

불확실성 분석을 고려한 홍수피해 저감계획

윤용남*, 김형수**, 박무중***, 김상단****

1. 서론

현재와 장래의 상황을 정확히 예측하여 계획하고 설계한다는 것은 쉬운 일이 아닐 것이다. 이는 현재와 장래에 대한 여러 가지 복합적인 불확실성이 존재하기 때문이며, 홍수방어를 위한 대책을 수립할 때 불확실성에 대한 고려는 통상적으로 경험적인 방법에 의존하여 왔다. 그러나 1990년대 들어 불확실성에 대한 이론과 컴퓨터의 발달로 수리·수문학적 혹은 경제학적 불확실성 및 모형이나 확률분포형의 매개변수에 관한 불확실성 등을 설명할 수 있게 되었다. 이에 본 연구에서는 하천제방과 같은 홍수피해 저감대책을 분석할 때 HEC-FDA를 사용하여 불확실성 분석에 의한 설계 제방의 위험도를 추정하고 그 결과를 이용하여 적정 제방을 계획하여 보고자한다. 이들의 계산을 위해서는 유량-빈도, 수위-유량, 침수심-피해액 사이의 관계를 구축하여야 하고, 각각의 경우에서 발생하는 불확실성에 대한 특성을 추정하여야 한다.

2. 불확실성 분석

피해분석의 목적에서 보면 유출자료의 빈도해석에 의하는 것이 보다 실질적이나 해당 피해지구에서 장기간의 유출자료를 획득한다는 것은 거의 불가능한 실정이므로 강우량을 기준으로 빈도분석을 실시한 후 이로부터 강우-유출모형을 통하여 빈도별 유량을 산정할 수 있다. 유도된 유량-빈도함수의 불확실성은 Morgan과 Henrion(1990)에 의해 제안된 순서 통계학(order statistics)적인 방법으로 계산할 수 있다.

수위-유량 관계의 불확실성을 정의하는 방법은 표준편차이다. 불확실성을 계산하기 위한 자료는 수위오차(관측 수위값과 작성된 수위-유량함수 사이의 편차)로부터 구할 수 있다. 일반적으로 저수위에 대한 수위자료는 홍수피해분석의 관점에서 벗어나기 때문에 이러한 수위자료는 표준편차 계산에서 제외한다. 수위오차는 수위-유량 관계의 불확실성을 특성화시키기 위하여 확률분포 개념을 도입한다. 오차의 표준편차(the standard deviation of error)는 식 (1)과 같다.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - M)^2}{N-1}} \quad (1)$$

여기서, X_i 는 유량 Q_i 에 대응하는 관측 수위값이며, M 은 유량 Q_i 에 대응하는 수위-유량함수에서의 수위값이고, N 은 표준편차를 구하는데 사용된 자료의 개수이다.

침수심-피해액 관계의 불확실성을 정의하는 방법은 앞서 수위-유량관계와 마찬가지로 피해액 오차(해당 수위에 대한 최적 침수심-피해액 곡선 사이에서의 편차)의 표준편차를 사용한다. 단, 식 (1)에서 X_i 는 침수심 H_i 에 대응하는 피해액이며, M 은 침수심 H_i 에 대응하는 최적 침수심-피해액 관계곡선에서의 피해액이다. N 은 표준편차를 구하는데 사용된 자료의 개수이다.

3. 모형의 적용

3.1 홍수량 및 홍수위 산정

HEC-FDA 모형을 적용하기 위한 대상유역은 섬강유역이며, 각 홍수량 산정지점에서의 빈도별로 최대유출을 나타내는 강우지속기간을 강우지속기간으로 하여 빈도별 확률강우량을 산정하였다. 강우분포는 건기연(1989)에서 제시한 원주지역의 분위별 적정 무차원 누가우량 시간분포(Huff, 50%)를 사용하였으며, 유효우량은 SCS방법으로 산정하였다. 홍수량 산정방법은 Clark의 유역추적법을 사용하였다.

* 고려대학교 토목환경공학과 교수
** 선문대학교 건설공학부 조교수
*** 한서대학교 토목공학과 전임강사
**** 고려대학교 토목환경공학과 석사과정

빈도별 홍수위는 HEC-RAS를 이용하여 계산하였으며, 수리계산을 위한 기점홍수위는 한강하천정비기본계획(건설부, 1992)에서 산정한 빈도별 홍수위를 적용하였다.

3.2 불확실성 분석을 고려한 홍수피해 저감계획

(1) 불확실성분석을 위한 관계 함수들의 구축

유역 내 8개 구간을 대상으로 피해지구 및 입안된 홍수피해 저감계획을 표 1에 나타내었다.

표 1. 대상 유역 피해지구

대상유역	피해지구	홍수피해 저감계획
섬 강	월송1, 월송2, 매호, 무장, 모평, 대덕, 마옥, 수백	무계획 제방설계빈도 30년, 50년, 80년, 100년, 200년

섬강 유역에서의 홍수피해 저감대책을 통해 발생하는 편익을 계산하고 평가하기 위한 기준은 계획을 실행하기 전의 상태이다. 이러한 기준을 마련하기 위해 현재 상황에 대한 연 피해 기대치, 연 초과확률, 장기간 위험도, 조건부 비초과확률 등을 계산하여야 한다. 이들을 계산하기 위해 유량-빈도, 수위-유량, 침수심-피해액 함수를 구축하여야 하며, 각각의 경우에 있어 이들간의 관계에서 오는 불확실성의 특성은 전술한 통계학적 오차 모형을 통해 설명할 수 있다.

현재 상태에서의 유량-빈도함수는 각 피해지구별 연 최대유량 자료로부터 구해진다. 또한, 각각의 해당 유역별 피해지구별로 인명, 농작물, 가옥, 농경지, 공공시설물, 기타 및 간접 피해액을 작성(하천개수사업의 투자효율 산정기준)한 후, 그에 대한 침수심-피해액 관계를 결정한다. 섬강 유역의 모평지구에 대한 불확실성을 고려한 유량-빈도함수는 그림 1과 같으며, 해당 지구에 대한 불확실성을 고려한 수위-유량함수는 그림 2와 같다. 침수심-피해액 함수는 그림 3에 나타내었다.

(2) 연 피해 기대치의 계산

연 피해 기대치는 연 피해에 대한 누가분포함수를 적분함으로써 얻을 수 있으나, 연 피해에 대한 누가분포함수를 식의 형태로 표현하는 것은 현실적으로 기대하기 어렵다. 연 피해 기대치를 계산하기 위하여 피해-빈도함수가 필요한데 이러한 함수를 식으로 나타낼 수 없기 때문이다. 이론적으로 피해-빈도함수는 시간에 따른 연 피해 자료를 수집하여 적정 통계학적 모형에 적합시킴으로써 유도할 수 있으나 대부분의 경우 신뢰할 만한 자료를 얻는 것은 쉬운 일이 아니다.

따라서, 본 연구에서는 앞서 구한 불확실성이 고려된 유량-빈도함수, 수위-유량함수, 침수심-피해함수로부터 500,000번 이상의 모의발생을 통하여 표본 추출한 자료를 바탕으로 연 피해 기대치를 구하는 방법을 취하였다. 우선 연 홍수량 자료를 모의발생하기 위해 연 최대 유량 분포를 무작위하게 발생시킨 후, 연 피해는 수위-유량함수 및 침수심-피해액 함수를 변환함에 의해서 계산할 수 있다. 계산된 연 피해 값들의 평균이 어느 정도 수렴(1%이내)될 때까지 모의발생 및 앞의 계산과정을 반복함으로써 연 피해 기대치를 구할 수 있으며, 피해지구별 계산결과를 표 2에 유량규모별 피해액과 함께 표시하였다. 표 2에 나타난 바와 같이 불확실성을 고려하였을 경우가 고려하지 않았을 경우 보다 연 피해 기대치가 더 크게 계산되고 있음을 알 수 있다.

표 2. 유량 규모별 피해액 (단위:천원)

하천	지구	유량 규모별					연피해 기대치	
		50년	80년	100년	150년	200년	불확실성포함	불확실성미포함
섬 강	월송1	275,880	325,637	356,801	383,422	419,734	24,376	19,746
	월송2	223,501	264,227	351,422	373,944	405,345	21,048	17,271
	매 호	249,347	281,310	319,355	351,473	391,731	20,067	17,407
	무장 덕	357,354	464,390	527,198	568,257	714,420	24,319	20,784
	대 덕	67,833	79,639	89,200	99,973	116,086	6,018	5,410
	모 평	80,807	95,298	115,816	140,120	154,712	8,543	7,446
	마 옥	77,928	90,920	105,526	113,886	126,562	6,525	5,641
	수 백	202,259	292,827	379,959	431,930	475,278	37,272	28,074

주) 섬강 유역의 경우 1986년 기준임.

(5) 홍수피해 저감계획(제방 축조)

앞서 나타난 바와 같이 다섯 개의 제방이 계획되었고 제방 축조 효과는 침수심-피해액 함수를 수정함으로써 설명된다. 제방이 축조된 후에 피해를 주는 최초의 수위는 제방고와 같은 크기를 갖는 수위일 것이다. 따라서, 설계빈도 50년의 제방의 경우 그림 3의 현재 무계획 침수심-피해액 함수는 그림 4로 수정될 수 있다. 본 연구에서는 범람 시 해당 유역의 내수위와 외수위가 같다고 가정하여 제방이 넘쳤을 때 발생하는 피해는 제방이 없을 때와 같은 것으로 가정하였다. 사실 내수위가 제방을 범람했을 때 외수위는 그와 같지 않을 것이므로 보다 정확한 분석을 위해서는 내수위와 외수위 사이의 관계를 여러 가지 수리학적인 분석절차를 통하여 규명하여야 하지만 본 연구의 범위에서는 제외하였다.

3.5 경제성 분석

각 제방계획에 대한 경제적인 효율성은 각 대안에 대해 수정된 수위-피해함수를 적절히 사용한 표본추출을 통해 평가한다. 해당 구역의 피해지구에 대한 편익과 비용의 비(B/C)를 산정한 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3에 나타난 바와 같이 피해지구별 제방의 B/C분석을 통한 최적빈도는 월송1지구 100년, 월송2지구 100년, 매호 100년, 무장 200년, 모평 100년, 대덕 100년, 마옥 50년, 수백 50년으로 결정되었으며, 피해지구별 투자우선순위는 B/C값이 높은 값을 주는 순위대로 하여 수백, 무장, 월송2, 월송1, 모평, 매호, 대덕, 마옥 순으로 결정할 수 있다. 또한, 불확실성으로 인한 편익 증감을 비교하기 위하여 유량-빈도, 수위-유량, 수위-피해함수에서 불확실성을 포함하지 않고 계산한 B/C결과를 함께 나타내었다.

표 3. 불확실성을 포함한 편익과 비용의 비(B/C) 계산 (단위:천원)

지구	빈도	B/C	B/C	지구	빈도	B/C	B/C
월송1	30	0.8218	0.5655	모 평	30	0.6943	0.5929
	50	0.9640	0.7844		50	0.7882	0.7245
	80	1.0169	0.8664		80	0.8184	0.7756
	100	1.0274	0.8602		100	0.8277	0.7668
	200	1.0183	0.8572		200	0.7551	0.6936
월송2	30	0.9335	0.6941	대 덕	30	0.5555	0.5030
	50	1.0747	0.9049		50	0.6351	0.6234
	80	1.1168	0.9852		80	0.6378	0.6430
	100	1.1188	0.9666		100	0.6504	0.6371
	200	1.0981	0.9499		200	0.5250	0.5049
매 호	30	0.5456	0.4383	마 옥	30	0.4125	0.3543
	50	0.6867	0.6285		50	0.5862	0.5633
	80	0.7088	0.6757		80	0.5464	0.5409
	100	0.7204	0.6702		100	0.5648	0.5367
	200	0.7104	0.6523		200	0.5732	0.5289
무 장	30	0.4259	0.3154	수 백	30	1.1147	0.8833
	50	0.9833	0.9762		50	1.2355	1.0371
	80	1.1613	1.2043		80	1.1807	1.0153
	100	1.2092	1.1958		100	1.1892	1.0072
	200	1.2211	1.1665		200	1.1834	0.9949

3.6 불확실성을 고려한 위험도 분석

목표 수위에 대한 연 초과확률과 장기간 위험도 및 조건부 비초과확률을 표 4에 나타내었다. 목표수위 연 초과확률 기대값은 특정 제방고를 초과하는 확률로서 오차를 고려한 값이다. 예를 들어, 섬강 유역 모평지구의 설계빈도 50년 제방에서 오차를 포함한 모의 수위는 50,000번 반복과정에서 제방고를 1,250번 초과한다. 따라서 연 초과확률은 $1,250/50,000=0.025$ 이다. 유량과 수위에서의 오차의 반복 때문에 목표수위 연 초과확률에서의 중앙치 초과확률과 다른 값을 나타낸다.

장기간의 위험도는 10년, 25년, 50년 기간 동안 적어도 한번 제방을 범람할 확률을 보여준다. 이 값은 목표수위 연 초과확률 기대값을 사용하여 계산된다. 모평지구의 설계빈도 50년 제방의 경우 10년에 한번 초과할 확률은 20%정도이며, 50년에 한번 초과할 확률은 70% 정도이다.

또한, 6개의 특정 사상에 대한 제방계획의 조건부 비초과확률을 표 4에 표시하였다. 각각의 값들은 각각의 사상에서 제방을 초과하지 않을 확률들이다. 모평지구의 경우 설계빈도 80년 제방에서 0.02 초과확률사상에 대한 조건부 비초과확률은 0.6381이다. 이것은 50년 빈도의 홍수사상이 발생하였을 때 제방을 초과하지 않을 확률이 0.6381임을 의미한다. 이것은 표본추출을 통한 0.02 초과확률사상의 모의를 통해 계산되며, 각각의 표본추출 시에 유량과 수위에서의 불확실성이 고려되어진다. 표본추출을 통한 조건부 비초과확률 산정은 0.02 초과확률사상에 대해 50,000번의 모의발생에서 모평지구의 설계빈도 80년 제방이 31,905번 초과하지 않았으므로 63.81% 또는 0.6381의 확률로 산정된다. 그림 5는 섬강 유역 모평지구의 제안된 계획에 대한 조건부 비초과확률을 보여주고 있다.

4. 결과 및 분석

본 연구에서는 분석에 필요한 다양한 입력자료에 대한 불확실성을 치수사업의 결정에 포함하여 고려하였으며 이를 표 5에 정리하였다. 표 5에 나타난 바와 같이 섬강 유역의 모평지구의 경우 불확실성 분석을 고려하지 않을 경우 B/C값이 빈도 80년에서 최대 0.7756 정도의 값으로 계산되지만, 불확실성 분석을 고려할 경우 0.8277 정도로 계산되는 등 불확실성 분석을 수행함에 따라 약 12% 정도의 B/C값 상승 효과가 나타나는 것으로 계산되었다. 즉, 불확실성 분석의 고려 여부에

따라 투자우선순위 및 빈도년의 결정, B/C값 등이 다르게 산출됨을 알 수 있다.

표 4. 연 초과확률과 장기간 위험도 및 조건부 비초과확률

하천	과업	지구	목표수위	목표수위 연초과확률		위험도			각각의 사상에 대한 조건부 비초과확률					
				중앙치	기대값	10년	25년	50년	10.0%	4.0%	2.0%	1.0%	0.4%	0.2%
강	부과업	월송1 월송2 무장 매호 평덕 대수 마백 우옥	65.68	0.1280	0.1360	0.7682	0.9741	0.9993	0.3265	0.0601	0.0209	0.0095	0.0043	0.0028
			65.80	0.1080	0.1160	0.7102	0.9548	0.9980	0.4407	0.0977	0.0347	0.0162	0.0073	0.0044
			79.87	0.0560	0.0620	0.4728	0.7982	0.9593	0.8489	0.3239	0.1369	0.0667	0.0291	0.0182
			79.37	0.1010	0.1070	0.6765	0.9405	0.9965	0.4896	0.1030	0.0350	0.0162	0.0074	0.0045
			86.72	0.1390	0.1450	0.7911	0.9800	0.9996	0.2434	0.0362	0.0118	0.0057	0.0026	0.0018
			86.68	0.1440	0.1490	0.8000	0.9821	0.9997	0.2256	0.0339	0.0117	0.0056	0.0027	0.0019
	설계빈도 30년제방	월송1 월송2 매호 평덕 대수 마백 우옥	제방고	0.0330	0.0370	0.3172	0.6147	0.8516	0.9666	0.6146	0.3339	0.1858	0.0898	0.0550
			제방고	0.0330	0.0370	0.3172	0.6147	0.8516	0.9666	0.6146	0.3339	0.1858	0.0898	0.0550
			제방고	0.0330	0.0360	0.3095	0.6038	0.8431	0.9781	0.6221	0.3270	0.1805	0.0863	0.0531
			제방고	0.0330	0.0360	0.3092	0.6034	0.8427	0.9781	0.6220	0.3267	0.1812	0.0873	0.0536
			제방고	0.0330	0.0360	0.3084	0.6023	0.8418	0.9790	0.6242	0.3284	0.1807	0.0866	0.0531
			제방고	0.0330	0.0360	0.3081	0.6018	0.8415	0.9790	0.6244	0.3276	0.1816	0.0876	0.0536
	설계빈도 50년제방	월송1 월송2 매호 평덕 대수 마백 우옥	제방고	0.0200	0.0260	0.2298	0.4794	0.7290	0.9931	0.7824	0.5000	0.3064	0.1588	0.1013
			제방고	0.0200	0.0260	0.2282	0.4767	0.7261	0.9931	0.7824	0.5000	0.3064	0.1588	0.1013
			제방고	0.0200	0.0250	0.2221	0.4663	0.7152	0.9961	0.7975	0.4996	0.3011	0.1548	0.0992
			제방고	0.0200	0.0250	0.2221	0.4663	0.7152	0.9961	0.7975	0.4996	0.3011	0.1548	0.0992
			제방고	0.0200	0.0250	0.2217	0.4656	0.7145	0.9962	0.7986	0.5000	0.3012	0.1541	0.0983
			제방고	0.0200	0.0250	0.2217	0.4656	0.7145	0.9962	0.7986	0.5000	0.3012	0.1541	0.0983
	설계빈도 80년제방	월송1 월송2 매호 평덕 대수 마백 우옥	제방고	0.0120	0.0190	0.1715	0.3753	0.6097	0.9985	0.8791	0.6331	0.4220	0.2330	0.1525
			제방고	0.0120	0.0190	0.1715	0.3753	0.6097	0.9985	0.8791	0.6331	0.4220	0.2330	0.1525
			제방고	0.0120	0.0180	0.1675	0.3676	0.6001	0.9986	0.8915	0.6371	0.4188	0.2295	0.1499
			제방고	0.0120	0.0180	0.1675	0.3676	0.6001	0.9986	0.8915	0.6371	0.4188	0.2295	0.1499
			제방고	0.0120	0.0180	0.1670	0.3668	0.5990	0.9984	0.8921	0.6381	0.4191	0.2294	0.1485
			제방고	0.0120	0.0180	0.1671	0.3668	0.5990	0.9984	0.8921	0.6381	0.4191	0.2294	0.1485
설계빈도 100년제방	월송1 월송2 매호 평덕 대수 마백 우옥	제방고	0.0100	0.0150	0.1411	0.3164	0.5327	0.9996	0.9226	0.7122	0.4987	0.2891	0.1935	
		제방고	0.0100	0.0150	0.1411	0.3164	0.5327	0.9996	0.9226	0.7122	0.4987	0.2891	0.1935	
		제방고	0.0100	0.0150	0.1363	0.3067	0.5193	0.9986	0.9348	0.7211	0.5033	0.2903	0.1949	
		제방고	0.0100	0.0150	0.1363	0.3067	0.5193	0.9986	0.9348	0.7211	0.5033	0.2903	0.1949	
		제방고	0.0100	0.0150	0.1367	0.3075	0.5204	0.9984	0.9342	0.7204	0.5012	0.2890	0.1926	
		제방고	0.0100	0.0150	0.1367	0.3075	0.5204	0.9984	0.9342	0.7204	0.5012	0.2890	0.1926	
설계빈도 200년제방	월송1 월송2 매호 평덕 대수 마백 우옥	제방고	0.0050	0.0090	0.0822	0.1931	0.3489	0.9999	0.9767	0.8505	0.6642	0.4289	0.3025	
		제방고	0.0050	0.0090	0.0822	0.1931	0.3489	0.9999	0.9767	0.8505	0.6642	0.4289	0.3025	
		제방고	0.0050	0.0080	0.0818	0.1921	0.3473	0.9985	0.9815	0.8609	0.6744	0.4375	0.3096	
		제방고	0.0050	0.0080	0.0813	0.1911	0.3457	0.9985	0.9815	0.8608	0.6744	0.4376	0.3096	
		제방고	0.0050	0.0080	0.0791	0.1861	0.3375	0.9983	0.9818	0.8620	0.6755	0.4384	0.3093	
		제방고	0.0050	0.0080	0.0791	0.1861	0.3375	0.9983	0.9818	0.8620	0.6755	0.4384	0.3093	

그러나, B/C에 의한 적정빈도는 경제성 측면에서의 빈도이며, 설계빈도를 채택할 때는 제방의 홍수방어능력을 평가할 수 있는 공학적 지표들과 하천시설기준에서 고시하고 있는 설계기준을 참고하여야 한다. 본 연구에서 다른 하천은 지방 1급하천으로 하천시설기준에 의하면 하천제방의 설계빈도가 80년에서 100년빈도로 고시되어 있으며, 불확실성을 고려한 B/C결과는 표 3에 나타난 바와 같이 무장지구가 200년, 마옥과 수백지구는 50년, 타 지구에서는 100년 빈도를 적정 빈도로 제시하고 있다. 이는 지방 1급의 동일하천에서 사업지구 지역 상하류의 하천특성과 관련이 있을 것으로 판단된다. 장기간 위험도에 대하여 표 4에 나타난 바와 같이 모든 제방에서 합리적인 결과를 갖는다. 또한, 하천제방의 수명이 50년 정도라고 가정하고 조건부 비초과확률을 보면 즉, 50년 빈도의 홍수사상이 발생하였을 때 설계빈도에 따른 하천제방의 조건부 비초과확률을 비교하면, 설계빈도 80년과 100년 제방에 대한 조건부 비초과확률은 대략 0.6~0.7의 확률을 보이고 있다. 그러나, B/C분석 시 마옥과 수백지구에 있어 적정빈도로 50년이 선정되었는데 50년 빈도의 홍수사상에 대한 조건부 비초과확률은 각 지구에 대하여 약 0.5정도이다. 이는 50년 빈도의 홍수사상에 의해 제방이 월류할 가능성이 반반이라는 것이므로 50년 빈도로 제방을 설계할 것인가에 대해 결정이 다소 어려울 것으로 판단된다. 무장지구는 표 3의 B/C값 계산에 의해 200년의 적정빈도가 산출되었으나 설계빈도 80년과 100년에 대해서도 B/C가 1을 넘고 있고 조건부 비초과확률에 있어

서도 0.6에서 0.7의 확률을 보이고 있다. 분석한 내용을 종합적으로 판단하면 경제성 분석 결과와는 달리 동일하천에서 같은 빈도의 하천제방의 설계빈도를 결정하기로 한다면, 그리고 하천시설기준을 고려하면 섬강 유역에서의 제방에 대한 설계 빈도는 역시 80년이나 100년이 타당할 것으로 판단된다.

표 5. B/C를 통한 홍수피해 저감계획의 비교

하천	피해지구	불확실성분석 포함			불확실성분석 미포함		
		B/C	적정빈도	투자우선순위	B/C	적정빈도	투자우선순위
섬 강	월송1	1.0274	100년	(4)	0.8664	80년	(4)
	월송2	1.1188	100년	(3)	0.9852	80년	(3)
	매호	0.7204	100년	(6)	0.6757	80년	(6)
	무장평	1.2211	200년	(2)	1.2043	80년	(1)
	모택	0.8277	100년	(5)	0.7756	80년	(5)
	대덕	0.6504	100년	(7)	0.6430	80년	(7)
	마옥	0.5862	50년	(8)	0.5633	50년	(8)
	수백	1.2355	50년	(1)	1.0371	50년	(2)

5. 결론

본 연구에서는 홍수량과 홍수위 산정 및 치수경제성 분석을 함에 있어 본질적으로 내재되어 있는 불확실성에 대한 고려를 분석에 포함시켜 피해발생 확률을 추정하였다. HEC-FDA를 이용한 위험도 분석에 기초하여 불확실성을 고려한 유량-빈도, 수위-유량, 수위-피해간의 관계를 구축한 후, 현재 및 장래의 상황에 대한 연간 피해규모, 연 초과확률, 장기간 위험도, 조건부 비초과 확률 등을 계산하였으며, 홍수방어계획으로 여러 가지 설계빈도의 제방(예를 들어, 재현기간 50년, 80년, 100년, 150년, 200년)을 계획하여 이에 대한 평가를 수행하였다. 계산 결과 불확실성 분석을 포함할 경우 B/C값이 12%정도 증가됨을 알 수 있었으며, 적정 빈도나 투자우선순위 등도 바뀔 가능성이 있는 것으로 조사되었다. 그러나, 이러한 분석은 단지 경제적인 분석 수행의 결과이며, 실제 홍수피해 저감계획 시에는 경제적인 분석이외에 정치적, 사회적인 분석이 아울러 이루어져야하고, 이러한 점을 고려하여 불확실성 해석을 통한 위험도 분석 결과는 보다 합리적인 결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

6. 참고문헌

건기연 (1989), 지역별 설계강우의 시간적 분포, 한국건설기술연구원.

건설부 (1992), 한강하천정비기본계획

하천개수사업의 투자효율 산정기준

하천시설기준

Morgan, G. and Henrion, M. (1990), Uncertainty, a Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis, Cambridge University Press, New York, NY.

7. 그림

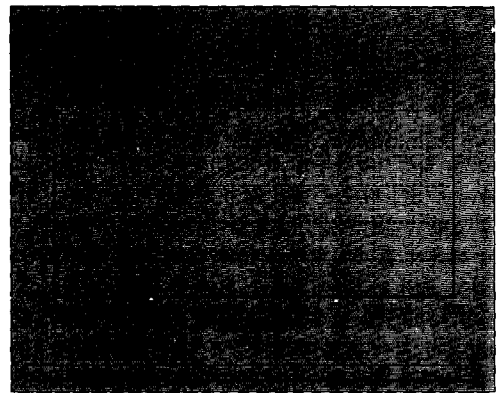
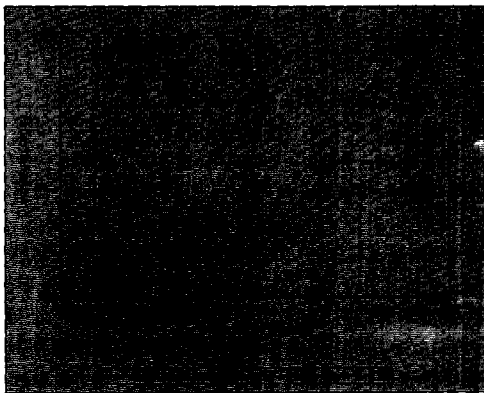


그림. 2 불확실성을 고려한 유량-빈도함수 (모평지구)

그림. 3 불확실성을 고려한 수위-유량함수 (모평지구)

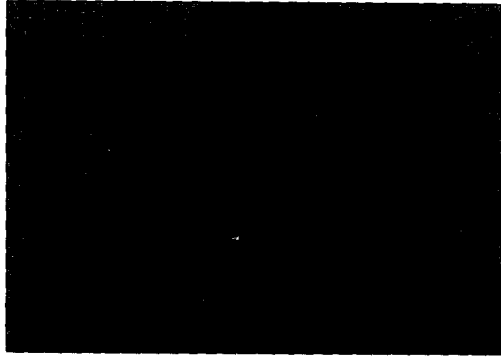


그림. 4 불확실성을 고려한 침수심-피해액 함수(무계획 상태, 모평지구)

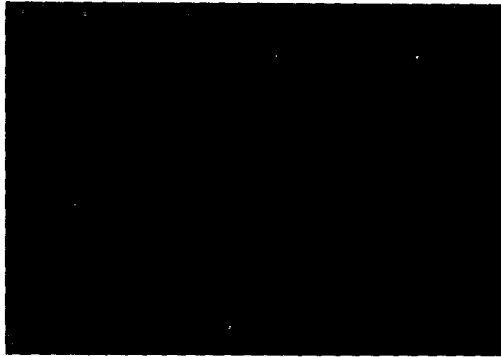


그림. 5 불확실성을 고려한 침수심-피해액 함수(설계빈도 50년제방축조 시, 모평지구)

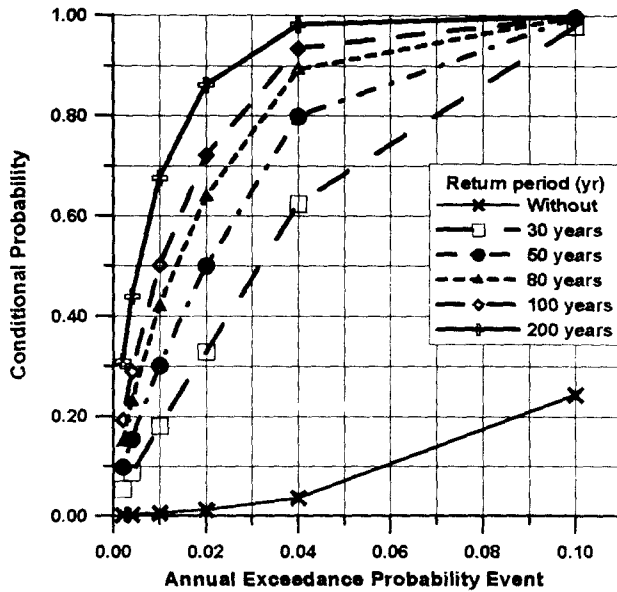


그림. 6 조건부 비초과확률(모평지구)