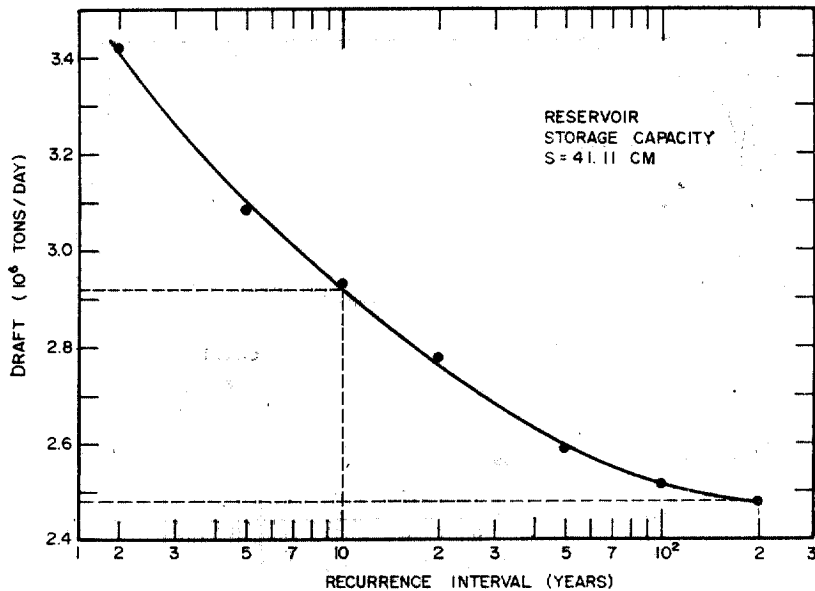


그림 7. Evaluation of water supply capability of a reservoir

5. 結 論

본 연구에서는 홍천댐 예정지점의 한정된 期間(22년) 동안의 月流量資料를 사용하여 推計學的 模擬發生技法으로 長期間의 月流量 時系列을 發生시키는 方法에 대한 研究를 하였을 뿐 아니라 最適 模擬模型에 의한 月河川流量의 長期間發生資料를 確率論的으로 解析하여 旱魃의 再現期間 개념에 입각하여 물 수요량을 안전하게 供給할 수 있는 活用 貯水容量의 크기를 決定하는 개선된 方法을 제안하였으며 研究 結果를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 月流下量의 模擬發生模型으로서 Monte Carlo 模型과 Thomas Fiering 模型을 비교하여 본 結果 관측된 月流下量系列을 月別 平均値와 標準偏差에 의하여 標準化한 時系列을 사용하여 적용한 Monte Carlo 方法 (Monte Carlo-B 模型)이 記錄値의 통계학적 特性을 가장 잘 재연시켜 주는 模擬發生기법임이 判明되었다. 이로부터 주기성을 제거한 標準化된 月流量 時系列은 무작위성 時系列이며 수문학적 持續性을 갖지 않음을 알 수 있었다.
- 2) 記錄上의 最大旱魃期間 資料만을 사용하여 確

定論的으로 貯水容量을 決定하는 종래의 Rippl 方法보다 旱魃의 再現期間 개념이 도입된 常時流量別 貯水容量關係(貯水容量—常時流量—再現期間關係)로 解析하는 본 研究에서의 方法이 適正 貯水容量을 決定하는데 있어서 더 합리적이고 경제적이라고 생각된다.

- 3) 본 研究의 結果로 얻어지는 貯水容量—常時流量—再現期間關係는 設計再現期間別로 滿水位 標高別 常時 可用水量을 推定한다든가 혹은 어떤 규모의 貯水容量을 가지는 貯水池로부터의 用水供給能力을 評價하기 위한 수단으로 사용될 수 있다.

謝 辭

本 研究은 1984.5~1986.4의 2個年에 걸쳐 韓國科學財團의 一般研究費 支援下에 수행되었음을 밝히며 財團의 各種 支援에 깊은 謝意를 표하는 바이다.

참 고 문 헌

1. Rippl, W., The Capacity of Storage Reservoirs for Water Supply, *Proc. Institute of Civil Engineers*, Vol. 71, 1883.
2. Clarke, R.T., *Mathematical Models in Hydrology, Irrigation and Drainage Paper 19*, FAO,

- UN, Rome, 1973.
3. Loucks, D.P., Stedinger, J.R., and Haith, D.A., *Water Resources Systems Planning and Analysis*, Prentice-Hall, 1981.
 4. Clarke, R.T., *Problems and Methods of Univariate Synthetic Hydrology, in Mathematical Models for Surface Water Hydrology*, by Ciriani, T.A., Maione, V., and Wallis, J.R., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1977.
 5. Moss, M.E., and Bryson, M.C., Autocorrelation Structure of Monthly Streamflows, *Water Resources Research (WRR)*, Vol. 10, No. 4, 1974.
 6. O'Connell, P.E., Multivariate Hydrology: A Correction, *Journal, Hydraulics Div., ASCE*, Vol. 99, HY 12, 1973.
 7. O'Connell, P.E., *ARIMA Models in Synthetic Hydrology, in Mathematica Models for Surface Water Hydrology*, by Ciriani, Maione, and Wallis, John Wiley and Sons, Inc., N.Y., 1977.
 8. Mandelbrot, B.B., A Fast Fractional Gaussian Noise Generator, *WRR*, Vol. 7, No. 3, 1971.
 9. Mandelbrot, B.B., Broken Line Process Derived as an Approximation to Fractional Noise, *WRR*, Vol. 8, No. 5, 1972.
 10. Mandelbrot, B.B., and Van Ness, J.W., Fractional Brownian Motions, Fractional Brownian Noise and Applications, *SIAM Review*, Vol. 10, No.4, 1968.
 11. Mandelbrot, B.B. and Wallis, J.R., Computer Experiments with Fractional Gaussian Noises, *WRR*, Vol. 5, 1, 1969.
 12. Matalas, N.C. and Wallis, J.R., Statistical Properties of Multivariate Fractional Gaussian Noise Processes, *WRR*, Vol. 7, No. 6, 1971.
 13. Thomas, H.A. and Fiering, M.B., *Mathematical Synthesis of Streamflow Sequences for the Analysis of River Basins by Simulation*, In "Design, of Water Resources Systems" by Mass, A. et.al., Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.
 14. 서병하, 윤용남, 강관원, Bivariate Analysis 에 의한 월 유량의 모의 발생에 관한 연구, 한국수문학회지, 12권 2호, 1979.
 15. Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, Holden-Day Inc., San Francisco, 1976.
 16. 윤용남, 전서영, ARMA(1, 1) 다계절 모형에 의한 하천유량의 모의 발생, 한국 수문학회지, 18권 1호, 1985. 3.
 17. 윤용남, 이은태, 하천유량의 모의 발생을 위한 Monte-Carlo 방법과 Autoregressive 방법의 비교, 한국 수문학회지, 18권 4호, 1985. 12.
 18. Young, G.K. and Pisano, W.C., Operational Hydrology Using Residuals, *Journal, Hydr Div., ASCE*, Vol. 94, No. HY4, Proceeding Paper 6034, 1968.
 19. 건설부, 홍천 다목적댐 기본 계획 보고서, 1984년 4월.
 20. Haan, C.T., *Statistical Methods in Hydrology*, Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1979.
 21. Miller, I. and Freund, J.E., *Probability and Statistics for Engineers*, Prentice-Hall, New Jersey, 1965.
 22. Becker, L. and Yeh, W. W-G., Optimization of Real Time Operation of a Multiple Reservoir System, *WRR*, Vol. 10, No. 6, 1974.
 23. Loucks, D.P., Computer Models for Reservoir Regulation, *Journal, Sanitary Eng. Div., ASCE*, Vol. 94, No. SA4., 1968.
 24. Roefs, T.G. and Bodin L.D., Multireservoir Operation Studies, *WRR*, Vol. 6, No. 2, 1970.
 25. Nayak, S.C. and Aroa, S.K., Optimal Capacities for A Multireservoir System Using the Linear Decision Rule, *WRR*, Vol. 7, No. 3, 1971.
 26. Loucks, D.P., Stochastic Models for Reservoir Design, *in Stochastic Approaches to Water Resources*, Vol. 2, H.W. Shen(Ed.), Fort Collins, Colo., 1976
 27. Klemes, V., Discrete Representation of Storage for Stochastic Reservoir Optimization, *WRR*, 13, 1977.
 28. Pergram, G.G.S., Factors Affecting Draft from A Lloyd Reservoir, *WRR*, 10, 1974.
 29. Venetis, C., A Stochastic Model of Monthly Reservoir Storage, *WRR*, 5, 1969.
 30. 윤용남, 급수용 저수지 설계를 위한 저유하량 계열의 통계학적 해석에 관한 연구, 대한 토목학회지, 20권 1호, 1972.
 31. Gumbel, E.J., *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York, 1958.

32. Veltz, C.J. and Cannon, J.J., *Drought Flow of Michigan Streams*, Michigan Water Resources Commission, Lansing, Michigan, 1960.

33. Stall, J..B, *Low Flows of Illinois Streams for Impounding Reservoir Design*, Bulletin 51, Illinois State Water Survey, Illinois, 19.

(接受：1986.7.22)