

최대가능홍수량 적용에 따른 농업용 저수지의 수문학적 안정성 분석

Analysis on Hydrologic Stability of Agricultural Reservoir Using Probable Maximum Flood

김 상 우* 맹 승 진**

Kim, Sang Woo · Maeng Seung Jin

Abstract

This study re-exams hydrologic stability on spillway outlet capacity of agricultural reservoirs using hydrologic data with current rainfall condition instead of project hydrologic data applied at design on Backgok reservoir located in Chungbuk province. It is concluded that Backgok reservoir is not hydrologically stable and therefore structural measures including the extension of spillway and non structural measures should be taken. Continuous basic plan for river maintenance including additional bank reinforcement to bottom river shall be carried out. Due to high peak flood with more than 290% compared to 200 year frequency probability flood which was design standard of the past in view of the results of calculating PMF according to revised design standard for reservoirs, there could a problem for securing rationality in case of applying PMF with design flood. Therefore, hydrological stability, construction, and maintenance cost shall be synthetically studied and reasonal application shall be made if the decision is made on applying PMF with design flood.

I. 서 론

농업용 저수지는 다목적댐 및 생·공업용수 전용댐에 비하여 규모는 작지만 개소수가 많고 전국에 산재되어 있다. 과거 농업용 저수지가 대부분 도시나 인구밀집 지역과는 거리가 먼 산간지역 등에 분포되어 있었으나 전국적

으로 산업화·도시화가 진행되면서 지금은 태풍 '루사' 시 붕괴 직전 수위까지 도달한 강릉의 오봉저수지처럼 저수지 인근에 도시구역이 증가하여 대규모 수해를 발생시킬 수 있는 잠재적인 위험성이 높아지고 있다.

최근 이상홍수 등으로 인하여 재해가 빈번히 발생하고 있으므로 이상홍수에 대한 변화

* 한국농어촌공사, 새만금경제자유구역사업단 (mrkim97@ekr.or.kr)

** 충북대학교, 지역건설공학과 (maeng@cbnu.ac.kr)

요인 및 홍수저감 방안을 종합적으로 검토할 필요성이 대두되고 있다. 태풍 '루사' 시 강릉 관측소의 관측 최대 일 강우량은 870.5mm로 기왕최대 기록 일 강우량 305.5mm의 2.9배에 달하였으며 장현, 동막저수지의 붕괴 및 오봉저수지 붕괴 위험으로 11만 2천명이 대피하는 등 막대한 손해가 발생하였다.

태풍 '루사'에 의한 강릉지역의 피해 원인은 설계빈도 이상의 강우 발생 및 시설 노후화, 방수로 단면부족 및 홍수대비 사전 방류시설이 전무하였기 때문으로 분석되었다.

농업용 저수지로 인한 손해도 빈번히 발생하고 있어서 농업용 저수지에 대한 설계기준도 상향 조정되었다. 과거 1969년 이전에는 여수로 규모를 100년 빈도홍수량으로 설계하였으며, 1982년도 개정에서는 200년 빈도홍수량을 대상으로 여수로를 설계하도록 설계기준이 변경되었다. 피해정도에 따라 최대가능홍수량을 반영하여 설계하도록 개정 「재해대비 수리시설 설계기준 개정(2003, 농림부)」 되었으나 농업용 저수지의 54%가 1945년 이전에 축조되었고 대부분이 1980년대 이전에 설계되어 2003년 변경된 설계기준을 적용할 경우 거의 모든 저수지가 현재의 설계기준에 미달되게 계획되어 최근의 이상홍수에 대한 변화요인 및 홍수저감 방안을 검토, 대처할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 최근의 강우현상이 반영된 수문자료를 사용하여, 빈도별 확률홍수량 및 PMF를 분석하고 대상홍수에 대한 홍수추적을 수행하였다. 이들의 결과를 반영하여 기존 농업용 저수지의 여수로 방류능에 관한 수문학적 안정성을 재검토함으로써 향후 농업용 저수지 설계시 고려해야 할 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 대상저수지 및 분석모형

1. 대상저수지

본 연구에서는 충북에 위치한 농업용 저수지 중 PMF설계 대상 저수지인 유역면적 2500만㎡ 이상, 저수량 500만㎥ 이상의 저수지에서 총저수량이 가장 큰 백곡지를 분석 대상으로 하였다.

백곡저수지를 적용 대상으로 하여 확률강수량, 가능최대강수량, 강우의 시간적 분포, 홍수량 등의 수문량을 재 산정하였으며, 그에 따른 수문학적 안정성을 분석하였다.

2. 분석모형

분석모형은 한국농어촌공사에서 사용중인 농업용 저수지 치수관리시스템(Flood Control System for Reservoir, FCSR)모형을 사용하였다. 이 모형은 강우의 지속기간에 따라 많은 차이를 나타내게 되는 유역내의 침투홍수량과 총유입량에도 영향을 미치게 되는 저수지의 방류량을 모의하기 위하여 침투홍수량 기준과 총유입량 기준에 임계지속시간의 개념을 도입하였으며, 저수지추적을 연속적으로 시행, 수문분석결과를 제공하는 수문분석 프로그램이다.

FCSR은 임계지속시간을 고려한 강우지속시간별 홍수량의 일괄 분석, 홍수량과 저수지운영 및 시설제원 등의 조합으로 구성된 시나리오를

표 1. 저수지 제원

유역면적 (만 ㎡)	총저수량 (만 ㎡)	홍수위 (EL.m)	만수위 (EL.m)	사수위 (EL.m)
8,479	2,175	100.1	100.1	83.0

작성할 수 있도록 설계되었다.

구성된 시나리오의 일괄 저수지 홍수추적과 임계지속시간 선정을 위한 홍수량 및 홍수위를 산정할 수 있는 특징을 가지고 있다.

FCSR은 크게 저수지정보 관리모델, 기상모델, 유역모델, 저수지 저류모델, 하류하천 홍수위 분석모델의 5개로 구성되어 있다. 23개의 입출력 관련 Form파일과 목적별 10개의 수문·수리계산 모듈로 구성되어 있다.

저수지정보 관리모델은 저수지의 이력, 저수지 검색, 저수지 세부제원 등의 자료를 관리·검색하기 위한 기본적인 모델이다.

기상모델은 홍수량 산정에 필요한 유역내 기상학적 인자를 목적에 맞도록 재구성하는 모델로써 설계강수량, 가능최대강수량, 강우분포율의 산정을 통하여 설계우량주상도를 작성하는 목적을 가지고 있는 모델이다. 강우의 시간적분포 방법으로 Huff분포와 Yen & Chow 방법을 적용할 수 있다.

유역모델은 유역내 홍수유출량을 산정하기 위한 모델로써 기상모델에서 작성된 자료를 바탕으로 저수지 유역에서 저수지로의 홍수유입량을 산정한다. 실무에 주로 적용되는 3가지(Clark 유역추적법, SCS 무차원단위도, Nakayasu 종합단위도) 단위도를 이용하여 유역의 유출량을 산정할 수 있다.

저류모델은 유역모델과 연계되어 산정한 홍수량을 저수지 유입량으로 적용하여 저수지 운영 시나리오에 따라 저수지의 저류분석을 수행할 수 있도록 되어 있다.

강우현상은 기상 및 지형적인 요소에 의하여 시시각각 변화하기 때문에 이를 정확하게 예측하거나 파악하기는 매우 어렵다. 따라서 수문학적인 강우해석이란 과거 해당지점의 관측자료를 근거로 통계학적인 기법을 이용하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 일반적으로 사용되고 있는 강우빈도 해석절차에 의해 빈도분석을 실시하고 적합도 검정기법에 의하여 최적분포형을 선정한 결과인 「한국 확률강우량도의 작성(2000, 건설교통부)」에서 전국적으로 가장 적합한 분포형으로 알려진 Gumbel 분포형을 본 저수지 유역의 적정확률분포형으로 채택하였다.

산정된 재현기간별 확률강우량은 표 2와 같다.

2. 가능최대강수량(PMP) 산정

대규모 수공구조물의 파괴는 소규모 수공구조물과는 달리 막대한 경제손실, 대규모 인명피해 등 극심한 사회, 경제적 피해를 유발시킬 수 있기 때문에 많은 나라에서는 사실상 초과위험이 없는 홍수량을 기본으로 구조물을 설계하고 있으며, 이때 사용되는 홍수량을 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood, PMF)이라 한다. 이 PMF는 가능최대강수량(Probable Maximum Precipitation, PMP)과 강우-유출 관계에 의하여 추정된다.

가능최대강수량(PMP, Probable Maximum

Ⅲ. 분석결과

1. 확률강우량 산정

표 2. 재현기간별 1일 확률강우량

관측소	지속시간	재현기간별 확률강우량(mm)			
		50yr	80yr	100yr	200yr
청주	1일	261.2	281.7	291.4	321.5
보은	1일	348.3	379.0	393.5	438.5

표 3. 강우지속시간별 PMP

지속시간 (hr)				
1	2	6	12	24
115.0	199.0	425.0	594.0	756.0

Precipitation) 추정은 수공구조물의 치수적 안정성 측면을 고려하여 최근 발생한 태풍「루사」등을 반영시켜 재작성한 「한국가능최대강수량도(2005, 건설교통부)」를 이용하여 본 저수지 지점의 PMP를 추정하였다.

3. 강우의 시간적 분포 산정

특정지속시간에 대한 총강우량을 지속시간에 따라 배분하는 것을 강우의 시간적 분포라 하며 확률강우량 같은 설계강우의 경우에는 시간적인 분포를 알 수 없으므로 인위적으로 분포시키는 방법을 적용하게 된다. 이러한 시간분포는 설계 홍수량의 수문곡선 모양과 첨두홍수량에 많은 영향을 미치므로 신중하게 적용해야 한다.

홍수량 산정을 위한 강우의 시간별 분포는 실측강우량을 토대로 「지역적 설계강우의 시간별 분포(2000, 건설교통부)」에서 분석한 Huff 4분위법을 적용하여 호우사상에 대한

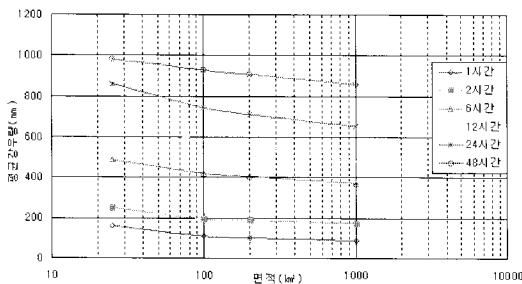


그림 1. 강우깊이-유역면적 포락 및 균일화

표 4. 무차원누가곡선의 회귀계수

구분	청주	보은
a	-3.50571895043833E-09	-3.26960783955234E-09
b	1.10892722354907E-06	1.03152337747672E-06
c	-1.27657773866465E-04	-1.18471342250459E-04
d	6.15595390304863E-03	5.71374090815548E-03
e	-9.71216868047042E-02	-9.15563274554030E-02
f	0.974825210589497	1.03206880041985E+00
g	-0.021740146219674	3.21060085540790E-02

강우지속시간 및 총강우량에 무차원 누가곡선으로부터 다항회귀분석을 통하여 6차식의 무차원누가곡선식을 유도하여 산정하였다.

호우사상에 대한 강우지속시간 및 총강우량에 무차원 누가곡선으로부터 다항회귀분석을 통하여 유도된 6차식의 무차원누가곡선식은 표 4와 같으며, 지속 시간에 대한 시간비율 및 누가 강우비율을 나타내면 그림 2 및 그림 4와 같다.

$$Y = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + cx^2 + fx + g$$

여기서, Y : 무차원 강우량(%)

x : 무차원 강우지속기간(%)

a, b, ……., g : 회귀계수

기왕의 강우자료에 대한 통계해석을 통해 4개의 첨두위치에 따라 강우의 시간적 분포에

표 5. 지속시간별, 구간별 호우발생수 (청주관측소)

지속시간 (hr)	1-ST	2-ND	3-RD	4-TH	합 계
0~6	88	76	72	56	292
7~12	70	64	65	65	264
13~18	39	44	44	27	154
19~24	24	30	24	14	92
25~	23	32	31	17	103
Total	244	246	236	179	905
X > Mean	53	111	97	46	307
X ≤ Mean	191	135	139	133	598

표 6. Huff 분포의 분위별 누가우량곡선의 종거(50%구간, 청주)

분위	누가백분율 (%)	시간비율 (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
제1분위		0.0	22.0	46.2	63.3	73.4	77.7	82.4	88.4	92.5	96.8	100.0
제2분위		0.0	4.8	13.5	27.7	51.1	69.1	82.4	90.3	94.2	98.0	100.0
제3분위		0.0	3.6	8.8	14.2	21.8	35.0	52.3	76.2	90.6	96.9	100.0
제4분위		0.0	5.0	12.3	18.8	24.7	32.8	35.0	42.6	57.8	83.7	100.0

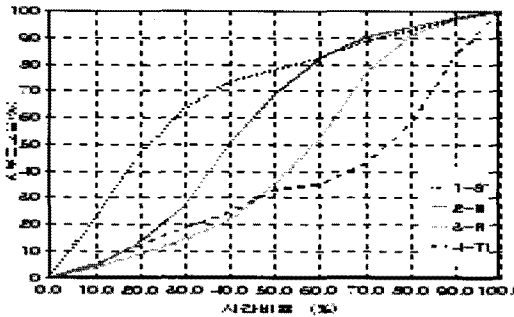


그림 2. 청주관측소의 무차원 누가곡선

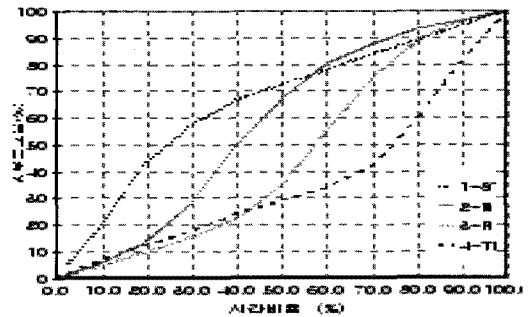


그림 4. 보은관측소의 무차원누가곡선

대한 발생빈도를 해석한 결과를 살펴보면 청주 관측소에서는 중호우의 발생빈도가 가장 큰 2구간 호우의 적용성이 가장 큰 것으로 판단되어 금회 분석시 Huff 2분위의 강우분포를 적용하였다.

누가우량 백분율에 대한 다항식은 회귀분석을 실시하여 편차가 가장 적게 발생하는 차수의

식을 채택하였으며, 분석지구의 강우관측 기록에 대한 분위별 누가우량곡선의 종거 및 누가우량곡선은 다음과 같다.

4. 홍수량 산정

홍수량은 지속시간별 홍수량을 산정하여 그 중

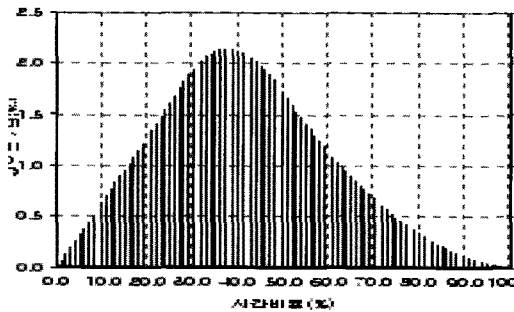


그림 3. 청주관측소의 시간별 강우분포율

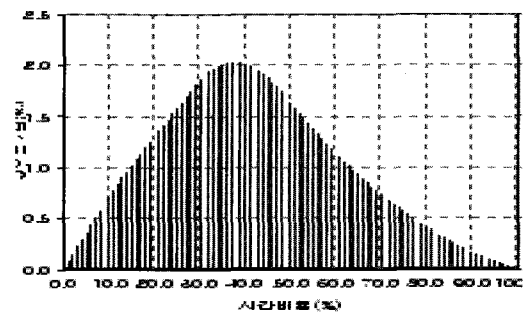


그림 5. 보은관측소의 시간별 강우분포율

표 7. 지속시간별, 구간별 호우발생수 (보은관측소)

지속시간 (hr)	1-ST	2-ND	3-RD	4-TH	합 계
0~6	91	70	39	43	243
7~12	71	51	51	42	222
13~18	40	24	31	17	125
19~24	15	18	19	11	82
25~	21	27	22	9	104
Total	238	190	162	122	712
X > Mean	65	81	69	34	249
X ≤ Mean	173	109	93	88	463

첨두홍수량이 가장 크게 나타나는 지속시간을 저수지유역의 입계지속시간으로 선택하여 설계 홍수량으로 결정하였으며 이 홍수량은 시설물의 보강계획 수립 등의 기초 홍수량으로 적용 할 수 있다.

5. 수문학적 안정성 분석

백곡저수지는 관리규정에 홍수경보체제시에 예비방류를 통하여 EL.98.1m로 낮추어 관리 하도록 되어 있어 이 수위를 초기수위로 가정 하였다.

또한 수문의 조작에 대하여는 설계홍수 및 PMF의 홍수유입량이 저수지의 극한 상황임을 고려하여 저수위변화에 따른 여수토의 배제능력 한도 내에서 방류할 경우의 첨두홍수위를 검토함으로써 저수지의 수문학적 안정성을 판단하였다. 검토 결과 표 10과 같이 현상 태에서 여유고가 부족한 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구에서는 저수지치수관리시스템(FCSR)을 사용하여 수위변화에 따른 방류량을 계산하고

표 8. Huff 분포의 분위별 누가우량곡선의 총거(50%구간, 보은)

분위	누가백분율 (%)	누가우량 (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
제1분위		0.0	20.1	43.3	57.3	66.7	72.4	77.8	83.9	88.6	94.5	100.0
제2분위		0.0	5.9	13.1	28.7	50.5	67.5	80.6	87.5	93.3	96.7	100.0
제3분위		0.0	4.6	9.8	15.4	22.4	34.5	55.4	75.0	88.9	96.1	100.0
제4분위		0.0	7.0	12.6	17.8	24.4	29.0	33.9	41.8	59.8	81.9	100.0

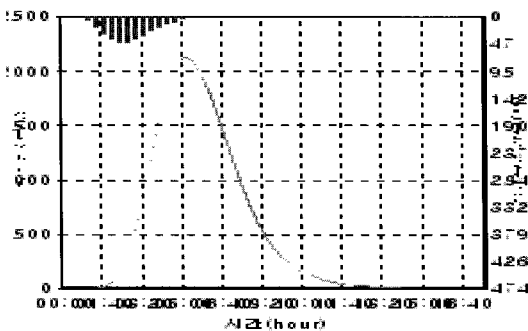


그림 6. 백곡저수지 PMF 수문곡선

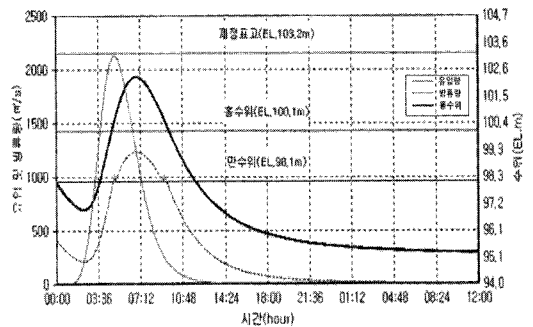


그림 7. PMF 유입시 수위-방류량 곡선

표 9. 계획홍수량 산정결과

(단위 : m³/s)

구 분	100년 빈도	200년 빈도	계획홍수량
설계당시	-	736	883 (200년빈도홍수량×1.2)
금 회	734.0	825.8	2,189(PMF)

참고문헌

1. 건설교통부(2000), 지역적 설계강우의 시간별 분포.
2. 건설교통부(2000), 한국 확률강우량도의 작성.
3. 건설교통부(2005), 한국 가능최대강수량도.
4. 농림부(2003), 재해대비 수리시설 설계기준 개정.

표 10. 수문학적 안정성 분석 결과

초기수위 (EL.m)	최고홍수위 (EL.m)	현 제정고 (EL.m)	검토 제정고 (EL.m)	안정성 평가
98.1	102.3	103.2	104.3	여유고 부족

백곡저수지의 홍수위를 추적함으로써 저수지의 수문학적 안정성을 검토하였다.

PMF에 의한 최고수위가 제체를 월류하지 않고 충분한 여유고를 가질 경우 수문학적으로 안정성이 있는 것으로 판단할 수 있으며, 그렇지 못할 경우에는 수문학적으로 문제점이 있는 것으로 판단할 수 있다.

또한 수문의 조작에 대하여는 설계홍수 및 PMF의 홍수유입량이 저수지의 극한 상황임을 고려하여 저수위 변화에 따른 여수토의 배제능력 한도 내에서 방류할 경우의 침투홍수위를 검토함으로써 저수지의 수문학적 안정성을 판단하였다.

백곡 저수지의 수문학적 안정성 검토결과 안정성을 확보하지 못하는 것으로 분석되어 안정성 확보를 위해 여수로 확장 등 구조적 대책이나 최적의 조절방류 등 비구조적 대책이 필요한 것으로 분석되었다. 또한 하류하천의 일부 여유고 부족구간은 지속적인 하천정비기본계획을 시행하고, 근본적으로 하류 하천연안 지역의 홍수피해를 방지하기 위해서는 치수빈도를 높이는 등 별도의 제방보강이 필요한 것으로 판단된다.