

忠州댐 流域 1990年 9月 大洪水의 水文學的 分析

Hydrologic Analysis of the September 1990 Extreme Flood Occured
on the Chungju Dam Basin

李熙昇* 高錫九** 鄭東國*** 鄭在盛****

1. 序 言

1978년에 착공하여 1986년에 완공된 충주댐은 국내 최대의 수리사업으로서, 그 건설과 관리를 한국 수자원 공사에서 전담해오고 있다. 충주댐 사업은 홍수조절, 수력발전, 물공급을 위한 갈수량 보충, 서울 도심을 포함한 하류 지역의 위락 환경 조성 및 수질보존 등의 역할을 수행하고 있다. 남한강 상류에 위치하고 있는 충주댐 유역은 유로연장이 280 km, 유역면적이 6,648 km²이고, 하상경사는 댐 부근의 1.5 m/km부터 원류 구간의 235 m/km의 범위로 급한 편이며, 연 평균 강수량이 1,250 mm 이다.

1990년 9월 한강 홍수시 충주댐 유역에는 9월 9일부터 5일 동안 206 mm에서 665 mm에 달하는 폭우가 쏟아졌다. 이 폭우로 충주저수지 최대 유입량이 약 21,000 CMS (m³/s)에 도달하였고, 9월 9일부터 10일 동안 총 유출량 2,948 MCM (10⁶ m³)을 기록하였다. 과거의 홍수분석 기준에서 500~1000년 빈도로 추정된 90년 9월 홍수는 서울 근교의 일산 제방 붕괴 등으로 163명에 달하는 인명과 4,229억원의 재산손실을 야기했다 (중앙재해대책본부, 1991).

본 연구에서는 충주댐 유역 최대의 홍수인 90년 9월 홍수의 수문학적 특성을 검토, 분석하여 추후 홍수대책의 효율을 증진코자 한다.

2. 1990年 大洪水 記錄의 檢討 및 補完

-
- * 정희원 한국수자원공사 기술본부장, 기술사
 - ** 정희원 한국수자원공사 수자원연구소 책임연구원, 공학박사
 - *** 정희원 한남대학교 토목공학과 조교수, 공학박사
 - **** 정희원 한국수자원공사 수자원연구소 연구원, 전북대 박사과정

2.1 洪水 降雨量 檢討 및 補正

한반도 중부지방에 폭우를 야기한 1990년 9월 호우의 기상학적 근원은 온난전선과 한랭전선의 대립으로 생긴 짙은 구름과 중국대륙으로부터 확장되어온 고온다습한 기류였다. 이 다량의 수분을 함유한 더운 공기는 Guam 지역에서 발생하여 중국대륙 부근에서 소멸된 제 17 호 태풍 “돛트(Dodd)”에 의한 것이었다. 이 호우의 초기인 9월 9일에는 충주댐 유역에서 13 mm부터 62 mm까지의 강우량만이 내렸으나, 10일 정오부터 강우 강도가 증가하여 12일 오전까지 206 mm부터 665 mm에 달하는 많은 비가 내렸다.

충주댐 상류에는 수자원 공사 관할의 T/M 우량국 22 개소와 건설부 및 기상청에서 관리하고 있는 자기 우량 관측소 22 개소가 있다. 1차 수문분석에서는 T/M 관측 자료를 근간으로 했는데 강우량과 유출량이 일치되지 않았다. 즉, 호우기간 동안에 유역에 린 강우의 T/M 기록 평균이 351 mm로 나타났는데, 총 유출고가 445 mm (유효 유출고 427 mm)로 총강우량 보다 크게 나타나는 모순이 발생 되었다. 이러한 모순점을 규명하기 위하여 호우 이후에 현장을 조사한 바 일부 T/M 계기의 고장이나 검정시 오차 및 수수구의 위치 선정 불량 등의 원인으로 강우 관측에 문제가 있었음이 확인되었다.

T/M 우량국의 수수구 높이 (약 3.1 m)에 따른 바람의 영향오차는 다른 기관에서 관할하는 주변의 자기 우량관측소 기록 자료를 사용해서 조정하였다. 충주댐 유역의 22 개 T/M 우량국중 관측 오차가 매우 크게 나타난 6 개 관측소에 대해서는 강우 자료의 보정을 위해 RDS 방법 (Reciprocal Distance Square Method), 다중 상관기법 (Multi-Quadratic Interpolation; Hardy, 1971) 및 Kriging 기법 (Kriging Interpolation; Tabios, G. Q., 1985)을 적용한 바 Kriging 기법이 보간오차를 최소로 할 수 있는 기법으로 선정되었다. 결측이나 오측 강우량 자료의 보정을 거쳐 산정된 90년 홍수시 충주댐 유역 평균 강우량은 458.6 mm로 나타났다.

2.2 洪水期 貯水池 運營

1990년 9월 홍수초기에 충주댐 저수지는 홍수조절 용량이 900 MCM 으로 설계 홍수조절용량 600 MCM 보다 300 MCM 이 큰 상태였다. 기상청에서는 호우 시작 이틀째인 9월 10일 14:00시를 기해 80~120 mm의 강우를 예보 했었는데, 그 당시 댐의 홍수 조절 용량만으로 추정된 홍수 유출량을 모두 조절할 수 있고, 추정된 최대 저수지 수위도 EL. 141.7 m로서 홍수위 보다 훨씬 낮았기 때문에 댐 운영자는 홍수 방류를 고려하지 않았었다.

강우 개시후 약 40 시간이 지난 9월 10일 20:00 시에는 예상 강우량이 150~250 mm로써 호우 주의보가 호우경보로 대체되어 여수로를 통한 홍수방류가 불가피하다고 판단되었으나, 한강 하류부

에도 호우가 있어 수도권 지역의 홍수피해를 고려할때 9월 11일 11:00 시까지는 방류를 실시할 수 없는 상황이었다. 그러나 유역 전반의 강우량이 더욱 증가되어, 예측 강우량을 훨씬 초과 하게됨에 따라, 9월 11일 11:00 시부터 방류를 개시하여 점차로 방류량을 증가시켜서, 9월 12일 02:00 시에는 방류량을 14,000 CMS까지 증대시켰다. 이때 기록된 최대 유입량 21,000 CMS는 당시에는 아무도 예측치 못했던 결과였다.

이 홍수 기간 동안의 유입 및 유출 수문곡선과 저수지 수위, 유역평균 시우량 분포를 그림 1에 도시하였다. 이 그림에 보인 바와 같이 충주댐 저수지의 홍수기간중 최고 수위가 계획 홍수위, EL. 145.00 m를 1.03 m 초과한 EL. 146.03 m까지 상승되었기 때문에 댐 상류의 많은 가옥과 공장들이 침수될 수 밖에 없었다(한국수자원공사, 1992).

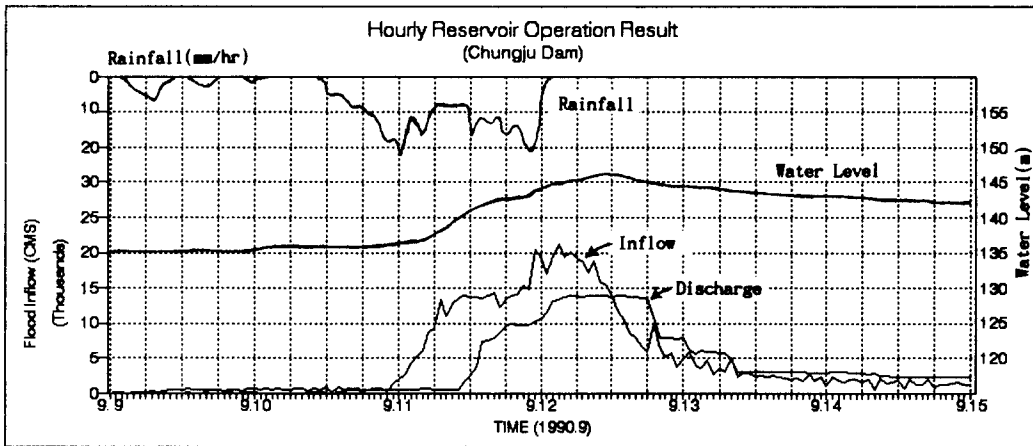


그림 1 1990년 9월 홍수에 대한 시간별 저수지 운영결과

2.3 洪水 流出量 檢討 및 補完

현재 한국 수자원 공사에서 운영하고 있는 다목적댐 저수지의 유입량은 저수지 방류량과 저수지 수위의 시간적 변동에 근거한 저류 방정식으로부터 계산되고 있다.

$$I(t) = O(t) + \frac{\Delta S}{\Delta t} \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, I(t) : 추적기간 Δt 동안의 저수지 평균유입량 (m³/s)
- O(t) : 추적기간 Δt 동안의 저수지 평균방류량 (m³/s)
- ΔS : 추적기간 Δt 동안의 저수지 저류량의 변화 (m³)
- Δt : 단위 추적기간 (3600 sec)

식 (1)에서 산정된 저수지 유입량은 저수지의 저류용량 S가 클수록, 추적기간 Δt 가 적을수록 오차가 커진다. 이러한 오차 특성은 일반적으로 배수위에 의한 저수지 수면구배의 영향과 저수지의 수위 관측 오차에 대한 유입량 오차의 민감도가 매우 크고, 저수지 수위와 저류용량 관계 곡선의 정확한 추정이 어렵기 때문이다. 그러나 Δt 를 짧게 잡더라도 전체 분석 기간을 길게하면, 상쇄 효과에 의해 저수지 총 유입량 V_i 의 오차율이 크게 감소될 수 있다.

$$V_i = \sum_{t=1}^N I(t) \Delta t \quad \dots\dots\dots (2)$$

여기서, V_i : 분석기간 T 동안의 누계된 저수지 유입량 (m³)
 N : 누계 분석기간의 수

따라서 대용량 저수지에서 관측된 시간별 저수지 유입량에는 큰 오차가 포함될 수 있으며, 관측 수문곡선이 매끄럽지 못한 툽니 형태를 보이므로 식(1)로 부터 정확한 최대 유입량을 산정하기가 어렵다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 결측 및 오측된 T/M 우량관측소의 보정된 강우량 자료와 댐지점에서 관측된 시간별 유입량 자료를 HEC-1 모형 (HEC, 1981)과 저류함수 유출모형 (Kimura, 1961), Tank 모형 (Sugawara et al., 1984)에 적용하여 관측유입량을 검증 하였다. 한국 수자원 공사 (1985 및 1990)에서는 기존의 저류함수 모형과 Tank 모형을 보완하여 충주댐 유입량 예측이 가능한 모형을 개발 하였다.

각 모형의 적용을 위한 홍수추적 모식도는 댐상류에 3개의 수위관측소를 포함하고 있는데, 90년 9월 홍수이전까지 사용되어 왔던 댐상류의 3개의 수위관측소에 대한 기존의 수위-유량 관계식이 이번 홍수에 비해 적은 유량의 측정성과 (영월1 : 6945 CMS 미만; 영월2 : 2095 CMS 미만; 영춘 :

Description	Peak (CMS)	Runoff Vol (MCM)
Observed	21899.3	2948.0
Simulated		
HEC-1	20748.0	2573.6
S-F	21403.5	2761.8
Tank	20527.3	2671.5
Average	20892.9	2669.0

표 1 침투 홍수량 및 총 유출량의 관측치와 계산치

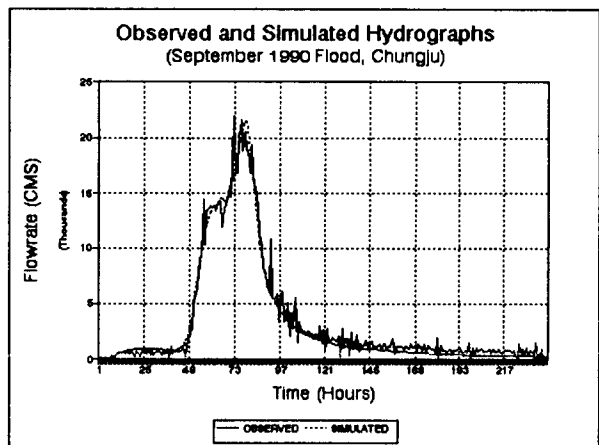


그림 2 '90 홍수시 관측 및 모의 수문곡선

8615 CMS 미만)에 근거하였기 때문에 고수위에서는 기존의 수위-유량 관계식의 불합리함이 발견되었다. 따라서 저유량에서의 유량 측정 성과를 사용하여 Manning의 조도계수 (영월1: 0.025; 영월2: 0.020; 영춘: 0.020)를 산정한 후 수면경사 계산 모형인 HEC-2 (HEC, 1982)에 의거 고유량에 대한 수위-유량 관계를 유도하였다.

표 1에 수록한 모형의 적용 결과는 관측 자료와 큰 차이 없이 유사함을 알 수 있었으며, 그림 2에는 충주댐 지점에서 관측된 유입량과 저류함수 유출 모형에 의한 수문곡선을 도시하였다. 수자원 공사에서 홍수 조절을 위하여 사용하고 있는 저류함수 유출 모형은 관측치와 계산치의 편차 제곱의 합을 최소화할 수 있도록, 각 소유역별로 정의되는 많은 매개변수의 최적 보정에 해의 안정성이 보다 우수하다고 알려진 Pattern-Search Algorithm (Hendrickson et al., 1988)을 적용하고 있다.

3. 洪水 實績의 統計 分析

3.1 洪水 特性 및 設計 洪水量

충주댐을 포함하는 한강유역에서 오래전부터 빈번한 홍수가 발생된 가장 큰 요인으로 산지성 지형, 급격한 하상경사, 저류지 부족, 하절기 집중호우 등을 들 수 있다. 1990년 이전에 충주댐 지점의 최대 홍수 기록은 댐지점 최대 유량이 14,000 CMS로 추정되었던 1972년 8월 홍수였다. 반면에 한강유역 전체에 대한 최대 홍수는 1925년 7월에 수도 서울 근처에서 34,400 CMS의 최대 유량을 보인 을축년 홍수였는데, 당시 충주댐 지점 홍수량은 1990년 이전의 홍수기록중 5번째로 큰 홍수였다. 한강유역에서 발생했던 큰 홍수들은 대부분이 7월부터 9월까지 하절기 동안에 발생된 태풍과 장마전선에 의한 호우들이 유역의 거친 산악지형과 복합된 결과였다.

1960년대의 충주댐 사업에 대한 예비 타당성 조사에 있어 The Pacific Bechtel Corporation은 1925년 홍수의 유출 수문곡선과 다수의 강우 자료들을 사용하여 최대 가능 홍수량 24,000 CMS와 홍수 유출 총량 3,360 MCM을 산정하였다. 1971년 한국 수자원 공사에서 발간한 "Chungju Multipurpose Project Feasibility Study (2nd)"에 수록된 충주 저수지의 유입 설계 홍수량 산정 결과에 따르면 최대 유량이 25,348 CMS 이었다. 1975년 12월의 일본공영에 의한 남한강 유로 변경 사업 타당성 연구에서는 강우-유출 빈도분석에 근거한 유입 설계홍수량 25,000 CMS를 제시하였다. 1976년 미국 ECI의 "Chungju Multipurpose Project Feasibility Report (ECI, 1976)"에서는 1925년의 호우 사상들의 전치 자료를 이용한 가능 최대 강수량에 근거하여 설계홍수량을 추정하였다. 이 설계홍수량의 첨두유량은 26,680 CMS이고, 총유출량은 3,500 MCM 이었다. 충주댐 설계 당시 홍수량

평가를 위해 국내의 첨두 홍수량 기록을 써서 작성된 유역면적 대 홍수량의 Envelope 곡선에 의한 충주댐 지점 첨두 홍수량은 18,000 CMS 정도 이다.

3.2 洪水 降雨 頻度 分析 및 PMP 推定

표 2와 그림 3은 충주댐 유역의 1990년 9월 호우를 포함한 홍수 강우에 대한 1일, 2일 및 3일 연속 최대치들의 빈도를 나타낸 것으로 1990년 호우가 300~400년의 재현기간에 해당함을 알 수 있다. PMP 추정에서는 국내에서 발생했던 가장 큰 호우사상중 '72년, 84년 및 '87년 호우 관측 자료를 이용하였다 (한국건설기술연구원, 1988).

표 2 강우강도-빈도-지속기간

충주댐 유역, mm

Return Period (Year)	Duration		
	1 Day	2 Day	3 Day
5	136.4	187.3	212.2
10	161.9	223.4	253.5
50	218.2	303.1	344.7
100	242.2	337.2	383.8
200	266.4	371.5	423.2
500	344.1	430.2	483.3
PMP	529.2	587.1	614.3
1990, 9 Storm	292.0	411.6	456.4

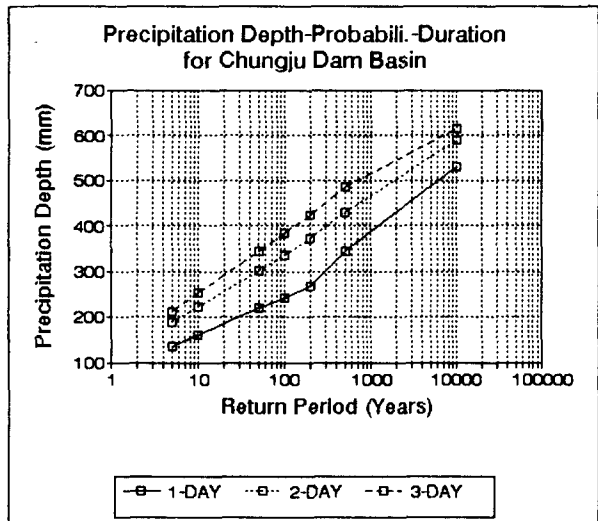


그림 3 강우강도-빈도-지속기간

3.3 洪水量 頻度 分析 및 PMF 算定

년 최대 홍수량 자료들을 통계 분석하여 새로운 홍수량 빈도곡선을 유도하였다. 분석방법으로는 홍수량 빈도 해석에 유용한 LOG NORMAL 및 LOG PERSON TYPE III, PERSON TYPE III 분포를 사용하였다. 분석 자료로서 1990년 9월 홍수를 포함한 57 개의 년 최대치 홍수량 자료를 이용하였다. 각 분포에 대한 분석 결과를 관측 자료와 함께 확률지에 도시한 결과 큰 홍수에 대해서는 LOG NORMAL 분포에 의한 결과가 적합함을 알 수 있었다. 표 3에는 LOG NORMAL 분포에 의한 확률 홍수량과 그 신뢰도 범위가 나타나 있으며, 계산 결과를 1976년의 설계 단계에서 수행되었던 기존의 분석 결과와의 비교도 나타나 있다. 1990년 홍수량은 충주댐 설계 빈도 홍수량을 기준으로 할 때 500년에서 1000년 빈도에 해당되지만, 금회 빈도 분석 결과에 따르면 200년 빈도 홍수량에 해당되며,

500년 빈도 홍수의 90% 신뢰 구간에 속하기도 한다.

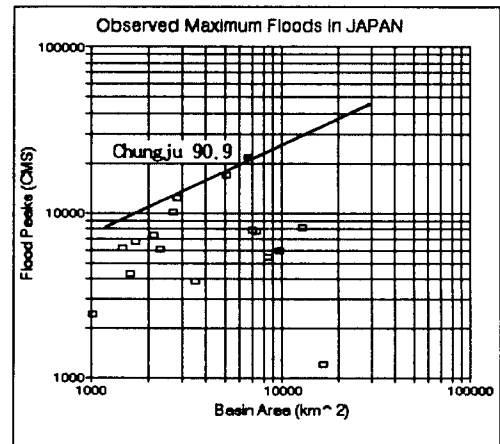
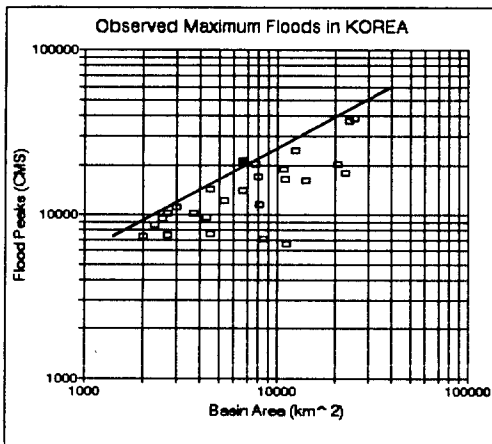
앞절에서 검토한 PMP 자료를 사용하여 HEC-1 모형을 이용한 충주댐 유역의 가능 최대 홍수량 (PMF)을 개략 산정한 바 32,643 CMS로 나타났는데, 이에 대해서는 보다 상세한 연구와 대책이 검토되어야 할 것이다.

표 3 충주댐의 통계분석 결과 비교

Return Period (Yr)	Previous Analysis (CMS)	Updated Statistical Results			
		New Analysis (CMS)	Increased Ratio (%)	Confidence Interval, 90%	
				Lower Limit	Upper Limit
5	7100	8290	+ 18.3	7100	9440
10	8700	10440	+ 21.8	8850	12330
25	10800	13550	+ 26.9	11140	16470
50	12000	15990	+ 34.2	12880	19850
100	14000	18640	+ 32.9	14710	23610
200	16000	21390	+ 33.1	16570	27600
500	20000	25330	+ 25.5	19170	33460
1000	22000	28450	+ 27.7	21180	38210

3.4 過去 洪水記錄에 의한 評價

'90년 9월의 충주댐 지점 홍수량을 국내외의 과거 홍수기록과 비교하였다. 그림 4(a)는 국내의 홍수기록과 비교한 것인데, '90년 대홍수가 선행 침투홍수량의 포락선 (Envelop Curve)을 벗어



(a) 국내 홍수 기록과의 비교

(b) 일본 홍수 기록과의 비교

그림 4 다른 홍수 기록과 1990년 홍수의 비교

난 큰 홍수였음을 알 수 있다. 그림 4(b)에는 “World Catalogue of Very Large Floods (UNESCO, 1976)” 에 수록된 일본의 홍수 자료와 비교 도시한 것이다. 이는 일본의 수문 및 기상 조건들이 우리나라의 경우와 유사하거나 약간 더 심한편 이라는데 착안한 것인데, 이 그림에서도 1990년 9월 홍수가 일본 홍수들의 포락선을 초과 하였다. 한반도와 수문 기상학적 조건이 많이 다른 미국의 홍수기록과 비교한 경우에는 '90년 9월 홍수가 그 홍수 포락선을 크게 상회하는 것으로 나타났다.

1917년부터 1991년사이에 발생한 충주댐 지점의 년 최대 홍수량에 대한 경향분석을 실시한 결과가 그림 5에 도시되었으며, 10년, 15년 및 20년 이동평균 홍수량을 나타내고

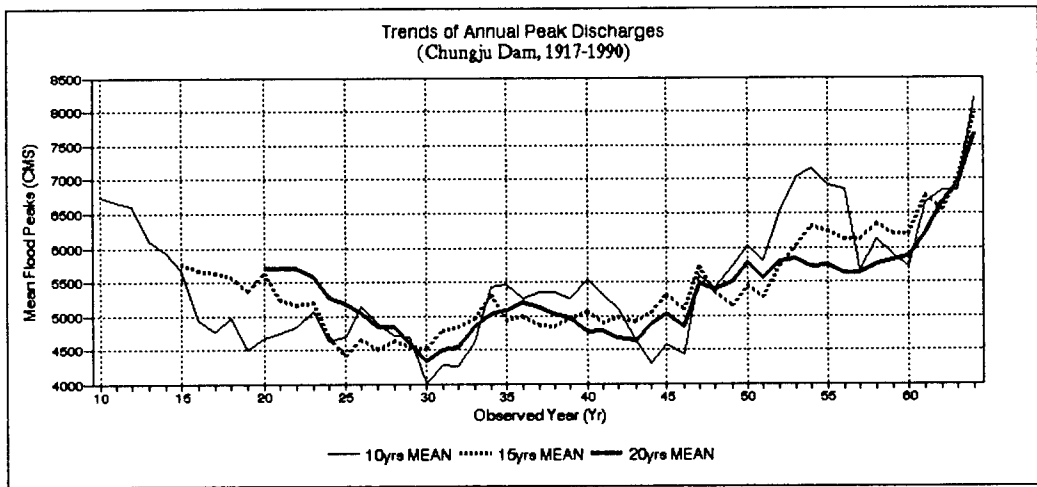


그림 5 충주댐 지점 년 최대 홍수량의 변화 경향

있다. 1917년의 홍수 (홍수위) 관측 개시 후부터 충주댐 유역에서 발생 되었던 10 대 홍수중에서 4 개가 최근 5년간에 발생했던 점과 이들 년 최대홍수량 시계열의 경향을 파악하기 위해 이동 평균법에 의한 경향 분석을 실시한 결과로부터, 시간에 따라 홍수량이 점점 증가하고 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 言

충주댐 유역의 '90년 9월 홍수는 세계적인 극대 홍수로 기록될 만한 큰 홍수이었으며, 홍수 발생 직후 홍수조절 관련 업무의 연구와 보완을 위한 예산이 투입 되었다. 이로써 수행된 결과 중 에 하나가 기존의 홍수예경보 및 통제 체제에 전산화된 의사 결정 지원 체제를 도입하여 개선한 것이다. 개선된 시스템에서는 고도의 칼라 그래픽과 실시간

On-line 데이터 베이스 구축이 가능할 뿐만 아니라 다양한 홍수 예측 및 분석 모형들을 갖추고 있다.

이 대홍수로부터 얻은 많은 교훈 중에서 가장 중요한 것은 기존댐의 설계 홍수량을 재 검토하고 그에 따른 적절한 대책을 마련해야 한다는 점이다. 그렇지 않으면, 이전에 알고있던 가능성 보다 더 큰 홍수사상이 앞으로 발생할 수 있다는 잠재적 위험이 존재하고 있다 하겠다. 또한 큰 홍수를 야기하는 특정 지역과 국내에서 일반화된 최대 홍수량의 증가추세에 대한 보다 충분한 연구가 필요하겠다.

홍수는 예고없이 순식간에 발생하므로 그 홍수를 맞는 사람들의 대응 또한 신속하다. 그러나 일단 홍수가 지나고 나면 그 다음 홍수가 있기 까지는 홍수를 쉽게 잊는 경향이 있다. 홍수, 태풍, 지진 등과 같은 재해에 대한 세계 여러나라의 대응은 재해가 발생한 이후에 그 수습에 임하는 것이 일반적이다. 홍수가 잊혀지기 쉬운것이라 하더라도 큰 홍수 후에는 수자원 기술자들이 그 홍수에 대한 대책을 계속 연구, 검토해야 할 것이다.

參 考 文 獻

- ECI, "Chungju Multipurpose Project Feasibility Report, Part 1", Engineering Consultant Incorporation, U. S. A., 1976. 11.
- Hardy, R.L., "Multiquadric Equations of Topography and Other Irregular Surface", Journal of Geophysics Research, Vol.76, 76, No.8, pp. 1905-1915, 1971.
- HEC, "HEC-1 Flood Hydrograph Package User's Manual", Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, 1981.
- HEC, "HEC-2 Water Surface Profiles User's Manual", Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, 1982.
- Hendrickson, J.D. and S. Sorooshian, "Comparison of Newton-Type and Direct Search Algorithms for Calibration of Conceptual Rainfall-Runoff Models", Water Resources Research, Vol. 24, 1988.
- Kimura, "Flood Routing Using Storage-Function Method", Civil Engineering Research Institute, Japanese Ministry of Construction, 1961.
- Sugawara, F.M., I. Watanabe, E. Ozaki, and Y. Katsuyama, "Tank Model with Snow Component, National Research Center for Disaster Prevention", Technical Report, Vol. 65, 1984.
- Tabios III, G.Q. and J.D. Salas, "A Comparative Analysis of Techniques for Spatial

Interpolation of Precipitation", Water Resources Research Bulletin, Vol.21, No.3, pp 365-380, 1985.

UNESCO, "World Catalogue of Very Large Floods", The UNESCO Press, 1976.

중앙재해대책본부, "재해 대책 편람", pp. 447-452, 1991. 12.

한국건설기술연구원, "수자원 관리기법 개발 연구조사 보고서, 제3권, 한국 가능 최대 강수량 추정", 건설부, 1988. 12.

한국수자원공사(산업기지개발공사), "다목적 댐 홍수 유출 해석 연구(저류함수법)", 건설부, 1985. 12.

한국수자원공사, "저수지 수문 조작을 위한 홍수 유입량의 예측 모형 개발 연구 보고서", 건설부, pp. 16~21, 1990. 4.

한국수자원공사, "충주댐 및 소양강댐 유역 1990년 대홍수의 수문학적 분석, 1992. 2.