

# 신뢰도 분석기법을 이용한 소규모 저수지의 위험도 분석

## A Study on the Risk Assessment of Small Reservoirs using Reliability Analysis Methods

김 문 모\* / 박 창 언\*\*  
Kim, Mun Mo / Park, Chang Eon

---

### Abstract

This study is to develop the applied method of reliability analysis to present risk - initial water level relationship in the small reservoir. To determine the reliability, the grasping of uncertainty sources is prerequisites and performance function is formulated. Reliability analysis method is a statistical method and the basic procedure of risk evaluation for overtopping of reservoir is as follows.

1. Define the risk criterion and performance function for the overtopping.
2. Determine the uncertainties of all the variables in the performance function.
3. Perform the risk analysis with suitable risk calculation method.

Reliability analysis method such as Monte Carlo simulation(MCS) method and mean value first order second moment(MVFOSM) method are used to calculate the risk for reservoir.

Finally, risk - initial water level relationship is established according to return period and it is useful for reservoir operation and safety assessment.

*keywords:* risk-assessment, reliability analysis method, mean-value first order second moment method, Monte Carlo simulation method

---

### 요 지

본 연구는 소규모 저수지의 위험도와 초기저수지 수위와의 관계를 설정하기 위하여 신뢰도 분석기법을 적용하였다. 저수지의 안전성을 평가하기 위해서는 변수들의 불확실성을 파악하여야 하며 기능수행함수를 설정하여야 한다. 저수지의 위험도를 산정하는 절차는 우선 월류에 대한 기능수행함수의 위험도 기준을 설정한 후 변수들의 불확실성을 파악하고 적절한 신뢰도 분석기법에 의하여 위험도를 산정하게 된다. 적용된 신뢰도 분석기법은 MCS (Monte Carlo simulation) 법과 MVFOSM (mean value first order second moment) 법이며 이를 이용하여 저수지의 위험도를 산정하였다. 이에 따라 설계 재현기간에 따른 위험도-초기 저수지 수위의 관계를 설정하였으며 이는 저수지의 운용에 유용하게 사용될 것으로 생각된다.

**핵심용어** : 위험도 평가, 신뢰도 분석기법, mean-value first order second moment 법, Monte Carlo simulation 법

---

\* 신구대학 토목과 부교수  
Associate Prof. of Civil Engrg., Shingu College, Seongnam City, 462-743, Korea

\*\* 신구대학 토목과 조교수  
Assistant Prof. of Civil Engrg., Shingu College, Seongnam City, 462-743, Korea

## 1. 서 론

강수의 계절적인 편차가 뚜렷한 우리나라에서 저수지의 효율적인 운용은 필수적이다. 따라서, 본 연구에서는 저수지에서 초기저수지 수위가 월류에 미치는 영향을 평가하고, 적절한 운용방법을 제시하기 위하여 최근에 많이 사용되고 있는 신뢰도 분석기법을 이용하였다. 신뢰도 분석기법은 통계학적인 방법으로서 저수지를 입력과 출력에 대한 매개변수를 가지는 하나의 시스템으로 생각하고 이 시스템의 기능수행함수(performance function)를 구성하며 기능수행함수에 영향을 미치는 인자들의 불확실성을 파악하여 시스템에 대한 위험도를 산정하게 된다. 저수지의 월류에 대한 위험도 산정의 기본과정은 먼저 월류에 대한 위험도 기준과 기능수행함수를 정의하고, 기능수행함수에서 모든 변수들의 위험도를 정의한 후 적절한 위험도 산정방법을 가진 위험도 분석을 수행하게 된다.

신뢰도 분석방법에는 MCS 법, MVFOSM 법 등이 있으며, MCS 법은 대응하는 확률분포에 따라 각 모의발생에서 인위적으로 발생시킨 임의변수들의 집합을 사용하는 과정이다. Askew 등(1971)은 다목적 저수지 시스템에서의 설계와 운영에 대해서 MCS 법을 사용하였으며, Bohun과 Vischer(1978)는 MCS를 상이한 분포함수로서 위험도와 민감도 분석에 적용하였다. Haan(1977), Chow(1978), Qaisi(1985) 등은 수자원시스템에 대한 연구를 위하여 MCS 법을 사용한 바 있다. FOSM은 임의 변수의 Taylor 급수확장에서 2차 이상의 고차항을 절단하는 근사적인 확률이다. 변수들의 평균점에서 Taylor 급수가 확장될 때가 MVFOSM이며, 이 방법의 적용은 Ang과 Tang(1984)에 의해서 기술된 바 있다. Yen(1990)은 이 방법을 수문학적, 수리학적인 불확실성을 고려한 우수관거의 설계에 적용하였으며, Yen과 Tung(1993), Cheng과 Yen(1993)은 변수들의 불확실성 요소를 고려하여 위험도와 안전율 사이의 관계를 결정하는데 사용하였다.

국내에서는 우수관거의 신뢰도 분석을 위해서, MCS, MVFOSM, AFOSM 등을 이용한 바 있고(김문모 등, 1993), 댐 및 하천제방의 붕괴원인을 fault tree 해석에 의하여 분석한 연구가 있다.(한건연 등, 1997) 또한, 홍수시 하천 제방월류에 의한 홍수범람특성을 해석하기 위하여, DWOPER-LEV 모형을 개발하여 이용한 연구(이홍래, 1998) 등이 있으나, 소

규모 저수지의 위험도 해석에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 저수지의 안전성 평가를 위해서 신뢰도 분석기법인 MCS와 MVFOSM 법을 도입하고 이를 경상남도에 위치한 "A" 저수지에 적용하여, 적용기법과 기능수행함수의 종류에 따른 저수지 위험도의 변화 양상과 특성을 파악하며 재현기간 별로 초기 저수지 수위에 대한 위험도를 산정하여 저수지 조작과 안전성을 판단할 수 있는 기준을 삼을 수 있도록 하고자 한다.

## 2. 신뢰도 분석기법

### 2.1 MVFOSM 법

FOSM (first-order second moment) 신뢰도 분석방법의 개념은 오래 전에 제안되었으며, 주로 구조물의 안전도를 산정하기 위하여 사용되어 왔다. MVFOSM 법이 처음으로 수리시스템의 위험도산정에 사용된 것은 Tang과 Yen (1972)이 제안하였다. 이 방법에서의 신뢰도는 다음과 같이 정의된다.

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} \quad (1)$$

여기서,  $\beta$ 는 안전성지표(reliability index)를 의미하며,  $\mu_Z$ ,  $\sigma_Z$ 는 각각  $Z$ 의 평균치와 표준편차이다. 따라서,  $\beta$ 는  $Z$ 의 변동계수(coefficient of variation)의 역수로 나타내어진다.

공학시스템의 설계에서, 여러가지 선택에 따른 신뢰도를 비교하기 위해  $\beta$ 값만을 사용하게 된다. 홍수에 보의 불확실성 분석 같은 경우에도, 시스템 위험도의 산정은 필요하게 된다. 이러한 경우에 확률분포는 기능수행함수  $Z$ 로 가정되고  $\beta$ 는 시스템의 평균상태로부터 시스템 파괴수준(failure level)까지 거리를 정규적으로 관측함으로써 얻어지므로,  $\beta$ 값에 대한 확률이 시스템의 신뢰도로 채택된다. MVFOSM 법에서, 기본변량에 대한 어떠한 분포의 가정도 필요치 않기 때문에,  $Z$ 의 분포는 정의되지 않은 상태로 남게 되고, 따라서  $\beta$ 에 포함된 확률정보는 부족하게 된다. 일반적으로,  $Z$ 는 정규분포로 가정되며, 시스템의 위험도는 식 (2)와 같이 된다.

$$R_s = 1 - \Phi(\beta) \quad (2)$$

여기서,  $R_s$ 는 시스템의 위험도이며,  $\Phi(\cdot)$ 는 표준 정규분포함수이다.

이러한 가정은 실제적으로 여러가지 장점이 있다. 만일 시스템의 기능 수행함수가 선형 (즉,  $Z = R - L$ , 여기서,  $R$ 과  $L$ 은 각각 시스템의 저항(resistance)과 부하(load)를 의미한다.)이고, 부하와 저항이 정규분포를 한다면 식 (2)는 정확한 위험도를 나타낸다. 만일, 시스템의 기능 수행함수가  $Z = \ln(\frac{R}{L})$ 과 같이 비선형이고, 부하와 저항이 대

수정규분포를 하며,  $L$ 과  $R$ 의 변동계수가 상대적으로 작으면 식 (2)는 정확한 위험도에 매우 근접한 값을 갖게 된다. 따라서,  $Z$ 를 정규분포로 선택하는 것은 아주 합리적이며, 그 이유는 많은 자연적인 시스템이나 변량들은 정규 또는 대수정규분포를 나타내기 때문이다. 일반적으로 기본변량의 분포특성에 대한 어떤 정보를 알 수 있으면, 비록 불완전하고 정확하지 않을 지라도 이러한 제한된 정보는 허용할 만한 정도 이내로 위험도 평가를 하는데 도움을 준다. 예를 들면, 만일 기본변량 분포가 시작범위 근처에서 평균을 가지는 단일 형태라면,  $Z = \ln(\frac{R}{L})$ 로 놓고,  $Z$ 를 정규분포

로 가정하는 것이 위험도의 산정에 좋다. 만일, 기본변량분포가 작은 왜곡도를 가지는 단일 형태라면,  $Z = R - L$ 로 놓고  $Z$ 를 정규분포로 가정하는 것이 좋다. 또한, Cheng (1982)은 다음과 같은 경우에도  $Z = R - L$  ( $R = X_1 + X_2$ ,  $L = X_3 X_4$ )로 하고  $Z$ 를 정규분포로 가정하면 위험도가 큰 경우 (예를 들면,  $R_s > 0.01$ )에 엄밀해에 비해 상대적으로 좋은 값을 준다고 하였다.

$$Z = X_1 + X_2 - X_3 X_4 \quad (3)$$

여기서,  $X_1$ 과  $X_2$ 는 균등분포이며,  $X_3$ 와  $X_4$ 는 대수정규분포이다.

결론적으로,  $Z$ 의 분포를 가정해야 하는 필요성에도 불구하고 MVFOSM 법을 사용함으로써 아주 타당한 시스템 위험도의 값을 알 수 있다.

MVFOSM 방법을 이용한 위험도 산정과정은 다음과

같이 나타낼 수 있다.

(1) 부하와 저항 (또는 기능 수행함수  $Z$ )에 기여하는 변량을 정의하고  $L$ 에서  $G_1$ 과  $R$ 에서  $G_2$ (또는  $Z$ 에서)의 함수관계를 정의한다.

(2) 통계치 또는 계산치로부터  $X_i$ 와  $Y_j$ 의 각각의 변량에서 평균과 분산  $\bar{x}_i$ ,  $Var(x_i)$ ,  $\bar{y}_j$ ,  $Var(y_j)$ 를 결정한다.

(3)  $X_i$ 와  $Y_j$  각각에서 변동계수  $\Omega_{xi}$ 와  $\Omega_{yj}$ 를 계산한다.

(4) 미분 또는 전방차분식을 이용하여  $X_i$ 와  $Y_j$  각각의 경우에 평균점  $\bar{x}_i$ 에서 민감도계수  $(\frac{\partial G_1}{\partial x_i})_0$ ,

평균점  $\bar{y}_j$ 에서 민감도계수  $(\frac{\partial G_2}{\partial y_j})_0$ 를 계산한다.

(5)  $\bar{L} = G_1(\bar{x}_i)$ ,  $\bar{R} = G_2(\bar{y}_j)$ 에 의해  $\Omega_L$ ,  $\Omega_R$ 을 계산한다.

(6)  $R$ 과  $L$ 의 분포가정에 따라 안전성지표,  $\beta$ 를 구한다.

(7) 위험도,  $P_f$ 를 구한다.

## 2.2 Monte Carlo Simulation 법

MCS는 각각의 모의에 있어 대응하는 기본변량의 확률분포에 따라 발생하는 무작위변량값의 특정집합을 사용하는 과정이다.

각각의 모의발생에서, 기능 수행함수는 적절한 기본변량값을 사용하여 계산되며, 위험도는 모의갯수에 대한 실패수의 비율로 계산된다. 따라서, MCS는 매우 신속성 있는 방법이며, 이것은 여러가지 다양한 문제를 해결하기 위해 사용될 수 있다.

MCS는 위험도와 관련된 매개변수가 많이 포함되어 있고 그것에 대한 해석적인 해를 구하기가 불가능한 경우와 같은 복잡한 문제를 풀기 위한 난수발생에 의한 임의추출의 계산기법으로서 기대되는 위험도는 많은 수의 반복되는 시뮬레이션의 결과를 조사함으로써 식 (4)와 (5)에 의해서 평가될 수 있다.

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n, X_{n+1}, \dots, X_m) \quad (4)$$

$$P_f = P[Z < 0] \quad (5)$$

여기서,  $Z$ 는 시스템의 저항( $R$ )에서 부하( $L$ )을 뺀 값을 의미하며, 식 (5)에서 기능수행함수  $Z$ 의 대응되는 값은 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다. 파괴 위험도는  $Z$ 에 대한 총 모의횟수에 대한  $Z$ 값이 음수가 되는 횟수의 비로 표시된다.

MCS를 위하여 난수를 발생시키는 기본방정식은 식 (6)과 같다.

$$Z_i = aZ_{i-1} + c \pmod{m}, \quad i=1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

여기서,  $a$ ,  $c$ 와  $m$ 은 주어진 적당한 상수이며, 우측의 2번째 항은 식 (7)과 같이 기술된다.

$$x \pmod{m} = \left[ \frac{x}{m} \right] \quad (7)$$

본 연구에서 난수의 발생은 식 (8)과 (9)와 같은 multiplicative congruential generator를 이용하였다.

$$X_{i+1} = aX_i \pmod{m} \quad (8)$$

$$U_i = \frac{X_i}{m} \quad (9)$$

여기서,  $a=16807$ ,  $m=2^{31}-1$ ,  $\pmod{m}$ 은 modulus  $m$ 에 의한 나머지 값,  $X_i$ 는 균등난수를 발생시키기 위한 초기값,  $U_i$ 는 균등분포에 의한 난수를 나타낸다.

MCS에 의한 저수지의 위험도 산정방법은 다음과 같다.

- (1) 각 매개변수에 대한 분포형을 결정하고 평균과 표준편차(또는 변동계수)를 산정한다.
- (2) 각 분포형에 맞게 난수를 발생시킨다.
- (3) 정해진 실행함수의 각 매개변수 값들을 계산한다.
- (4) 정해진 반복계산 후 발생빈도 및 반복계산수에 의하여 식 (10)을 이용하여 위험도를 구한다.

$$P_f = \frac{N_f}{N} \quad (10)$$

여기서,  $N_f$ : 발생빈도,  $N$ : 반복 계산수이다.(한건연 등, 1997)

### 3. 신뢰도 분석기법의 적용 및 결과

본 연구에서는 저수지의 초기저수지 수위가 월류위험도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 경상남도에 위치한 "A" 저수지를 택하였으며, 대상유역의 특성은 다음과 같다.

#### 3.1 유역개요

본 연구에 적용된 저수지는 경상남도에 위치하고 있으며, 대상 유역면적은 13.70 km<sup>2</sup>로 유역도는 그림 1에 유역의 특성은 표 1에 나타나 있다.

또한, 댐 및 여수로의 특성은 표 2와 3과 같다.

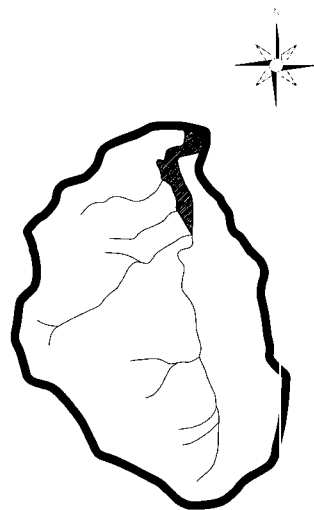


그림 1. "A" 저수지 유역도

표 1. 대상 유역의 수문특성

저수지 명	유역면적 (km <sup>2</sup> )	유역길이 (km)	도달시간 (min.)
"A" 저수지	13.70	4.1	77.47

표 2. 댐의 특성

댐 높이 (El. m)	홍수위 (El. m)	만수위 (El. m)	사수위 (El. m)
100.2	98.2	97.0	76.5

표 3. 여수로의 특성

실제 홍수량 (m <sup>3</sup> /sec)	여수로 높이 (m)	여수로 길이 (m)	유량계수
340.53	6.6	22	2.12

### 3.2 홍수로 인한 월류위험도의 산정

월류에 의한 위험도 산정의 기본 과정은 다음과 같다.

- (1) 월류에 대한 위험도 기준과 기능수행함수의 정의
- 저수지의 수위가 댐을 월류하는 경우를 파괴로 보아 식 (4)의 기능수행함수를 다음과 같이 정의한다.

$$g(x) = H_D - \left(\frac{Q_S}{C_D L_S}\right)^{2/3} - H_P \quad (11)$$

여기서,  $H_D$ 는 댐의 높이,  $Q_S$ 는 여수로 방류량,  $C_D$ 는 여수로의 유량계수,  $L_S$ 는 여수로의 길이,  $H_P$ 는 여수로의 높이이다.

- (2) 기능수행함수에서 모든 변수들의 위험도의 정의
- 기능수행함수를 구성하는 모든 변수들(예를 들어, 댐 높이, 여수로 길이, 여수로 높이, 유량계수 등)의 확률분포형을 설정하고, 위험도는 식 (5)에 의해 산정한다.

- (3) 적절한 위험도 산정방법을 가진 위험도분석의 수행

- 신뢰도 분석기법(MVFOSM 법과 MCS법)을 이용하여 위험도 분석을 수행한다.

또한, 홍수에 의한 월류위험도의 산정에 포함되는 변수와 그 수행과정을 그림 2에 나타내었다.

#### 3.2.1 수위-저류량의 관계의 결정

“A” 저수지 내의 호수의 상시만수위 위의 저수지의

수위-저류량, 수위-표면적 관계는 그림 3과 같다.

사수위 위의 수위-저류량 관계를 나타내기 위하여 다음과 같은 회귀방정식을 이용하였다.

$$S = -15,923,700 + 886,273 h - 1,5547.4 h^2 + 88.0134 h^3, \quad h \geq 76.5m \quad (12)$$

여기서,  $S$  = 저류량 ( $m^3$ )

$h$  = 수위 (El. m)

#### 3.2.2 설계 홍수량의 결정

설계 홍수량을 결정하기 위하여 재현기간이 10년, 20년, 100년, 200년에 해당하는 홍수량과 표준설계 홍수량(SPF, Standard Project Flood)을 구하기 위해 합리식을 사용하였으며 그 결과는 표 4와 같다. 10년, 20년, 100년, 200년에 해당하는 홍수량을 구하기 위하여는 인근 유역에 유도되어 있는 강우강도공식을 사용하였다. 또한, 표준설계홍수량을 구하기 위해서는 먼저 가능최대 강수량을 결정하여야 하며, 본 연구에서의 PMP 산정은 건설부(1988)의 “한국 가능최대 홍수량의 추정”에 관한 보고서를 이용하였다. 먼저 본 유역의 24시간-1000  $km^2$ 에 대한 PMP를 620.0 mm로 산정하고 면적감소계수를 이용하여 본 유역의 유역면적 13.70  $km^2$ 에 대한 PMP를 694.4 mm로 산정하였다. 또한, 1시간의 지속기간에 대한 PMP는 Mononobe의 수정 n값(이원환, 1980)을 이용하여 218.04 mm로 결정하였다. 따라서, 표준설계 강수량(SPS)은 이 값의 50%인 109.02 mm로 결정하였다.

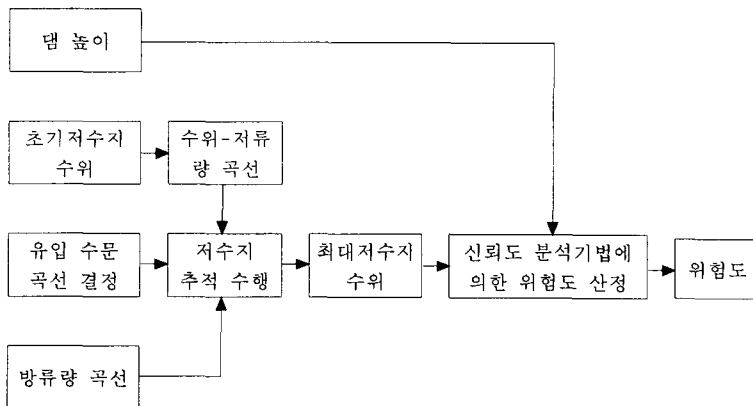


그림 2. 소규모 저수지 월류위험도의 산정과정

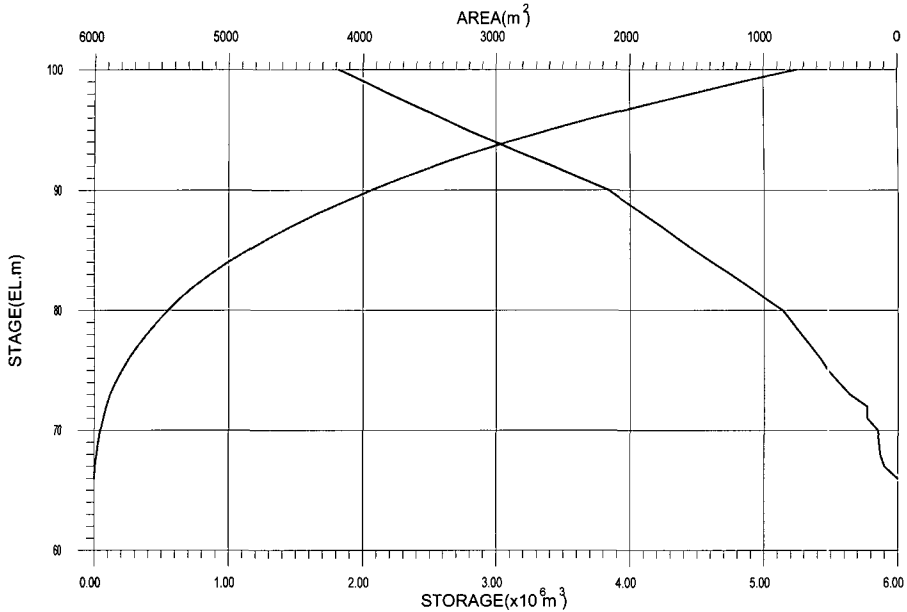


그림 3. "A" 저수지의 수위-저류량, 수위-면적 관계도

표 4. 대상 유역의 설계홍수량

재현기간 (yr.)	강우강도 (mm/hr)	설계홍수량 (m <sup>3</sup> /sec)
10	$\frac{592}{t^{0.595}} = 44.49$	118.51
20	$\frac{902}{t^{0.635}} = 56.96$	151.73
100	$\frac{1959}{t^{0.709}} = 89.67$	238.87
200	$\frac{2606}{t^{0.735}} = 106.53$	283.78
SPS ( $\frac{1}{2}$ PMP)	109.02	290.44

### 3.2.3 기능수행함수의 결정

공학시스템과 관계된 위험도란 시스템이 설계된 기능을 수행하지 못할 확률을 말한다. 공학시스템에서, 시스템파괴의 개념은 일반적으로, 시스템에 작용하는 부하 (load),  $L$  이 시스템의 저항능력 (resistance capacity),  $R$  을 초과하는 것으로 정의된다. 따라서, 시스템 위험도,  $R_s$  는 다음과 같이 정의된다.

$$R_s = 1 - R_l = P_r(L > R) \quad (13)$$

여기서,  $P_r(x)$ 는 사건  $x$ 가 발생할 확률이며,  $R_l$ 은 시스템의 신뢰도이다.

시스템의 파괴위험도를 산정하기 위한 간편한 방법은 시스템의 기본변량(즉, 시스템을 설명하는 자료, 모형의 매개변수, 모형 보정계수)을 부하와 저항에 연관시킨 시스템 기능 수행함수,  $Z$ 를 이용하는 것이다. 기능 수행함수는 음의 값이 시스템파괴를 나타내도록 하는 수학적, 예를 들어,  $R - L$ ,  $(\frac{R}{L}) - 1$ ,  $\ln(\frac{R}{L})$  등으로 나타낼 수 있다. 따라서, 시스템의 위험도는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$R_s = P_r(Z < 0) \quad (14)$$

여기서,  $Z = g(x_1, x_2, \dots, x_p) = g(x)$

$x$  = 시스템 기본변량의 벡터

$p$  = 시스템에서 기본변량의 수

파괴확률, 즉 시스템의 위험도는 다음 식 (15)와 같이 표현된다.

$$R_s = \int_0^\infty \int_0^l f_{R,L}(r, l) dr dl \quad (15)$$

여기서,  $f_{R,L}(r,l)$ 은  $R$ 과  $L$ 의 결합 확률밀도 함수(joint probability density function)이다. 만일 저항  $R$ 이 부하  $L$ 에 통계학적으로 독립이라면 식 (15)는 다음과 같이 간단하게 쓸 수 있다.

$$R_s = \int_0^\infty f_L(l) \left[ \int_0^l f_R(r) dr \right] dl \quad (16)$$

가능 수행함수  $Z$ 를 사용하여 식 (16)의 위험도를

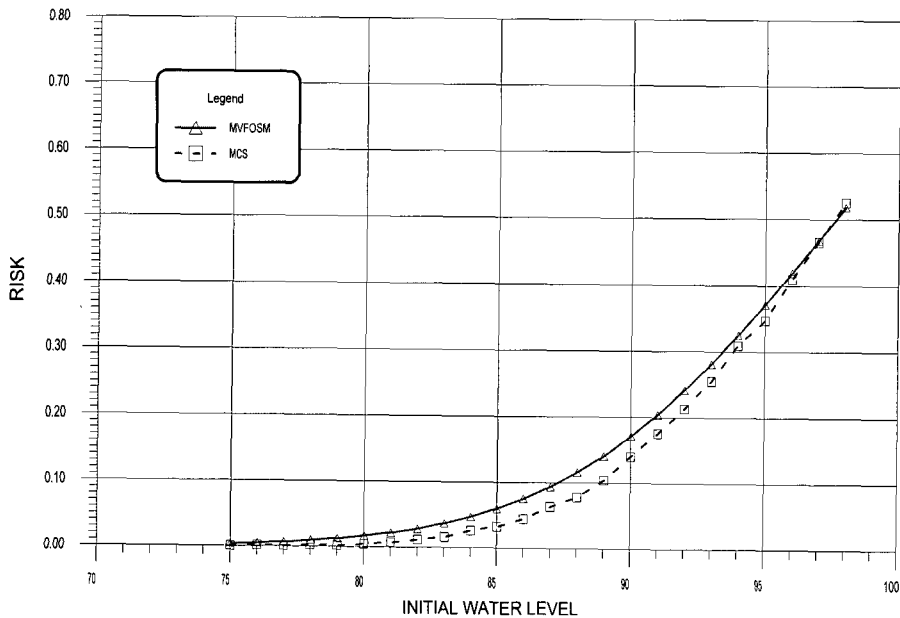


그림 4. 위험도-초기 저수위 관계 ( $T_r=10$  yr.,  $C=0.6$ )

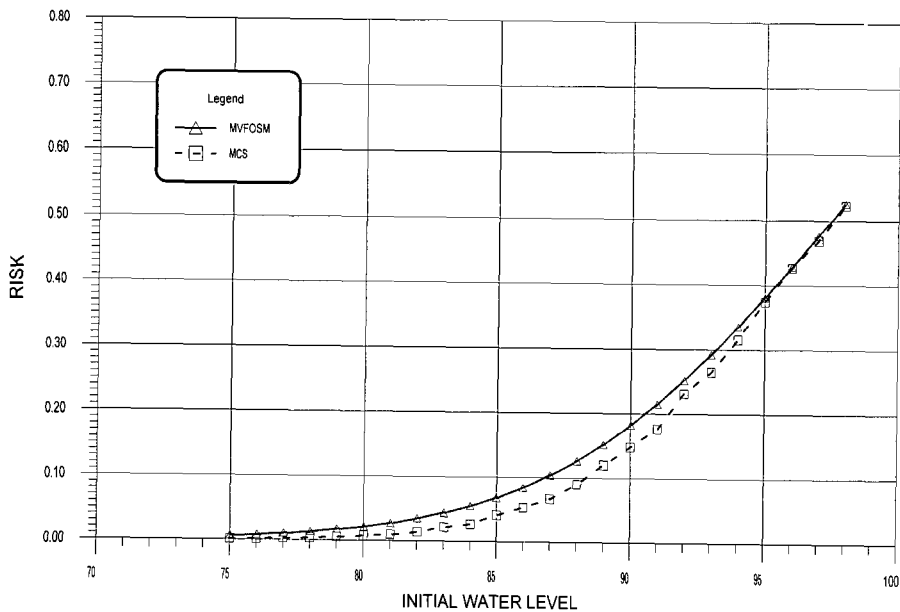


그림 5. 위험도-초기 저수위 관계 ( $T_r=20$  yr.,  $C=0.6$ )

다시 쓰면, 식 (17)과 같다.

$$R_s = P_r(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f_Z(z) dz \quad (17)$$

과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_f = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \quad (18)$$

따라서, 만일  $Z$ 가 정규분포화 되어 있다면 식 (18)

여기서,

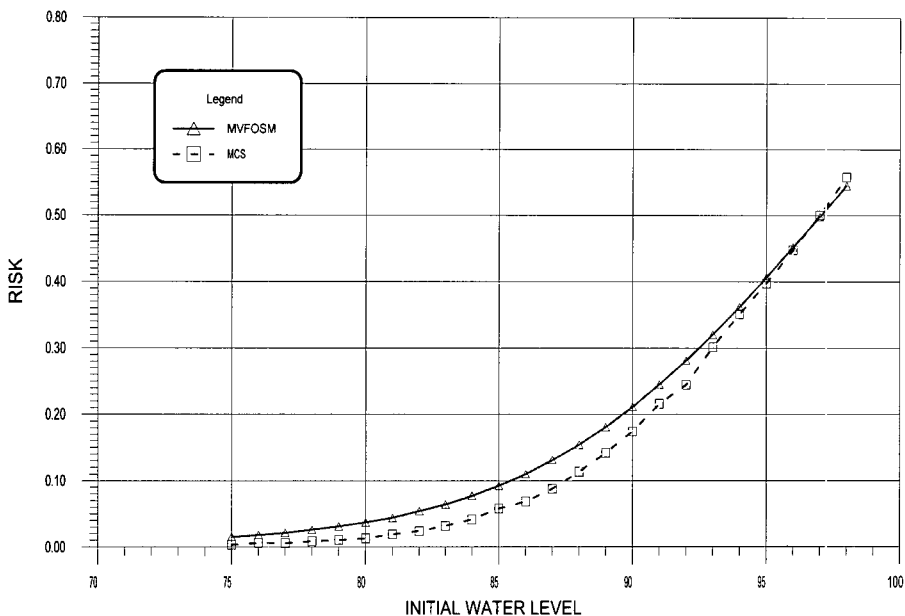


그림 6. 위험도-초기 저수위 관계 (Tr=100 yr., C=0.6)

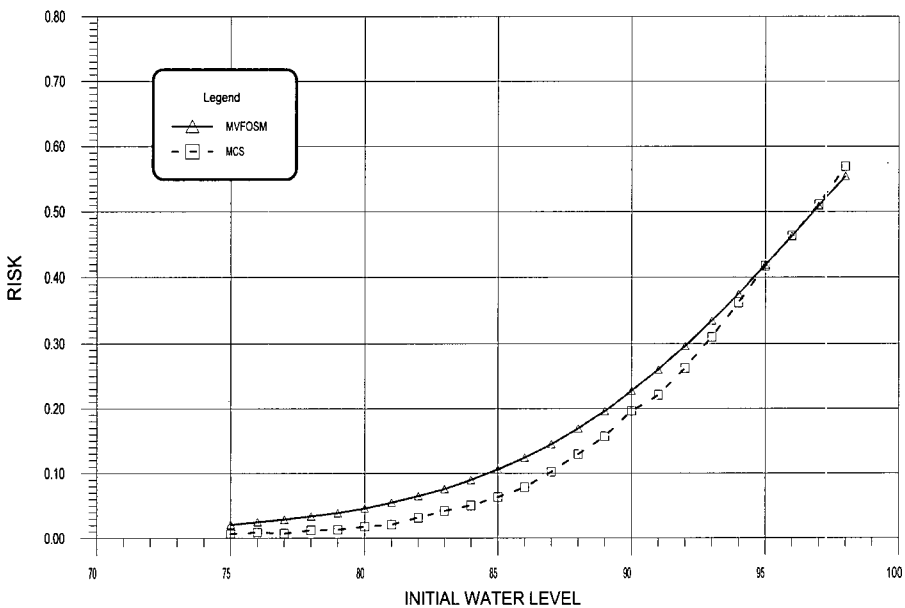


그림 7. 위험도-초기 저수위 관계 (Tr=200 yr., C=0.6)



$$\beta = \frac{\mu_Z}{[\text{Var}(Z)]^{1/2}} \quad (19)$$

식 (19)에서  $\beta$ 는 안전성지표 (reliability index)이며,  $\mu_Z$ 는 평균,  $\text{Var}(Z)$ 는 분산이다.  $\Phi(\beta)$ 는

$\beta$ 에 따른 누가 정규분포함수이며,  $\beta$ 가 증가할수록 그 값도 증가하므로 따라서 신뢰도도 증가한다. 만일,  $L$ 과  $R$ 이 정규분포를 하고, 기능 수행함수  $Z$ 를  $R - L$ 로 하면,  $Z$ 도 정규분포를 갖는다. 따라서, 안전성지표는 다음과 같다.

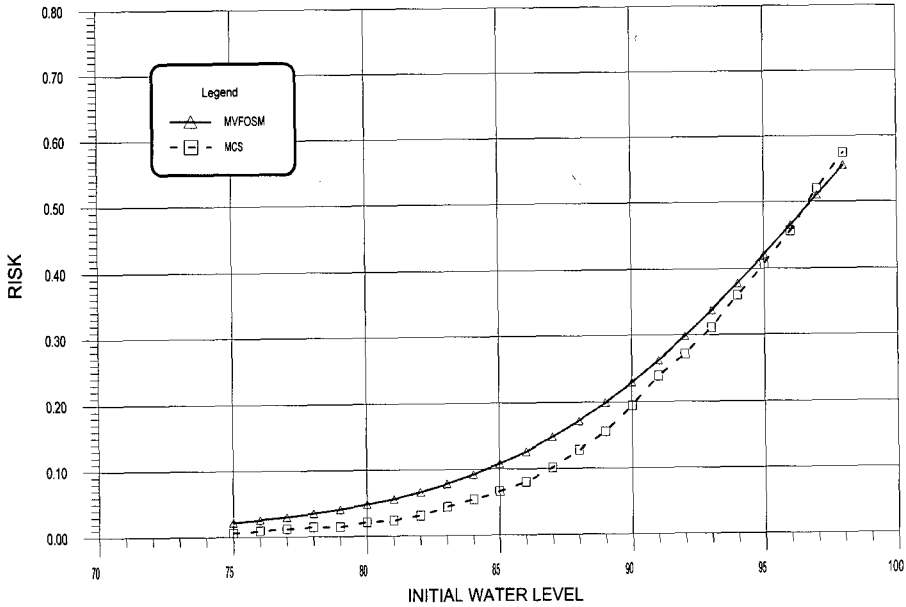


그림 8. 위험도-초기 저수위 관계 ( $T_r=SPS, C=0.6$ )

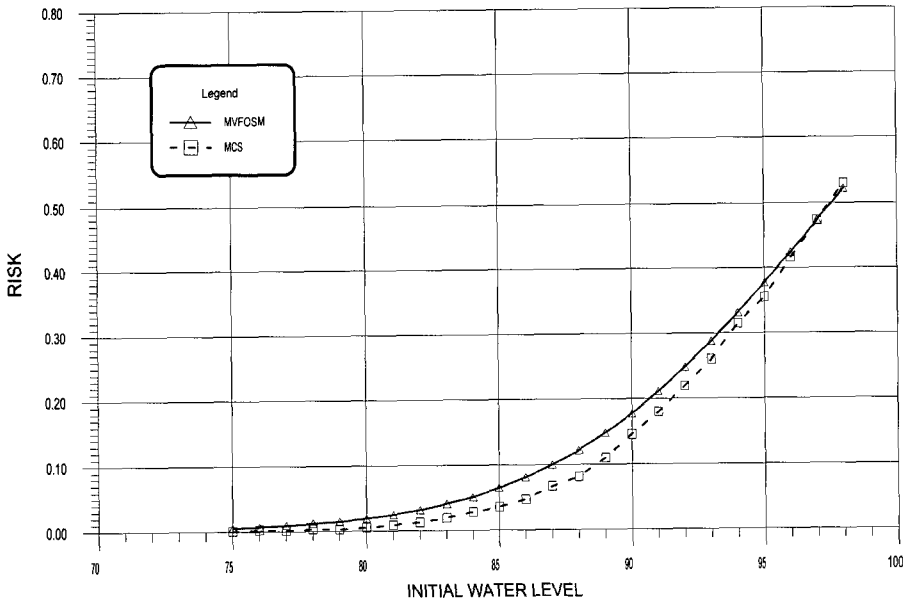


그림 9. 위험도-초기 저수위 관계 ( $T_r=10 \text{ yr.}, C=0.7$ )

### 3.2.4 홍수로 인한 소규모 저수지의 월류위험도 산정결과

$$\beta = \frac{\frac{\mu_R}{\mu_L} - 1}{\left[ \left( \frac{\mu_R}{\mu_L} \right)^2 \Omega_R^2 + \Omega_L^2 \right]^{1/2}} \quad (20)$$

앞에서 설명한 신뢰도 분석기법(MVFOSM 법과 MCS법)을 “A” 저수지에 적용하였으며, 저수지로 유

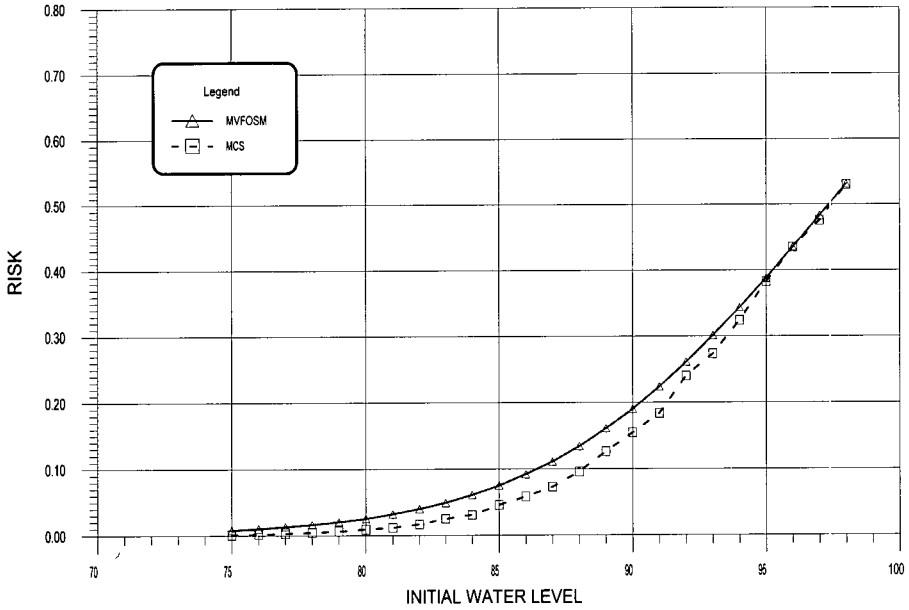


그림 10. 위험도-초기 저수위 관계 (Tr=20 yr., C=0.7)

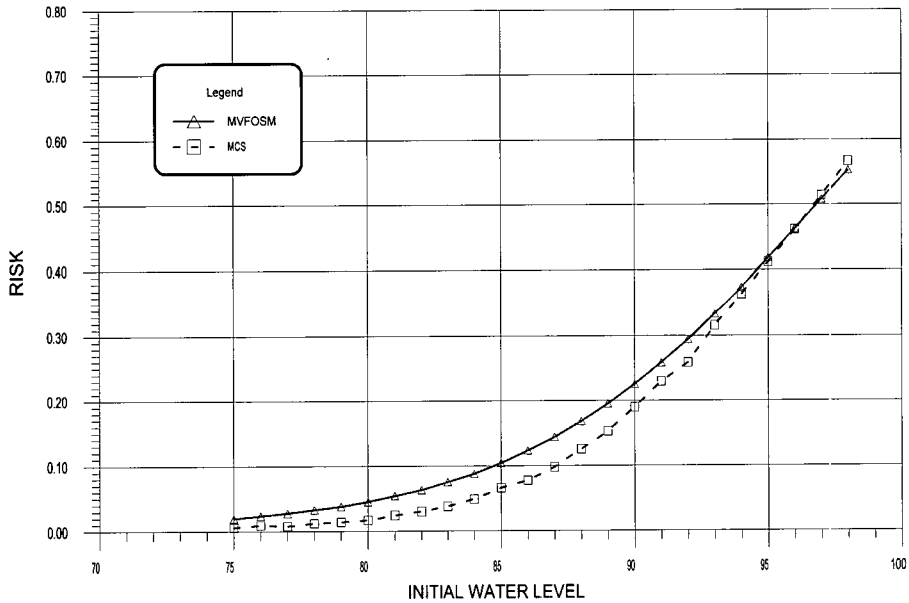


그림 11. 위험도-초기 저수위 관계 (Tr=100 yr., C=0.7)

입하는 홍수량의 크기에 따라 저수지의 위험도는 변화하므로 설계 재현기간이 10년, 20년, 100년, 200년 빈도에 해당하는 홍수와 PMP(가능최대 강우량)의 1/2에 해당하는 표준설계 강우량(Standard Project Storm, SPS)에 의한 설계홍수량을 설정하였고, 대상

유역의 정확한 유출계수를 알 수 없으므로 유출계수를 각각 0.6, 0.7, 0.8로 가정하여 재현기간별 초기저수위 수위의 변화에 따른 저수지의 위험도를 그림 4~18에 나타내었다. 또한, 나타난 결과의 비교를 쉽게 하기 위하여 재현기간별로 유출계수와 초기저수위의 변동에

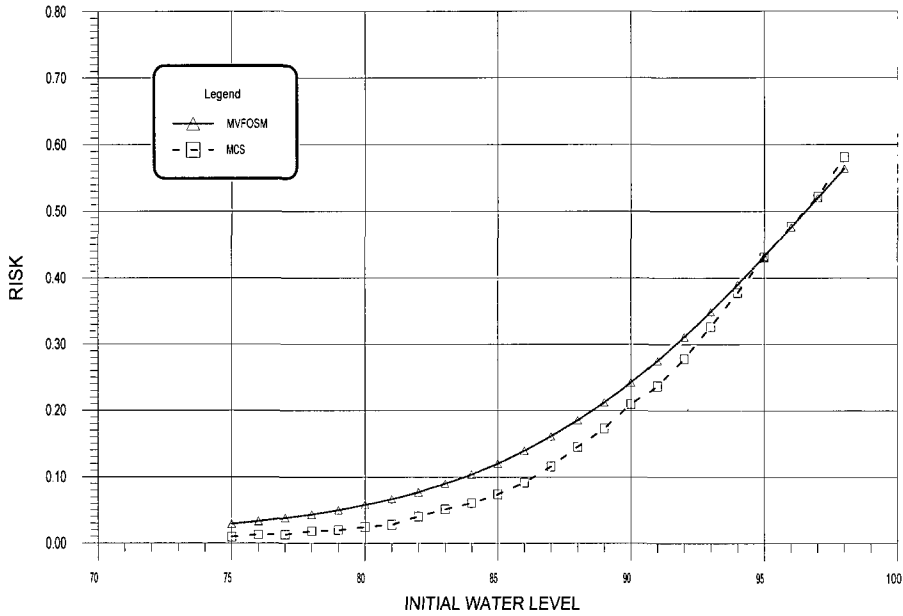


그림 12. 위험도-초기 저수위 관계 (Tr=200 yr., C=0.7)

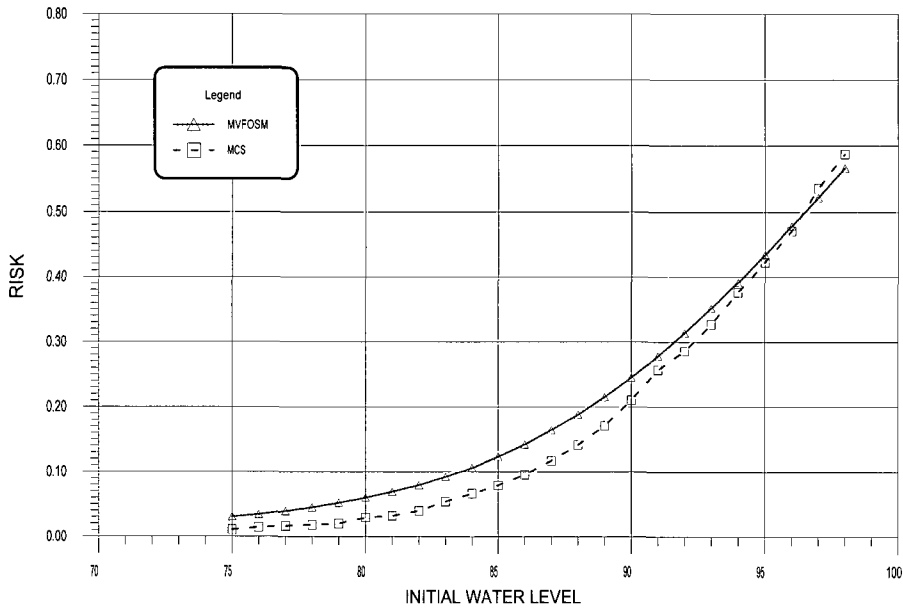


그림 13. 위험도-초기 저수위 관계 (Tr=SPS, C=0.7)

다른 위험도를 MVFOSM 법을 적용할 경우와 MCS 에 의한 결과를 비교하였으며, 표 5에 나타내었다.

그림에서 보면, 동일한 유입량에 대해서도 초기 저수지 수위에 따라 저수지의 위험도는 달라지며, 초기저수지 수위가 낮을수록 위험도는 작은 값을 갖게 된다.

그러나, 소규모 저수지는 초기저수위를 임의로 낮출 수 없고 다목적 댐과 같이 홍수조절능력을 고려할 수도 없다. 따라서, 초기저수위에 따른 위험도를 저수지 별로 파악하여 이에 다른 적정 운영방안을 저수지 별로 만들어 둘 필요가 있다. 예를 들어, “A” 저수지의

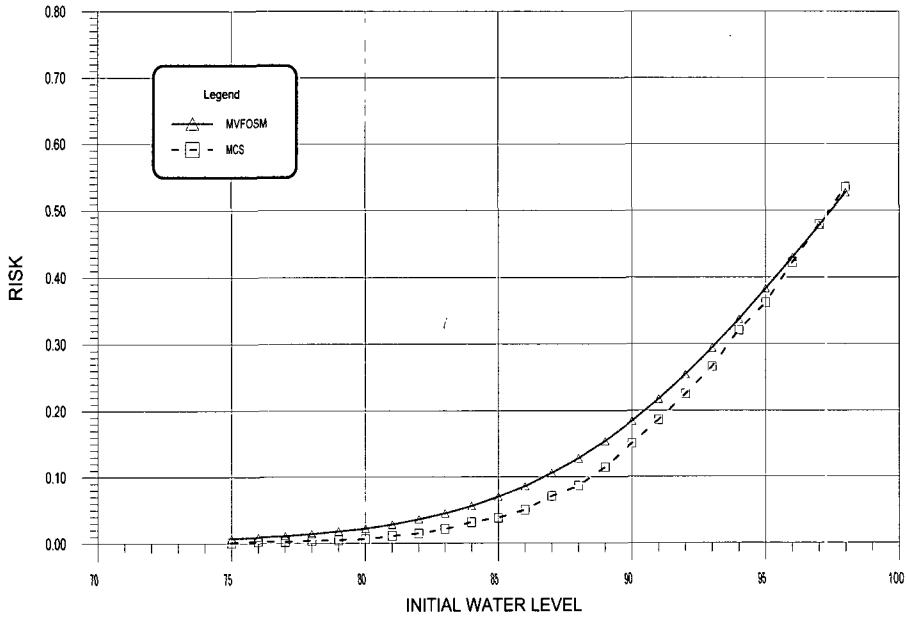


그림 14. 위험도-초기 저수위 관계 (Tr=10 yr., C=0.8)

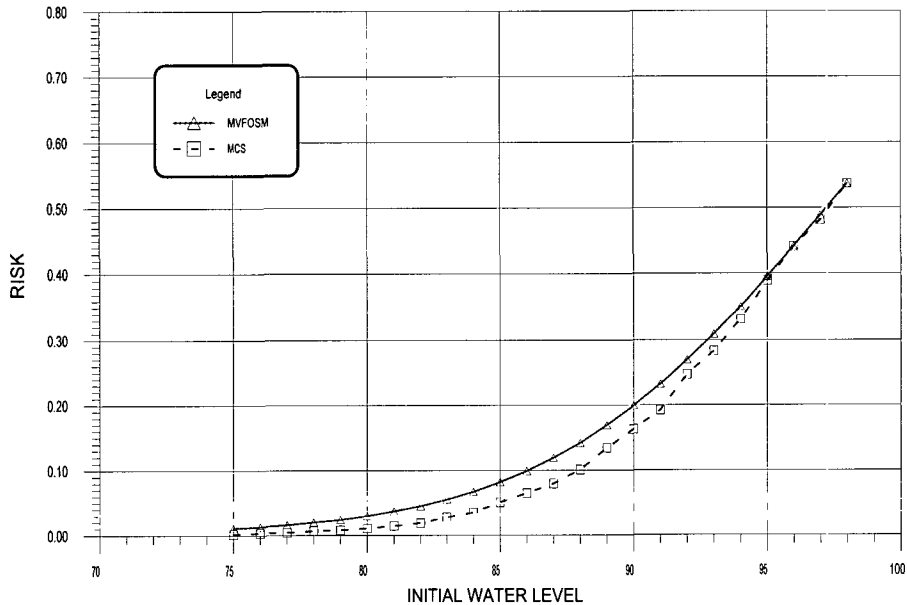


그림 15. 위험도-초기 저수위 관계 (Tr=20 yr., C=0.8)

경우 초기저수위를 만수위인 97 m로 유지할 경우, 홍수위를 초과할 위험도가 재현기간 10년인 강우에 대해 MVFOSM 법으로 산정한 경우 유출계수를 0.7로 봤을 때, 0.473, MCS법으로 산정한 경우 0.473으로 나타났으며, 재현기간이 20년인 강우에 대하여는 각각,

0.483, 0.476, 100년인 경우에는 0.508, 0.514로, 200년인 경우에는 0.520, 0.522로, SPS에 대하여는 0.522, 0.536으로 각각 나타났다. 이는 저수위를 만수위로 유지할 경우의 월류위험도를 나타내며, 위험도가 크다고 판단되면, 초기저수위를 만수위 이하 (예를 들

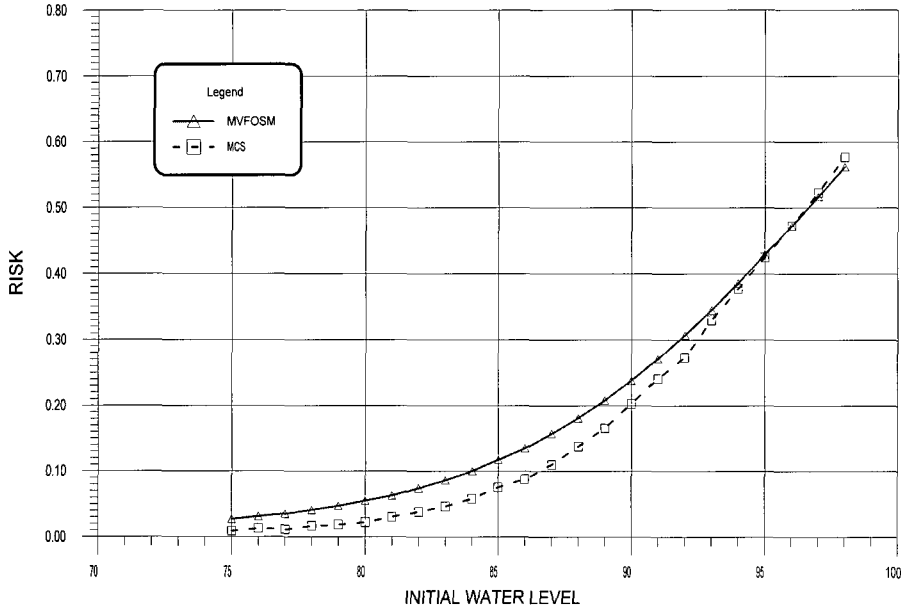


그림 16. 위험도-초기 저수위 관계 ( $Tr=100$  yr.,  $C=0.8$ )

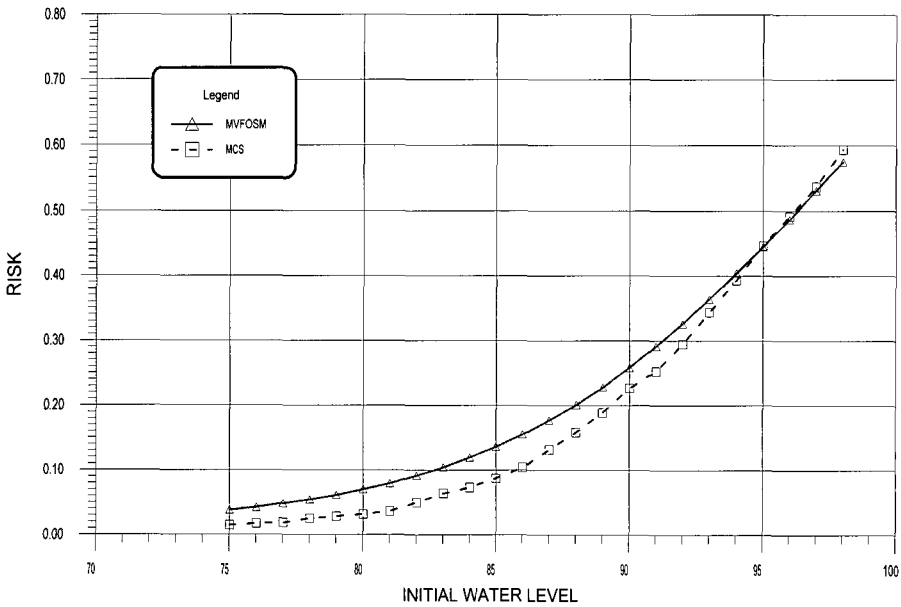


그림 17. 위험도-초기 저수위 관계 ( $Tr=200$  yr.,  $C=0.8$ )

어 95 m 정도)로 유지되는 경우에 대하여 생각해 볼 수 있다. 만약, 초기저수지 수위를 95m로 유지하는 경우는 저수지의 위험도가 10년인 경우에 대해 MVFOSM 법으로 산정한 경우 0.377, MCS법으로 산정한 경우 0.355로 나타나며, 재현기간이 20년인 경우에 대하여는 각각, 0.388, 0.383, 100년인 경우에는 0.418, 0.412로, 200년인 경우에는 0.432, 0.431로, SPS에 대하여는 0.434, 0.423으로 각각 나타나게 된

다. 따라서, 이와 같은 방법을 이용하면, 저수지 별로 위험도에 기초한 최적의 초기저수위를 판단할 수 있을 것이다.

또한, 적용된 신뢰도 방법 (MVFOSM 법과 MCS 법) 간의 위험도의 차이는 비교적 크지 않게 나타났으나, 같은 조건하에서라면 소규모 저수지의 경우 모의횟수에 영향을 받지 않고, 빠르게 수렴하는 MVFOSM 법의 사용이 적절할 것으로 사료된다.

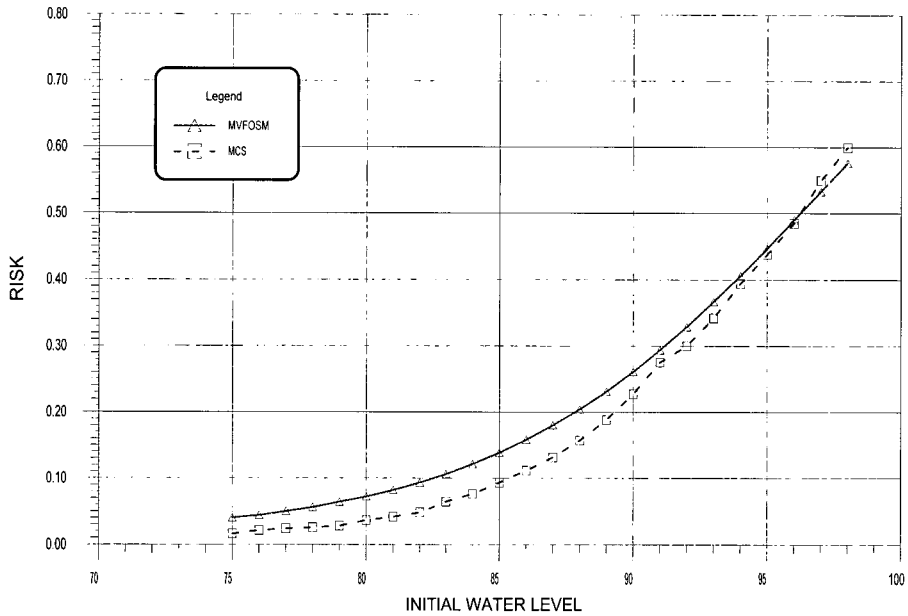


그림 18. 위험도-초기 저수위 관계 (Tr=SPS, C=0.8)

표 5. 재현기간-초기저수위-유출계수의 변화에 따른 “A” 저수지의 위험도값 (괄호안은 MCS에 의한 위험도값)

재현기간(yr.)	유출계수 초기 저수위 (m)		0.6		0.7		0.8	
	사수위	만수위	사수위	만수위	사수위	만수위	사수위	만수위
10	0.005 (0.002)	0.468 (0.466)	0.007 (0.002)	0.473 (0.473)	0.009 (0.003)	0.478 (0.479)		
20	0.008 (0.002)	0.477 (0.469)	0.010 (0.002)	0.483 (0.476)	0.013 (0.004)	0.489 (0.482)		
100	0.018 (0.006)	0.498 (0.501)	0.024 (0.009)	0.508 (0.514)	0.031 (0.013)	0.517 (0.523)		
200	0.025 (0.009)	0.509 (0.511)	0.033 (0.013)	0.520 (0.522)	0.042 (0.017)	0.531 (0.537)		
SPS ( $\frac{1}{2}$ PMP)	0.026 (0.009)	0.510 (0.520)	0.034 (0.014)	0.522 (0.536)	0.044 (0.021)	0.533 (0.550)		

#### 4. 요약 및 결론

“A” 저수지에 신뢰도 분석기법(MVFOSM 법과 MCS법)을 적용하여 재현기간별 초기 저수지 수위와 유입 홍수량에 따른 저수지의 위험도 변화 양상을 파악하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

(1) “A” 저수지에 대해 설계재현기간에 따른 위험도-초기 저수지 수위의 관계를 설정하였으며, 이를 이용하면 신뢰도 개념을 고려한 저수지의 위험도 파악이 가능할 것이다.

(2) 적용된 신뢰도 분석방법(MVFOSM 법과 MCS법) 간에는 위험도의 차이가 적으나 소규모 저수지의 신뢰도를 판단하기 위해서는 모의 횟수에 영향을 받는 MCS 법보다는 MVFOSM 법을 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

(3) 위험도-초기 저수지 수위의 관계는 소규모 저수지의 경우 만수위 이상의 초기저수지 수위에 대한 위험도를 파악하여 치수목적으로 사용할 수 있다.

#### 감사의 글

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 지원되었으며, 지원당구에 깊이 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- 김문모, 이원환, 조원철 (1993). “AFOSM 방법에 의한 하수관망의 신뢰성 분석.” 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제13권 제2호, pp. 201-209.
- 이원환 (1980). “도시하천 및 하수도 계획상의 계획 강우량 설정에 관한 추계학적 해석.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제28권 제4호, pp. 81-94.
- 이흥래 (1998). 불확실성 해석에 의한 수리학적 홍수범람 모형의 확립. 박사학위논문, 연세대학교.
- 한건연, 이종석, 김상호 (1997). “댐 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발 : I. 이론 및 모형.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권 제6호, pp. 679-690.
- 한건연, 이종석, 김상호 (1997). “댐 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발 : II. 적용 예.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권 제6호, pp. 691-698.
- 한국건설기술연구원 (1988). 한국 가능최대 강수량의

추정. 건설부.

- Ang, A. H-S., and Tang, W.H. (1984). *Probability concepts in engineering planning and design : Vol. I Basic principles, Vol. II. decision, risk, and reliability.* John Wiley & Sons.
- Askew, A.J., Yen, W.W.G., and Hall, W.A. (1971). “Use of Monte Carlo Techniques in the design and operation of a multipurpose reservoir system.” *Water Resources Research*, Vol. 7, No. 4, pp. 819-833.
- Bohun, V., and Vischer, D.L., (1978). *Risk analysis - its use for evaluation of marginal projects and sensitivity of results to different probability distributions of input data*, IAHR Research and Practice in the Water Environment, pp. 1-30.
- Cheng, S.T. (1982). *Overtopping risk evaluation for an existing dam*, Ph.D. dissertation, University of Illinois at Urbana - Champaign.
- Cheng, S.T., and Yen, B.C. (1993). “Comparison of failure parameter criteria in first order reliability analysis.” *Proc. of the XXVth Congress of International Association for Hydraulic Research*, pp. D. 149-156.
- Chow, V.T. (1978). *Evaluation of stochastic hydrology, in applications of Kalman filter to hydrology*, hydraulics and water resources, edited by Chiu, C.L., Pittsburgh, Pennsylvania, pp. 13-28.
- Haan, C.T. (1972). “Adequacy of hydrologic records for parameter estimation.” *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 98, No. HY8, pp. 1387-1393.
- Qaisi, K. (1985). *Uncertainty analysis of stream dissolved models*. Ph.D. dissertation, The University of Michigan, Ann Arbor.
- Tang, W.H., and Yen, B.C. (1972). “Hydrologic and hydraulic design under uncertainties.” *Proceedings, International Symposium on Uncertainties in Hydrologic and Water Resources Systems*, Tucson, Arizona, Vol.

2, pp. 868-882.

Yen, B.C. (1990). "Return period, risk and probability in urban storm drainage - From the experience of 20th century to the science in 21st century." Proc. of Fifth IAHR / IAWPRC International Conference on Urban Storm Drainage, pp. 1.59-1.72.

Yen, B.C., and Tung, Y.K. (1993). "Some recent progress in reliability analysis for hydraulic design." Reliability and uncertainty analysis design, edited by Yen, B.C. and Tung, Y.K., ASCE, pp. 35-79.

(논문번호:99-071/접수:1999.09.01/심사완료:1999.10.28)