洪水期 流入量의 不確實性을 考慮한 貯水池運營에 관한 硏究

박 경 태* 심 명 필**

1. 서론

홍수시의 저수지를 효율적으로 운영하기 위해서는 불확실성을 고려하여야 하며, 일반적으로 수문학적 불확실성과 경제적인 불확실성으로 나눌 수 있다. 수문학적 불확실성인 예상유입량의 불확실성은 방류량결정에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다.

Bayes정리를 이용한 확률이론방법은 표본자료로부터 우도함수(liklihood function)를 구하고 사전정보로부터 사전분포를 구하여 사후확률밀도함수를 구하는 것이며, 불확실성이 내포된 문제에 가장 좋은 결과를 주는 방법으로 알려지고 있다.

본 연구에서는 저수지운영에 가장 큰 영향을 미치는 저수지 유입량의 불확실성에 대해 소양강댐의 유입량자료를 이용하여 Bayes의 확률이론으로 정량화하고, 정량화된 값, 즉 재현기간별 유입량의 확률밀도함수를 기존의 저수지운영 시스템에 적용하였다.

2. Bayes 정리의 적용및 결과

소양강댐에서의 표본추출된 연초과치계열의 시간 유입량 사상의 수는 포아송(poisson)분포로 유입량의 양은 지수(exponential)분포로 가정하고, 유의수준 α = 5%로하여 Chi-Square검정과 Kolmogorov-Smirnov검정을 해본 결과 가정된 두분포 모두 유의수준 5%에서 채택된다. 사상의 수가 포아송분포의 가정에 타당하고 양이 지수분포의 성질을 따른다면, 그들의 모수 m과 u에 대하여 특정량 (K)에 대한 재현기간은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$T_R(K|m,u) = \frac{1}{1 - \exp(-m e^{-uK})} \qquad (1)$$

식 (1)에서 주어진 재현기간의 값은 표본자료의 부족으로 인한 불확정성으로 m,u의 값을 정확히 알 수 없으므로 주어진 입력자료로부터 그 값을 산정해야 한다. m의 값은 보통 m(평균 사상의 수)

* 인하대학교 토목공학과 석사과정

** 인하대학교 토목공학과 교수

에 의해 추정되고, 1/u의 값은 1/u(사상들 양의 평균값)에 의해 추정된다. 표본자료는 원래 모분산의 m,u의 값과 동일한 m,u 의 값을 가진다고 볼 수 없다. 그러므로 표본자료로부터 m,u의 값을 구하고 주어진 자료자체를 사전적인 정보로 취급하여 사후확률 분포의 형태를 유도해 낼 수 있다.

보통 그 유도과정은 계산과정의 편리성 때문에 공액분포 (conjugate distribution) 를 많이 이용하고, 포아송분포와 지수분포의 공액분포는 모두 감마분포이며 다음과 같다.

$$f\ (x|a,b) \ = \ \frac{b^a\ x^{a-1}\ e^{-bx}}{\Gamma(a)} \qquad (2)$$

여기서 포아송분포에 대하여 x = m (포아송분포의 모수), a = mn (n년동안의 사상들의 총수), b = n (표본추출된 연의 수)이고, 지수분포에 대하여 x = u (지수분포의 모수), a = mn (n년동안의 사상들의 총수), b = mn/u (mn사상들 동안에 유입량의 총량)이다.

위의 식으로 부터 얻고자 하는 것은 특정량에 대한 재현기간의 확률밀도함수이다. 그에 대한 적분식은 다음과 같다.

$$T_R(K \mid m,u,n) \ = \ \int\int T_R(K|m,u,n)\ fm(m|\ m,n)\,fu(u|\ u,n)\ dm\ du \qquad (3)$$

그러나, 식 (3)에서 나타낸 적분식은 해석적인 방법에 의한 풀이가 불가능하므로 보통 모의발생기법에 의해서 재현기간의 확률밀도함수를 구한다.

그에 대한 절차를 요약하면 다음과 같다.

1) 특정한 첨두유량의 값 $R=K_0$를 결정한다.

2) 모수 m,u의 표본값은 식 (2)에 의해서 구한다.

3) 위에서 구한 m,u의 추정치를 식 (1)에 대입하여 그에 해당하는 한개의 재현기간 값을 구할 수 있다.

4) 재현기간의 확률밀도함수를 구하기 위해 1) - 3)의 과정을 여러번 반복 시행한다.

이와 반대로 재현기간에 대한 첨두유량의 확률밀도함수도 생각할 수 있다. 식 (1)을 변형하면 재현기간에 대한 첨두유량 (K)을 구하는 식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K \ = \ \frac{\ln\left|\ \frac{\ln\left[(T_R - 1)\ /\ T_R\right]}{-m}\ \right|}{-u} \qquad (4)$$

위에서와 동일한 방법에 의해서 재현기간에 대한 첨두유량의 확률밀도함수를 구하여 보면 50재현기간 첨두유입량의 분포는 그림 1이고, 다른 재현기간에 대해서도 구하니 그들의 평균과 분산은 표 1이며 표 2는 LOG NORMAL, LOG PEAR-Ⅲ, PEARSON-Ⅲ에 의한 점빈도해석 결과와 비교한 것이며, 이들을 확률지에 도시한 것이 그림 2이다.

표 2와 그림 3에서 보는 바와 같이 재현기간 5연, 10연, 25년 에서는 PERASON-Ⅲ 의 결과치에 근접하고 50연, 100연, 200년 에서는 LOG PERASON-Ⅲ 의 결과치에 근접하며 전체적으로는 Bayes의 결과가 10%정도 크다.

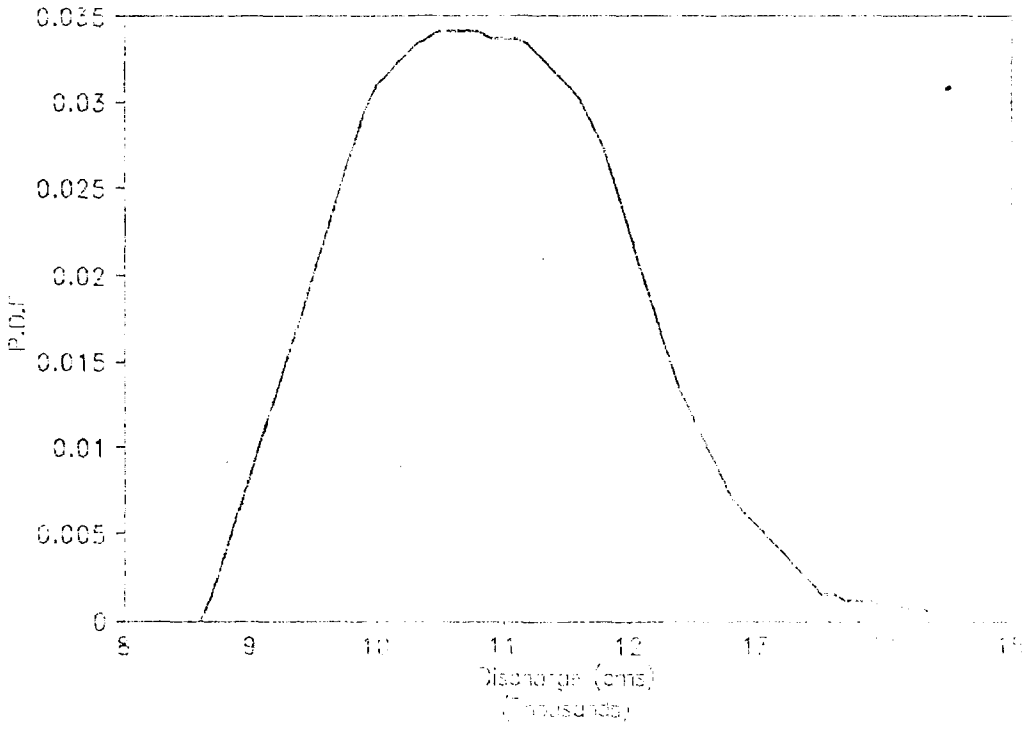

그림 1 재현기간 50년에 대한 첨두유입량의 확률밀도함수

표 1 재현기간별 유입량에 대한 평균 표준편차

재현기간 (years)	평 균 (cms)	표 준 편 차 (cms)
5	4165.8	668.8
10	6249.9	834.4
25	8883.3	993.8
50	10863.8	1077.9
100	12776.0	1285.7
200	14708.0	1333.3

표 3.2 확률 홍수량 비교

재현기간 / 분포형	5년 (cms)	10년 (cms)	25년 (cms)	50년 (cms)	100년 (cms)	200년 (cms)
LOG NORMAL	4178.7	5685.8	7898.6	9760.4	11815.0	14071.0
LOG PEAR-Ⅲ	4115.8	5699.7	8161.3	10349.0	12880.0	15791.0
PEARSON-Ⅲ	4160.3	5829.1	8176.7	10036.0	11970.0	13965.0
BAYES	4165.8	6249.9	8883.3	10863.8	12776.0	14708.0

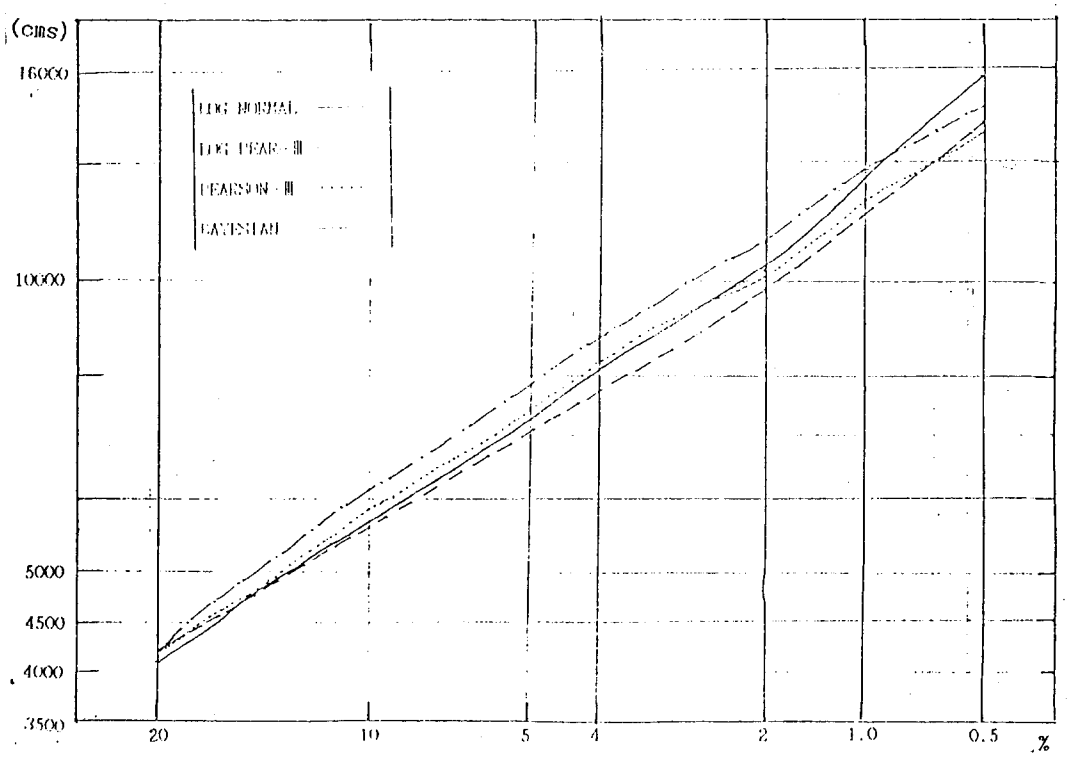

그림 2 소양강댐 유역 홍수량 확률곡선

3. 저수지운영

유입량의 불확실성을 Bayes의 정리를 이용 정량화하고, 이들을 기존의 저수지운영 방안 시스템의 유입량 부분에 첨가하여 운영할 수 있다. 재현기간 50년에대해 초기수위를 홍수기 제한수위인

190.0m로 말기수위를 상시만수위 193.5m로 하고, 그림 1에서 평균값을 중심으로하고 하한 확률구간을 20% 상한 확률구간을 20%로하는 40%의 신뢰 확률구간을 정한 뒤, 평균값과 상한값및 하한값에

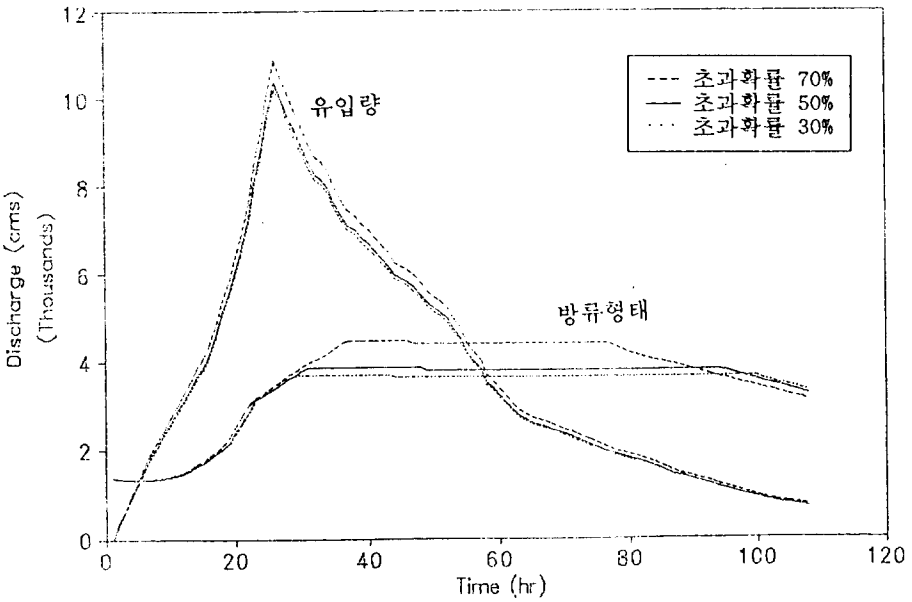

그림 3 재현기간 50년인 홍수시의 유입량및 방류형태

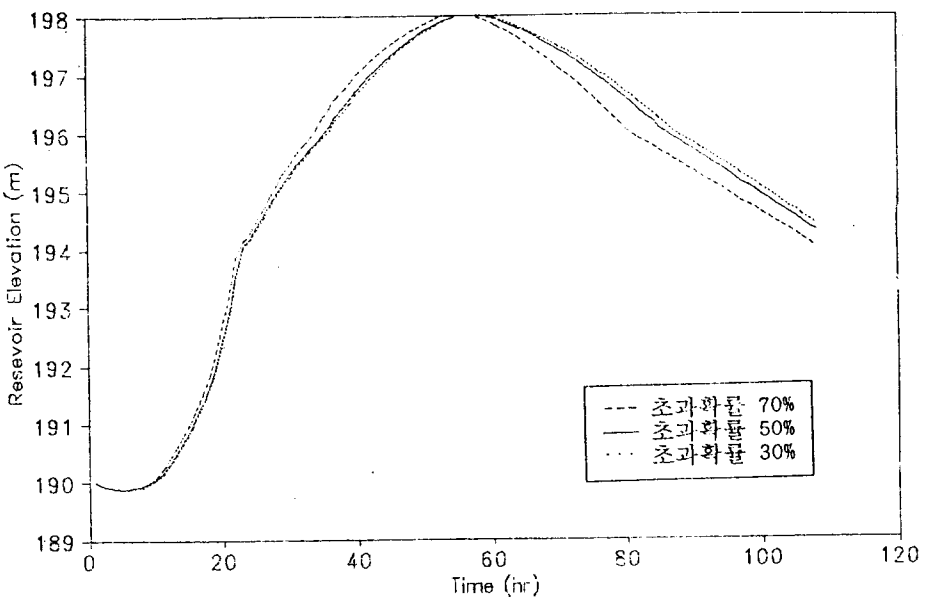

그림 4 재현기간 50年 홍수시의 저수지 수위변화

따른 댐운영해본 결과 방류형태및 수위변화는 그림 3이며 상한값은 쇄선이고 평균 값은 실선이고 하한값은 점선이다. 그림 1 각각의 값을 초과확률 측면에서 보면 상한값, 평균값, 하한값의 초과확률은 30%, 50%, 70%이다.

재현기간 5년, 10년, 25년에 대해 초기수위를 홍수기 제한수위인 190.0m로 말기수위를 상시만수위 193.5m로 하여, 신뢰 확률구간 50%일 때 그 하한값 초과확률 75%, 중앙값 초과확률 50%, 상한값

표 3 재현기간 5년, 10년, 25년의 운영결과 비교

재현기간 (years)		첨두유입량 (cms)	최고수위 (m)	최고수위 발생시간 (hours)
5년	하	3700.0	196.67	108
	중	4165.8	196.84	67
	상	4800.0	197.79	71
10년	하	5700.0	198.00	77
	중	6249.9	198.00	81
	상	6900.0	198.00	76
25年	하	8200.0	198.00	64
	중	8883.3	198.00	61
	상	9700.0	198.00	58

표 4 재현기간 50년, 100년, 200년의 운영 결과 비교

재현기간 (years)		첨두유입량 (cms)	초기수위 I (m)	초기수위 II (m)
50년	하	10200.0	190.0	190.0
	중	10863.8	190.0	190.0
	상	11360.0	190.0	190.0
100년	하	12100.0	183.0	187.0
	중	12776.0	183.0	185.0
	상	11350.0	183.0	183.0
200년	하	13880.0	175.0	181.0
	중	14708.0	175.0	178.0
	상	15380.0	175.0	175.0

초과확률 25%에 따라 저수지를 운영해 보면 표 3이고, 재현기간 50년, 100년, 200년의 홍수유입량은 신뢰 확률구간을 40%으로 정한 뒤, 그 확률구간의 상한값 유입량이 첨두유입량일 때 저수지의 수위가 홍수위를 넘지않게 운영되는 초기수위를 그 재현기간의 초기수위로Ⅰ 하는 운영을 하고, 또한 각각의 값을 첨두유입량으로 할때 홍수위를 넘지않는 초기수위Ⅱ를 구한다.

4 결론

본 연구에서는 Bayes 정리를 이용하여 소양강댐의 재현기간별 유입량의 확률밀도함수를 구하여, 각각의 평균을 점빈도해석의 결과들과 비교하였다. 또한, 이들 분포곡선에서 임의의 확률구간을 정하여 구간의 상, 중, 하한값을 기존의 저수지운영 시스템에 적용해 보았다.

그 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 수문학적 불확실성중 유입량에 대하여 Bayes 확률이론을 사용함으로 각 재현기간별 확률밀도함수를 구하여 불확실성을 정량화할 수 있었다.

2) 정량화된 유입량의 불확실성은 기존의 여러 저수지운영 시스템에 적용할 수있다.

3) 홍수기중 저수지운영시 각 유입량의 확률구간에 대한 하도추적등에 의한 손실함수가 주어지면, 유입량의 분포곡선으로 부터 주어진 조건에 적합한 초과확률 첨두유입량을 선택할 수 있어, 최적의 방류량을 결정할 수 있다.