

## 동화지구 설계 수문량 재추정

### Reestimation of Hydrologic Design Data in Donghwa Area

권순국\* · 이재형\*\* · 정재성\*\*\*

전일권\*\*\*\* · 김민환\*\*\*\*\* · 이경도\*\*\*\*\*

Kwun, Soon-Kuk · Lee, Jae Hyoung · Jung, Jae Sung  
Chon, Ir-Kweon · Kim, Min-Hwan · Lee, Kyung Do

#### Abstract

The fundamental study of hydrologic redesign of Donghwa area located in a second tributary of Seomjin river was performed. The amounts of hydrologic design were estimated using the available cumulated hydrology data provided by Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation (KARICO). The management status of the water resources in Donghwa area was also widely surveyed. The probability rainfalls, probable maximum precipitation (PMP) and probability floods were estimated and subsequently their changes analyzed. The amount of 200 year frequency rainfall with 1 day duration was 351.1 mm, 2.5 % increased from the original design value, and the PMP was 780.2 mm. The concentration time was reestimated as 2.5 hours from existing 2.4 hours. Soil Conservation Service (SCS) method was used to estimate effective rainfall. The runoff curve number was changed from 90 to 78, therefore the maximum potential retention was 71.6 mm, 154 % increased from the original value. The flood estimates using SCS unit hydrograph showed 8 % increase from original value 623 m<sup>3</sup>/s to 674 m<sup>3</sup>/s and the probable maximum flood was 1,637 m<sup>3</sup>/s. Although the flow rate at the dam site was increased, the flood risk at the downstream river was decreased by the flood control of the Donghwa dam.

*Keywords : Design rainfall, Unit hydrograph, Design flood, Hydrologic design*

#### I. 서 론

\* 서울대학교 농업생명과학대학  
\*\* 전북대학교 공과대학  
\*\*\* 순천대학교 공과대학  
\*\*\*\* 단양대학 토목과  
\*\*\*\*\* 호남대학교 공과대학  
\*\*\*\*\* 서울대학교 대학원  
\* Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4582  
Fax: +82-2-873-2087  
E-mail address: skkwun@snu.ac.kr

동화댐과 같이 소규모 하천유역에서 계획되는 농업용수 댐들의 수문학적 설계는 대규모 다목적 댐의 설계와 달리 비교적 간단한 경험공식을 이용하여 단기간에 설계하는 것이 일반적이었다. 그러나 이상호우의 발생과 도시화 및 토지이용 증가로 유역의 유출특성이 변화하고 수자원 개발여건과 수자

원 관리환경이 달라진 현 시점에서는 보완이 필요하다. 특히, 홍수로 인한 재해시 대규모 피해로 직결될 수 있으므로 댐 건설 이후에 축적된 수문자료를 활용하여 댐 계획시의 설계수문량을 다시 추정하고 그 변화여부를 파악해야 한다.

따라서, 현 시점에서 동화지구 수자원의 관리현황을 종합적으로 검토하고, 동화댐 계획단계부터 현재까지의 수문자료를 수집하여 확률강우량, 가능최대강수량(Probable maximum precipitation, PMP), 확률홍수량, 가능최대홍수량(Probable maximum flood, PMF) 등을 추정하여 홍수 수문 특성 변화를 분석하였으며, 댐 운영에 필요한 홍수기 월별 확률홍수량을 추정하고, 동화댐의 홍수조절효과를 고려한 댐 하류 하천수위를 예측하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구대상지역

동화댐이 건설된 백운천은 섬진강의 제1지류인 요천 상류부 지류이고, 댐은 백운천 하구로부터 약 1.5 km 상류에 있다. 백운천의 유역면적은 51.8 km<sup>2</sup>

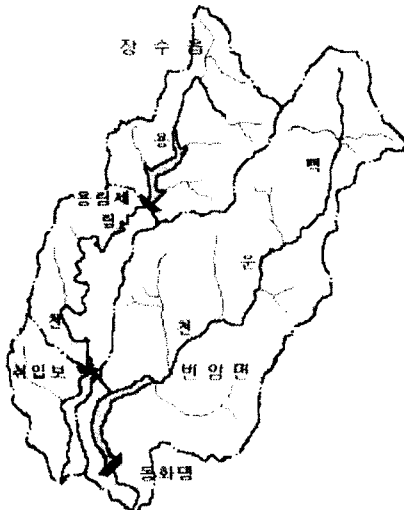


Fig. 1 Basin map of Donghwa area

인데, 동화댐 상류만을 고려한 유역면적은 47.0 km<sup>2</sup>이며, 댐 상류유역 평균경사는 0.019이다(Fig. 1). 동화댐의 용수확보를 위하여 인접한 용림천의 상류부에 용림제가 건설중이고, 용림천 하류 취입보에서 계절별로 최대 10~15 m<sup>3</sup>/s의 용수를 도수할 수 있게 계획되어 있다.<sup>3)</sup>

동화지구 수자원시설은 백운천의 동화댐과 용림천의 용림제 및 취입보로 구성되어있고, 용림제의 방류량과 용림제 하류 유출량을 취입보에 저류하여 도수터널로 연결된 동화댐의 보조수원으로 활용하도록 하고 있다.

### 2. 수문자료

동화지구 수문관측은 기상청 기상관측소 4개소(전주, 임실, 남원, 장수)와 건설교통부 우량관측소 3개소(운봉, 장수, 변암2), 한국수자원공사 우량관측소 3개소(운봉, 장수, 아영)와 농업기반공사의 동화댐 수위관측소 및 건설교통부의 남원 수위관측소에서 이루어지고 있다.

수위관측자료는 관측기간이 짧아 활용이 어려웠고, 강우량 자료는 기상청 관측자료의 관측기간 및 관리상태가 가장 양호하여 이를 활용하였다. 동화댐 설계당시에는 1932년부터 1985년까지 52년 동안 전주기상관측소 강우량을 이용하였고, 본 연구에서는 전주, 남원, 장수 관측소에서 각각 1932~2002, 1972~2002, 1988~2002 기간동안 관측된 일 강우량을 활용하였다. KARICO(2002)<sup>4)</sup>에 모의된 동화댐 유입량 자료를 근거로 댐건설 전후의 유입량을 비교한 결과 홍수기 유입량의 증가가 크게 나타났다.

### 3. 연구 방법

#### 가. 확률강우량

동화댐 설계당시에는 전주측후소 관측강우량의 빈도를 Gumbel 방법으로 분석하여 확률강우량을

도출하였는데, 본 연구에서는 전주, 남원, 장수관측소에서 수집된 강우량 빈도를 Gamma 2, General extreme value, Gumbel, Log Normal 2, Log Normal 3, Weibull 2, Weibull 3의 7가지 확률분포에 적용하여 분석하였다.<sup>7)</sup> 설계 확률분포는 적합도 검정결과에 의거하여 Gumbel 분포를 채택하였고, 확률기중모멘트법으로 구한 매개변수를 적용하였다.

가능최대강수량(PMP)을 추정하는 방법에는 수문기상학적 방법, 통계학적 방법, 기록최대강수량-지속시간 포락에 의한 방법 등이 있는데, 통계학적 방법과 기록최대강수량 포락 방법은 설계호수에 대한 기준이 약 10,000년 빈도의 강우사상으로 자료기록기간에 제한이 크기 때문에 수문기상학적 방법으로 PMP를 추정하였다.

동화지구의 가능최대강수량은 "① 유역면적과 유역중심 결정, ② PMP 추정위치를 중심으로 PMP도를 이용하여 면적별 지속기간별 PMP 추출, ③ 강우깊이(PMP)-유역면적-지속시간의 포락선도 작성, ④ 대상 유역면적 및 지속기간에 부합하는 PMP의 내삽 추정"의 절차를 거쳐 추정되었다.

**나. 확률홍수량**

장기간의 유량측정 자료가 있는 경우에는 실측유량으로부터 확률홍수량을 추정하는 것이 가장 좋은 방법이나 동화지구는 유량 실측자료가 미비한 유역이므로 분석된 강우량을 강우-유출모형에 적용하여 확률홍수량을 파악하였다.

확률강우량을 강우-유출모형에 적용하기 위하여 필요한 확률강우의 시간분포를 댐 설계당시에는 Kwun(2000)<sup>6)</sup>에 제시된 지점별 폭우의 시간적 우량분포를 추정식을 이용하였고, 본 연구에서는 Mononobe, 건설교통부 IDF, Huff 방법 및 미국 National Weather Service (NWS) 방법 등을 적용·검토하였다.<sup>7),8)</sup> Mononobe 방법에 의한 강우의 시간분포는 기상관측소의 재현기간별 24시간 확률강우량 및 1시간 확률강우량에 강우강도식 식

(1)을 적용하여 산정하고, IDF와 Huff분포는 MOCT(2000)<sup>8)</sup>에 제시된 분포를 검토하였다.

$$I_t = \left( \frac{R_{24}}{24} \right) \left( \frac{24}{t} \right)^{0.6047} \dots \dots \dots (1)$$

여기서,  $I_t$ 는 강우강도(mm/h),  $R_{24}$ 는 확률강우량(mm/일),  $t$ 는 강우지속시간(h).

확률강우량의 시간분포가 홍수유입량에 미치는 영향을 검토하기 위해 200년 빈도 및 PMP에 대하여 4가지 강우시간분포를 각각 적용하여 유입량을 분석하였다. 분석된 결과에서 Mononobe 분포와 건설교통부 Intensity-Duration-Frequency (IDF)가 가장 큰 첨두홍수량을 보였기 때문에, 치수안전도를 고려하여 Mononobe 강우량 분포를 채택하였다. 강우지속시간은 중·소규모 농업용 댐에서 주로 적용하는 24시간을 채택하였다.

동화댐 지점의 홍수도달시간은 설계당시에 Soil Conservation Service (SCS) 공식을 이용하였는데, 금번에는 지형도상에서 구한 구간별 유로연장 및 표고차로부터 평균경사와 평균고저차를 구하여 식 (2)의 California 도로국 공식을 이용하였다.

$$T_c = \left( \frac{0.869 L^3}{\Delta H} \right)^{0.385} \dots \dots \dots (2)$$

여기서,  $L$ 는 유로장(km),  $\Delta H$ 는 유역평균 고저차(m)이다.

총강우량에서 손실우량을 제외한 유효강우량의 산정에는 설계당시와 금회 모두 유역의 함수상태를 고려할 수 있는 SCS방법을 사용하였다. 빈도별 홍수유입량은 홍수기에 발생할 가능성이 높은 점을 고려하여 선행함수조건은 습윤조건 AMCⅢ로 고려하였다.

강우-유출 변환에는 설계당시에 복합수문곡선법을 채택하였고, 본 연구에서는 수문자료가 적은 유역에 적합한 SCS 무차원 단위도법을 선정하여, 유효강우량 1 mm에 대한 SCS 합성단위도의 첨두유량  $Q_p$ 와 첨두시간  $t_p$ 를 식 (3), (4)로 계산하였다.

$$t_p = \frac{D}{2} + t_L \text{ (h)} \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_p = \frac{0.2081A}{t_p} \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $t_L$ =유역지체시간 (=0.6  $t_c$ h),  $t_c$ =강우도달시간 (h), D=유효강우 지속간격, A=유역면적 (km<sup>2</sup>)이다.

동화댐의 홍수기 저수지운영에 기초자료를 확보하기 위하여 1932년부터 2002년까지 70년간 월별 일강우량 최대치의 연시계열을 수집하여 동화지구 홍수기(6, 7, 8, 9월)의 월별 일강우량의 빈도 해석을 실시하고, 전술한 Mononobe 강우분포와 SCS 유효우량, SCS 무차원 단위도를 적용하여 월별로 빈도별 홍수유입 수문곡선을 계산하였다.<sup>2)</sup>

빈도별 확률홍수량에 대한 동화댐의 홍수조절효과는 안정적인 댐운영에 유리한 Rigid Reservoir Operation Method (RROM)으로 홍수조절용량을 모두 활용하는 경우로 고려하였다.<sup>4)</sup> 댐 하루 하천 수위는 홍수유입량이 댐에 의해 조절된 방류량을 기준으로 종합하천 수리모형 HEC-RAS를 적용하여<sup>1)</sup> 각 지점에 대해 빈도별로 산출하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 확률강우량

동화댐 설계당시에 52년(1932~1985) 동안 전 주지점 강우량의 빈도를 Gumbel 방법으로 분석한 결과와 전주(1932~2002), 남원(1972~2002), 장수(1988~2002) 관측소 강우량의 빈도를 Gumbel 등 7가지 확률분포에 적합하여 채택된 결과는 Table 1과 같다.

Table 1에서 장수관측소는 관측기간이 짧아 신뢰도가 작고, 남원관측소는 장수에 인접관측소이지만 추정된 확률강우량이 1일연속 200년 빈도에서 66 mm의 차이를 보여 댐 홍수설계에 활용시 안전

Table 1 Probability rainfall of Donghwa area

Class	Return period (year)					
	10	20	50	100	200	500
Design ①	196.2	230.8	275.5	309.0	342.4	-
Jeonju ②	210.8	243.9	286.9	319.0	351.1	393.3
Namwon	183.2	206.1	235.7	257.7	279.9	309.1
Jangsu	213.6	245.0	285.4	315.7	345.9	385.7
Ratio ①/②	1.074	1.057	1.041	1.032	1.025	-

Table 2 Comparison of frequency rainfall estimates

Class (mm/day)	200 year rainfall			Remark
	Jeonju	Namwon	Jangsu	
Estimated	351.1	279.9	345.9	Gumbel
MOCT	358.2	250.0	316.1	Gumbel
Difference	-7.1	29.9	29.7	

도가 떨어질 수 있으므로 장수관측소와 규모가 유사한 전주관측소의 확률강우량 추정결과를 동화지구 홍수분석의 기준으로 채택하였다. 채택된 홍수량은 설계당시에 비하여 평균 4.6%의 증가된 값이다.

금회 추정된 1일연속 200년빈도 확률강우량을 MOCT(2000)<sup>8)</sup>와 비교하면 Table 2와 같이 자료기간이 짧은 남원과 장수에서는 30 mm 정도의 큰 편차를 보인데 반하여 자료기간이 긴 전주에서는 비교적 유사한 결과를 보여 동화지구 기준관측소로

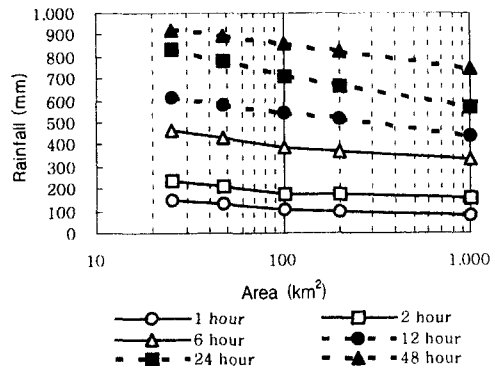


Fig. 2 DAD envelopes of PMP in Donghwa area

전주를 선택한 것이 타당하게 보인다.

동화지구의 가능최대강수량은 유역면적 47.0 km<sup>2</sup>과 유역중심 E 127°34'53", N 35°34'55"에 대하여 Fig. 2와 같이 추정되었다. Fig. 2에서 동화지구의 24시간 지속 PMP는 780.2 mm 이다.

## 2. 확률홍수량

전술한 다양한 빈도의 확률강우량에 대한 시간분포를 Mononobe 방법으로 추정하였고, 10년 및 200년 빈도의 댐 계획당시(B10yr, B200yr)와 금회 연구결과(A10yr, A200yr)로 도시한 Fig. 3과 같이 강우량과 집중도가 증가하였다. 동화댐 지점의 도달시간은 설계당시에 2.4 h이었는데, 금번에는 2.5 h로 구하였다. 유효강우량 산정에서는 SCS 방법으로 동화지구 CN 78, 최대잠재보유수량 71.64 mm와 초기손실 14.33 mm를 구하였는데, 설계당시의 28.22 mm와 5.64 mm보다 큰 값이다.

식 (3), (4)에  $t_L$ (유역지체시간)=0.6  $t_c$ =1.5 h,  $t_c$ (강우도달시간)=2.5 h, D(유효강우 지속간격)=0.333 h, A(유역면적)=47.0 km<sup>2</sup>를 적용하여 유효강우량 1 mm에 대해 침투시간  $t_p$ =1.667 h, 침투유량  $Q_p$ =5.867 m<sup>3</sup>/s인 SCS 합성단위도를 Fig. 3과 같이 구하였다.

Table 1, 2의 동화지구 설계강우량에 Fig. 4의 합성단위도를 적용하여 동화댐 건설전·후 홍수유

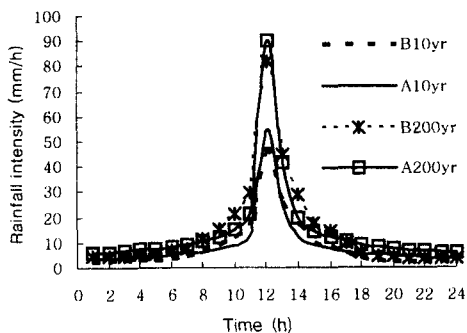


Fig. 3 Time distributions of probability rainfalls

입량을 분석한 결과를 Table 3에 요약하였다. Fig. 4의 AFlow는 댐건설후 단위도유량을 의미한다. Table 3에서 ( ) 수치는 댐 계획보고서<sup>3)</sup>에 제시된 수치이고, 댐 계획전에 대한 다른 값들은 금회에 유도된 CN 및 단위도를 당시 설계강우량에 적용한 결과이다. 분석결과에서 홍수유입량과 유출률이 모두 증가하였음을 알 수 있으며, 분석결과의 일부를 Fig. 5에 도시하였다.

확률강우량의 시간분포가 홍수유입량에 미치는 영향을 검토하기 위해 200년 빈도 및 PMP에 대하여 전술한 강우시간분포를 적용하여 유입량을 분석하고 그 결과를 Table 4에 제시하였다. 결과에서 Mononobe 분포와 건설교통부 IDF가 가장 큰 첨두홍수량을 보였기 때문에, 치수안전도를 고려하면

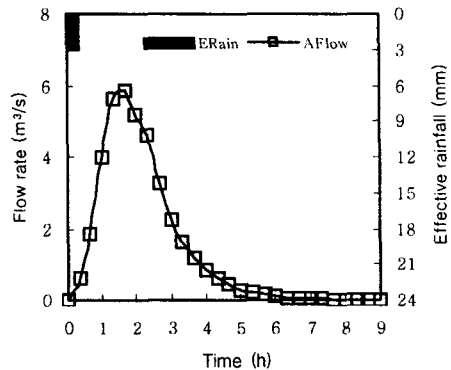


Fig. 4 SCS unit hydrograph of Donghwa area

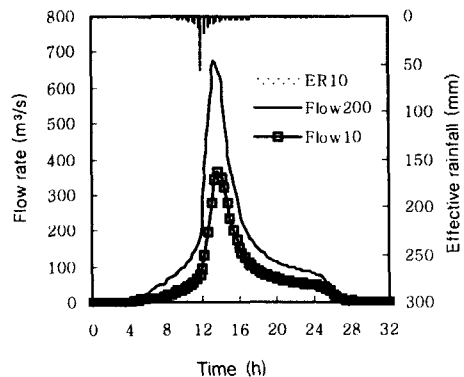


Fig. 5 Frequency flood at Donghwa dam

Table 3 Comparison of flood inflows before and after the construction of Donghwa dam

Class	Before construction				After construction				
	10	50	100	200	10	50	100	200	PMF
Return period (yr)	10	50	100	200	10	50	100	200	PMF
Design rainfall (mm/day)	(196.2)	(275.5)	(309.0)	(342.4)	212.8	291.6	325.0	351.1	780.2
Max. flow (m <sup>3</sup> /s)	144.9 (310.3)	346.8	400.3	453.6 (623.6)	362.9	543.1	619.4	673.6	1,637
Total outflow (MCM)	4.84	9.63	11.13	12.65	6.91	10.37	11.91	13.04	32.87
Rainfall loss (mm)	63.0	70.6	71.9	73.2	65.7	70.9	71.7	73.4	79.8
Runoff ratio (%)	67.9	74.4	76.7	78.6	69.1	75.7	77.9	79.0	89.6

Table 4 Peak flows for each time distribution

Return period (year)	Peak flow (m <sup>3</sup> /s)			
	Huff	Mononobe	MOCT	NWS
200	342.1	673.6	714.0	-
PMF	828.3	1,636.9	1,548.2	1,216.3

Table 5 Monthly probability floods at Donghwa dam

Month	Peak flow (m <sup>3</sup> /s)				Total flow (MCM)			
	10yr	50yr	100yr	200yr	10yr	50yr	100yr	200yr
Jun	172.2	301.1	357.4	413.6	3.290	5.692	6.815	7.901
Jul	219.0	359.5	419.8	479.7	4.174	6.853	8.014	9.193
Aug	260.3	437.8	513.1	588.3	4.930	8.343	9.814	11.313
Sep	156.2	288.9	346.5	404.2	2.999	5.480	6.557	7.656

설계강우량의 시간분포로서 Mononobe 분포의 선택은 타당하게 보인다.

동화댐의 홍수기 저수지운영에 기초자료를 확보하기 위하여 1932년부터 2002년까지 70년간의 월별 일강우량 최대치의 연시계열을 수집하여 동화지구 홍수기(6, 7, 8, 9월) 월별 일강우량의 빈도 해석을 실시하고, 전술한 Mononobe 강우분포와 SCS 유효우량 산정법, SCS 무차원 단위도를 적용하여 계산된 월별 빈도별 홍수유입 수문곡선을 Table 5에 요약하였다. Table 5의 확률홍수량은 극치강우량의 시계열이 월별로 분산되어 분석되었기 때문에 연간 확률홍수량보다 작게 나타났다.

동화댐의 침투방류량을 침투유입홍수량의 45.0%로 감쇄시킬 수 있는 RR0M 이용결과와<sup>4)</sup> 동화댐 직하류에서 요천 합류부인 변암교까지 약 1.3 km 구간에 대한 하천측량 결과를 HEC\_RAS 모형에 적용하여 Fig. 6~8과 같이 동화댐 건설전, 건설후, 홍수조절시의 홍수위를 예측하였다. 홍수위 예측결과에서 댐건설 이후에 댐지점의 유입량이 증가하였

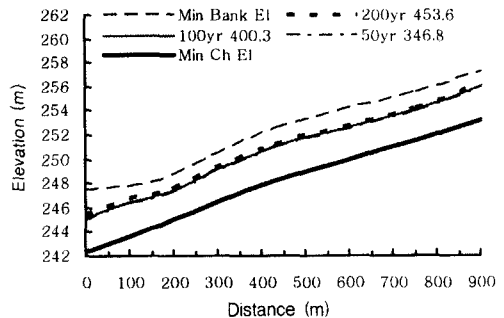


Fig. 6 Downstream water level before dam

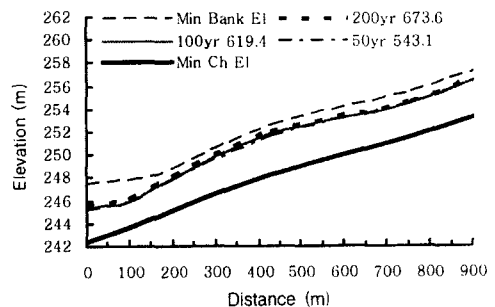


Fig. 7 Downstream water level after dam

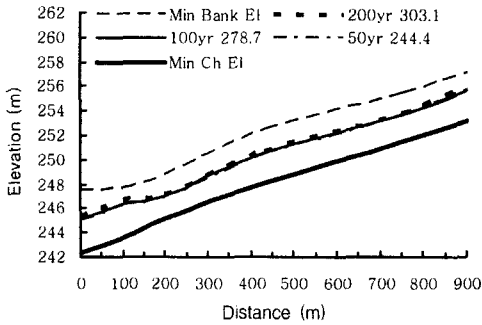


Fig. 8 Downstream water level by dam operation

지만 댐의 홍수조절에 의해 하류하천의 홍수량과 홍수위는 오히려 감소한 것으로 나타났다.

Fig. 6~8에서 'Min Bank El'은 Minimum Bank Elevation의 약어로 양안 제방고를 비교하여 작은 값이고, '200yr 453.6'은 200년 빈도 확률강우량 453.6 mm 상당 홍수량을 적용해서 구한 홍수위이며, 'Min Ch El'은 Minimum Channel Elevation의 약어로 최심하상고이다.

## V. 결 론

수문학적 재설계가 필요한 동화댐 유역에 대해서 사업완료 이후에 축적된 수문자료를 활용하여 댐 계획시의 설계수문량을 다시 추정하고 그 변화를 검토하였다. 동화지구 수자원의 관리현황을 종합적으로 검토하고, 동화댐 계획단계부터 현재까지의 수문자료를 수집하여 확률강우량, PMP, 확률홍수량, PMF 등을 추정하여 홍수 수문특성 변화를 분석하였으며, 저수지 운영에 필요한 홍수기 월별 확률홍수량을 추정하였다.

동화지구 1일연속 200년 빈도 확률강우량은 설계당시 보다 2.5 % 증가한 351.1 mm로 추정되었고, 24시간 PMP는 780.2 mm로 나타났다. 설계강우의 시간분포는 건설교통부 IDF, Mononobe, Huff 및 미국 NWS 방법 등을 적용하였고 치수안전성이 높은 Mononobe 분포를 채택하였다.

홍수도달시간은 설계당시의 SCS 공식을 이용한

2.4 h에서 California 도로국공식을 이용한 2.5 h로 변경되었다. 유효강우량의 산정에는 설계당시와 금회 모두 유역의 함수상태를 고려할 수 있는 SCS 방법을 사용하였는데, 유출곡선번호가 당초 90에서 78로 감소되어 최대잠재보유수량이 71.6 mm로 154% 증가를 보였다.

SCS 단위도를 이용한 설계홍수량 추정에서 200년 빈도의 경우 설계당시 623 m<sup>3</sup>/s에서 674 m<sup>3</sup>/s로 8.0% 증가를 보였고, PMF는 1,637 m<sup>3</sup>/s로 나타났다. 저수지 운영에 필요한 월별 확률홍수량 추정에서 6월~9월 200년 빈도의 경우 414, 480, 588, 404 m<sup>3</sup>/s로 산출되었다.

동화댐 건설전과 건설후 동화댐 지점의 확률홍수량 및 동화댐 홍수조절에 따른 홍수방류량에 대한 하류하천의 수리해석에서 동화댐지점의 유량은 증가하였으나 하류하천의 홍수위험도는 감소된 것으로 나타났다.

이 연구는 농업기반공사의 연구비 지원과 수문자료 제공에 의하여 수행되었음

## References

1. HEC. 1998. River analysis system HEC-RAS. US Army Corps of Engineers. ch. 6-7.
2. HEC, 2000. Hydrologic modeling system HEC-HMS. US Army Corps of Engineers. ch. 10-11.
3. KARICO. 1987. Plan report of the agricultural water development project for Donghwa area. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, Uiwang, Gyunggi. 15-42, 233-262. (in Korean)
4. KARICO. 2002. Fundamental data in hydrology for Sungju and Donghwa areas. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, Uiwang, Gyunggi. 3-8. (in Korean)

5. KARICO. 2002. Flood control capacity analysis of irrigation dam (reservoir) for extraordinary storm and plans for improving the capacity. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation. Uiwang, Gyunggi, 41-45. (in Korean)
6. Kwun, S. K. 2000. *Applied hydrology*. Hyang moonsa. 48-59. (in Korean)
7. Mays, L. W. 2001. *Water resources engineering*. John Wiley & Sons. 649-704.
8. MOCT. 2000. Construction of Korean probability rainfall diagram. Ministry of Construction and Transportation. 77-154, 206, 235-236. (in Korean)