

Implicit 및 Explicit 기법으로 개발된 충주 다목적 저수지 운영을 개선

Improving Operating Rule of The Chungju Multi-purpose Reservoir

Developed by Implicit & Explicit Dynamic Programming

고석구*, 이광만**, 유태상***

저수지 운영방안 정책결정에 있어 보다 효과적으로 적용할 수 있는 방법론의 개발이 여러 측면에서 이루어져왔다. 이 중 동적계획기법의 Explicit 및 Implicit 해에 의한 최적운영방안의 건립이 한강수계의 충주댐을 대상으로 이루어졌다. 이들 방법은 한정된 과거 기록치로부터 합성유형변수의 발생하여 동적계획기법에 의한 충주댐 최적 운영모형에 적용하여 얻어진 상태변수 및 결정변수의 상관관계를 기준으로 도출된 운영방안에 기초하여 모의운영모형을 개발할 수 있다. 개발된 운영모형은 Explicit 기법은 조건확률에 따른 전단계의 이산화된 유입량 조건별 운영단계의 월초저류량을 기준으로 월말 저류량을 결정하는 방법이며, Implicit 기법은 전단계 저류량 및 유입량을 대상으로 월말 저류량을 결정하는 방법이다. Implicit 기법은 전단계 저류량 및 유입량을 대상으로 조합에 의한 회귀분석후 상관성이 우수한 운영방안을 개발하게 된다.

본 연구에서는 이렇게 개발된 두가지 운영을 기준으로 다목적 운영정책 결정을 위한 저수지 모의운영 모형을 개발하여 모형의 이행도를 평가하였다. Explicit 및 Implicit 기법에 기초한 모의모형의 평가방법은 모의치와 과거 운영실적을 비교하는 것으로 하고 Explicit 기법의 적용에서 홍수기 수문사상의 불확실성에 따른 저수지 운영 효율개선을 위하여 수정 방류량 결정방법을 도입하여 가장 적절한 저수지 운영모형 개발방법을 제시하고 있다.

1. 서론

최적화 기법을 적용한 저수지 운영률이 G. K. Young(1967)에 의해 처음 제시된 이래 여러 형태의 저수지 운영률이 제시되었다. 이들 운영은 적용된 최적해법에 따라서 선형계획기법과 동적계획기법 등으로 구분되며, 불확실성으로 대표되는 유입량의 처리방법에 따라 확정론적 기법과 추계학적 기법으로 나눌 수 있다. 또한 운영은 선형 혹은 비선형, 연속 또는 불연속 등의 형태로도 나눌 수 있다 (Loucks 등, 19981). 운영을 개발방법도 최적해법으로 얻어진 장기간의 자료를 대상으로 상관성을 기준으로 도출하는 Explicit 방법과 시계열상에서 유입량의 조건확률을 직접 모형에 적용하여 얻어진 궤적을 이용하는 Implicit 방법이 있다.

Yakowitz(1982)는 저수지 운영문제에서 동적계획기법에 의한 Implicit 기법에 의한 운영을의 역할과 적용성에 대하여 상세한 분석을 실시하였고 Wang과 Adams(1986) 등은 이분야에 대한 연구업적을 남겼다. 이들 연구의 주요 접근방법은 Implicit 추계학적 방법에 기초하는 것으로 자연유입량의 불확실성에 따른 충격을 완화하기 위하여 장기간의 합성유량 자료계열을 최적운영 모형에 적용하고 이때 얻어진 결정변수와 상태변수를 조합하여 방류량을 결정할 수 있는 저수지 운영을 개발하였다. 한편 Karamouz와 Houck(1987)은 유입량 계열의 조건확률을 직접 모형에 적용하는 추계학적 동적계획기법에 의해 Explicit 추계학적 방법에 기초한 저수지 운영방안을 검토하여 Implicit 방법과 비교하였다.

이와같은 Implicit 및 Explicit 기법에 의한 저수지 모의운영 모형은 크게 유입량 자료계열 확장을 위한 추계학적 수문모형, 동적계획기법에 의한 상태변수 및 결정변수의 궤적결정을 위한 최적운영모형의 구성, 최적운영모형 운영결과를 분석하여 운영을 결정하기 위한 회귀분석과 최적, 회귀분석을 통하여 얻어진 운영을 기초로한 다목적 저수지 모의 모형의 개발과정을 포함한 것이다.

본 연구에서는 이미 연구되어 발표된 Implicit (한국수자원공사, 1992) 및 Explicit(고석구 등, 1992a; 1993) 기법에 의한 저수지 운영을 개발방법을 기초로 한강수계내 충주댐을 대상으로 개발된 모의모형의 이행도 평가를 위하여 특정 유입량 조건에 따른 각각의 운영률 모의모형 운영실적과 과거 운영 실적을 비교함으로써 개발된 운영률에 대한 효율성과 실용성을 검증하였다. 또한 운영률 도출 기법에 따른 장, 단점을 분석하여 상래 저수지 운영 방안 의사결정에 이용될 수 있는 가장 적절한 운영을 개발 방법을 제시하고 있다.

2. Explicit 및 Implicit 기법에 의한 저수지 모의모형 개발 방법

2.1 모형 개발 방법

본 연구를 위하여 개발된 모의모형은 크게 Implicit 및 Explicit 방법으로 구분된다. 이들 모형은 Fig. 1과 같이 여러가지의 선행작업이 필요하다. 이와같은 방법론에 따른 최적 방류량 결정을 위한 모의모형의 개발과정은 4단계로 나누어 설명할 수 있다. 첫째 저수지 시스템 운영체계에 대한 운영방안을 장기간의 운영실적 및 유입량 조건등을 기준으로 상황변화에 따른 최적안을

* 한국수자원공사, 조사계획처장
** 한국수자원공사, 조사계획처
*** 한국수자원공사, 수자원연구소

택하는 방법이 가능하나 수문자료의 한계성 및 짧은 운영기간으로 인하여 과거실적으로부터 최적의 대안을 찾기란 쉽지 않다. 그래서 장기간의 유입량 자료계열을 합성하여 모형에 적용하게 된 것이다. 둘째는 최적운영모형의 구성으로 저수지 운영 목적을 최적으로 달성할 수 있는 모형의 개발이 필요하다. 이를 위해서는 주로 선형계획기법 및 동적계획기법이 많이 이용되고 있으며, 유입량 자료를 모형에 적용하는 방법에 따라 확정론적 및 추계학적 기법으로 나눌 수 있다. 셋째는 최적화된 최적화 모형을 통하여 얻어진 상태변수 및 결정변수간의 상관성을 분석하여 상호관계를 얻어질 수 있는 귀방정식을 이용하여 저수지 시스템을 구성하고 있는 각종 변수들을 고려하면서 방류량을 결정할 수 있는 저수지 모의 모형을 만드는 것이다.

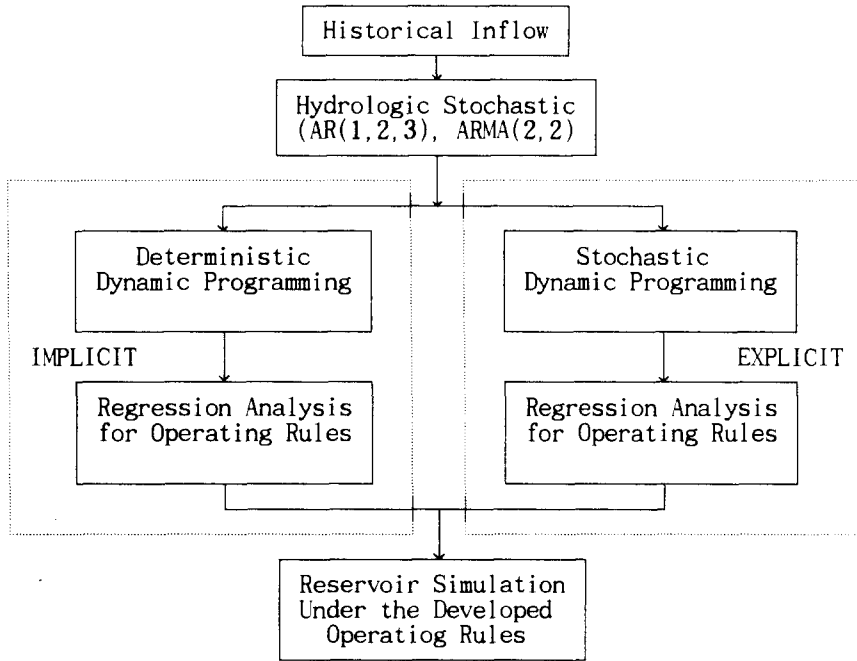


Fig. 1 Work Flowchart for Reservoir Simulation Model Based on Explicit and Implicit Stochastic Dynamic Programming

이렇게 개발된 모의모형은 충분한 장기간의 자료를 이용하였을뿐만 아니라 최적모형의 평가 함수에서 이미 저수지 운영 목적을 고려하고 있으며, 상태변수와 결정변수간의 상관성을 기준으로 운영을 결정하므로써 높은 신뢰도의 방류량 결정이 가능하다. 특히 Implicit 기법의 경우 한국수자원공사 수자원연구소 보고서(1992)에서 보여주고 있듯이 수백년 이상의 장기간의 월별 저류량과 유입량 조건등을 조합하여 결정변수인 방류량과의 관계를 다각도로 분석하고 있다. Explicit 기법의 경우도 고석구 등(1992, 1993)이 제시하고 있듯이 5,000년간의 기간으로 모의된 자료계열을 이용하여 천이확률을 이용한 전단계에서의 이산구간 유입량과 현단계에서의 월초 저류량에 대응하는 월말 저류량을 산정하고 있어 보다 친근감 있는 적용방안이 가능하다.

2.2 모의모형

Fig. 1에서 제시된 부분중 모의모형 개발부분을 제외한 나머지 부분은 이미 발표된 자료나 한국수자원공사 연구보고서(1992, 1993)를 참조할 수 있으므로 여기서는 생략한다(한국수자원공사, 1992). 개발된 모의모형에서는 저수지 시스템을 구성하는 각종 변수를 고려하여 방류량을 결정하게 되며, Explicit 및 Implicit 기법에 의한 방류량 결정방법은 다음과 같다.

$$X_{t+1} = A_t f_t(X_t, I_t) + B_t \quad \text{for } t = 1, \dots, T \quad (1)$$

$$U_t = A_t g_t(X_{t-1}, I_{t-1}, X_t, I_t) + B_t \quad \text{for } t = 1, \dots, T \quad (2)$$

subject to:

$$X_{t+1} = X_t + I_t - U_t - E_t(X_t, X_{t+1}) - D_t \quad (3)$$

$$U_t = R_t + Q_t \quad \text{-----} (4)$$

$$X_t \min \leq X_t \leq X_t \max \quad \text{-----} (5)$$

$$U_t \min \leq U_t \leq U_t \max \quad \text{-----} (6)$$

for $t = 1, \dots, T$

여기서, U_t 는 t 단계에서의 방류량, X_t 는 t 단계에서의 월초 저류량, X_{t+1} 는 t 단계에서의 월말 저류량, I_t 는 t 단계에서의 유입량, $f(\cdot)$ 는 Explicit 기법에서 월초 저류량과 전월의 이산구간 i 의 유입량에 따른 운영을 곡선식, $g(\cdot)$ 는 Implicit 기법에서 저류량과 유입량에 따른 운영을 곡선식, E_t 는 기간 t 동안에 저수지로부터의 수면 증발손실량과 저수지 수면 강우량을 감안한 손실량, R_t 는 기간 t 동안에 발전소로부터의 발전방류량, Q_t 는 기간 t 동안에 저수지로부터의 여수로 방류량이며, i 는 전단계에서의 유입량 이산구간을 나타내는 구간순서이고 T 는 저수지 운영기간이다.

3. 모의모형의 적용

3.1 Explicit 및 Implicit 운영을 모형의 이행도 분석

충주댐 저수지 운영에서 고려하여야 할 사항은 용수공급 측면과 수력발전 그리고 홍수조절 등이다. 이중 홍수조절은 하절기 제한수위를 두어 홍수첨두를 평활화시키기 위한 홍수조절용량이 확보되어 있으며, 수력발전의 경우 한국전력공사 급전사령실의 발전기 가동지시에 따라 수시로 이루어지고 있어 목표발전량을 설정하는 것은 사실상 불가능하여 최적화모형에서 Weighting Method로 발전량 증대를 고려한바 있다. 이들 목적중 용수공급의 경우 2001년도에 연간 3,380MCM을 공급토록 계획되어 있고 최근의 용수수요나 하천환경을 고려할때 이와같은 수치를 용수공급 기준으로 고려하는 것이 바람직하여 Table 1과 같이 월별로 배분하여 적용하였다.

Table 1 The Required Water Supply from the Chungju Reservoir

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
용수수용량	278.0	287.0	278.0	287.0	287.0	278.0
구 분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
용수수요량	287.0	328.8	279.4	281.8	251.9	260.3

이상의 저수지 운영조건을 기초로 제2장의 개념으로 개발된 모의운영을 통한 모형의 이행도 분석을 위하여 충주댐 사업이 완료된 직후인 1985년부터 1992년까지 과거기록 유입량 자료를 모의운영이 가능하나 이중 1985년은 실질적으로 6월부터 정상적인 운영이 이루어졌으며 1985년 7월부터 7년간의 자료를 대상으로 두가지 운영방안에 대하여 모의한 결과와 과거 운영실적을 비교한 결과가 Fig. 2 및 Table 2에 나타나 있다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 전반적으로 과거 운영실적과 비슷한 추세를 보이고 있으나 홍수기에는 전월 유입량과 월초 저수량 기준 월말 저수량을 찾은 결과로 인해 이 저수량을 만족시킴을 위하여 방류량을 따라 용수수요를 전혀 충족시키지 못하고 있다. 이는 홍수기의 수문사상 특성에 의한 방류량에 따라 용수수요를 전혀 충족시키지 못하고 있다. 이는 홍수기의 수문사상 특성에 의한 방류량에 비해 아주 적은 경우, 즉 금월 유입량이(월말-월초) 저수용량 차보다 훨씬 적어서 방류량이 아주 크게된 경우나 오히려 금월 유입량이(월말-월초) 저수용량 차보다 훨씬 적어 방류량이 아주 작은 경우 등이 발생할때 유입량 및 저류량을 고려하지 않은 이상방류경향때문이다.

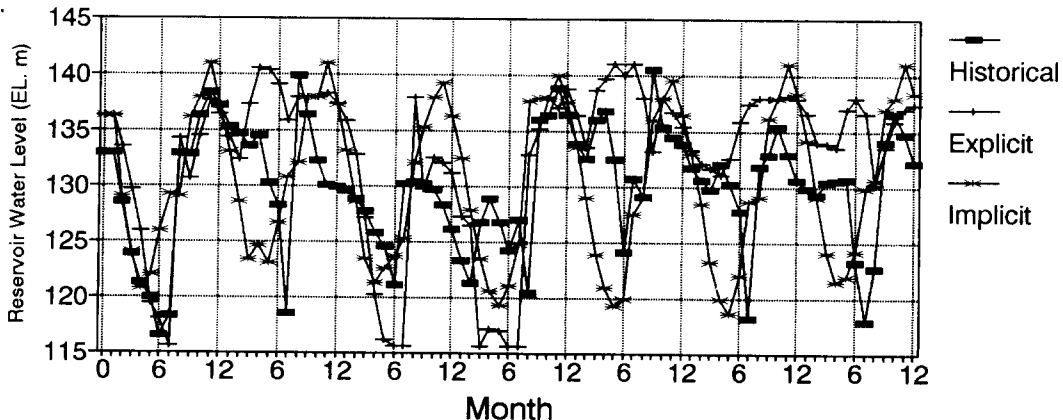


Fig. 2 Comparison of The Simulated Results and The recorded Hystory

위의 그림에서 알 수 있듯이 Implicit의 경우 대체로 과거의 운영실적과 잘 일치하고 있으나 Explicit의 경우 Implicit의 경우보다 과거운영 실적에 대해 저수지 수위가 잘 일치하지 않거나 경향이 있다. 이와같은 경우는 특히 홍수기라 할 수 있는 7, 8, 9월에 심한데 이유는 과거 59년 동안의 유입량 자료를 근거로 모의발생된 5,000년간의 자료계열이 우리나라 홍수기 수문사상을 잘 나타내 주지 못한 것으로 생각된다. 이는 다목적 저수지 운영에 있어 홍수기의 저수지 운영방안 수립이 결코 쉬운일이 아님을 알 수 있다.

Table 2 Comparison of The Simulated Results and The recorded

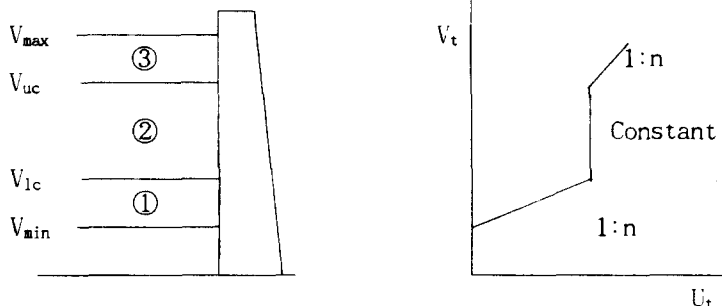
구 분	과 거 운 영	Implicit 기법	Explicit 기법
	실 적	적 용 결 과	적 용 결 과
평균 발전량(GWh/YEAR)	783.46	838.80	780.00
90% 보장발전량(GWh/MON)	23.37	21.89	7.04
90% 보장유량(MCM/MON)	141.90	137.16	51.75
90% 보장출력 (MW/MON)	-	198.77	157.88
용수부족량(MCM/YEAR)	-	301.20	574.80
용수최대부족량(MCM/MON)	-	237.50	289.50

Table 2에서는 모의된 결과와 과거운영 실적을 발전 및 용수공급 측면에서 비교한 것으로 대체로 Explicit 기법이 Implicit 기법에 비하여 열등한 이행을 보여 주고 있음을 알 수 있다. 이와같은 문제는 Fig. 2에서 알 수 있듯이 확정론적 동적계획법에 의해 도출된 운영률을 이용한 모의운영 처리 운영률을 바로 적용할 수 없다. 따라서 이상의 분석결과를 통해 당초 정의 하였던 불확실한 유입량에 대처한 Explicit 추계학적 운영률만에 의한 모의운영 모형은 수정없이 적용이 불가능하여, 추계학적 모의모형이 지닌 문제점을 합리적인 선까지 개선한다면 좋은 운영계획 제 시가 가능하다고 본다.

3.3 모형의 수정 적용

앞절에서 검토되었듯이 Explicit 기법에 의한 저수지 운영모형의 경우 적용한 수문사상의 경향과 상당한 불일치를 보일 경우 일부 운영기간에서와 같이 저수지운영 불능상태를 맞게 된다. 이와같은 경우는 주로 홍수기 기간중 발생하게 되며, 아직도 홍수기의 수문에측은 현실적으로 불가능하여 저수지 운영문제 해결의 중심과제일 수 밖에 없다. 그러나 일부홍수기를 제외하면 대체로 현실성있는 결과를 보여주어 이를 개선함으로써 저수지 운영방안 결정을 위한 모의모형으로 이용할 수 있을 것이다.

이를 개선하기 위한 방법으로 유효저수용량을 몇 개의 Buffer로 나누어 방류량을 결정하는 방법으로 크게 Fig. 3과 같이 구분하여 각 구간에 대한 수정방류량을 결정할 수 있다.



(a) Physical Divided Zone (b) 2-Dimensional Release Policy

Fig. 3 Modified Operating Policies According to Buffers

위 그림에서 Explicit 기법에서 이미 결정된 방류량이 실제 저수지 시스템의 상태 및 제약 조건을 만족시키지 못하는 경우를 대비하여 보다 큰 용수부족 혹은 여수로 방류를 방지하기 위한 Buffer를 Implicit기법을 통해 얻어진 결과를 기준치로 설정할 수 있다. 이 Buffer는 저수지 운영권자의 경험이나 합리적 분석방법으로 도출된 기준을 적용할 수 있다. Buffer ① 및 ②, ③는 각각 다음식들과 같이 적용할 수 있다.

$$U_t = \text{Min} [\%ds * WS_t, SDP R_t] \text{-----(7)}$$

$$\%ds = 1 - (V_{ic} - V_t) / (V_{ic} - V_{tmin})$$

$$V_{tmin} \leq V_t \leq V_{ic}$$

$$U_t = \text{Max} [\%ds * WS_t, SDP R_t] \text{-----(8)}$$

$$\%ds = 1.0$$

$$V_{ic} \leq V_t \leq V_{uc}$$

$$U_t = \text{Max} [\%ds * WS_t, SDP R_t] \text{-----} (9)$$

$$\%ds = 1 + (V_{t\max} - V_{uc}) / (V_{t\max} - V_t)$$

$$V_{uc} \leq V_t \leq V_{t\max}$$

여기서, %ds는 방류량 조절을로서 사용자에게 의해 정의되며, SDP R_t는 추계학적 동적계획기법에 의한 운영에 따른 원래의 방류량이다. 본 연구에서 적용한 방법중 Buffer ①을 위한 식(7)은 연속해서 발생할 수 있는 용수부족량의 첨부를 줄이고 부족량의 분산효과를 높이기 위하여 적용한 경우로 원래의 Explicit 기법에 구해진 방류량보다 적은 값을 방류시킨다. Buffer ②를 위한 식(8)은 일정한 방류하는 용수 선택적으로 이용할 수 있다. Buffer ③을 위한 식(9)는 다음단계에서 있을지도 모를 여수로 방류를 억제하기 위하여 현 단계에서의 방류량을 증가시키는 개념으로 높은 수두에서 이루어지는 발전량 증대를 위하여 Explicit 기법에 의한 방류량과 수정치중 큰 값을 방류하게 된다. 이런 수정제한은 실제 앞절에서도 나타나듯이 우리나라 수문사상중 일부 홍수기에서 Markov Lag-1 개념의 정상성(stationary) 계열로 예측된 이산기간 조건확률과 실제 상황에서 일치하지 않는 수문사상이 계속되는 경우에는 과대방류를 억제함으로써 후속기간의 용수부족의 첨두와 기간을 적절히 조절할 수 있으며, 유입량 과대에 따른 여수로 방류를 억제하기 위한 예비방류의 효과를 기대할 수 있다.

4. 수정 모의모형의 이행도 분석

수정 모의모형의 장점은 Implicit 기법의 확정론적 해법에 의한 최적 운영방안과 Explicit 기법에 의한 수문사상의 추계학적 특성을 동시에 고려할 수 있는 방법이다. 이는 저수지 시스템에 관하여 유입량이 변용수요등과 같은 변수들의 무작위 특성을 고려하지 못한다는 단점을 주요 운영방안 확립을 통하여 개선시킬 수 있다. 다시말하면, Explicit 기법이 유일해를 구할 수 있는 하나의 방법으로서 알려지지 않거나 저수지 운영에서 가장 중요한 상태변수인 유입량의 편이확률 계산에 있어서는 단점을 Implicit 기법에서 얻어진 결과를 앞절에서와 같이 이상방류를 현상으로 보이지 않는 현상을 최소화하기 위하여 방류량 결정의 기준치로 적용함으로써 보다 현실성있고 합리적인 저수지 운영방안의 도출이 가능해진다. 본 연구에서는 수정된 방류량 결정방법의 이행도 평가를 위하여 제3절에서와 같은 조건으로 모의하였다. 최적화 기법을 통하여 얻어진 운영의 효용성을 평가하기 위하여 총조대를 대상으로 적용된 Explicit 및 Implicit 기법의 운영을 기초로 개발된 모의운영모형과 과거운영 실적과의 비교 분석을 실시하였다. 이의 기본적인 접근방법은 월간 운영모형으로서 전단계의 유입량과 저류량의 계층적 분석을 할 수 있으므로 월간 운영모형으로서 전단계의 유입량에 관계없이 저류량을 결정하는 방식은 또한 추계학적 모형에서 고려하지 못했던 수문사상발생에 따른 저수지 운영의 장해를 최소화하고자 확정론적 방법에 기초하여 얻어진 월별 신뢰도별 방류량(%ds)을 결정하는 기준으로 적용할 수 있다. 재현기간 5년(초과확률 : 20%) 및 갈수기 재현기간 5년(초과확률 : 80%)의 저류량을 조절방류량 결정을 위한 상한값(V_{uc}) 및 하한값(V_{lc})을 Table 3와 같이 각각 적용할 수 있다 (한국수자원공사, 1992).

Table 3 Monthly Buffer Bounds for Upper and Low Critical Zone

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
상한값(V _{uc})	2221	2096	1996	1996	2311	2271
하한값(V _{lc})	1571	1406	1271	1271	1471	1321
구 분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
상한값(V _{uc})	2121	2134	2134	2385	2385	2321
하한값(V _{lc})	881	1856	2046	2021	2021	1706

확정론적 및 추계학적 동적계획기법을 통하여 얻어진 운영의 효용성을 평가하기 위하여 총조대를 대상으로 적용된 Explicit 및 Implicit 기법의 운영을 기초로 개발된 수정 모의운영모형과 과거운영 실적과의 종합적인 분석을 실시하였다. 이의 기본적인 평가방법에 대해서는 고주석구 등(1992)이 제시하여 기존에 개발된 총수저수지 운영을 대상으로 분석한바 있으나 본 연구에서는 수력발전 및 용수수급의 신뢰도 및 안정성 측면에서만 검토하였으며, Fig. 3 및 4에 보여주고 있다.

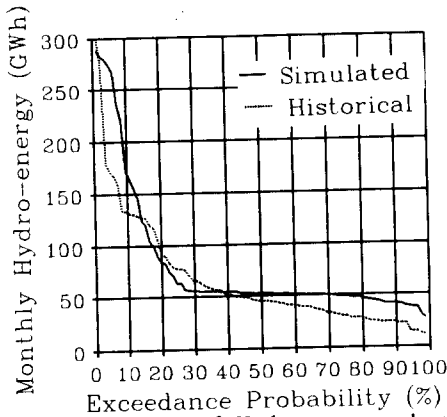


Fig. 3 Comparison of Hydro-energy between the Simulated and the Historical

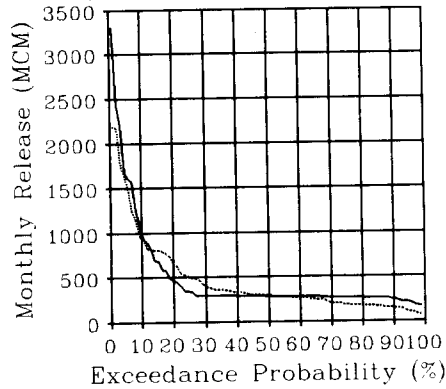


Fig. 4 Comparison of Water Supply between the Simulated and the Historical

위 그림에서 알 수 있듯이 수력발전 에너지 생산의 경우 초과확률 40%를 기점으로 수정 운영을 위한 모의 결과가 과거실적에 비하여 각각의 확률에 대응하는 보장발전량이 월등히 증가하는 경향이 있으며, 초과확률 80% 이상에서는 거의 두배에 이르고 있다. 초과확률 15 - 40% 사이에서는 과거실적이 다소 크게 나타나고 있으며, 초과확률 0 - 15% 사이에서는 다시 본 연구에서 제시하고 있는 수정 운영을 크게 나타내나, 침투깊은 과거치가 큰 것으로 나타났다. 이와같은 현상은 방류량에서조차도 같은 형태이나 침투깊은 주정방법이 월등히 크게 나타나고 있다. 개발된 운영방법은 결과적으로 본래의 저수지 운영의 경우 Implicit 및 Explicit 동적계획기법으로 운영되던 것보다 월등히 많은 유입량을 결정할 수 있다는 장점을 바탕으로 초과확률 40 - 50% 이상에서 보장량을 증대시키고 있어 저수지 운영편익 신뢰도 측면에서 매우 유용한 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구 결과를 통해 확정론적 동적계획법과 추계학적 동적계획법을 사용한 운영을 가지고 한강수계 중추저수지 다목적댐을 대상으로 저수지 운영 의사결정을 위한 모의 운영을 개발하여 실제 저수지 운영에 적용하였다. 연구결과 확정론적 방법에 의한 운영이 추계학적 방법에 의한 운영보다 용수공급의 신뢰도 및 발전에너지 생산 측면에서 안정적인 방류경향을 보여주고 있다. 추계학적 방법에 의한 운영의 신뢰도를 이용하여 모의 운영을 동공급 동류량 결정보다 실제 상황에 따라 모의해 주는 알고리즘의 도입을 필요로 하여 수정하여 방류량을 결정할 수 있다는 장점을 도입하였다. 수정된 방법에 의한 운영 결과는 대체적으로 신뢰도 측면에서 상당히 개선된 결과를 보여주고 있어 Explicit 및 Implicit 기법들을 조합한 방법이 보다 효과적임을 알 수 있다. 개발된 운영방법을 평가하는 과정에서 우리나라 저수지 운영문제 중 가장 해결하기 어려운 부분으로는 역시 저수지 유입량과 운영되어야 할 단계에서의 월초 저류량을 알면 그달의 유입량 예측과 관계없이 월말 저류량을 결정할 수 있다는 장점이 있어 실제 저수지 운영관련 분야 중사자들이 보다 쉽게 접근할 수 있는 방법인 것으로 나타났다. 따라서 앞으로 저수지 운영방법의 체계적 방법론을 그리고 운영안개최를 위한 고도화된 방안 개선에 적용할 수 있는 각종 기준을 종합적으로 적용하여 결정하는 것이 시스템 효율을 보다 효과적으로 증대시킬 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

- 1) 고석구, 이광만, 고익환, "다기준 의사분석 기법에 의한 다목적 저수지의 운영을 평가", 한국수문학회 논문집, 제25권 제1호, 1992a.
- 2) 고석구, 고익환, 이광만, 이한구, "양해 추계학적 동적계획기법에 의한 저수지 시스템 운영", 수공학 연구발표회, 제34회, 1992b.
- 3) 고석구, 이광만, "Explicit 추계학적 동적계획기법에 의한 중추 저수지 최적운영", 대한토목학회 학술발표회, 1993.10.
- 4) 이희승, 심순보, 고석구, "신뢰도를 고려한 다목적 저수지의 월별 운영률", 한국수문학회 논문집, 제25권 제1호, 1992.
- 5) 한국수자원공사, 중추댐 및 소양강댐 연계운영 Hydro scheduling 모형 개발(1차), Vol.1 월간 운영모형 및 운영률 개발, 1992.
- 6) Karamouz, M., and Houck, M. H. (1982) "Annual and Monthly Reservoir Operating Rules", Water Resour. Res. 18(5), pp.133-1344
- 7) Karamouz, M., and Houck, M. H. (1987) "Comparsion of stochastic and deterministic Dynamic Programming for Reservoir Operating Rule Generation.", AWRA-Water Resources Bulletin, 23(1), pp.1-9
- 8) Wang, D., and Adams, B. J. (1986) "Optimization of Real Time Reservoir Operating with Marker Decision Processes.", Water Resour. Res., 22(30), pp.345-352.
- 9) Yakowitz, S. (1982). "Dynamic Programming Applications in Water Resources." Water Resour. Res., 18(4), pp.673-696.
- 10) Loucks, D. P., Stedinger, J. R., and Haith, D. A. (1981) Water Resources Systems Planning and Analysis. Prentice-Hall, Inc.