

저수지 재해대비 보강설계를 위한 PMF의 적용

Application of PMF on Reinforcement Design of Agricultural Reservoirs against Disaster

장 중 석* · 정 진 호 · 배상수 (농업기반공사)

Jang, Jung Seok · Chung, Jin Ho · Bae, Sang Su

Abstract

This study considers that hydrologic stability evaluation of agricultural reservoirs designed by past standards and approximate increase methods of flood control when PMF(Probable maximum flood) flows in.

I. 서 론

농업용 저수지의 대부분은 시설물 설치년도가 오래되고 과거의 설계기준에 의하여 축조되어, 홍수배제능력이 부족하고 재해에 취약한 편이다. 홍수배제 시설인 여수토의 설계기준을 살펴보면 1945년 이전에는 토언제의 경우 100년 빈도로 설계된 것이 대부분이며, 1960년대에는 100년빈도 확률홍수량에 1.2배를 곱한 값을 1970년대에는 200년빈도, 1980년대 이후에는 200년 빈도 확률홍수량에 1.2배를 곱한 값을 적용하도록 점진적으로 상향되어 왔지만 태풍 「루사」에서 보듯 가능 최대홍수량(PMF) 수준의 이상홍수에는 매우 취약할 수밖에 없다.

최근의 이상홍수에 대비하기 위하여 정부에서는 2003년 재해대비 수리시설물 설계기준을 개정 한바 있으며, 재해대비 보강사업을 위한 기초자료를 확보하기 위하여 저수지에 대한 계획수문량 재검토를 위한 수문조사를 추진하고 있고, 저수지의 붕괴 등에 대비하여 하류 주민의 생명과 재산을 보호하기 위한 저수지 비상대처계획(EAP)수립을 연차별로 추진하고 있다.

개정된 재해대비 수리시설물 설계기준에서는 일정규모 이상의 저수지에 대해서는 지금까지 200년 빈도 확률강우량으로 설계한 것을 가능최대홍수량(PMF)를 적용하여 설계하도록 하고 있다. 그러나 농업용 저수지에 대해서는 PMF에 대해 설계한 경험이 없기 때문에 설계자에 따라 많은 편차가 발생하고 있으며 잘못 적용하고 있는 사례도 종종 볼 수 있다.

본 연구에서는 농업용 저수지에 대한 수문학적 안정성 검토와 치수능력증대 방안을 강구하기 위하여 추진중인 저수지 계획수문량 재검토 수문조사 결과를 토대로 과거 기준으로 설계된 대표적인 농업용 저수지 10개소를 선정하여 PMF 유입시 수문학적으로 안정한지 여부를 검토하고, 수문학적으로 문제가 있는 저수지에 대한 개략적인 치수능력증대방안을 고찰해보고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대표 저수지의 선정

PMF에 대한 수문학적 안정성을 검토하기 위한 저수지는 기흥 및 이동저수지 등 10개소를 선정하였으며, 각 저수지에 대한 운영수위 및 홍수배제시설인 여수토의 설계현황을 살펴보면 <표 1>과 같다. 이 중 고삼저수지는 안성천 수계 상류에 위치하고 있으며, 유역면적은 7,100ha이고 수해면적은 2,996ha로서 유효저수량은 1,515만^m이다. 홍수배제시설인 여수토는 측구식과 문비식의 복합구조로 되어 있으며, 고평저수지는 유역면적이 2,590ha이고 총저수량은 8,383천^m으로서 댐형식은 중심 Core형 필댐이고, 여수토는 Siphon구조(2.5×7련)로 되어있다. 고삼 및 고평저수지의 여수 토 전경은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 고산 저수지 및 고풍저수지의 여수토 전경

<표 1> 저수지별 설계 제원의 검토

순번	저수지명	저수지 운영수위(EL.m)					제정고 (EL.m)	여수토 방류시설 현황	
		사수위	익류언	만수위	홍수위	홍수기 제한수위		형 식	제 원
1	고 삼	42.5	49.7	54.1	53.7	51.9	55.6	측구식 Gate	L = 146m 4.0(B)×3.0(H)×5련
2	기 흥	36.0	42.5	46.0	47.3	-	49.0	Gate	8.5(B)×5.3(H)×4련
3	이 동	33.3	40.5	45.0	46.1	-	49.5	Gate	6.0(B)×5.0(H)×5련
4	백 곡	83.0	95.1	100.1	100.1	98.1	103.2	Gate	9.5(B)×5.7(H)×4련
5	고 풍	62.0	85.0	85.0	85.3	83.7	89.2	사이편	2.5(D)×7개
6	대 아	80.0	113.0	120.0	120.0	118.0	123.0	Gate	8.6(B)×7.0(H)×3련
7	구 이	47.0	61.5	-	63.2	-	64.3	측구식	L = 140m
8	달 창	55.0	68.3	-	68.6	-	71.0	Gate	6.5(B)×9.1(H)×2련
9	나주댐	41.0	63.9	-	63.9	62.9	67.5	Gate	9.5(B)×6.0(H)×4련
10	장성댐	64.0	86.5	-	86.5	85.5	90.5	Gate	9.2(B)×7.8(H)×3련

2. 확률강우량 및 가능최대강수량의 산정

저수지별 수문학적 안정성을 검토하기 위하여 확률강우량 및 가능최대강수량(PMP)을 산정하였다. 확률강우량은 「한국확률강우량도의 작성(건설교통부, 2000)」에서 전국적으로 가장 적합한 분포형으로 알려진 Gumbel법을 적용하였으며, 가능최대강수량은 「한국가능최대강수량도(건설교통부, 2000)」를 이용하여 산정하였다. 각 저수지별 확률강우량은 <표 2>와 같다.

<표 2> 저수지별 확률강우량 및 가능최대강수량 산정결과

(단위 : mm)

저수지명	200년	PMP	저수지명	200년	PMP
고 삼	369.1	807.0	대 아	308.7	705.0
기 흥	369.1	848.0	구 이	308.7	765.0
이 동	369.1	796.0	나주댐	311.7	867.0
백 곡	322.7	756.0	장성댐	311.7	748.0
고 풍	313.7	880.6	달 창	247.3	837.0

3. 확률홍수량 및 가능최대홍수량의 산정

확률홍수량 및 가능최대홍수량을 산정하기 위한 홍수도달시간은 유역의 경사 및 지표면의 특성에 따라 Kerby 방법과, California Culvert Practice(1942) 공식을 적용하였으며, 수치토지이용 현황도 및 수치토양도를 이용하여 수문학적인 토양군을 분류하고 유역의 홍수량에 직접적인 영향을 미치는 유출곡선지수는 SCS방법으로 산정하였다.

강우의 시간적 분포는 실제강우량을 토대로 「지역적 설계강우의 시간별 분포(2000. 6, 건설교통부)」에서 제시한 Huff 4분위법을 적용하였으며 임계지속시간을 고려하기 위하여 분석된 24시간 확률강우량을 「한국확률강우량도의 작성(2000, 건교부)」의 IDF 분포자료를 적용하였다.

확률홍수량은 금회 과업에서 구축된 저수지 치수관리시스템(FCSR)을 이용하였으며 적용된 합성단위도는 SCS 무차원단위도이다. 이와 같은 방식을 적용하여 산정한 저수지별 설계홍수량은 <표 3>과 같다.

<표 3> 저수지별 확률홍수량 가능최대홍수량 산정결과

(단위 : m³/s)

저수지명	유역면적 (ha)	유달시간 (hr)	유출곡선지수	설계당시 홍수량	안전진단시 검토 홍수량		금회 검토 홍수량	
					200년	PMF	200년	PMF
고 삼	7,100	4.6	85	646.6	347.1	-	691.0	1,166.3
기 흥	5,300	2.5	89	958.0	678.9	-	738.7	1,798.3
이 동	9,300	4.9	81	833.0	1,173.3	-	832.7	2,017.8
백 곡	8,479	3.4	81	-	1,280.0	2,878.0	825.8	2,132.5
고 풍	2,590	2.3	83	-	249.7	402.6	280.1	973.9
대 아	2,713	2.0	90	548.5	588.4	2,542.0	974.7	2,316.5
구 이	6,210	4.4	87	972.0	549.5	-	565.7	1,376.9
나주댐	8,460	3.6	84	1,040.0	320.4	766.5	824.7	2,402.6
장성댐	12,280	4.5	91	572.0	-	2,164.6	1,196.3	2,734.3
달 창	5,630	3.8	87	-	526.1	-	435.6	1,553.7

금회 확률홍수량 및 가능최대홍수량 산정결과를 설계당시, 안전진단시 검토되었던 결과와 비교하면 일부 저수지에 대해서 많은 차이를 나타내고 있는 것을 알 수 있으며, 이는 설계강우량의 증감 또는 산정방법의 차이에 기인한 것으로 보여진다. 설계당시 및 안전진단 검토시에는 강우분포율은 IDF 분포곡선을 적용하였지만 금회분석에서는 Huff 분포를 적용하였으며, 당초에는 임계지속시간을 고려하지 않았으나 금회분석에서는 임계지속시간을 고려하였다.

대아저수지의 경우 200년빈도 확률강우량이 548.5m³/s에서 974.7m³/s으로 1.8배가 증가한 반면, 구이저수지는 972.0m³/s에서 565.7m³/s으로 오히려 감소한 것으로 나타났다. PMF의 경우 설계당시에는 검토되지 않았지만 안전진단시 검토되었던 결과와 비교하면 일부 저수지에서 큰 차이를 보이고 있으며, 고평저수지의 경우 402.6m³/s에서 973.9m³/s으로 2.4배가 증가하였으며, 나주댐의 경우에도 766.5m³/s에서 2,402.6m³/s으로 증가하였다.

또한 당초 설계홍수량인 200년빈도 홍수량과 PMF를 비교하면 10개 저수지 평균 2.6배가 많은 것으로 산정되었으며, 200년 빈도에 1.2배를 곱한 것과 비교하여도 평균 2.2배가 많은 것으로 나타나 PMF를 적용할 경우 유입홍수량의 증가로 저수지 안정성을 저해할 것으로 추정된다.

III. 결과 및 고찰

1. 수문학적 안정성 평가

저수지의 수문학적 안정성은 제체의 형식, 여수토의 구조 등을 고려하여 검토되어야 하며, 저수지의 저류분석 결과 PMF 유입시 최고수위가 제체를 월류하지 않고 충분한 여유고를 가질 경우 PMF에 대하여 수문학적으로 안정성이 있는 것으로 판단할 수 있다.

PMF에 대한 수문학적 안정성 검토 결과 10개 저수지중 안정성이 있는 것으로 평가되는 저수지는 나주댐 1개소에 불과 것으로 나타났으며, 기흥 저수지 등 3개소는 제당을 월류할 가능성이 있는 것으로 분석되었고, 나머지 6개소는 제당을 월류하지는 않지만 여유고가 부족하여 수문학적 안정성이 없는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 볼 때 대부분의 농업용 저수지는 PMF에 대하여 여유고가 부족하거나 제당 월류 등으로 수문학적 안정성이 결여된 것으로 추정할 수 있어 이상홍수 등에 대비한 재해대비 보강이 필요한 것을 알 수 있다.

<표 4> 저수지별 PMF에 대한 수문학적 안정성 평가 결과

순번	저수지명	첨두홍수량 (m ³ /s)	최대방류량 (m ³ /s)	최고홍수위 (EL.m)	현 제정고 (EL.m)	검토 제정고 (EL.m)	안정성 평가
1	고 삼	1,669.3	1,367.3	54.5	55.6	56.5	여유고 부족
2	기 흥	1,798.3	875.6	49.1	49.0	51.2	제당 월류
3	이 동	2,017.8	898.6	48.1	49.5	50.2	여유고 부족
4	백 곡	2,132.5	1,230.6	102.3	103.2	104.3	여유고 부족
5	고 풍	973.9	346.1	90.5	89.2	92.0	제당 월류
6	대 아	2,316.5	1,269.4	122.7	123.0	124.5	여유고 부족
7	구 이	1,376.9	1,244.7	64.2	64.3	65.8	여유고 부족
8	달 창	1,553.7	860.5	71.3	71.0	73.4	제당 월류
9	나주댐	2,402.6	1,052.8	64.2	67.5	66.6	안정
10	장성댐	2,734.3	1,219.4	87.8	90.5	91.0	여유고 부족

2. 치수능력 증대방안

수문학적 안정성 검토결과 안정성이 부족한 저수지는 치수능력을 증대시키기 위한 다양한 방안을 검토할 필요성이 있다. 저수지의 치수능력을 확보하기 위한 비구조적 방법으로는 홍수기 제한수위 재설정 운영, 예비방류를 통한 탄력적 저수지 운영, 주변 저수지와 연계 운영 등의 방법이 있으며, 구조적 방법에는 제체 승상방안, 여수토 확장 등의 방법이 있다.

본 연구에서는 10개 저수지 중 고삼저수지와 제당 월류가 우려되는 고평저수지를 대상으로 치수능력 증대방안을 검토하였으며 검토결과는 다음과 같다.

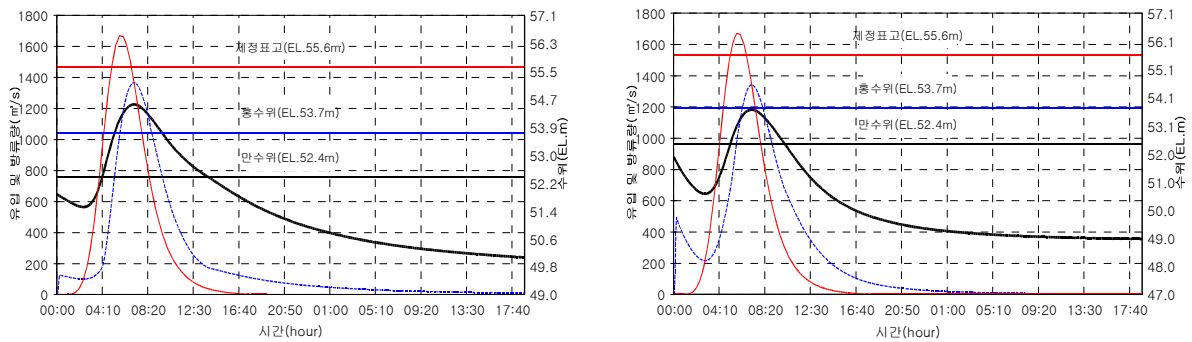
가. 고삼저수지

고삼저수지의 경우 PMF에 대한 수문학적 안정성이 부족하므로 구조적 방법과 비구적인 방법에 의한 치수능력 증대방안을 검토한 결과 현지여건 등을 감안할 경우 수문을 추가 설치하는 방안이 가장 효과적인 것으로 검토되었다.

현재의 측구식 여수토상에 수문(4.0m × 3.8m × 10련)을 추가설치 하면 현재의 계획홍수위인 EL.53.7m 이하로 설계홍수위를 유지할 수 있는 것으로 분석되었으며, 이상홍수에 대한 여유고 1.9m를 확보할 수 있으므로 수문학적으로 안정성이 있는 것으로 평가된다. 검토결과를 요약하면 <표 5>과 같으며, 치수능력 증대방안 적용 전·후의 홍수유입량·방류량·홍수위 곡선을 나타내면 <그림 2>와 같다.

<표 5> 고삼저수지 치수능력 증대방안 검토 요약

치수능력 증대방안	분석제원(m)		최대방류량(m ³ /s)		최고 홍수위 (EL.m)	안정성 평가
	측구식	Gate	측구식	Gate		
수문10련 추가신설	L=96m(기설)	4.0×3.0× 5련(기설) 4.0×3.8×10련(신설)	287.2	1,054.3	53.6	설계 홍수위를 0.1m 초과하나 안정



<그림 2> 고삼저수지 치수능력증대 방안 적용 전·후 수위-방류량 곡선 비교

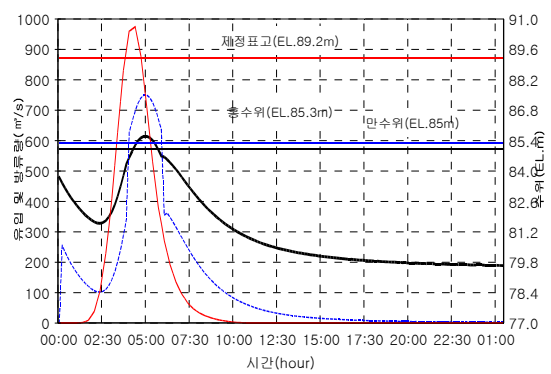
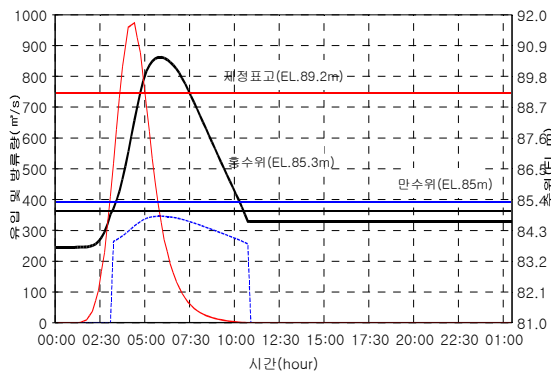
나. 고풍저수지

고풍저수지는 PMF에 대한 수문학적 안정성이 부족하므로 수문의 신설을 통한 치수능력 증대방안을 검토하였으며 현재의 사이편식 여수토에 추가로 수문(8.0×6.7×2련)을 신설하면 현재의 계획홍수위인 EL.85.3m 정도로 이상홍수위를 유지할 수 있는 것으로 분석되었으며 이상홍수에 의한 여유고 4.9m를 확보할 수 있으므로 수문학적으로 안정성이 있는 것으로 평가된다.

분석결과를 요약하면 <표 6>과 같고 고풍지의 경우 여수토의 형식이 사이편으로 설계되어 홍수위 이상의 여유고를 다른 형식의 여수토를 가진 필댐 보다 높게 적용한 것으로 생각되며 홍수위 조정 등을 통하여 경제적인 규모를 검토할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

<표 6> 고풍저수지 치수능력 증대방안 검토 요약

치수능력 증대방안	분석제원(m)	최대방류량(m ³ /s)		최고 홍수위 (EL.m)	안정성 평가
		사이편	Gate		
수문3련 추가신설	사이편 D2.5×7련(기설) 8.0×6.7×2련(신설)	273.3	476.2	85.6	설계 홍수위를 0.3m 초과하나 여유고 충분



<그림 3> 고풍저수지 치수능력증대 방안 적용 전·후 수위-방류량 곡선 비교

IV. 결 론

농업용 기설저수지 10개소를 대상으로 PMF에 대한 수문학적 안정성을 검토하고 수문학적 안정성이 부족할 경우 치수능력을 증대하기 위한 방안을 고삼저수지와 고풍저수지를 예로 들어 검토하였다.

PMF에 대한 수문학적 안정성 검토 결과 10개 저수지중 안정성이 있는 것으로 평가되는 저수지는 나주댐 1개소에 불과 것으로 나타났으며, 기흥 저수지 등 3개소는 제당을 월류할 가능성이 있는 것으로 분석되었고, 나머지 6개소는 제당을 월류하지는 않지만 여유고가 부족하여 수문학적 안정성이 없는 것으로 나타났다.

한편, 고삼저수지에 대한 치수능력 증대방안을 검토한 결과 현지여건 등을 감안할 경우 수문을 추가 설치하는 방안이 가장 효과적인 것으로 검토되었으며, 현재의 측구식 여수토상에 수문(4.0m × 3.8m × 10련)을 추가설치 하면 현재의 계획홍수위인 EL.53.7m 이하로 설계홍수위를 유지할 수 있어 수문학적으로 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

또한, 고풍저수지는 PMF에 대한 수문학적 안정성이 부족하므로 현재의 사이편식 여수토에 추가로 수문(8.0×6.7×2련)을 신설하면 현재의 계획홍수위인 EL.85.3m 정도로 이상홍수위를 유지할 수 있는 것으로 분석되었으며 이상홍수에 의한 여유고 4.9m를 확보할 수 있으므로 수문학적으로 안정성을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

이상의 결과로 볼 때 대부분의 농업용 저수지는 PMF에 대하여 여유고가 부족하거나 제당월류 등으로 수문학적 안정성이 결여된 것으로 추정할 수 있어 이상홍수 등에 대비한 재해대비 보강이 필요한 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 농어촌진흥공사, 1998, 고삼저수지 농업기반시설 정밀안전진단보고서
2. 농림부, 2002, 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편)
3. 농림부, 2003, 재해대비 수리시설 설계기준