

저수지 용수공급량에 따른 신뢰도 지표인자의 상관관계 해석

박 기 범

안동과학대학 건설정보과

(2004년 12월 27일 접수; 2005년 3월 22일 채택)

A Study of Reliability Index Correlation Analysis in Reservoir Water-supply

Ki-Bum Park

Department of Construction Information, Andong Science College, Andong 760-822, Korea

(Manuscript received 27 December, 2004; accepted 22 March, 2005)

In this study aims is water supply criteria relations for evaluating the possible performance of water resources systems. These measures describe how likely a systems is to fail(reliability), how quickly it recovers from failure(resiliency), and how severe the consequences of failure may be(vulnerability). The performance of a criteria evaluating with a variety of operating policies illustrates their use. As a result study frequency reliability and quantitative reliability is linear relations and quantitative reliability is high reliability for equality water supply policy. As reliability and vulnerability are in inverse proportion to each other. Therefore these criteria relation analysis can be for Imha dam to variety water supply policy.

Key Words : Reservoir operation, Water supply, Reliability, Resiliency, Vulnerability

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

수자원시스템에서 이수목적용을 위한 저수지의 운영은 예측된 저수지 유입량 혹은 관측된 유입량을 이용해서 저수지의 운영을 하여 용수공급 계획을 수립하게 된다. 그러나 저수지를 통한 용수공급을 계획하는데 있어 얼마만큼의 신뢰도를 가지고 안정성을 가진 양을 공급하느냐 하는 문제에서 평가기준이 되는 신뢰도의 설정기준과 평가방법에 있어 신뢰도 기준설정이 확립되지 않은 점이 있다. 이수목적의 저수지 운영의 용수공급 신뢰도 해석에 있어서 불확실성을 정량화 하기 위해 불확실한 요소를 어떠한 확률 값 또는 극한의 조건의 값을 사용하거나 단기간 동안의 유입량자료를 사용하여 확률론적인 방법으로 저수지 시스템의 용수공급능력을 평가하여 저수지 시스템의 용수공급 신뢰도를 결정하는 방법이 주로 사용되어 왔다.

그러나 신뢰도를 평가하는데 있어 설정된 신뢰도에 따라 과소 혹은 과대 평가된 기준으로 저수지를 운영하는 방법은 저수지 시스템으로부터 추정된 수자원의 양이 과대 혹은 과소 추정될 수 있어 보다 보완적인 지표나 평가방법들이 요구되고 있다.

저수지 시스템의 신뢰도를 측정하는 척도로서 가장 보편적으로 사용되는 빈도기준 신뢰도는 운영목표를 만족하는 빈도를 가리키며, 위험도는 이와 반대로 운영목표를 충족하지 못하는 빈도를 나타낸다. 그러나 이러한 빈도기준 신뢰도만으로 저수지 시스템의 신뢰도를 평가하였을 경우 용수부족 발생 정도의 심각성을 충분히 나타내지 못한다. 따라서, 저수지 시스템의 용수공급을 위한 신뢰도를 분석함에 있어 용수공급 부족의 빈도, 용수부족 지속기간 및 용수부족량의 개념이 고려된 신뢰도 분석기준의 제시와 지표상호간 상관관계 해석이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저수지의 용수공급 운영상에서 나타낼 수 있는 신뢰도 지표인자들의 분석과 이들의 상관관계를 해석하기 위하여 임하댐을 대상으로 하여 1972년부터 2002년까지의 총 31개년 동안의 과거 유입량 자료를 사용하여 계획용수공급량을 기준으로 공급량을 증가 또는 감소시켜 가면서

Corresponding Author : Ki-Bum Park, Department of Construction Information, Andong Science College, Andong 760-822, Korea
Phone: +82-11-9596-5032
E-mail: pkb5032@naver.com

저수지 모의 운영을 실시하였다. 그리고 지금까지의 연구결과에서 상대적으로 미비했던 점, 즉 용수공급 능력 평가지표인자들 상호간의 상관관계 해석에 관한 연구를 보완하기 위하여 댐의 신뢰도 분석을 실시하고 또한, 이들 인자들의 상관관계를 분석하고자 하였다. 그 결과를 이용하여 신뢰도(양적기준, 빈도 기준, 시간기준), 복원도 및 취약도를 산정한 후 용수공급량과 이들 지표인자와의 상관관계를 해석하는데 목적을 두었다.

1.2. 기존 연구동향

저수지 용수공급 신뢰도에 관한 연구는 현재 국내외적으로 다양하게 진행되어오고 있으며 특히 물 부족현상이 자주 발생함에 따라 저수지의 용수공급 능력평가에 관한 연구도 상당히 이루어져 왔으며, 주요 연구사례들을 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 국외의 경우에 있어서 최초의 신뢰도에 대한 개념 도입은 Revelle 등¹⁾의 선형결정렬에 의한 기회계약기법 적용으로 시작되었으며, Loucks 등²⁾은 다양한 저수지 평가지수들에 대한 사용성을 기술한 바 있으며, 이후에도 Hashimoto 등³⁾, Moy 등⁴⁾, Bayazit 등⁵⁾, Srinivasan 등⁶⁾에 의한 용수공급 저수지의 운영을 위한 연구가 신뢰도, 복원도, 부족심도의 3가지 기준을 통해 제시된 바 있다. 특히 Moy 등⁴⁾의 논문은 혼합정수계획기법을 적용하여 평가기준을 명확하게 최적화 모형내에 포함시켰지만 저수지의 복원도 부분은 연속 물부족 발생의 최대치로서 부분적으로만 고려하였다. 또한 Votruba와 Broza⁷⁾는 신뢰도 기준을 빈도(Occurrence-based), 시간(Time-based), 양적기준(Quantity-based)신뢰도 세가지 관점을 기준으로 용수공급의 복원도에 관한 연구를 수행하였으며, Srinivasan 등⁶⁾은 Moy 등⁴⁾의 논문의 결점을 보완하기 위하여 용수불만족 상황으로부터 정상으로 회복되어 가는 과정을 추적하는 2개의 정수형 변수를 추가함으로써 복원도에 대한 정량화를 개선하였다.

다음으로, 국내의 경우에는 장인수 등⁸⁾이 천이확

률행렬법에 의한 저수지 용량해석으로 저수지의 용수공급 신뢰도를 평가하여 저수지 용량결정에 관한 연구를 한 바 있으며, 고석구 등⁹⁾은 다목적 저수지의 월별 운영에 있어 신뢰도를 고려한 월별 운영을 개발에 관한 연구를 수행하였고, 정상만 등¹⁰⁾은 댐의 용수공급능력을 평가하기 위한 지표로서 신뢰도, 복원도, 취약도 등을 사용한 바 있다. 또한 박기범¹¹⁾은 낙동강유역의 4개 다목적 댐에 대해 95%신뢰도 기준을 설정하여 Storage- Yield에 대한 연구를 한 바 있으며, 심명필 등¹²⁾은 저수지의 물공급을 위한 신뢰도 분석에 대한 연구에서 시간, 빈도, 양적기준 신뢰도와 복원도, 취약도 등을 유입량 자료의 추계학적 모의 발생한 후 신뢰도를 평가한 바 있으며, 박명기 등¹³⁾은 위험도 평가기준을 적용하여 저수지 최적연구방안에 관한 연구를 수행하였다.

또한, 박기범¹⁴⁾는 본 연구에 선행연구로서 신뢰도 지표에 대한 산정을 하여 신뢰도간의 변화양상을 연구한 적이 있다.

2. 저수지 모의 운영

2.1. 분석대상 유역의 선정 및 자료의 수집

임하다목적댐 지점은 우리나라 제2의 대화천인 낙동강 하구로부터 약 356km 상류에 위치하고 있고, 낙동강 지류인 반변천 합류점으로부터는 약 18km 상류에 위치하고 있다.

임하댐의 계획된 용수공급량은 497 백만톤/년이며 계획 발전량은 연간 96.7GWH이다. 댐의 자세한 제원은 Table 1과 같다. 임하댐은 낙동강의 주 용수 원으로서 유효저수용량이 424백만톤이며, 생·공용수 269백만톤/년, 관개용수 12.61백만톤/년 및 하천 유지용수로서 215 백만톤/년을 공급하고 있다.

본 연구대상유역의 임하댐의 분석기간은 1972~2002년으로 37개년 순별 자료를 입력하여 총 1,116개의 입력자료를 사용하였으며 임하댐의 유입량 평균은 19.41m³/s이다. 저수지 운영분석에서 HEC-5를 이용하여 1972년부터 2002년까지의 총 31개년 순별

Table 1. Imha Dam Characteristics

Level	Elevation EL.m	Storage (10 ⁶ m ³)	Outflow (m ³ /s)	Power (KW)	Plan Water supply (Plan Power)
Dead Storage level	124.0	40.119	0.00	0	497 : 10 ⁶ m ³ /year (96.7 : GWH)
Low Water level	137.0	123.868	0.00	0	
Flood limit level	161.7	514.775	3,379.73	50,000	
Nomal pool level	163.0	548.191	4,035.53	50,000	
Flood water Level	164.7	594.736	4,948.98	50,000	
Top water level	165.8	626.658	5,571.93	50,000	

※ http://wamis.go.kr

저수지 용수공급량에 따른 신뢰도 지표인자의 상관관계 해석

단위로 1,116개의 분석기간으로 구성하여 임하댐의 용수공급량을 20%~ -10%로 변화시켜 저수지 모의 운영을 실시한 후 각 신뢰도를 분석하였으며, 이에 따른 신뢰도 지표들을 산정하였다.

2.2. 저수지 모의운영

본 연구에서는 임하댐 유역을 분석대상유역으로 선정하여 저수지의 용수공급능력을 평가하기 위하여 시뮬레이션 기법의 일종인 HEC-5 모형을 이용하여 저수지 모의운영을 실시하였다. 또한, 본 프로그램의 운영시 필요한 모형의 제약조건 중 용수공급계획량은 +20%~ -10%로 변화시켜 가면서 저수지 모의운영을 실시하였으며 그 결과, 댐의 계획 용수공급량이 0%인 경우 총 부족년수가 3개년이며 총 부족량은 $451.84 \times 10^6 m^3$ 이며 평균저류량은 $393.392 \times 10^6 m^3$ 평균수위는 154.49m, 평균발전량은 75.57Gwh이다.

용수공급량을 10%증가한 17.34m³/s일 경우 총 부족년수가 7개년, 80개순이 부족이 발생하였으며 총부족량은 $791.62 \times 10^6 m^3$ 이며, 평균저류량은 $357.880 \times 10^6 m^3$. 평균수위는 151.99m, 평균발전량은 72.97Gwh로 나타났다. 용수공급량을 -10%인 14.18m³/s로 할 경우 총 부족년수는 2개년, 31개순이 부족이 발생하였으며 총 부족량은 $220.50 \times 10^6 m^3$, 평균저류량은 $422.913 \times 10^6 m^3$, 평균수위는 156.43m, 평균발전량은 76.31Gwh로 나타났다.

용수공급량이 감소할수록 발전량은 증가하는 추세를 보이고 있으며 이는 평균수위가 높아짐에 따라 발전량이 증가하는 것으로 판단되며 분석결과를 자세히 나타내면 Table 2와 같다. 용수부족량과 평균저류량의 상관관계는 Fig. 1과 같으며, 용수공급량별 부족횟수는 Fig. 2와 같다.

Table 2. Reservoir Operation Results

Water Supply (m ³ /s)	Total Deficit (10 ⁶ m ³)	Deficit times (10days)	Deficit times (year)	Ave. Storage (10 ⁶ m ³)	Ave. Stages (EL. m)	Ave. Power (GWH)
18.91(+20%)	1400.50	121	9	320.030	149.19	69.63
18.75(+19%)	1317.40	118	9	324.872	149.57	70.11
18.59(+18%)	1243.92	111	9	329.246	149.90	70.54
18.44(+17%)	1185.22	109	9	332.736	150.16	70.89
18.28(+16%)	1123.46	105	9	336.395	150.43	71.24
18.12(+15%)	1060.46	101	8	340.029	150.70	71.57
17.96(+14%)	998.40	93	8	343.839	150.97	71.89
17.81(+13%)	945.80	91	8	347.493	151.23	72.17
17.65(+12%)	890.75	87	8	351.159	151.50	72.50
17.49(+11%)	840.57	82	8	354.825	151.77	72.79
17.34(+10%)	791.62	80	7	357.880	151.99	72.97
17.17(+9%)	749.37	76	6	361.962	152.28	73.23
17.02(+8%)	712.91	74	6	365.574	152.54	73.50
16.86(+7%)	676.43	70	5	369.430	152.81	73.78
16.70(+6%)	639.35	68	5	373.316	153.09	74.08
16.55(+5%)	602.45	64	4	376.582	153.32	74.34
16.39(+4%)	566.43	61	3	380.152	153.57	74.64
16.23(+3%)	532.51	60	3	383.570	153.80	74.89
16.07(+2%)	503.86	56	3	387.148	154.05	75.15
15.92(+1%)	478.24	55	3	390.147	154.26	75.36
15.76(0%)	451.84	52	3	393.392	154.49	75.57
15.60(-1%)	425.76	51	3	396.433	154.69	75.69
15.44(-2%)	400.00	48	3	399.562	154.91	75.78
15.29(-3%)	376.24	47	3	402.444	155.10	75.85
15.13(-4%)	352.95	44	3	405.624	155.30	75.92
14.97(-5%)	329.55	42	3	408.749	155.50	75.93
14.81(-6%)	304.37	39	3	411.626	155.69	75.95
14.65(-7%)	280.36	37	3	414.440	155.87	75.99
14.50(-8%)	257.66	36	3	417.054	156.04	76.06
15.34(-9%)	235.44	32	2	419.907	156.22	76.14
14.18(-10%)	220.50	31	2	422.913	156.43	76.31

3. 신뢰도 지표인자의 산정 및 분석

3.1. 신뢰도 지표인자

저수지의 용수공급 능력의 신뢰도 평가는 일정기간의 저수지 운영상에서 계획된 용수공급량을 전체 기간에 대하여 충족시켜 줄 수 있는 빈도를 나타낸다. 그러나 이와 같은 일반적인 지표 이외에도 용수 부족의 심도, 용수부족의 평균기간, 용수평균 부족량, 정상상태로 회복되는 기간 등 용수공급에서 나타나는 상태를 표현할 수 있는 추가적인 평가지표가 요구되며, 이러한 용수공급 상태를 나타내는 지표는 다목적댐의 용량결정과정 운영목표 및 운영방안 수립에 필수적인 정보라고 할 것이다.

신뢰도 기준에 의한 저수지의 용수공급능력의 평가에서 공급계획량 및 용수부족이 발생할 경우 물 부족의 심각성이 중요하다. 용수공급능력의 평가에서 이러한 관점의 지표들에 대한 수학적 정의와 계산방법을 정립하여 제공할 수 있다면, 다양한 신뢰도 수준에 따른 용수공급계획의 수립에 의해 용수공급에서 나타날 위험도를 수치적으로 표현함으로써 합리적 용수공급계획의 수립이 가능할 것이다. 또한, 용수공급량의 변동성이 크고 공급이 수요에 미치지 못함에 따라 발생하는 결과가 심각할 때, 물부족의 특성이 어떠한가를 분명히 하고 의미있게 표현하는 위험도 개념이 포함된 척도를 사용하는 것이 바람직 할 것이다.

3.1.1. 신뢰도(reliability)

일반적인 신뢰도 분석에서는 신뢰도(α)는 주어진 계획 기간동안 시스템이 정상적으로 용수공급을 수행할 확률로 정의되며 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha = \text{Prob}[X_t \in S] \quad (1)$$

여기서 α 는 신뢰도, S 는 용수수요의 충족상태이다. 식 (1)에서 α 로 표시한 신뢰도와 대응하는 개념인 위험도 β 는 임의의 시점 t 에서 용수공급량이 용수

수요를 충족시키지 못한 확률로 정의할 수 있으며, 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\beta = \text{Prob}[X_t \in F] = 1 - \text{Prob}[X_t \in S] = 1 - \alpha \quad (2)$$

여기서 β 는 위험도, F 는 용수부족 상태이다. 수자원 시스템의 설계 및 운영에 대한 신뢰도 분석시 사용되는 기준은 크게 총 년수에 대한 부족년수의 비로 나타내는 빈도 기준신뢰도, 총 분석기간에서 부족기간에 대한 비로 나타내는 시간 기준신뢰도, 용수공급량에 대한 부족량의 비로 나타내는 양적 기준신뢰도로 구분할 수 있다.

3.1.2. 복원도(resiliency)

시스템 파괴가 발생한 후 얼마나 빨리 정상상태로 회복되는가를 나타내는 개념으로 사용되는 것이 복원도(γ)이다. 저수지 시스템에 있어서 용수공급량이 수요량을 충족시키지 못하여 용수부족이 발생할 경우 용수부족이 얼마나 오래 지속될 것인가를 나타내는 평가 척도로 사용될 수 있으며 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\gamma = \frac{1}{E[T_F]} \quad (3)$$

여기서 T_F 는 시스템 파괴 발생후 파괴상태의 지속기간, $E[T_F]$ 는 T_F 의 기대치로서 시스템 파괴상태의 평균지속기간 즉, 용수부족의 평균지속시간이다.

복원도의 산정에서 용수부족사상이 발생하여 다시 정상상태로 되돌아오는 것을 상태변환(Turnover)이라 한다.

3.1.3. 취약도(vulnerability)

취약도(δ)는 용수부족의 상태의 결과가 얼마나 심각할 것인가를 나타내는 척도로서 발생 가능한 용수부족량을 의미한다. 복원도와 더불어 저수지 용수부족상태의 결과를 나타내는 지표로 사용된다.

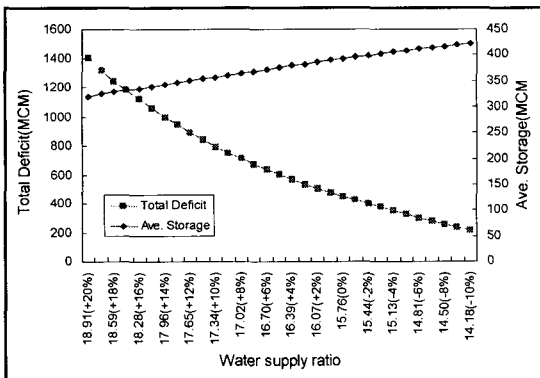


Fig. 1. Comparison of Total deficit and Ave. storage.

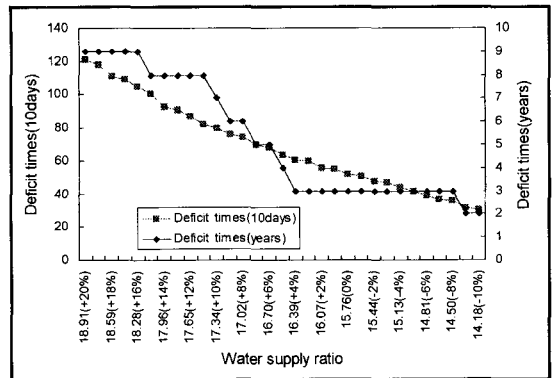


Fig. 2. Comparison of deficit times.

저수지 용수공급량에 따른 신뢰도 지표인자의 상관관계 해석

용수공급 시스템에서의 취약도를 수학적으로 표현하기 위하여 용수공급 상태를 나타내는 시간에 따른 변수 X_i 를 이산화 시켜 그 상태변수들을 X_1, X_2, \dots, X_n 이라고 하고 이산화 시킨 변수 중에서 시스템이 파괴상태에 있을 사상들을 s_j 라 하면, 용수공급시스템의 취약도를 나타내는 정량적인 지표는 용수부족량의 크기로서 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = \sum_{j=1}^n s_j p_j \quad (4)$$

여기서 s_j 는 j 번째 사상에서 시스템이 얼마나 파괴되었는가를 나타내는 시스템파괴의 크기 즉, 용수부족량이고, p_j 는 시스템 파괴상태에서 s_j 에 상응하는 용수부족사상 x_j 의 발생확률이다.

3.2. 신뢰도 지표인자의 산정 및 분석

본 연구에서는 임하댐의 저수지 모의운영 결과를 이용하여 용수공급능력 평가지표인 신뢰도를 산정한 결과, 댐의 용수공급 신뢰도 95%기준으로 빈도기준 신뢰도로 충족시킬 경우 용수공급 계획량기준에서 약 +2% 증가된 17.81m³/s가 적절한 공급량으로 분석되었으며, 이때 양적기준 신뢰도는 0.972이

며, 부족횟수는 56번이며 복원도는 0.125로서 한 번 부족이 발생한 후 정상상태로 회복되는데 분석단위가 순단위(10일)이므로 약 80일이 소요된다는 것이며, 부족량의 평균인 취약도의 경우 8.997m³/s로서 부족기간동안은 공급계획량 15.76m³/s에서 평균 6.763m³/s정도만 공급이 가능한 것으로 분석되었다.

양적기준 신뢰도를 기준으로 할 경우 계획 용수공급량기준으로 약 14%증가된 양인 17.96m³/s가 공급가능한 것으로 분석되었다. 이때 빈도기준 신뢰도는 0.917, 부족횟수는 93번이며 복원도는 0.161로서 한 번 부족이 발생한 후 정상상태로 회복되는데 분석단위가 순단위(10일)이므로 약 62일이 소요된다는 것이며, 부족량의 평균인 취약도의 경우 10.735m³/s로서 부족기간동안은 공급계획량 15.76m³/s에서 평균 5.025m³/s정도만 공급이 가능한 것으로 분석되었다. 분석결과를 정리하면 Table 3과 같다.

3.3. 신뢰도 지표인자의 상관관계 해석

임하댐의 신뢰도를 분석하여 인자간의 상관관계를 그림으로 나타낸 결과 Fig. 3~Fig. 6과 같이 신뢰도는 용수공급량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있으나 빈도기준 신뢰도의 경우 감소폭이 크게 나타났다. 복원도와 취약도의 경우 용수공급량

Table 3. Reliability analysis Results

		Water Supply Ratio							
		-10%	-5%	0%	2%	5%	10%	15%	20%
Reliability (%)	Time Based	97.2	96.2	95.3	95.0	94.3	92.8	90.9	89.2
	Occurrence Based	93.5	90.3	90.3	90.3	90.3	77.4	71.0	71.0
	Quantity Based	98.6	98.0	97.4	97.2	96.7	95.9	94.8	93.4
Turnover		9	9	9	7	11	13	23	23
Vulnerability(m ³ /s)		7.113	7.846	8.689	8.997	9.413	9.895	10.500	11.574
Resiliency		0.290	0.214	0.173	0.125	0.172	0.162	0.228	0.190

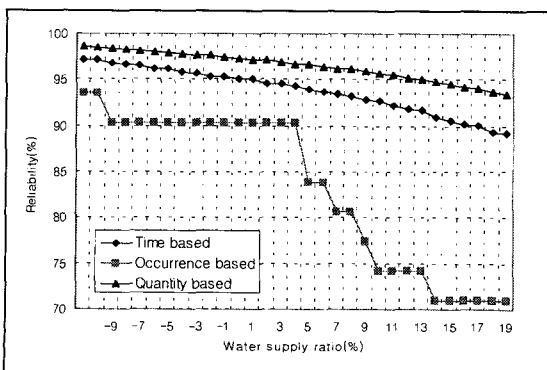


Fig. 3. Comparison of Water supply and Reliability.

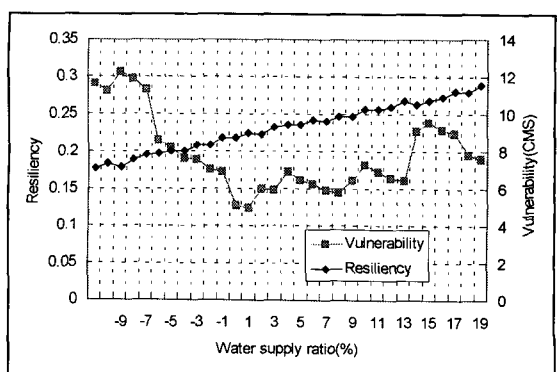


Fig. 4. Comparison of Water supply, Vulnerability and Resiliency.

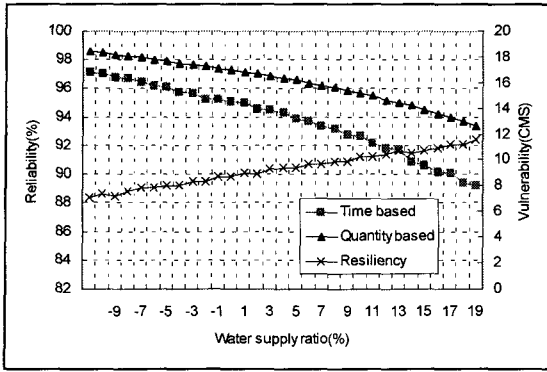


Fig. 5. Comparison of Reliability and Vulnerability.

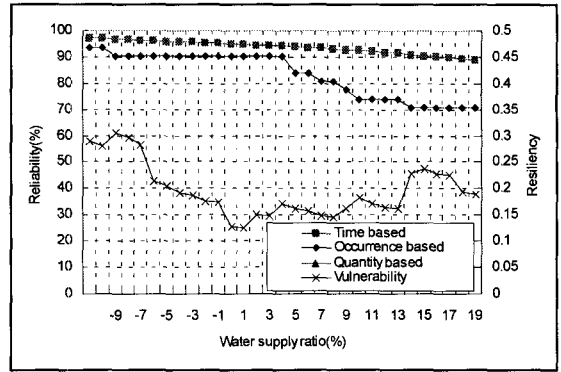


Fig. 6. Comparison of Reliability and Resiliency.

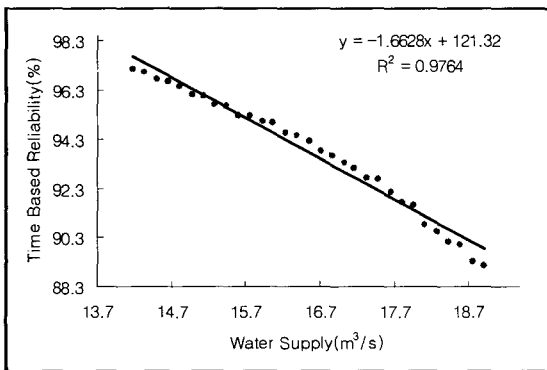


Fig. 7. Relationship Water supply and Time based reliability.

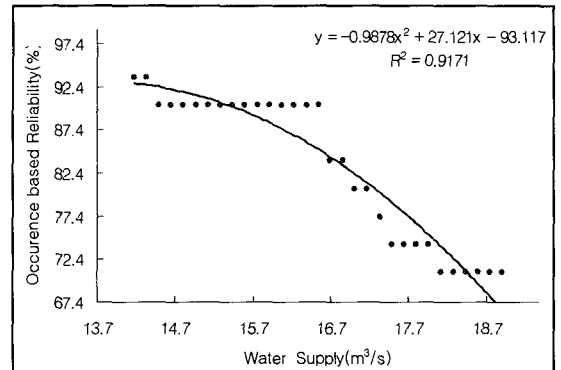


Fig. 8. Relationship Water supply and Occurrence based reliability.

이 증가함에 따라 취약도는 증가하고 복원도는 감소하는 경향을 보여주었다. 이것은 복원도는 부족한 기간이 짧을수록 복원도가 높게 나타나고 따라서 상태변환 횟수도 부족기간이 짧을수록 부족횟수에 가까운 수치를 나타내므로 복원도는 빈도와의 상관정보보다는 부족기간이 짧을수록 즉, 상태변환의 수와 부족횟수의 수가 비슷할수록 복원도가 높은 것으로 분석되었다.

임하댐을 대상으로 용수공급량을 증감시켜가면서 신뢰도 지표에 대한 분석을 한 결과 빈도기준 신뢰도와 양적기준 신뢰도에 따라 용수공급 계획량의 설정에 양적 차이가 있음을 알 수 있었으며, 두 변수간의 상호 관계를 분석한 결과 임하댐에서의 신뢰도지표 인자의 관계에서 다음과 같은 상관성이 있음을 알 수 있었다.

시간기준 신뢰도의 경우 Fig. 7과 같이 용수공급량과 신뢰도간에 높은 상관성을 나타내고 있었으며 용수공급량이 증가할수록 신뢰도는 감소하는 관계를 나타내고 있는 것으로 분석되었으며 용수공급량

에 따른 신뢰도의 관계식을 유도하였다. 빈도 신뢰도의 경우 Fig. 8과 같이 용수공급량이 증가할수록 신뢰도는 동일하게 나타나다가 감소하는 경향을 나타내고 있으며 이는 빈도기준을 연간단위로 하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 빈도기준 신뢰도의 경우 기준을 년으로 할 경우 분석결과의 왜곡을 나타낼 우려가 있는 것으로 판단되며, 2차 함수로 나타낸 관계식을 유도하였다. 양적기준 신뢰도와 용수공급량의 상관관계에서는 Fig. 9와 같이 시간기준 신뢰도와 유사하게 용수공급량이 증가할수록 대체로 신뢰도가 낮아지는 선형적인 관계가 나타났다.

또한, Fig. 10과 Fig. 11에서와 같이 복원도와 정상상태에서 용수부족상태가 발생하는 Turnover횟수도 용수공급량과의 관계는 3차식으로 나타낼 수 있었으며 용수공급량에 따른 복원도와 취약도의 상관성은 크게 나타나지 않는 것으로 분석되었다.

Fig. 12에 나타난 바와 같이 용수공급량과 취약도는 비교적 선형적인 관계를 나타내며 용수공급량이 증가할수록 취약도는 증가하는 경향을 나타내었다.

저수지 용수공급량에 따른 신뢰도 지표인자의 상관관계 해석

Table 4. Relation Equations

Index	Equations	R ²
Water supply-Time based Reliability	$y = -1.6628x + 121.32$	0.9764
Water supply-Occurrence based Reliability	$y = -0.9878x^2 + 27.121x - 93.117$	0.9171
Water supply-Quantity based Reliability	$y = -1.062x + 114.05$	0.9743
Water supply-Resiliency	$y = -0.0046x^3 + 0.2508x^2 - 4.5127x + 27.028$	0.8026
Water supply-Turnover	$y = 0.0087x^3 + 1.1476x^2 - 41.844x + 348.93$	0.8979
Water supply-Vulnerability	$y = 0.9043x - 5.684$	0.9921

※ x: water supply (m³/s).

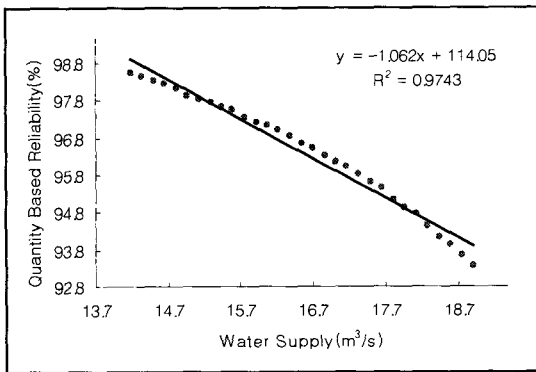


Fig. 9 Relationship Water supply and Quantity based reliability

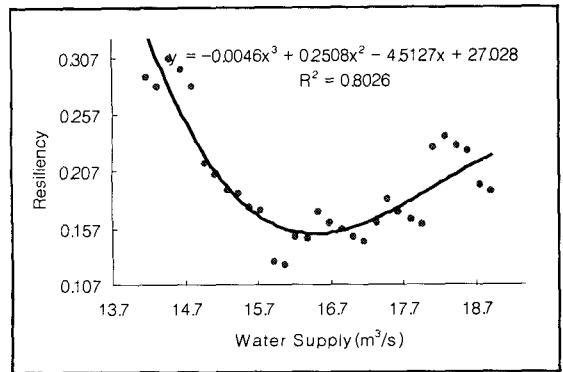


Fig. 10. Relationship Water supply and Resiliency.

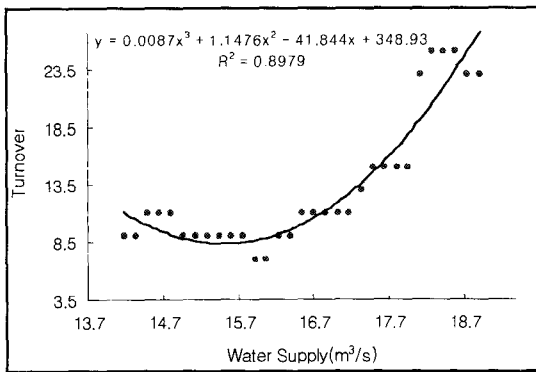


Fig. 11. Relationship Water supply and Turnover.

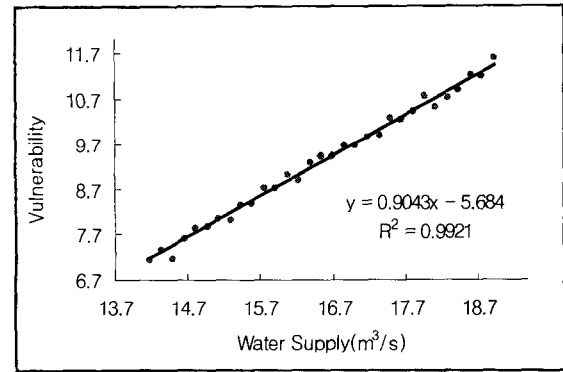


Fig. 12. Relationship Water supply and Vulnerability.

Table 4는 용수공급량과 신뢰도 지표와의 상관식을 유도한 결과이다.

Table 4에서 유도된 상관식을 이용하여 임하댐의 용수공급문제를 해석하는데 있어 신뢰도 지표인자들을 개략적으로 추정하는 데 이용할 수 있으며 용수공급량의 결정에 따른 복원도와 취약도등을 추정하여 용수부족이 발생할 경우 그 심각성에 대비하

는 데 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 용수공급의 효율화를 최대화하고 비상시 수자원시스템의 최적운동을 위하여 수자원 시스템에 존재하는 위험도 분석을 실시하였다. 임하 다목적댐을 대상으로 실측유입량 자료를 이용하여

용수수요량을 -10~+20%까지 변화시켜가면서 저수지 모의 운영을 실시하였다. 저수지 모의 운영을 통하여 용수부족사상수, 부족량 부족기간 등을 산정하였으며, 이를 토대로 용수공급의 신뢰도, 복원도 및 취약도를 산정한 후 등을 산정한 후 각각의 신뢰도 지표간의 상관관계를 해석하여 관계식을 유도하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 임하댐의 용수공급량을 변화시켜가면서 저수지 모의운영을 실시한 결과 95%의 신뢰도를 만족하기 위해서는 용수공급량이 빈도기준 신뢰도를 적용할 경우 계획용수공급량 보다 1%증가된 15.92 m³/s를 공급할 수 있는 것으로 나타났으며, 양적기준 신뢰도를 적용할 경우 2%증가된 16.09m³/s를 공급할 수 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 저수지 모의운영 결과를 이용하여 신뢰도 지표인자를 산정한 결과 계획 용수공급량(0%)을 공급할 경우 복원도는 0.173으로 부족이 발생하여 정상상태로 되돌아오는 기간이 평균 57.8일이 소요되는 것이며, 취약도는 부족이 발생한 기간 동안의 평균부족량으로 8.689m³/s로 분석되었다.
- 3) 신뢰도 지표인자들의 상관관계를 분석해 본 결과, 임하댐의 용수공급량과 시간기준 신뢰도의 경우 선형적인 관계를 뚜렷이 나타내고 있어 선형식을 산출할 수 있었으며, 빈도기준 신뢰도의 경우 일정한 양이 증가할 때까지는 동일한 신뢰도의 반복으로 인하여 용수공급량과의 상관성을 나타내기가 어려웠다. 또한, 양적기준 신뢰도의 경우 시간기준 신뢰도와 마찬가지로 선형적인 관계를 나타내고 있어 선형식을 나타낼 수 있었다. 그러나, 복원도와 용수공급량과의 관계는 선형적인 결과를 얻을 수 없었으며, 취약도와 용수공급량과의 관계는 선형으로 나타나 선형식을 나타낼 수 있었다.
- 4) 본 연구에서 임하댐의 용수공급량의 변화에 따라 신뢰도 지표들의 분석을 하여 용수공급량과 신뢰도 지표인자간의 관계식을 나타냄으로써 용수공급계획에 있어 용수공급량의 증감에 따른 신뢰도의 변화양상을 추정하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) ReVelle, C. S., E. Joeres and W. Kirby, 1969, The Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design, Development of the Stochastic Model, Water Resources Research, 5(4), 197-203.
- 2) Loucks, D. P. and P. J. Dorfman, 1975, An evaluation of some linear decision Rule in chance-constrained models for reservoir planning operation, WRR, 7(6), 772-782.
- 3) Hashimoto, T., J. R. Stedinger and D. P. Loucks, 1982, Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resources System Performance Evaluation, WRR, 18(1), 14-20.
- 4) Moy, W. S., J. L. Cohon and C. S. Revelle, 1986, A programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir, WRR, 22(4), 489-498.
- 5) Bayazit, M. and N. E. Unal, 1990, Effects of hedging on reservoir performance, Water Resources Research, 26, 713-719.
- 6) Srinivasan, K., T. R. Neelakantan, P. Shyam Narayan and C. Nagarajukumar, 1999, Mixed-integer programming model for reservoir performance optimization, J. Water Resour. Plag. and Mgmt., 25(5), 298-301.
- 7) Vortruba, L. and V. Broza, 1989, Water management in reservoirs, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- 8) 장인수, 1984, 저수지의 저류량 해석, 영남대학교 석사학위논문, 8-32pp.
- 9) 고석구, 고익환, 이광만, 1991, 신뢰도를 고려한 저수지 운영의 개발, 한국수자원공사 수자원연구소 연구보고서, 수자연 91-WR-4.
- 10) 정상만, 신현민, 1994, 다목적댐의 용수공급능력 평가방법의 개선, 한국건설기술연구원 연구보고서, 74-WR-111.
- 11) 박기범, 1999, 저수지의 Storage-Yield 해석에 관한 연구, 영남대학교 석사학위논문, 24-44pp.
- 12) 심명필, 이봉희, 김경탁, 1997, 저수지 물공급을 위한 신뢰도 분석에 관한 연구, 한국수자원학회지, 30(5), 527-537.
- 13) 박명기, 김재한, 정관수, 2002, 위험도 평가기준을 적용한 저수지 최적운영방안 연구(I) (대청댐을 중심으로), 한국수자원학회 논문집, 35(1), 37-49.
- 14) 차상화, 박기범, 2004, 다목적댐의 용수공급능력 평가지표 산정에 관한 연구, 한국환경과학회지, 13(3), 197-204.
- 15) 수자원 관리종합 정보시스템, <http://wamis.go.kr/>.