

〈論 文〉

2단계 추이모형에 의한 錦江河口湖의 空水到達時間의 평가 An Evaluation of the Emptiness Passage Time of the Keumgang Estuary Reservoir by Two-Step Transition Model

이 재 형*, 정 만**

LEE, Jae Hyoung and CHUNG, Mahn

Abstract □ This study aims at the evaluation of the stationary distribution and the emptiness passage time for the effectiveness of water utility in the Keumgang estuary reservoir by two-step transition model. It was taken discrete Markovian correlated inflows for the joint probability of inflows and storage, and was used binomial distribution for inflows distribution. As the results, it was decreased from 0.952 to 0.904 the emptiness probability of the reservoir stationary distribution during 1952-1980, and from 0.900 to 0.829 during 1981-1989, and the average emptiness passage time was increased from 23 days to 37 days during 1952-1980, and from 29 days to 61 days during 1981-1989 at low state of storage. From this, it is found that the emptiness passage time is varied with the increase of the inflows auto-correlation coefficient in the Keumgang estuary reservoir. Therefore, it is understood that auto-correlation coefficient must be taken into consideration for the evaluation of water utility in a small reservoir at drought time.

요 지 : 본 연구는 금강하구호의 운영정책을 효율적으로 수립할 수 있도록, 2단계 추이모형으로 부터 저수지 정상분포와 공수도달시간을 평가하는 데 있다. 이를 위해서 저수량과 유량의 결합분포에 이산 Markov과정을 도입하였으며, 저수지 유입량 분포로는 이항분포를 이용하였다. 계산결과, 대청댐 건설이전인 1952년부터 1980년 유량자료로 부터 갈수시 자기 상관계수의 도입에 따른 저수지 정상분포의 공수확률은 0.952에서 0.904로 감소하며, 대청댐 건설이후인 1981-1989년까지는 저수지 정상분포의 공수확률은 0.900에서 0.829로 감소하였다. 한편 평균공수도달시간은 초기저수량이 1단위에서 댐건설전은 23일에서 37일로 증가하며, 건설후는 29일에서 61일로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 비교적 용량이 적은 금강하구호에서 저수율이 낮을 때 정상분포, 공수도달시간 등이 저수지 유입량의 자기상관계수에 따라 변화함을 알 수 있다. 따라서 갈수시 금강하구호의 효율적인 이수관리를 위해서는 유입량의 자기상관성을 고려해야 한다.

1. 서 론

물은 사회적, 경제적 활동을 전개해가는데 필요 불가결한 자원의 하나이다. 근래 경제성장에 따른 산업화, 도시화와 함께 국민생활의 수준향상에 따라서 용수수요량의 증가는 수자원에 대한 효율적 이용의 필요성을 크게 증가시키고 있다. 특히 갈수

시 공급과 수요의 격차가 크게 되는 경우에는 수자원의 효율적인 관리는 그 중요성이 더욱 강조되며, 이때의 저수지 운영시 유량간의 자기상관성이 큰 경우가 자주 발생하므로 상관성의 도입이 요구된다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 금강 하구호는 유역면적에 비해 극히 적은 만수면적과 내용적을 갖고 있으며, 하구호의 용수공급은 연중 갈수기인 6월에 집중되므로 용수수급에 어려움이 있다.

* 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 여수수산대학 해양토목공학과 부교수

또한 하구호의 용수 공급계획을 충족시키기 위해서는 연평균 유입량의 98.6%가 하천수에 의해 공급되어야 한다는 점이다(한국수자원공사, 1992).

저수지 운영이론에 처음으로 확률 유량분포를 도입한 사람은 Moran(1954)이다. 그는 저수지계를 확률특성을 갖는 在庫問題로 정식화하여, 정상(stationary) 또는 독립인 유량을 받는 저수지의 저수량 정상분포를 도출하였다. Lloyd(1963)는 Moran의 이론을 발전시켜서 자기상관성을 포함했다. 즉, 저수량과 유량의 결합분포에 이산 Markov 과정(Moran의 추이확률행렬에 전단계의 유량상태를 감안한것)을 이용했다. 그러나, 실제의 계산방법을 표시한 것은 극히 단순한 경우에 불과했고, 실용상 요구되는 것과 같은 큰 차원을 갖는 추이확률행렬에 대해서는 계산이 번잡하게 되어 해를 구하는 것은 사실상 곤란했다. 또한, Klemes(1970)는 저수량추이에 대해서, 유입량에 의한 저류추이와 방류량에 의한 방류추이와의 합성에서 Lloyd의 모형을 직접 유도하였으나 이는 본래 연속분포유입량을 대상으로 기술되어 있기 때문에 행렬연산으로서의 계산과정이 간접적이고 계산방법에 불명확성이 남게 되었다. 위와 같은 행렬연산에 따르는, 차원확대에 의한 복잡성을 피하고자 시도한 것으로 Phatarfod and Mardia(1973)의 연구가 있다. 그들은 1차원 Markov 이론이나 축차해석 등의 기법을 적용하고 있다. 그렇지만 엄밀해가 얻어질 수 있는 것은 유입량분포가 극히 간단한 예(正의 二項分布에서는 3 狀態流量)에 불과하다. 鈴木正人, 長尾正志(1989)등은 Phatarfod의 엄밀해를 개량해서 유입량분포가 일반적인 경우에도 적용해서 얻을 수 있는 2단계 추이모형(Two-Step Transition Model)을 제안하였다. 그들은 초기저수량이 만수량의 3/4 이상에서는 Phatarfod의 해가 급속히 증가하여 2단계 추이법의 해보다 약 4배까지 증가하므로, 월류가능성이 있는 저수지의 공수도달시간이 초기저수량과 선형관계에 있는 2단계추이법을 이용하도록 제시하였다. 한편 국내에서는 동적계획법을 저수지 최적 운용에 응용한 연구들(권, 1980; 이, 1985; 이, 1992)은 많이 있으나 갈수시 유량의 자기상관성을 고려한 저수지의 운용에 대한 연구는 없다.

갈수시 이수용 저수지의 기능평가를 검토할 때에는 갈수시 유황의 대표적인 특성중의 하나인 유량시계열의 강한 自己相關性(Autocorrelation)을 무시할 수 없다. 이를 위해서는 위에서 검토한 바와 같이 유입량분포가 일반적인 경우에도 안정적인 해를 얻을 수 있는 2단계 추이모형이 적합할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 저수지 운영이 유입량의 특성에 크게 의존하고 있는 금강 하구호를 대상으로하여, 鈴木正人, 長尾正志(1989)가 제안한 2단계 추이모형의 적용성을 검토하고, 유입량의 자기상관성의 크기에 따른 금강 하구호의 기대 방류량계열 및 하구호의 공수도달시간에 미치는 영향을 도출하는 데 있다.

본 연구를 위해서 2절에서는 금강하구호의 현황에 대하여 기술하며, 3절에서는 기존에 제시된 2단계 추이모형을 약술한다. 이로부터 제 4절에서는 금강 하구호의 유입량특성에 따른 정상분포와 공수도달시간 등의 변화를 검토한다.

2. 금강하구호의 개황 및 유입량특성

2.1 금강하구호의 개요

하구둑은 농업용수 확보를 위하여 금강하구(군산상류 5km 지점, 좌안은 전북 옥구군 성산면 성덕리, 우안은 충남 서천군 마서면 도삼리)에 설치되었으며 약 138MCM 규모의 하구호가 조성되어 금강, 만경강 하류연안 약 43,000ha의 농경지에 농업용수를 공급하고 군산, 이리 및 전주시를 비롯하여 부근 소도시에 생활 및 공업용수를 공급할 계획으로 완공되었다(농업진흥공사, 1983).

표 2.1은 금강하구호에 대한 현황을 나타낸 것이다. 금강 하구호의 유입량에 기여하는 상류 유역면적은 9,313km²이며 상류유역에는 1980년도에 완공한 유역면적이 4,134km²인 대청호가 있다. 하구호의 계획 만수위는 관개기에는 EL+2.0m, 만수면적은 EL+2.0m까지 36.5km²이다. 사수위는 EL-3.0m로 하며, 용수공급상 지장이 없거나 홍수조절상 필요한 경우에는 계획만수위를 EL+1.0m로 제한할 수 있도록 되어있다. 금강하구호의 수위-용적곡선을 도시하면 그림 2.1과 같다. 하구호의

표 2.1 금강하구호의 현황

만수면적 (km ²)	관리수위 (m)		사수위 (m)	홍수위 (m)	총저수량 (MCM)	유효저수량 (MCM)	사수량 (MCM)
36.5	관개기 (3월중순-6월하순)	EL+2.0	EL-3.0	EL+4.62	138	122.5	16
	비관개기 (7월상순-3월상순)	EL+1.0					

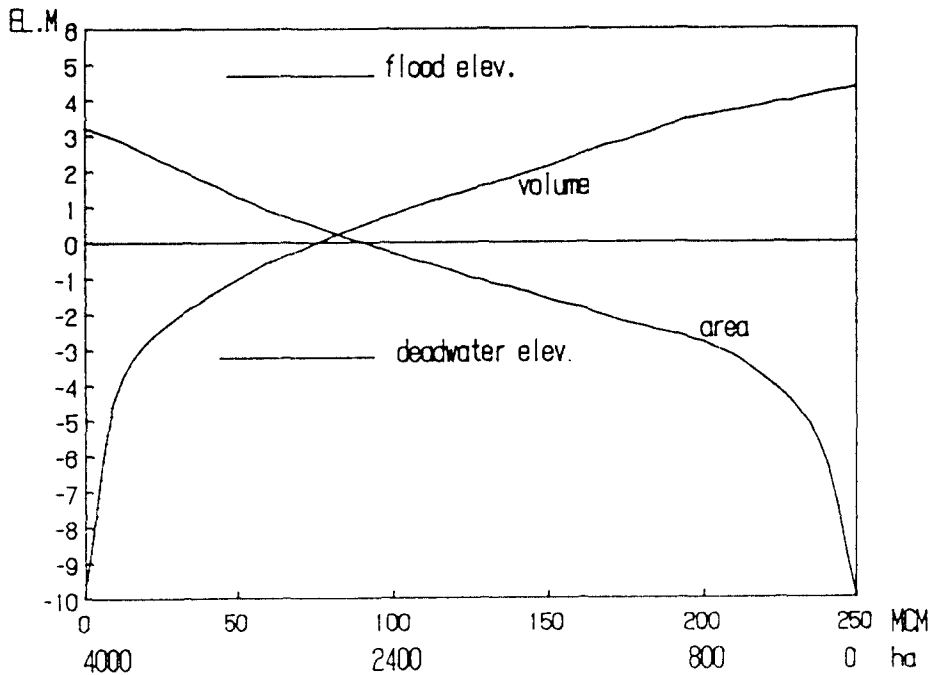


그림 2.1 금강하구호의 수위-용적곡선

100년빈도 홍수위는 EL+4.62m이며 이때의 총저수량은 138MCM 정도이다. EL+2.0m에서의 유효저수량은 122.5MCM이며 사수량은 16MCM이다. EL+2.0m에서의 유효저수량 122.5MCM은 대청호 유효저수량 1025MCM의 12% 정도이며, 하구호는 조석으로 인하여 저류에 크게 영향을 받는다(한국수자원공사, 1992). 또한 하구호의 유역면적에 대한 유효저수량은 24mm로 대청댐의 191mm보다 매우 적으며, 금강하구호는 유역 하류부의 농업용저수지의 유역면적에 대한 유효저수량 21mm와 비슷한 규모로 하구호의 저류능력은 적다.

2.2 하구호 유입량특성

갈수시 이수용 저수지나 하구호의 기능평가를 검토할 때에는, 유역에 대한 流況의 특성이 중요하다. 통상 저수지의 운영 모형에서는 계산의 실용화를 고려해서 반순 또는 月 등의 단위기간을 이산화해서 이용한다. 특히 갈수기의 저수지 운영시에는 유황의 대표적인 특성중의 하나인 강한 자기상관성을 무시할 수 없다는 데 있다. 이 문제는, 수식적 표현을 할 때에 두가지 점에 관심이 집중된다. 첫

째는 유량의 지속성이 강하다는 점이다. 즉, 큰 陽의 상관을 갖는다는 점이고, 둘째로는 유량의 확률 분포형에서 작은쪽의 출현가능성이 크다. 즉, 正의 歪曲을 갖는다는 점이다. 여기서 첫항은 유량시계열을 Markov 과정으로 구성할 때의 자기상관성의 도입의 필요성을 나타내며, 둘째항은 비대칭이산분포에 의한 정식화의 문제에 대한 것이다.

그림 2.2는 금강 하구호의 유입량에 대한 지속성을 살펴보기 위해 5일 평균유량에 대한 시차(time lag) 1의 자기상관계수를 도시한 것이다. 유량자료로는 조석의 영향을 받지 않으며 비교적 관측기록이 풍부한 공주수위관측소의 일수위자료와 수위-유량 곡선으로부터 얻은 유량을 이용하였다(이진원 등, 1992). 이용기간으로는 1952-89년동안의 일유량 자료 중 금강하구호의 용수 이용량이 많은 3월부터 6월 동안이다.

이 그림에서 나타난 바와 같이 대청댐 건설이전인 1952-80년의 자기상관계수는 0.0-0.7 까지의

큰 폭으로 변화하는 것으로 나타났다. 또한 자기상관계수가 0.5이상인 해는 대부분 갈수기에 해당된다(한국수자원공사, 1992). 대청댐 건설 이후 1981-89년에는 81년도와 84년도를 제외하고는 자기상관성이 0.4-0.5로 변동폭이 미미하다. 유량상관성의 대소는, 하천이나 연도에 따라서 다르기는 하지만 유입량의 특성에 의존하는 저수지의 기능 평가에 있어서는 자기상관성의 영향을 검토할 필요가 있다.

그림 2.3은 이들 유량 자료의 확률분포 형태를 도시한 것이다. 확률분포형으로는 이산형 이항분포(Binomial Distribution)를 이용하였다. 확률분포형을 살펴보기 위하여 대청댐 건설전후로 나누어 이항분포에 따른 매년의 확률모수를 각각 구해본 결과, 댐 건설전은 0.17, 건설후는 0.24로 나타났다. 그림에서 나타난 바와 같이 공주지점의 유입량도 대부분의 하천유량의 특성인 正의 왜곡을 나타냄을 알 수 있다.

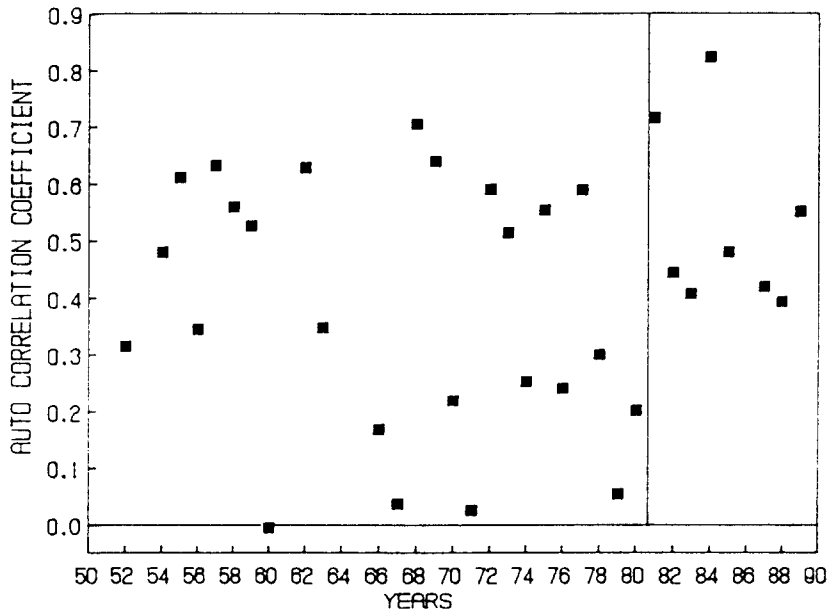


그림 2-2 년도별 유량 자료의 자기상관계수 변화

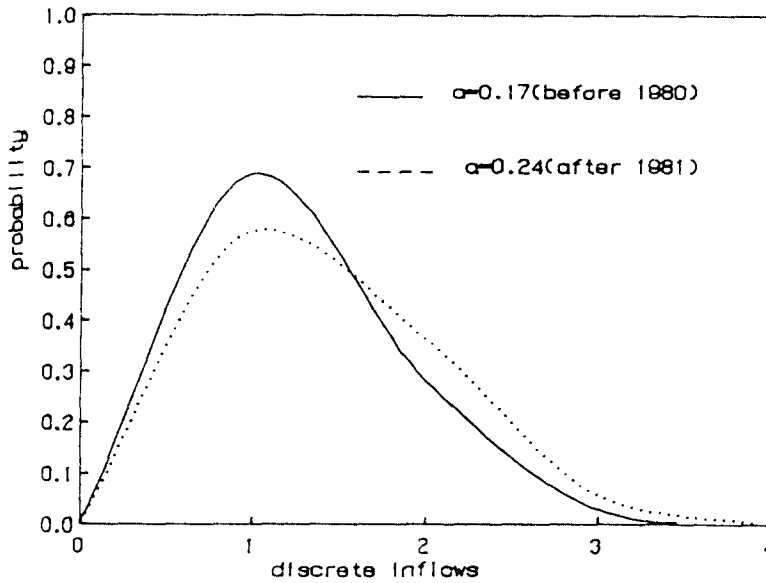


그림 2.3 하구호 유입량의 이항분포

3. 2단계 추이모형의 개요

갈수시 이수용 저수지나 하구호의 기능평가를 검토할 때에는, 유역에 대한 流況의 특성이 중요하며, 渇水時 流況의 대표적인 특성중의 하나는 강한 自己相關性을 무시할 수 없다는 데 있다. 2단계 추이모형은 어떤 단위기간의 초기에서는 저류만을 고려하고 말기에는 방류만을 하도록 고려한 모형이다 (그림 3.1 참조). 즉 저류가능성과 방류가능성이 각각 초기, 말기라고 하는 이산시점으로 구별되며, 전체유입량 및 저수량은 시간적, 양적으로 이산화된 상태로 취급하고, 유량시계열의 자기상관성은 Markov과정으로한 조건부 이산분포로 고려된다. 또한 저수용량 및 저수량, 방류량은 유입량의 이산단위의 정수배로 나타내어진다.

먼저 저류에 의한 추이, 즉 저류추이는 다음식으로 표시된다(鈴木正人, 長尾正志, 1989).

$$\{H\}_2^s = \{H\}_1^s \cdot G \tag{2.1}$$

여기에서 G는 조건부유입량분포를 나타내며 전

기간에서 i의 유입이 있었을때 현재에서 j의 유입이 발생할 조건부 유량분포 g_{ij} 로 구성되는 추이확률행렬이다. 또한 방류에 의한 추이, 즉 방류추이는 다음식과 같이 표시된다.

$$\{H\}_1^{s+1} = \{H\}_2^s \cdot R \tag{2.2}$$

여기서 R은 1 또는 0의 요소로 구성되는 방류추이행렬이다. 식(2.1), (2.2)를 합성하면,

$$\{H\}_1^{s+1} = \{H\}_2^s \cdot P \tag{2.3}$$

이 된다. 여기서, $P=G \cdot R$ 이다. {H}는 저수량분포벡터로 $\{H\} = \{H_0, H_1, \dots, H_i, \dots, H_k\}$, $H_i = (h_{i0}, h_{i1}, \dots, h_{in}, \dots, h_{in})$ 이며, P는 저수량의 추이확률, k는 저수지용량, n은 유입량의 상한이고, 요소 h_{ij} 는, 유입량 j를 받아서 저수상태 i로 되는 확률을, 첨자 s는 기간, 첨자 1,2는 각 기간의 초기와 말기를 의미한다. 따라서 식 (2.3)은 Moran이 초기에 제한한 유량시계열이 독립인 경우와 같은 표현이 된다.

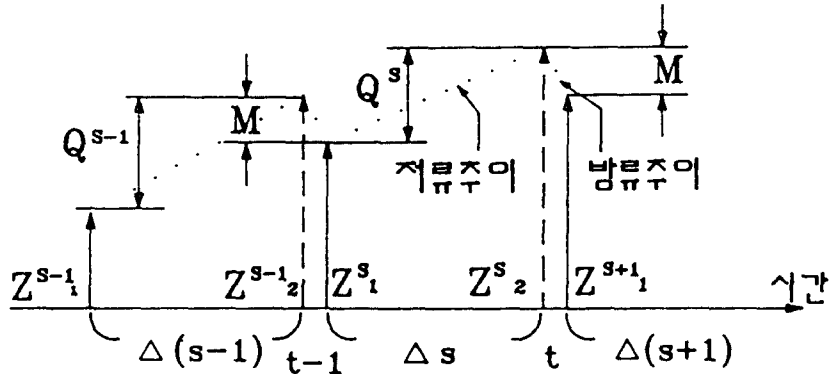


그림 3.1 2단계 추이모형의 모식도(長尾,1989)

4. 錦江河口湖의 정상분포 및 공수도달시간의 평가

4.1 정상분포의 도출

저수상태확률의 추이를 식(2.3)의 형태로 표현할 수 있는 것은 양적, 시간적인 측면에서 저수지의 기능평가에 유용한 수단을 많이 제공하지만 여기에서는 貯水量定常分布의 도출에 대해서 기술한다. 저수량정상분포를 W로 나타내면, 식(2.3)은

$$[W] = [W] \cdot P \tag{4.1}$$

으로 쓸 수 있으며, 여기서, $[W] = [W_0, W_1, \dots, W_i, \dots, W_k]$, $W_i = (W_0, W_1, \dots, W_m)$ 이다. 식(4.1)를 변형해서, $\{0\}, \{I\}$ 을 각각 零行列, 單位行列로 하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\{0\} = \{W\} \cdot (I - P) \tag{4.2}$$

기본적으로는 식(4.2)의 연립방정식을 해석하면 되지만, 정상분포의 각 요소의 합이 1이라는 조건을 추가하여 다음식과 같이 표현한다. 단, 좌변의 요소수는 P의 열수와 같다.

$$\{0, 0, 0, \dots, 0, 1\} = \{W\} \cdot Q \tag{4.3}$$

여기서, Q는 (P-I)의 맨 뒤 열의 요소를 전부 1로 바꾸어 놓은 것이다. 따라서 식(4.3)의 연립방

정식을 해석함으로써 정상분포 {W}를 구할 수 있다.

위 절차에 따라 금강하구호의 정상분포 계산을 하기 위해서는 하구호의 유효저수용량에 대한 이산화가 필요하다. 선택자료기간중 댐건설전 5일평균 최저유량은 4.3m³/sec이며, 건설후에는 4.6m³/sec이다. 이산화를 하기 위해 유입량의 이산 단위유량으로 9m³/sec를 취하면, 1단위의 용적은 3.9MCM이다. 따라서 하구호의 유효 저수용량 122.5MCM은 31단위를 갖는다. 또한 상관 이항분포의 저수상태별 주변분포 P(i) 및 조건부 확률 분포 g_i를 다음식으로 구한다(鈴木正人, 長尾正志, 1989).

$$\begin{aligned}
 P(i) &\equiv \Pr\{X_i = i\} = \binom{r}{i} (1-a)^{r-i} a^i \\
 g_{ij} &\equiv \Pr\{X_{i+1} = j | X_i = i\} \\
 &= \sum_{s=0}^{\min(i, j)} \binom{i}{s} \binom{-i+r}{j-s} \{a(1-\rho) + \rho\} \\
 &\quad \times \{1-a(1-\rho)\}^{s+r-1-j} a^{j-s} \\
 &\quad \times (1-a^{1-s}(1-\rho))^{i+j-2s} \\
 &\quad (i, j = 0, 1, 2, \dots, r) \tag{4.4}
 \end{aligned}$$

여기서, r은 유량상한, s는 저수상태, a는 확률모수, ρ는 5일평균 유량의 자기상관계수이다. 금강하구호의 대청댐 건설전 유량에 대한 이항분포의 확률모수 a를 5일 평균유량의 자기상관계수가 0.5 이상인 자료, 0.5 이하인 자료, 그리고 전체자료로 구분하여 계산하면 a = 0.18, 0.31, 0.17이다. 또

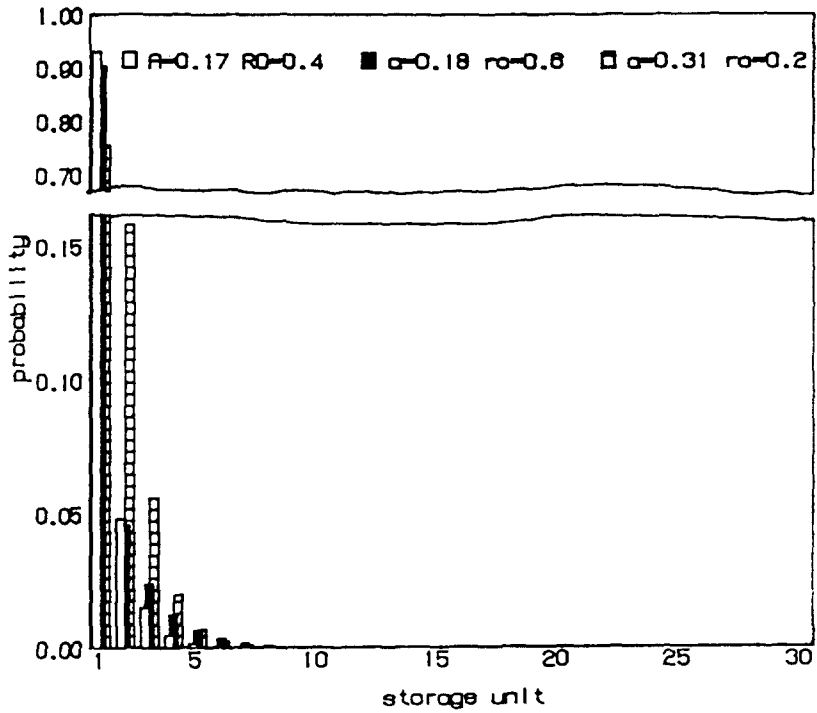


그림 4.1 유입량특성에 따른 정상분포(댐건설전)

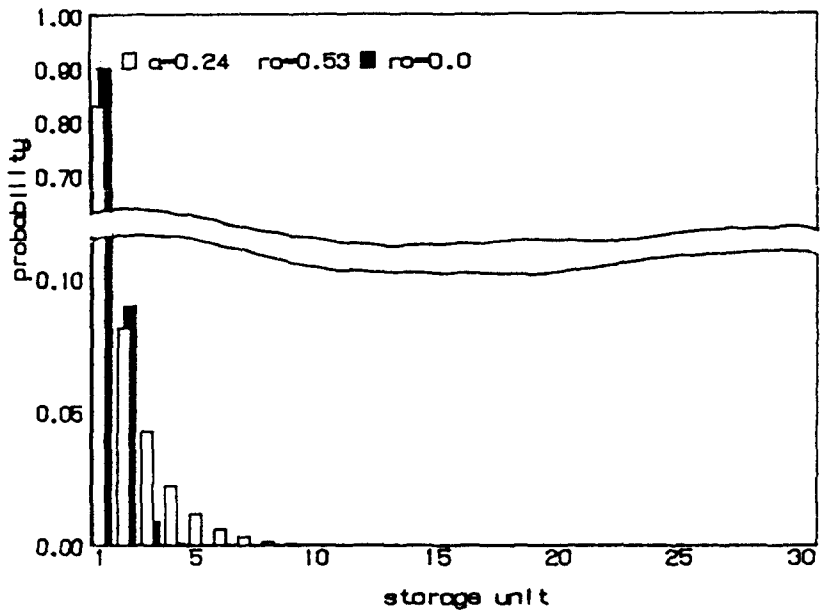


그림 4.2 유입량특성에 따른 정상분포(댐건설후)

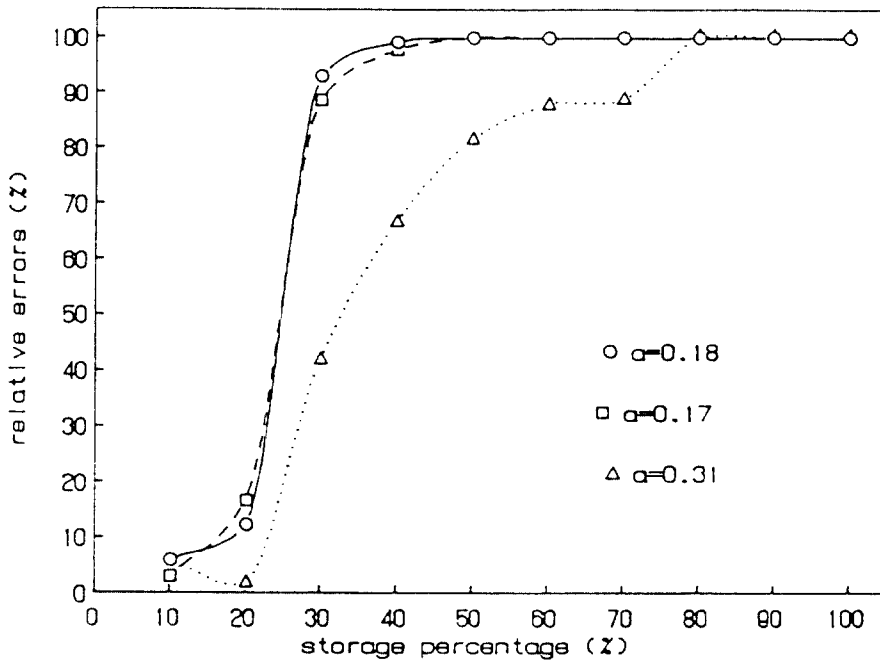


그림 4.3 정상분포의 상대 오차

$$P = \begin{matrix} h_{1,0} & h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_p & \begin{vmatrix} I & O \\ T & \Gamma \end{vmatrix} \end{matrix} \quad (i=1, 2, \dots, k) \quad (j=0, 1, \dots, n) \quad (4.5)$$

여기서 I 는 단위행렬(Unit Matrix)로 흡수상태에 대응하며, 공수상태 h_n 는 공수상태 h_0 로만 추이한다. 또 T 는 비공수상태 $h_n(j=0, \dots, n: i=1, 2, \dots, k)$ 에서 공수상태 h_0 로 추이하는 영역요소를 나타내고, 비공수상태 h_n 에서 비공수상태 h_n 로 추이하는 과도상태의 영역요소를 의미한다. 역시 O 은 영행렬이고, 현실에서는 이와 같은 상태는 존재하지 않는다.

다음으로 공수상태 도달 시간(평균흡수시간) 및 흡수확률을 구하기 위해, 먼저 행렬 N 을 $I-\Gamma$ 의 역행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$N = (I - \Gamma)^{-1} \quad (4.6)$$

여기서 N 의 각요소는 초기상태 $h_n(j=0, \dots,$

$n: i=1, 2, \dots, k)$ 에서 출발해서, 공수상태 h_0 에 도달할 때까지 각 상태를 각각 몇회 경과하는가를 나타내는 기대치이다. 또한 평균흡수시간의 기대치벡터 τ 는 전체요소가 1인 열벡터 ξ 를 이용해서 다음식으로 구해진다(森村英典 등 1989).

$$\tau = N \cdot \xi \quad (4.7)$$

용수공급이 위험한 저수상태에 도달하는 시간의 확률분포는, 임의의 초기 저수량분포 $U \equiv (U_1, U_2, \dots, U_n, \dots, U_k)$, $U_i \equiv (u_{i0}, u_{i1}, \dots, u_{in})$ 에서 시작해서 공수상태로 될 때 까지의 추이를 1단계씩 구해 간다. 여기에서 u_{i0}, \dots 는 해당기간에 유입량 0을 받아서 말기저수량이 i 인 확률을 나타낸다. 여기서 비공수상태에서 공수상태로의 추이는 추이행렬 P 의 부분행렬 T 로 표현된다. 따라서 1단계에서 공수상태 0에 도달하는 확률벡터 f_0 를 다음식과 같이 쓴다.

$$f^1_0 = U \cdot T \quad (4.8)$$

여기서 f^1_0 ($f^1_{00}, f^1_{01}, \dots, f^1_{0n}, \dots, f^1_{0n}$)이다. 다음으로 2단계에서 처음으로 공수상태가 되는 확률벡터 f^2_0 는, 1단계에서 비공수상태로 추이하고, 2 단계에서 공수상태로 추이한다. 따라서 이를 비공수상태에서 비공수상태로 추이하는 행렬 Γ 를 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$f^2_0 = U \cdot \Gamma \cdot T \quad (4.9)$$

일반적으로 N 단계에서 처음으로 공수상태가 되는 확률벡터 f^N_0 은, N-1 단계에서 비공수상태에서 비공수상태로 추이하고, N단계에서 공수상태로 추이하기 때문에, $N \geq 2$ 라면

$$f^N_0 = U \cdot \Gamma^{N-1} \cdot T \quad (4.10)$$

으로 표시된다. 역시 1단계의 추이인 식(2-7)의

경우에도 $\Gamma^0 \equiv I$ (단위행렬)로 정의해 놓으면, 식 (4-6)에서 $N \geq 1$ 인 전체의 경우에 적용하는 것이 가능하다.

이로부터 하구호의 공수 도달시간을 각 유입량특성에 따라 계산한 결과를 댐건설전후로 구분하여 도시하면 그림 4.4-5와 같다. 그림 4.4에서는 전기간의 유입량이 0단위에서 자기상관계수의 도입에 따른 공수도달시간의 상대변화를 도시하였다. 그림 4.4에 나타난 바와 같이 형상모수가 커지면 공수도달시간은 커짐을 알 수 있다. 또한 그림 4.5에 댐건설후의 공수도달시간을 자기상관계수를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 도시하였다. 이 그림에서 저수량이 만수에 가까워질수록 편차가 적어짐을 알 수 있다. 한편 자기상관계수를 고려한 경우의 댐 건설전후 평균공수도달시간의 변화는 초기저수량이 1단위(1/30)에서 댐건설전은 7.4단계(5일 \times 7.4 = 37일)에서 12.2(61일)로 증가하는 것으로 나타났다

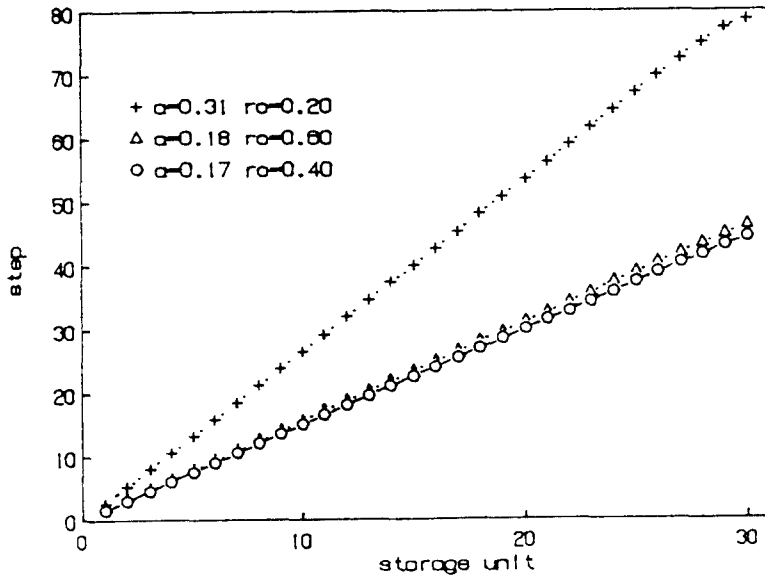


그림 4.4 초기 저수율에 따른 금강 하구호의 공수도달시간(댐건설전)

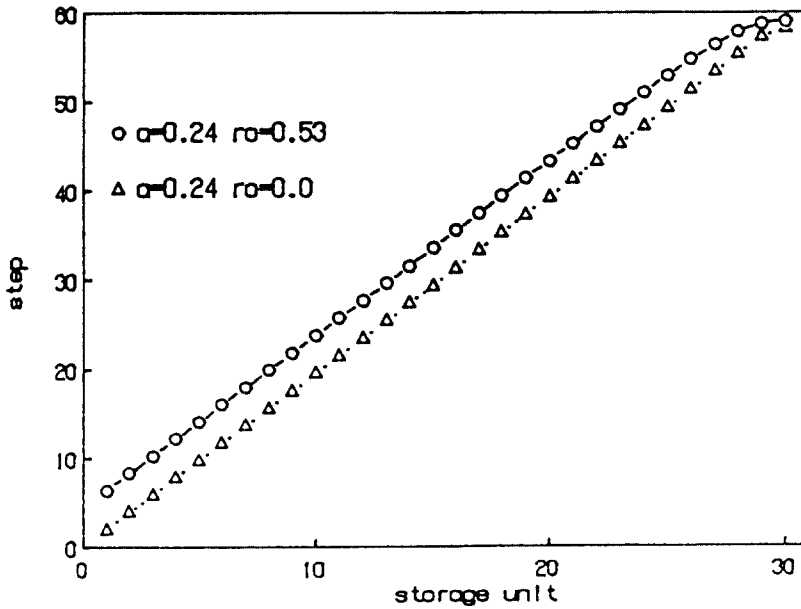


그림 4.5 초기 저수율에 따른 금강 하구호의 공수도달시간(댐건설후)

5. 결 론

참 고 문 헌

본 연구는 2단계 추이 모형으로부터 금강 하구호의 공수도달시간을 평가 하였다. 이를 위해서 저수량과 유량의 결합분포에 Markov과정을 도입하였으며, 저수지 유입량 분포로는 이항분포를 이용하였다. 계산결과, 형상모수가 커지면 저수지 정상분포는 적어짐을 알 수 있었으며, 금강하구호의 유입량특성에 따른 정상분포는 자기상관계수가 큰만큼 상대오차도 커지나 형상모수가 크면 상대오차는 감소하는 것으로 나타났다. 형상모수가 적은 경우의 상대오차는 저수율이 낮을 때에 적으며, 만수에 가까울수록 증가한다. 자기 상관계수를 도입한 경우에 공수도달시간은 커짐을 알 수 있으며, 형상모수가 크면 공수도달시간 또한 커지게 된다. 따라서 저수용량이 비교적 적은 금강하구호에서 저수율이 낮고 상관성이 큰 갈수시에는 유입량의 자기상관성을 고려한 저수지 운영이 필요하다.

1. 권오현, 성세진(1980) 북한강유역댐 군의 최적운영을 위한 시스템모델의 개발, 대한토목학회 논문집, 28권 4호, pp.95-104
2. 농업진흥공사(1983) 금강 I지구-하구연 수문조사 보고서.
3. 이순탁, 이수식(1985) 단일 다목적 저수지의 최적 운영, 한국수문학회지, 18권 4호, pp.347-359
4. 이재형, 이길성, 정동국(1992) Incremental DP에 의한 홍수시 댐군의 연계운영, 한국수문학회, 25권, 2호, pp. 47-59
5. 이진원, 우효섭(1992) 우리나라 주요하천의 유황 분석, 제 34 회수공학연구발표회논문집, pp177-186
6. 한국수자원공사(1992) 금강유역 대청댐 및 하구둑의 효율적 관리방안(이수관리).
7. Edwards, C. B. and Gurland, J(1961) A class of distributions applicable to accidents, Journ. Amer. Statist. Ass., Vol. 56, pp. 503~517
7. Hashimoto, T. et al.(1982) Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation.

- Water Resour. Res., Vol. 18. No. 1. pp. 14~20
8. Klemes, V.(1970) A Two-step probabilistic model of storage reservoir with correlated inputs, Water Resour. Res., Vol. 6. No. 3. pp. 756~767
 9. Lloyd, E. H.(1963) Reservoirs with serially correlated inflows, Technometrics, Vol. 5, No. 1. pp. 85~93
 10. Moran, P.A.P.(1954) A probability theory of dams and storage systems, Aust. Jour. Appl. Sci., Vol. 5., pp. 118~124
 11. Phatarfod, R. M. and Mardia, K. V.(1973) Some results for dams with Markovian inputs, Jour. Appl. Prob., Vol. 10. pp. 166~180
 12. 中川芳一(1980) 水資源은 울익음·策定영익음을
·關·섭一考察, ANSC研究年報, Vol. 8, No. 1. pp.21~67
 13. 長尾正志, 羽鳥明滿, 淺野和廣(1984) 利水用貯水池機能·評價··실·單純化·형·相關流量·解析, 第28回水理講演會論文集, pp. 1~6
 14. 小元利治, 池淵周一, 飯島 健(1985) 安全度評價을 울····最適·水理用은 울 익음·構成, 第29回水理講演會論文集, pp. 323~328 .
 15. 鈴木正人, 長尾正志(1989) 二段階推移을 잉음·석·섭相關離散分布流量을 受蓄을 貯水池理論, 土木學會論文集, 第411號, H-11. pp. 161~168
 16. 森村英典, 高橋行雄(1989) 을 울 상영 解析, 日科技連
 17. 鈴木正人, 長尾正志(1990) 相關離散分布流量을 受蓄을 貯水池·利水機能評價·研究, 土木學會論文集, 第417號, H-13. pp. 209~217