

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 Occurred on the Chungju Dam Basin

高錫九* · 李熙昇** · 鄭東國*** · 鄭在盛****

Ko, Seok Ku · Lee, Hee Sung · Jeong, Dong Kug · Jung, Jae Sung

Abstract

A heavy storm hit the central part of the Korean Peninsula especially on the Chungju Dam Basin from the 9th to 12th of September 1990. The Chungju multipurpose dam is the largest water project in Korea completed in 1986. The storm recorded a peak inflow of about 21,000 m³/sec at the dam site which is equivalent to 500 to 1000 years recurring frequency according to the designed concept. Extensive hydrological analyses including field investigation were performed to identify the storm. The result of the field investigation showed that 6 gages among the 22 telemetering rain-gages located in the basin were proved to be out-of-normal operation during the storm. The corrected basin average rainfall was estimated to be 458.6 mm ranging from 206 to 665 mm. The correction of the rainfall depth included the adjustment of the rainfall depths of the 6 gages using the Kriging interpolation technique, and adjustment according to the heights of the gage mouths. For the maintenance and operation of the Chungju Dam, new design floods were suggested from the trend analysis which showed that the design flood have to be increased because of the increasing tendency of the annual flood peaks.

요 지

1990년 9월 9일부터 12일까지 한반도의 중부지방에 集中豪雨가 내렸으며 특히 1986년 완공된 우리나라 최대규모의 수자원 사업인 충주댐 유역에는 대홍수가 발생하였다. 홍수시 댐지점에 최대 유입량이 약 21,000 m³/sec에 달하였으며, 이는 설계 당시의 기준에 의하면 500년에서 1000년 빈도의 대홍수에 상당한다. 홍수후 현지조사를 포함한 광범위한 水文學分析이 수행되었으며, 현지조사 결과 유역내에 위치한 22개소의 Telemetering 자동우량계 중 6개가 당시 호우동안에 정상적으로 작동되지 않았음이 확인되었다. 결측되었거나 오측된 6개 지점에 대한 Kriging 補間法에 의한 降雨補正과 受水器 높이에 따른 강우보정 결과 유역 강우량이 206 mm에서 665 mm로써 유역평균 강우량은 458.6 mm에

* 정희원 · 한국수자원공사 수자원연구소 책임연구원, 공학박사

** 정희원 · 한국수자원공사 기술본부장, 기술사

*** 정희원 · 한남대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

**** 정희원 · 한국수자원공사 수자원연구소 연구원, 전북대 박사과정

이르렀다. 년간 홍수량에 대한 傾向分析 결과 설계 홍수량을 증대시켜야 됨을 알 수 있었으며 충주댐의 운영 및 관리를 위해서 각 빈도에 따른 새로운 설계 홍수량을 제시하였다.

1. 序 論

1978년에 착공하여 1986년에 완공된 충주댐은 국내 최대의 다목적댐 사업으로서, 그 건설과 관리를 한국수자원공사에서 전담해오고 있다. 충주댐 사업은 홍수조절, 수력발전, 용수공급을 위한 湧水量 증대, 서울 도심에 포함한 하류 지역의 위락 환경 조성 및 수질보존 등의 역할을 수행하고 있다. 南漢江 상류에 위치하고 있는 충주댐 유역은 流路延長이 280 km, 유역면적이 6,648 km²이고, 河床傾斜는 댐 부근의 1.5 m/km로부터 源流구간의 235 m/km의 범위로 급한 편이며, 연평균 강수량은 1,250 mm를 나타내고 있다.

1990년 9월 한강 홍수시 충주댐 유역에는 9월 9일부터 4일 동안 206 mm에서 665 mm에 달하는 호우가 집중되었었다. 이 폭우로 충주 저수지 최대 유입량이 약 21,000 m³/s에 도달하였고, 9월 9일부터 10일 동안 총 유출량이 2,948 MCM(10⁶ m³)을 기록하여 과거의 홍수분석 기준에 따르면 충주댐 홍수는 500~1000년 빈도로 추정되었다. 90년 9월의 한강 홍수는 서울 인도교 지점에서 9월 11일 18시에 최대 홍수위 11.27 m(해발표고 13.215 m)를 기록하여 이때의 홍수량이 32,986 m³/s로 산정되었으며,⁽¹⁹⁾ 이 홍수는 서울 근교의 일산 제방 붕괴 등으로 중앙재해 대책본부에서 집계된 자료에 의하면 163명에 달하는 인명과 4,229억원의 재산손실을 야기했다.⁽²¹⁾

이러한 극대 홍수 이후 한국수자원공사에서는 부설 수자원연구소를 통하여 소양강 및 충주 다목적댐을 중심으로한 90년 9월의 한강유역의 대홍수에 대한 현장조사 및 水文分析을 수행함과 아울러 수자원 공사에서 관리하고 있는 다목적댐에 대한 홍수 예측 및 제어 시스템에 대한 개선 연구를 즉시 착수하였었다. 90년 9월 홍수의 수문분석 및 홍수조절 시스템 개선 연구의 일환으로 기존의 홍수 예경보 및 통제체제에 實時間 On-line 데이터 베이스의 구축 및 각종 컬러 그래픽을 보완한 의사 결정 지원 시스템을 개발하여 한국 수자원 공사에서 관리하는 9

개 다목적댐에 대한 실시간 유출 해석 및 홍수 조절 업무를 가능케하여 댐관리 업무를 대폭 개선하였다.^(10,15)

본 연구에서는 지금까지 기록된 충주댐 유역의 최대 홍수인 90년 9월 홍수의 水文學的 특성을 검토 분석하고 댐관리에 필요한 水文特性을 현지점에서 재검토하여 추후 홍수대책의 효율을 증진코자 한다.

2. 貯水池 運營結果 및 豪雨記錄의 檢討

2.1 洪水期 貯水池 運營

홍수초기인 1990년 9월 9일의 충주 다목적댐 저수지 수위는 EL.134.9 m로써 상시만수위인 EL.138.00 m보다 훨씬 낮게 유지되고 있어 유효 홍수조절 용량이 900 MCM으로 설계홍수조절 용량 600 MCM보다 300 MCM이 큰 상태였다. 기상청에서는 호우 시작 이틀째인 9월 10일 14시를 기해 80~120 mm의 강우를 예보했었는데, 그 당시 댐의 홍수조절 용량만으로도 추정된 홍수유출량을 전량 조절할 수 있고, 추정된 최대 저수지 수위도 EL.141.7 m로서 계획 홍수위까지는 3 m 이상 여유가 있었기 때문에 댐 운영자는 홍수 放流를 고려하지 않았었다.

일반적으로 다목적댐에서 홍수 방류는 강우 현황과 유역 전체의 홍수조절을 고려하여 홍수통제소에서 최종적으로 결정한다. 충주댐 유역에서 홍수가 발생하면 한국수자원공사에서 예상 홍수유입량을 산정하여 홍수 방류가 필요하면 홍수조절 및 放流 계획을 제시하여 한강 홍수통제소의 통제에 따라 시행한다.

강우 개시 후 약 40시간이 지난 9월 10일 20시에는 기상청에서 예보한 예상 강우량이 150~250 mm로써 豪雨注意報가 豪雨警報로 대체되어 余水路를 통한 홍수방류가 불가피하다고 판단되었으나, 양평 및 팔당 등 한강 하류부에서도 호우가 있어 이로 인한 한강 하류부 수위가 9월 11일 15시~18시에 최고수위에 이를 것으로 분석 되었기 때문에

수도권 지역의 홍수피해를 최소화 하기위해 충주댐 방류량의 도달시간 10~15시간을 고려할 때 9월 11일 10시까지는 방류를 억제할 수 밖에 없는 상황이었다. 그러나 유역 전반의 강우량이 더욱 증가되어, 예상강우량을 훨씬 초과하게 됨에 따라, 9월 11일 11시부터 방류를 개시하여 점차 방류량을 증가시켜서, 9월 12일 02시에는 방류량을 충주댐 최대 방류량인 $14,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 까지 증대시켰다. 이때 기록된 최대 유입량 $21,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 는 당시에는 전혀 예측하지 못했던 결과였다.

이 홍수 기간 동안의 流入 및 流出 水文曲線과 저수지 수위, 유역평균 時雨量 분포를 그림 1에 도시하였다. 이 그림에 보인 바와 같이 충주댐 저수지의 홍수기간 중 최고 수위가 계획 홍수수위인 EL. 145.00 m를 1.03 m 초과한 EL.146.03 m까지 상승되었기 때문에 댐 상류의 많은 가옥과 공장들이 침수될 수 밖에 없었다.⁽²⁶⁾

2.2 洪水 降雨量 檢討 및 補正

한반도 중부지방에 폭우를 야기한 1990년 9월 豪雨의 기상학적 근원은 中國 華北地方에서 발생한 한랭전선과 Guam지역에서 발생하여 중국대륙 부근에서 소멸된 제17호 태풍 “돛트(Dodd)”로 인한 고온 다습한 기류였다. 이 호우의 초기인 9월 9일에는 충주댐 유역에 13 mm에서 62 mm까지의 강우량만을 기록하였으나, 10일 정오부터 강우 강도가

증대되어 12일 오전까지 206 mm부터 665 mm에 달하는 많은 강우량을 기록하였다.

'90년 9월 홍수에 있어, 충주댐 상류에 있는 22개소의 T/M(telemetry) 우량국 자료와 댐유입량 자료를 근간으로한 1차 수문분석을 실시한 결과 호우기간 동안에 유역에 내린 강우의 T/M 기록평균이 351 mm로 나타났는데, 有效 流出高가 427 mm로써 총강우량 보다 크게 나타났었다. 이러한 모순점을 규명하기 위하여 홍수 이후에 余水路 放流量 측정 시스템과 현장 강우 측정 시스템의 이상 유무를 정밀 점검 하였다. 현장을 조사한 바, 여수로의 시간별 방류량과 댐 방수로에서 계측된 시간별 방류량이 잘 일치 하였고 댐 설계시 수행된 수리모형 실험과 수리계산 결과에 이상이 발견되지 않았으므로, 여수로 방류량 산정에는 이상이 없는 것으로 판단 되었다. 그러나, 일부 T/M 계기의 고장이나 우량계의 보정(calibration) 불량 등의 원인으로 22개소의 관측소중 6개소의 관측결과가 誤測되었음이 확인되어,⁽²⁶⁾ 추후 전담반을 편성하여 우량계의 보정과 수리를 완료하였다.

T/M 우량국의 受水口 높이(약 3.1 m)에 따른 바람의 영향오차는 다른 기관에서 관할하는 주변의 자기 우량관측소 기록 자료와 비교해서 조정하였다. (1.2.20) 國際水文開發計劃(IHP)의 시험유역으로 지정된 남한강 상류 평창강 유역 주위의 11개소의 우량관측소는 Mass-Cylinder를 이용한 정밀측정 장치를

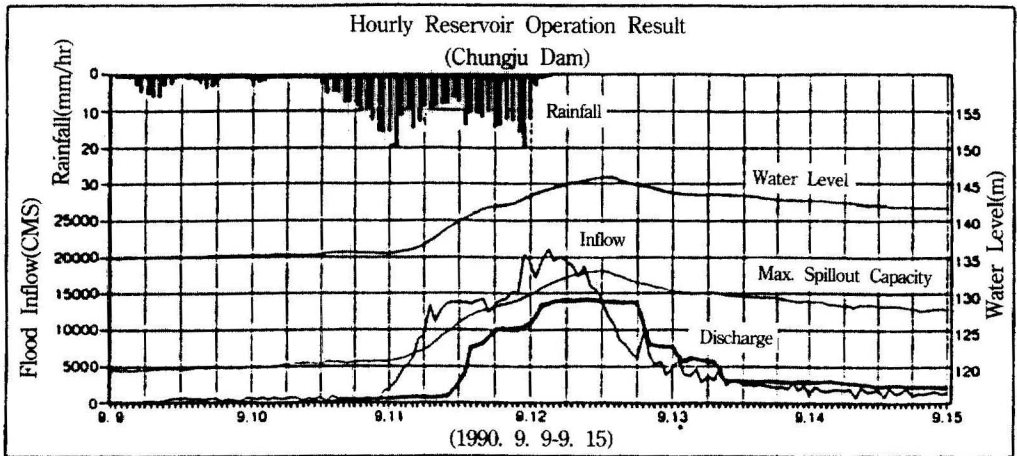


그림 1. 1990년 9월 홍수시 충주댐 시간별 저수지 운영결과

사용함으로써 비교적 신뢰도가 높다고 할 수 있으므로 T/M 우량 조정의 기준으로 삼았다. 시험유역내 충주댐 유역에 속한 7개소의 같은 호우기간 동안의 강우량은 448 mm에서 510 mm의 분포를 나타내었으며 산술평균 강우량은 472.4 mm이었다.⁽¹⁸⁾

주변 관측소와 T/M 우량국과의 상관성 분석을 위하여 두 강우 자료의 동질성에 대한 검증을 실시한 바 유의수준 5%에서 표본 상관계수가 0.93으로 상관성이 매우 높은것으로 나타났으며, 정규근사 Z-검정⁽¹⁶⁾에서 자료의 동질성을 확인하였다.⁽²⁶⁾ 충주댐 유역의 22개 T/M 우량국중 관측오차가 매우 크게 나타난 6개 관측소에 대해서는 강우자료의 補正을 위해 RDS 방법(reciprocal distance square method), 多衆相關技法⁽⁵⁾(multi-quadratic interpolation) 및 Kriging 기법⁽¹³⁾을 적용한 바 Kriging 기법이 補間 誤差를 최소로 할 수 있는 기법으로 선정되었다. 결국이나 오측 강우량 자료의 보정을 거쳐 산정된 90년 홍수시 9월 9일 0시부터 9월 12일 08시까지의 충주댐 유역 평균 강우량은 458.6 mm로 분석되었으며, 강우분포는 206 mm에서 665 mm로 나타났다.

표 1과 그림 2는 충주 다목적댐 유역에서 1990년 이전에 관측된 호우에 대한 1일, 2일 및 3일 연속 최대치들의 빈도에 따른 면적 강우량을 나타낸 것으로 1990년 호우가 약 200년 빈도에 해당함을 알 수 있다. 가능 최대 강우량(PMP)은 한국건설기술연구원⁽²²⁾에서 국내에서 관측되었던 가장 큰 호우사상 중 '72년, 84년 및 '87년 호우 관측 자료를 이용하여 산정한 자료이다.

표 1. 면적 강우량-빈도-지속기간, 충주댐 유역 (mm)

Return Period (Year)	Duration		
	1 Day	2 Day	3 Day
5	145.9	197.0	225.3
10	175.7	237.4	270.8
50	243.7	328.6	371.7
100	273.3	368.1	414.9
200	303.3	407.9	458.3
500	343.8	461.6	516.3
PMP	529.2	587.1	614.3
1990. 9 Storm	295.3	406.4	447.0

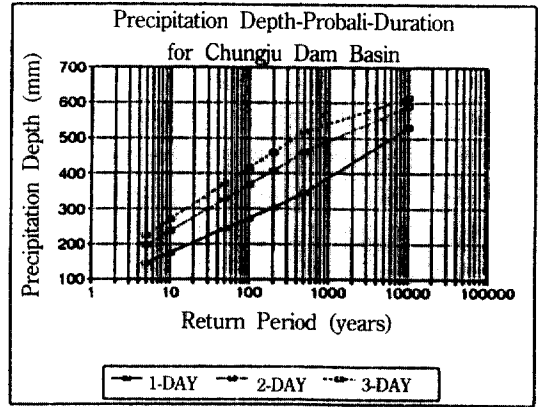


그림 2. 면적강우량-빈도-지속기간, 충주댐 유역.

3. 90년 9월 洪水의 評價

3.1 過去記錄 洪水 特性 및 댐 設計 洪水量

충주댐을 포함하는 한강유역에서 빈번하나 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 m³/s로 산정되었던 1972년 8월 홍수였다. 반면에 한강유역 전체에 대한 최대 홍수는 1925년 7월에 수도 서울 근처에서 34,400 m³/s의 최대 유량을 보인 乙丑年 홍수였는데, 당시 충주댐 지점 홍수량은 9,640 m³/s로 1990년 이전의 홍수기록중 7번째로 큰 홍수 였다. 한강유역에서 발생했던 큰 홍수들은 대부분이 7월부터 9월까지 하절기 동안에 발생된 태풍과 장마전선에 의한 호우들이 유역의 거친 산악지형과 복합된 결과 였다.

1960년의 충주 다목적댐 사업에 대한 예비 타당성 조사에 있어 The Pacific Bechtel Corporation은 1925년 홍수의 유출 수문 곡선과 다수의 강우 자료들을 사용하여 최대 가능 홍수량 24,000 m³/s와 이에 따른 홍수 유출 총량 3,360 MCM을 제시하였었다. 1971년 한국수자원개발공사(現, 한국수자원공사)에서 발간한 “Chungju Multipurpose Project Feasibility Study(2nd)”에 수록된 충주 저수지의 유입 설계홍수량 산정 결과에 따르면 가능 최대 홍수량이 25,348 m³/s이었다. 1975년 12월의 日本工營에 의한 남한강 유로 변경 사업 타당성 조사에서는

강우-유출 빈도분석에 근거한 설계홍수량 25,000 m³/s를 제시하였었다. 1976년 미국 ECI(Engineering Consultant Incorporation)의 "Chungju Multipurpose Project Feasibility Report"에서는 1925년의 호우사상들의 전치 자료를 이용한 가능 최대 강수량에 근거하여 설계홍수량을 추정하였다.⁽⁴⁾ 이 설계홍수량의 가능 최대 홍수량은 26,680 m³/s이었고, 총유출량은 3,500 MCM이었다. 충주댐 설계 당시 홍수량 평가를 위해 국내의 침투 홍수량 기록을 써서 작성된 유역면적 대 홍수량의 包絡線(envelope curve)에 의한 충주댐지점 침투홍수량은 18,000 m³/s 정도이었다.

3.2 洪水 流出量 檢討 및 補完

현재 한국수자원공사에서 운영하고 있는 다목적댐 저수지의 유입량은 저수지 방류량과 저수지 수위의 시간적 변동에 근거한 貯流 方程式으로부터 계산되고 있다.

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

여기서, I(t)는 單位 追跡期間인 Δt(3,600 sec) 동안의 저수지 평균 유입량(m³/s)이고, O(t)는 추적기간 Δt 동안의 저수지 평균방류량(m³/s)이며, ΔS는 추적기간 Δt 동안의 저수지 저류량의 변화(m³)이다.

식 (1)에서 산정된 저수지 유입량은 저수지의 저류용량 S가 클수록, 추적기간 Δt가 적을수록 오차가 커진다. 이러한 오차 특성은 일반적으로 背水位에 의한 저수지 수면 구배의 영향과 저수지의 수위 관측 오차에 대한 유입량 오차의 敏感度가 매우 크고, 저수지 수위와 저류용량 관계 곡선의 정확한 추정이 어렵기 때문이다. 그러나 Δt를 짧게 잡더라도 전체 분석 기간을 길게하면, 상쇄 효과에 의해 저수지 총 유입량 V_i의 오차율은 크게 감소될 수 있다.

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

여기서, V_i는 분석기간 T(T=N*Δt) 동안의 누계된 저수지 유입량(m³)이며, N은 누계 분석기간의 수이다.

따라서 대용량 저수지에서 관측된 시간별 저수지

유입량에는 큰 오차가 포함될 수 있으며, 관측 수문곡선이 매끄럽지 못한 톱니 형태를 보이므로 식 (1)로부터 정확한 최대 유입량을 산정하기가 어렵다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 결측 및 오측된 T/M 우량 관측소의 보정된 강수량 자료와 댐 상류 3개 수위관측소의 유출기록, 댐지점에서 관측된 시간별 유입량 자료를 既 開發되어 사용 중이거나 汎用화된 강우-유출모형에 적용하여 관측유입량을 검증하였다. 적용된 모형은 미공병단 HEC(Hydrologic Engineering Center)에서 범용으로 개발하여 국제적으로 널리 사용되고 있는 HEC-1 모형⁽⁶⁾과 일본에서 개발되어 Kimura에 의하여 제시된 저류함수 유출모형⁽⁹⁾ 및 Sugawara 등의 Tank 모형⁽¹²⁾이다.

각 모형을 적용하기 위하여 댐상류 유역전체를 하나로 취급하는 大流域 補正의 경우와 상류 수위국의 수위 관측소의 자료를 활용하여 유역중간에서 보정한 후 댐지점에서 최종 보정하는 小流域 補正의 두가지 방법을 채택하였다. 小流域 분할시 충주댐 유역의 홍수추적 模式圖와 分割圖는 그림 3 및 그림 4와 같다.

3.2.1 댐 上流 水位觀測資料 및 水位-流量曲線

충주댐 상류에는 저수지 관리 목적으로 건설하여 운영되고 있는 T/M 自動 수위관측소가 그림 4에

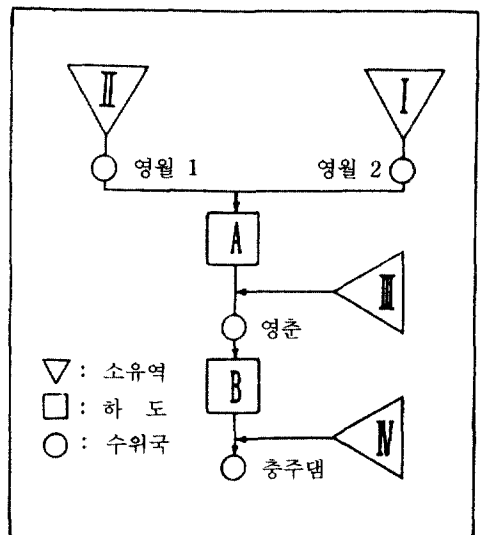


그림 3. 충주댐 홍수추적 모식도.

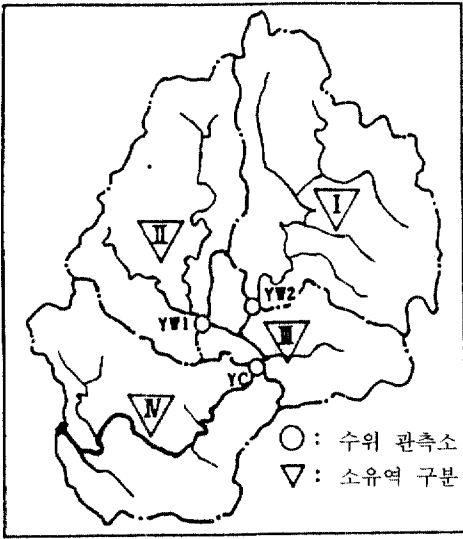


그림 4. 충주댐 소유역 분할도.

나타난 바와 같이 寧越1, 寧越2 및 永春 등 3개소에 설치되어 있다. 90년 9월 홍수시 이들 수위관측소의 수위 관측결과가 그림 6에 나타나 있듯이 침두 홍수 전후에는 관측이 불가능하였다. 이는 당초 수위 관측설비 설치시 100년 빈도 홍수를 기준으로 건설하였으나 상기 홍수가 이러한 기준 이상으로 발생하였음을 알 수 있다.

한편 이들 수위 관측소에 대한 보다 정확한 水位-流量 관계식을 유도하거나 보완하기 위하여 매년 유량측정을 실시하여 오고 있다. 그러나 하천 유하량이 많지 않는 低水位에서는 유량측정이 대체적으로 빈번하게 수행되고 있지만 高水位, 즉 홍수시에는 적기에 맞춘 유량 조사팀의 구성이나 현장이동에 따른 홍수시기의 경과등으로 유량조사가 극히 제한되어 있거나 거의 실시할 수 없는 실정이다. 따라서 小流域으로 구분된 강우-유출모형을 적용하기 위하여는 이들 수위관측소의 수위-유량 관계식을 적용하여 모형의 각종 매개변수를 보정하여야 하나 고수위에서는 유량측정 성과의 부족으로 저수위에서 관측한 자료들을 근거로 곡선식을 연장하여 사용하여 왔었다.⁽²⁷⁾ 그러나 90년 9월 홍수분석시 소유역 분할에 의한 강우-유출모형의 적용에서 기존에 사용되고 있었던 수위-유량 곡선식에 따라 유량을 산정하여 유출모형의 매개변수를 보정하려하였으나

物理적으로 가능한 결과를 산출할 수 없었다. 다시 말해서 고수위시 수위-유량 곡선식의 불합리성으로 유출량이 강우량 보다 더 많아야 하거나 상류 수위표 지점에서 댐지점 보다 더 큰 홍수량이 발생하는 모순이 발생하였다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 回歸分析에 의해서 도출된 수위-유량 곡선식을 유량측정 범위 내에서만 사용하고 유량측정 범위 이상인 고수위에서는 水面傾斜法에 의해 곡선식을 보정하였다. 따라서 3개 수위표 지점을 전후로 한 하천 종-횡단 측량을 실시하여 미공병단 수리 연구소에서 개발한 수면경사 계산 범용 프로그램인 HEC-2 모형⁽⁷⁾을 이용하여 저유량에서 고유량까지 離散化된 유량에 따라 수위표 지점의 수위를 산정하였다. Manning의 조도계수값을 실측 범위에 속하는 저유량값에 대하여 보정하였고 실측범위를 초과한 고유량값에 대하여는 보정된 조도계수값인 0.025를 이용하여 이산화된 유량에 따른 수위를 산정하였다. 그림 5에 이들 3개 수위표 지점에 대한 보정 전후의 수위-유량 관계곡선이 나타나 있으며, 표 2에는 보정된 指數函數式, $Q=a \cdot H^b$ 에 대한 곡선계수값이 나타나 있다.

3.2.2 HEC-1 模型의 適用

미공병단의 HEC-1 모형⁽⁶⁾의 적용은 流域追跡과 河道追跡 및 유역추적에 필요한 유출 강우량의 산정으로 대별할 수 있는데 각각에 대하여는 여러 가지 선택조건이 있다. 본 연구에서는 Snyder계수에 의한 Clark 단위도법을 적용하여 표면 유출을 산정하였고, 하도 및 저수지 홍수추적에는 Muskingum 방법을 채택하였으며, 유호 강우량 산정을 위한 손실 우량 추정을 위하여는 Initial and Uniform Loss Rate 방법을 적용하였다.

모형의 적용을 위하여 유역내 22개 우량 관측소의 보정된 시간별 강우량 자료를 사용하였으며, 단위도의 媒介變數 산정을 위해 단일 소유역에 대하여는 최적화 기법을 적용하였고 이들 결과의 합성에는 試算法을 적용하였다. 적용결과가 그림 6 및 표 3에 나타나 있으며 입력자료 등의 상세한 사항은 참고 문헌⁽²⁶⁾에 수록되어 있다.

3.2.3 貯留函數 模型의 適用

저류함수 유출모형⁽⁹⁾은 1970년대에 한강의 홍수 유출 해석을 위하여 한강 홍수통제소에서 국내에

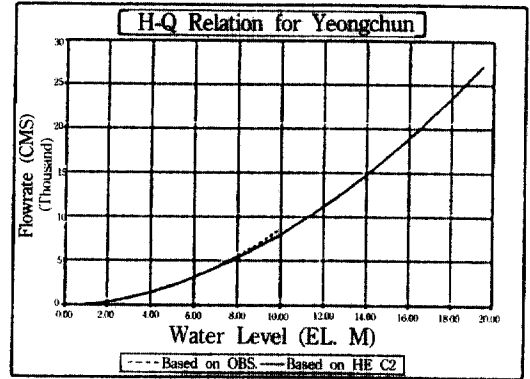
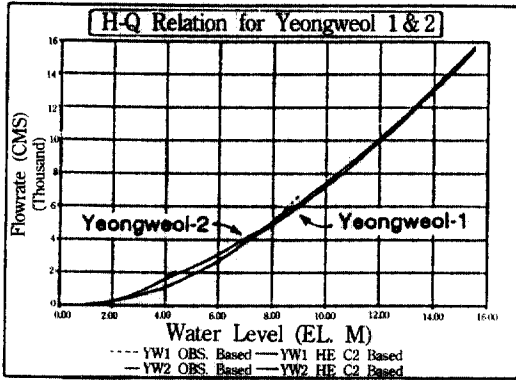


그림 5. 충주댐 상류 수위-유량 관계곡선 보정.

표 2. 충주댐 상류 수위-유량 곡선

수위표	유량범위	곡선계수	
		a	b
영월 1 (영점표고 : EL. 192.19 m)	* $Q \leq 4000 \text{ m}^3/\text{s}$	49.0320	2.2374
	** $Q \geq 4000 \text{ m}^3/\text{s}$	128.937	1.7474
영월 2 (영점표고 : EL. 189.77 m)	* $Q \leq 1500 \text{ m}^3/\text{s}$	46.2841	2.5711
	** $Q \geq 1500 \text{ m}^3/\text{s}$	149.368	1.6988
영춘 (영점표고 : EL. 159.97 m)	* $Q \leq 4000 \text{ m}^3/\text{s}$	82.7821	2.0213
	** $Q \geq 4000 \text{ m}^3/\text{s}$	117.672	1.8321

* : 수자원공사에서 충주 공업전문대학에 유량조사를 의뢰하여 산정한 값.

** : 급회 연구시 HEC-2에 의해서 고수위 값을 보정하여 산정한 값.

처음 도입하였으며, 유출량의 계산은 유량과 저류량의 관계를 나타내는 저류 방정식과 수문학적인 연속 방정식을 사용한다. 다목적댐을 운영관리하고 있는 한국수자원공사(舊, 산업기지개발공사)에서는 1985년에 일본공영과 공사 직원의 공동연구로 소양강댐 및 충주댐의 강우-유출모형을 개발하였다.⁽²³⁾

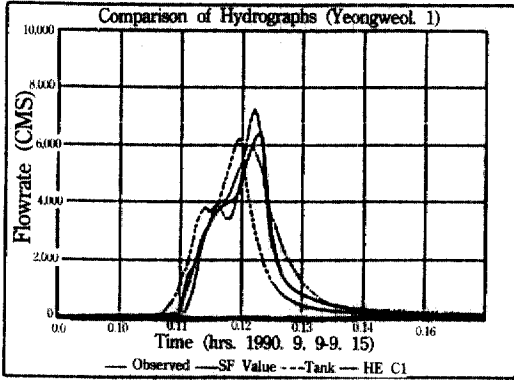
저류함수 모형에서는 소유역으로 분할된 각 유역 및 하도에 대한 저류상수와 지체상수 및 유출을 등 8개의 媒介變數가 있어 施行錯誤에 의한 手動補正은 많은 시간과 경험이 소요되어 實時間 저수지 운영에 있어서는 불합리 할 경우가 있다. 이러한 점을 보완하기 위하여 수자원공사 수자원 연구소에서 최적화 기법인 Pattern-Search 기법을 이용한 自動補正方法을 개발하여 적용하였다.^(8,17,25) 유역내의 22개 유량 관측소의 보정된 시간별 강우량 자료를 이용하여 저류함수 유출모형을 적용한 결과가 그림 6

및 표 3에 나타나 있으며 참고문헌⁽²⁶⁾에는 입력자료 등의 상세한 사항이 수록되어 있다.

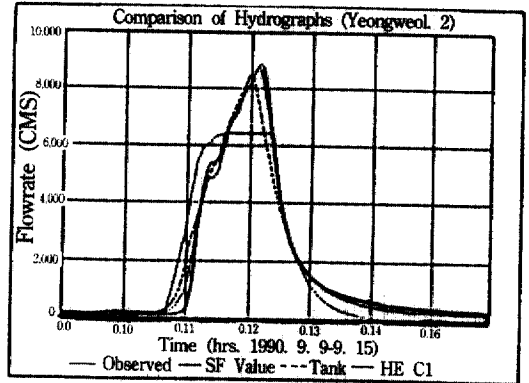
3.2.4 Tank 模型의 適用

강우-유출해석을 위한 Tank 모형⁽¹²⁾은 다목적댐의 홍수관리를 위하여 수자원공사에서 대학측에 의뢰하여 충주댐, 소양강댐 및 대청댐의 實時間 홍수 조절모형을 개발하였으나⁽²⁴⁾ 실무사용은 아직 못하고 있다. 탱크모형은 지하수의 지역적구조(zonal structure)를 나타내고 구조가 단순하며 지표수유출, 중간유출, 기저유출을 3개의 탱크로 구성한 모형이다. 모형 구성이 강우유출 과정을 잘 표현하고 있으나 각 탱크의 매개변수를 동시에 추정하는 데는 상당한 어려움이 있다.

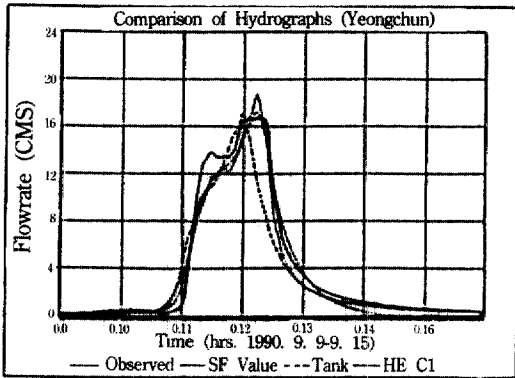
본 연구에서는 3단 탱크로 구성된 표준탱크 모형을 적용하였다. 1단 탱크는 지표수유출, 2단 탱크는 중간유출, 그리고 3단 탱크는 기저유출에 해당



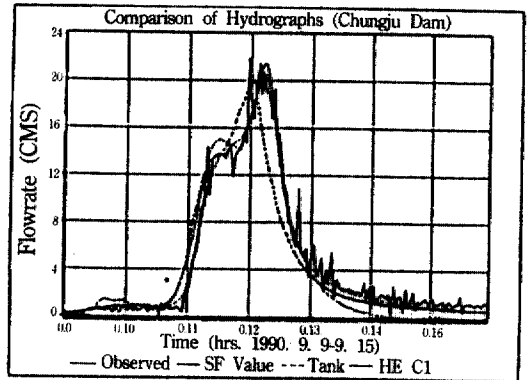
(a) 영월 I(유역면적 : 1,603 km²)



(b) 영월 II(유역면적 : 2,274 km²)



(c) 영춘(유역면적 : 4,776 km²)



(d) 충주댐(유역면적 : 6,648 km²)

*관측 수문곡선중 침투 홍수부분이 나타나 있지 않은 것은 90년 9월 홍수가 T/M 수위 관측설비의 상한선 이상에 도달하였기 때문이다.

그림 6. 90년 9월 홍수의 충주댐 유역 수위표 지점별 수문곡선.

한다. 강우-유출과정은 강우가 1단 탱크로 유입되어 저류되면서 측 유출구를 통하여 유출되고, 일부는 바닥 침투구를 통하여 2단 탱크로 유입된다. 2단 탱크로 유입된 침투량은 측 유출구를 통하여 중간 유출되고 일부는 3단 탱크로 浸漏하여 3단 탱크에서 기저유출 하게된다.

Tank 모형의 변수들을 관측치와 계산치 차의 상승합이 될수있는한 최소가 되도록 유역내의 22개 우량 관측소의 보정된 시간별 강우량 자료를 이용하여 시산법에 의한 모의기법을 적용하였다. 적용결과가 역시 그림 6 및 표 3에 나타나 있으며 입력자료 등은 참고문헌⁽²⁶⁾에 수록되어 있다.

3.3 模型適用 結果 分析

유역을 분할하여 각 모형을 적용한 결과 그림 6 및 표 3에 나타난 바와 같이 댐지점에서의 尖頭洪水量이 관측치와 매우 근사함을 알 수 있다. 또한 식(1)에 의해서 산정한 水文曲線은 톱니모양으로 변동이 매우 심하나 각 모형에 의해서 模擬된 水文曲線은 정상적임을 알 수 있다. 아울러 유역을 小流域으로 분할하지 않고 전체유역을 하나의 유역으로 간주하여 매개변수를 보정함으로써 댐 지점에서의 수문곡선을 산정한 결과도 표 4에 나타나 있으며 이 값들도 기록치와 매우 근사하였다.

특히 90년 9월 홍수의 특이성 여부를 검토하기

표 3. 수위표 지점별 최대 유입량 및 총 유출량

구 분	영월 I 1,603 km ²	영월 II 2,274 km ²	영춘 4,776 km ²	충주댐 6,648 km ²
최대 유입량(m ³ /s)				
◦ 관측치*	6,445	8,278**	19,285**	21,899
◦ HEC-1 모형	6,005	8,631	17,195	20,748
◦ 저류함수 모형	7,250	8,891	18,759	21,404
◦ TANK 모형	6,265	8,593	17,067	20,527
총 유출량(MCM)				
◦ 관측치*	623.3	1,057.8**	2,312.2**	2,948.0
◦ HEC-1 모형	620.9	1,054.5	2,076.2	2,573.6
◦ 저류함수 모형	675.3	1,084.3	2,155.5	2,761.8
◦ TANK 모형	561.0	1,116.4	2,065.9	2,671.5

* : 상류 수위표 관측치는 9월 9일 0시부터 9월 15일 23시까지 자료임.

** : 결측 부분을 육안으로 보간하여 사용 하였음.

표 4. 90년 9월 홍수의 충주댐 지점 유입량 산정결과

구 분	HEC-1 모형		저류 함수 모형		Tank 모형	
	첨두홍수량 (m ³ /s)	유출총량 (MCM)	첨두홍수량 (m ³ /s)	유출총량 (MCM)	첨두홍수량 (m ³ /s)	유출총량 (MCM)
1* 모의 운영						
◦ 소유역 분할	20,748	2,573.6	21,404	2,761.8	20,527	2,671.5
◦ 대유역 적용	21,258	2,903.5	20,521	2,850.8	21,351	2,940.1
2* 과거 자료						
◦ 소유역 분할	20,225	2,770.2	20,915	2,914.0	20,306	2,794.5
◦ 대유역 적용	20,247	2,902.2	20,807	2,978.5	21,281	2,937.6
3* 유입량 추정						
◦ 소유역 분할	20,748	2,573.6	20,753	2,743.3	22,555	2,917.8

1* : 관측자료에 의거 산정결과가 유사하도록 매개변수 보정.

2* : 과거 홍수자료로부터 산정한 매개변수에 의한 유입량 계산.

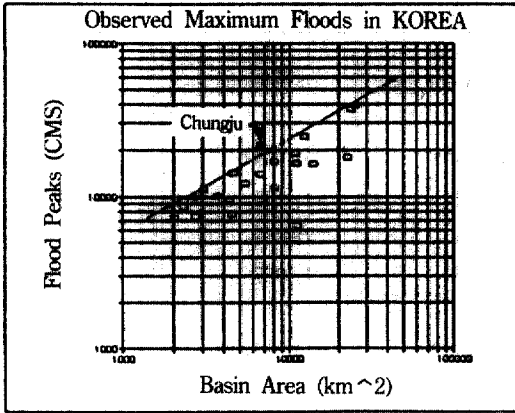
3* : 영춘지점까지 모의후 과거 홍수자료로부터 산정한 매개변수 사용.

4* : 충주댐 관측 첨두홍수 : 21,899 m³/s; 충주댐 관측 총 유입량 : 2,948 MCM.

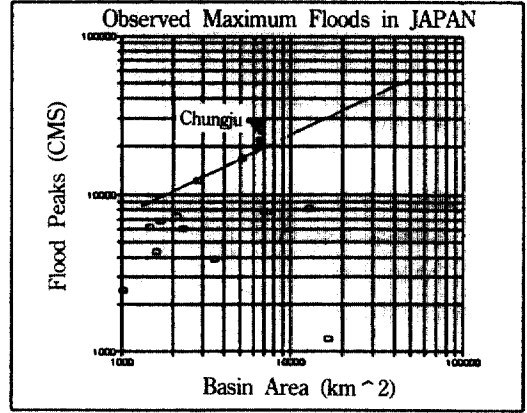
위하여 1987년부터 1989년까지 관측된 홍수자료로부터 분할된 소유역에 대해서 산정된 각 유출모형의 매개변수의 평균값 만을 사용하여 유입량을 계산한 바 표 4와 같이 계산유입량은 관측치와 매우 근사하였다. 또한 전체 유역을 하나의 대유역으로 간주하여 과거 홍수 자료로부터 산정된 저류함수 및 Tank 유출모형들에 의한 매개변수의 평균값에 의해서 모의된 유입량도 관측치와 매우 근사하였다.

한편 댐지점에서 식(1)에 의거 산정된 관측 수문

곡선의 오차는 댐상류 수위표 지점인 영춘 수위국까지의 유입량에 대한 오차가 없다고 본다면 유역 분할도인 그림 3 및 그림 4에서 소유역 IV의 수문곡선과 하도 B에서의 오차로 볼 수 있다. 따라서 유역을 분할하여 강우-유출모형들을 적용할 때 상류 영춘수위표 지점까지의 모의된 수문곡선(또는 관측된 수문곡선)과 87년부터 89년까지의 관측된 홍수 자료에 의해서 산정된 소유역 IV와 하도 B에 대한 유출모형의 매개변수 평균값을 사용한 수문곡선과의



(a) 국내 홍수 기록과의 비교



(b) 일본 홍수 기록과의 비교

그림 7. 다른 홍수 기록과 1990년 홍수의 비교.

합성 수문곡선이 댐지점의 수문곡선이라 볼 수 있다. 이러한 합성 수문곡선에 의한 댐지점에서의 첨두홍수량이 표 4에 나타나 있으며 이들 값 역시 관측치와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이러한 각종 수문분석에서 알 수 있듯이 90년 9월의 충주댐 홍수에 대한 첨두 홍수량이나 총유입량 등은 큰 오차가 내포되어 있지 않음을 보여주며, 첨두 유입량은 21,000 m³/s 정도로 추정된다.

'90년 9월의 충주댐 지점 홍수량을 국내외의 과거 홍수기록과 비교하였다. 그림 7(a)는 국내의 홍수 기록과 비교한 것인데, '90년 대홍수가 선행 첨두 홍수량의 包絡線(envelope curve)을 벗어난 큰 홍수였음을 알 수 있다. 그림 7(b)에는 UNESCO의 "World Catalogue of Very Large Floods"⁽¹⁴⁾에 수록된 일본의 홍수 자료와 비교 도시한 것이다. 이는 일본의 수문 및 기상 조건들이 우리나라의 경우와 유사하거나 약간 더 심한편 이라는 점을 고려하여 도시하였으며, 이 그림에서도 1990년 9월 홍수가 일본 홍수들의 포락선을 초과하였거나 거의 포락선 주위에 있다고 볼 수 있다. 한반도와 수문 기상학적 조건이 많이 다른 미국의 홍수기록과 비교한 경우에는 '90년 9월 홍수가 그 홍수 포락선을 크게 상회하는 것으로 나타났다.

전술한 바와 같이 한강유역 전체에 대한 최대 홍수는 서울 인도교 지점에서 34,400 m³/s를 나타냈던 것으로 알려진 1925년 7월 홍수로 기록되어

있다. 이러한 홍수 이후에 한강유역의 상류에 화천댐, 소양강댐 및 충주댐 등의 홍수조절이 가능한 다목적댐들이 건설되었던 점을 고려하여 인도교 지점에서 32,986 m³/s를 기록했던 90년 9월 홍수⁽¹⁹⁾를 상류에 소양강댐 및 충주댐이 없다고 가정하여 Progressive Average-Lag Method⁽²³⁾에 의거 인도교 지점의 홍수를 재산정한바 최대 유하량이 42,100 m³/s를 나타냈다. 이 기법의 적용에 있어 홍수과의 도달 시간과 유입량 평균시간은 관측결과가 없는 실정이므로 1989년도 재해년보에 수록된 값을 기준으로 적용하였다.⁽²⁵⁾ 홍수와 도달시간이나 유입량 평균시간에 따라 첨두 홍수량의 크기에 약간 차이가 있을 수 있지만 90년 9월의 한강유역 홍수는 1925년 7월 홍수보다 더 큰 홍수이었음을 알 수 있다. 그러나 유역 전체를 고려한 90년 9월 홍수의 분석과 정확한 자료보완에 대한 보다 광범위한 연구를 수행할 계획이다.

4. 設計 洪水量의 再算定

1917년부터 1991년 사이에 충주댐 지점에서 발생한 년 최대 홍수 64개 사상에 대한 최대 홍수량 傾向을 분석한 결과를 그림 8에 도시하였는데, 10년, 15년 및 20년 移動平均 홍수량을 나타내고 있다. 1917년의 홍수(홍수위)관측 개시 이후부터 충주댐 유역에서 발생되었던 10대 홍수 중에서 4개가 최근

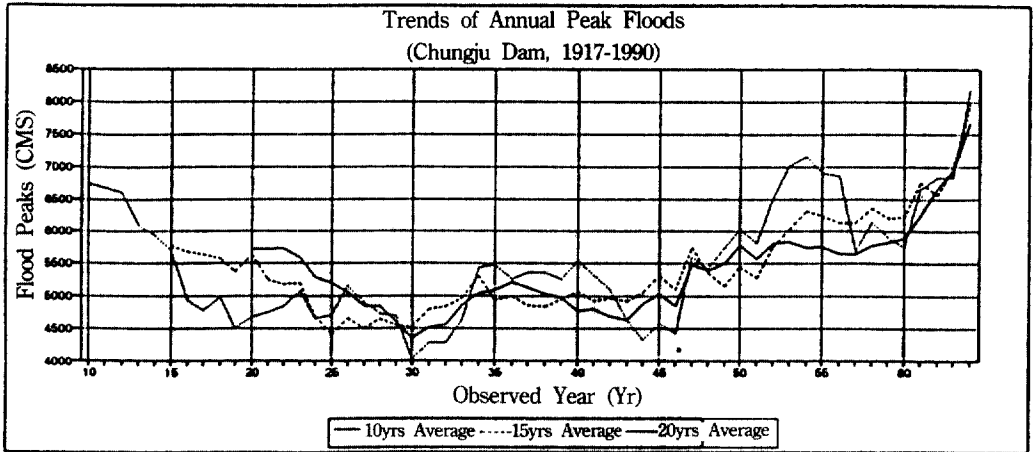


그림 8. 충주댐 지점 년 최대 홍수량의 변화 경향.

표 5. 충주댐 홍수량의 통계분석 결과 비교

Return Period (Yr)	Previous Analysis (m ³ /s)	Updated Statistical Results			
		New Analysis (m ³ /s)	Increased Ratio (%)	Confidence Interval, 90%	
				Lower Limit	Upper Limit
5	7100	7800	+ 9.4	6800	8800
10	8700	9700	+ 12.0	8400	11300
25	10800	12400	+ 14.9	10400	14800
50	12000	14500	+ 20.9	12000	17600
100	14000	16700	+ 19.4	13600	20600
200	16000	19000	+ 18.7	15100	23800
500	20000	22000	+ 11.1	17400	28400
1000	22000	25000	+ 12.6	19100	32200

5년간에 발생했던 점과 이들 년 최대 홍수량 시계열의 경향을 파악하기 위해 이동평균법에 의한 경향 분석을 실시한 결과, 시간에 따라 홍수량이 점점 증가하고 있음을 보여주고 있다.

경향분석 결과 설계홍수량의 재검토가 요구되어 최근 홍수를 포함한 년 최대 홍수량 자료들을 통계 분석하여 새로운 설계홍수량의 기준으로 이용할 수 있도록 홍수량 빈도곡선을 제시하였다. 분석 방법으로는 홍수량 빈도 해석에 유용한 LOG NORMAL 및 LOG PEARSON TYPE III, PEARSON TYPE III 분포를 사용하였으며, 분석 자료로서 1990년 9월 홍수를 포함한 64개년의 년 최대치 홍수량 자료를 이용하였다. 각 분포에 대한 적합성 검증결과 큰

홍수에 대해서는 LOG NORMAL 분포가 적합함을 알 수 있었으나 90년 9월 홍수는 어느 경우나 異常值(out-lier)로 나타나 분석에서 제외시켰다.

표 5에는 LOG NORMAL 분포에 의한 확률홍수량과 그 신뢰도 범위가 나타나 있으며, 계산 결과를 1976년의 설계 단계에서 제시되었던 기존의 분석 결과와 비교하였다. 1990년 홍수량은 충주댐 설계 빈도 홍수량을 기준으로 할 때 500년에서 1000년 빈도에 해당되지만, 금회 빈도분석 결과에 따르면 200년에서 500년 빈도 홍수량에 해당되며, 1000년 빈도 홍수의 90% 신뢰 구간에 속하기도 한다. 앞 절에서 검토한 PMP 자료를 사용하여 HEC-1 모형을 이용한 충주댐 유역의 가능 최대 홍수량(PMF)을

산정한 바 32,650 m³/s로 나타났는데, 이에 대해서는 향후 보다 상세한 연구와 대책이 검토되어야 할 것이다.

5. 結 論

1990년 9월의 한강유역 일원의 홍수, 특히 충주댐 유역에서의 홍수는 세계적인 극대 홍수로 기록될만한 대홍수로 판명되었다.⁽¹¹⁾ 홍수발생 직후 홍수현황 파악 및 원인 분석을 위한 현장 조사가 이루어져, 그에 따른 관측 설비의 문제점들을 보완 하였다. 이후에 대홍수에 대한 수문학적 분석과 홍수조절 컴퓨터 시스템의 개선을 위한 연구가 계속되었다. 90년 9월의 충주댐 홍수는 1917년 이후부터 충주댐 지점의 홍수관측 이래(2차대전 전후 제외) 댐지점에서 최대 유하량, 14,000 m³/s를 기록했던 1984년의 홍수에 비해 무려 1.5배 정도인 21,000 m³/s를 기록하여 설계 당시의 홍수기준에 의하면 500년 빈도 이상의 홍수에 해당된다. 이러한 홍수에도 불구하고 댐 시설물 및 하류 지역에 대단위 홍수 피해를 유발하지 않았던 것은 당시의 가용 홍수 조절 용량이 설계 홍수 조절 용량 이상이었어서 당시 최대 방류량을 14,000 m³/s 이상 초과되지 않게 조절하였기 때문이었다. 그러나 저수지 수위가 설계 홍수위보다 높은 EL.146.03 m까지 도달하게 되었던 것은 당시의 기상 상황의 전개와 한강유역 전체의 홍수를 감안할 때 불가피 했던 것으로 판단된다.

한편 90년 9월 홍수의 수문학적 분석결과 기존 댐에 대한 설계 홍수량 및 치수능력에 대한 재검토(rehabilitation)의 필요성이 인식되어 일부 연구과업을 추진 중에 있다. 이러한 대홍수는 홍수의 지역화 및 최대 홍수량의 증가 추세에 대한 결과로써 판단되나 기상변화 문제와 더불어 향후 충분한 연구가 필요하겠다. 홍수는 예고없이 짧은 기간에 발생하므로 홍수를 맞는 사람들의 대응도 신속하나 홍수가 지나면 다음 홍수가 있기까지는 홍수를 쉽게 잊는 경향이 있다고 알려져 있다. 홍수문제가 잊혀지기 쉬운 것이라 하더라도 수자원 기술자들이 면밀한 홍수 흔적조사 등을 통한 치수 대책을 계속 연구 및 검토하여야 할 것이다. 이번 수문분석이 충주댐 유역의 홍수분석에 초점을 두었으나 한강유역의 홍수도 기록적인 홍수이었던 점을 감안하여

보다 광범위한 연구가 이어져야 할 것이다.

謝 辭

본 연구는 1991년 수자원공사 수자원연구소에서 한남대학교와의 공동연구로 수행되었으며, 연구자문위원으로 많은 조언을 해주신 건국대학교 고재웅 교수님, 서울대학교 선우 중호 교수님, 고려대학교 윤용남 교수님 및 건설기술연구원의 김 승 박사님께 감사사를 드립니다. 아울러 연구에 참여하였거나 자료에 적극 협조하여 주신 많은 직원들에게 사의를 표합니다.

參 考 文 獻

1. Brue, J. P. and R. H. Clark, *Introduction to Hydro-meteorology*, pp.67-72, Pergamon Press, 1966.
2. Committee for Hydrological Research TNO, *Precipitation and Measurements of Precipitation*, Proceedings of Technical Meeting 33 (April 1976), Proceedings and Informations No. 23, pp. 18, The Netherlands, 1977.
3. Corps of Engineers, "Routing of Floods Through River Channels", US Army, Engineering and Design EM1110-2-1408, pp. 16, 1960.
4. ECI, *Chungju Multipurpose Project Feasibility Report, Part I*, Industrial Sites and Water Resources Corporation, Engineering Consultant Incorporation, U.S.A., 1976.
5. Hardy, R. L., "Multiquadratic Equations of Topography and Other Irregular Surface", *Journal of Geophysics Research*, Vol. 76, No. 8, pp. 1905-1915, 1971.
6. HEC, *HEC-1 Flood Hydrograph Package User's Manual*, Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, 1981.
7. HEC, *HEC-2 Water Surface Profiles User's Manual*, Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, 1982.
8. 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.
9. Kimura, *Flood Routing Using Storage-Function Method*, Civil Engineering Research Institute, Japanese Ministry of Construction, 1961.

10. Ko, S. K. and Y. I. Kim and S. M. Kim, "Decision Support System for the Real-Time Flood Forecasting and Multiple Reservoirs Control Using Micro-Computers", Western Pacific Geophysics Meeting, Vol. 73, No. 25, American Geophysical Union, 1992.
11. Ko, S. K. and J. H. Sonu, "Experience of an Extreme Flood at the Chungju Dam During the 9th to 15th of September 1990", International Symposium on Dams and Extreme Floods, Granada, 1992.
12. 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.
13. 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, 1985.
14. UNESCO, *World Catalogue of Very Large Floods*, The UNESCO Press, 1976.
15. 高錫九, 李翰九, 李熙昇, "홍수시 저수지 실시간 운영 의사결정지원 시스템", 대한토목학회 논문집 제12권 제1호, pp. 131-140, 1992.
16. 金字哲 외 7인, *통계학 개론*, pp. 172-177, 영지문화사, 1989.
17. 尹在興, 高錫九, 金洋一, "최적화 기법에 의한 저류함수 유출모델의 자동보정", 수공학 논총 제33권, 한국수문학회, 1991.
18. 건설부, 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 7장, pp. 1-73, 한국수문학회, 1990.
19. 건설부, **홍수량 측정조사 보고서**, pp. 13 및 pp. 116, 한강 홍수통제소, 1990.
20. 기상연구소, **면적 감수량 산정을 위한 감우 관측계에 관한 연구보고서**, pp. 44, 기상청, 1985.
21. 중앙재해대책본부, **재해대책편람**, pp. 447-452, 1991.
22. 한국건설기술연구원, **수자원 관리기법 개발 연구조사보고서**, 제3권, 한국 가능최대 강수량 추정, 건설부, 1988.
23. 한국수자원공사(산업기지개발공사), **다목적 댐 홍수유출 해석 연구(저류함수법)**, Nippon Koei Co. Ltd, 1985.
24. 한국수자원공사, **저수지 수문 조작을 위한 홍수유입량의 예측모형 개발 연구보고서**, 서울대학교, pp. 16-21, 1990.
25. 한국수자원공사, **PC-그래픽을 이용한 다목적댐 홍수관리 종합 컴퓨터 시스템 개발 연구**, 수자원연구소, 1991.
26. 한국수자원공사, **충주댐 및 소양강댐 유역 1990년 대홍수의 수문학적 분석**, 수자원연구소, 1992.
27. 한국수자원공사, **충주댐 상류 하천유량 측정 및 분석(1차년도) 보고서**, 충주공업전문대학, 1990.
28. 한국수자원개발공사 및 건설부, **한강 유역조사 사업보고서 부록 II**, pp. F33-F35, 1971.

(接受 : 1992. 10. 9)