

측수로형 여수로의 홍수배제능력증대를 위한 월류부 개축방안에 관한 연구

A Study on Reconstruction Models of Side-channel Spillway for Discharge Capacity Improvement

박 세 훈* / 문 영 일**

Park Sae-Hoon / Moon Young-II

Abstract

The small and medium sized dams have the fill dam type of a lot of occasions, which are often weak in cases of major floods. For this reason, although a countermeasure is in great need, due to the importance of the facilities and financial situations, no direct safety measures have been taken. In this study, in order to minimize construction expenditure for practical safety measures in cases of major floods, the overflow section of spillway has been analyzed focusing on how the overflow capacity will increase in the case of partially rebuilding a part of the overflow section of spillway favorable for hydraulic conditions. The labyrinth weir and movable weir was chosen for reconstruction models of the overflow section. Moreover, for analyzing the after-effects of the reconstruction, a small scale dam was temporarily chosen for various experiments such as the hydraulic model testing and the three dimension numerical evaluation through the use of Flow-3D.

key words : small and medium sized dams, side-channel spillway, labyrinth weir, movable weir, submergence, discharge capacity improvement

요 지

대부분의 중규모 이하 댐은 홍수에 취약한 필댐으로 대책마련이 시급한 상황이나 시설물의 중요도 및 예산형편 등을 이유로 안전의 사각지대에 놓여있다. 이러한 문제점에 대한 현실적인 대책으로 여수로 월류부만을 부분 개축할 경우 방류능력을 어느 정도 증대시킬 수 있는지 분석하였다. 월류부 개축모형은 래버린스 웨어(labyrinth weir)와 가동 웨어를 선정하였고, 소규모 댐을 임의 선정하여 수리모형실험과 Flow-3D를 이용한 3차원수치해석을 통해 월류수심별 방류량을 산정하였다. 개축모형별 개선효과를 분석하기 위하여 빈도별 확률홍수량과 가능최대홍수량(PMF)을 산정하였고, 저수지홍수추적을 실시하여 개축 전·후의 최고수위를 비교하였다.

핵심용어 : 중·소규모 댐, 측수로형 여수로, 래버린스 웨어, 가동 웨어, 잠류현상, 방류능력증가

* 한국시설안전기술공단 수리시설실 팀장 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정
(e-mail: shpark@kistec.or.kr)

** 정회원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수

1. 서론

최근 지구온난화에 따른 기상이변으로 집중호우가 빈번하게 발생하고 있고, 강우량 또한 커지고 있어 매년 홍수로 인한 피해규모가 늘어나고 있다. 이러한 홍수대책의 일환으로 최근에 다목적댐을 비롯한 대규모 댐 시설물에 대해서는 보조여수로 신설, 상류에 홍수 조절용 댐 신설, 여수로 확장 및 댐 중공 등의 치수능력증대사업이 단계적으로 추진되고 있다. 반면에 전국 18,000여개에 달하는 중규모 이하 댐들의 경우 대부분 월류에 취약한 필댐 형식이고 과거 설계기준에 의해 건설되어 홍수방어능력이 부족함에도 불구하고 예산부족 또는 관심부족 등의 이유로 안전의 사각지대에 놓여 있는 것이 현실이다. 따라서 중규모이하 댐들에 대한 홍수대책방안을 수립하는 것이 시급한 과제이나 문제는 대규모 댐들에서 시행되고 있는 치수대책들은 경제적인 부담이 크고 환경훼손이 수반되기 때문에 시행하는데 어려운 점이 있다는 것이다.

댐의 치수능력증대에 관한 기존 연구를 살펴보면, 최근 기상이변 등에 따라 빈번히 발생하는 이상홍수에 대한 적극적인 대응을 하기 위하여 건설교통부에서는 댐의 수문학적 안정성 검토 및 치수능력 기본계획(2004)을 수립하여 다목적댐 13개소와 용수댐 8개소에 대하여 수문학적 안정성을 평가하고 그 결과에 따라 댐의 치수능력 확보를 위해 가능한 구조적, 비구조적 방안을 제시하고 방안별 타당성을 비교 검토하였으며, 문영일 등(2002)은 신규 댐 건설과 기존 댐 재개발의 저수용량을 기준으로 하여 경제성을 비교 분석하였다.

치수능력증대방안 중 국내에서 시공된 사례가 없는 래버린스 여수로(labyrinth spillway)의 효과를 분석해보기 위해 최태훈(1988)은 웨어의 기하학적 매개변수와 흐름조건을 변화시켜 차원해석과 수리모형실험을 수행하여 이러한 매개변수와 유량비, 효율과의 관계를 도표화하고 수자원의 치수를 위한 설계에 기본 자료를 제시하였다. D. Yildiz와 E. Uzucek(1997, Tuckey)는 수리모형실험을 통해 Ungated 여수로와 래버린스 여수를 비교하여 증대효과를 비교해 보았으며, J. Paul Tullis와 David Waldron(1994)는 수리모형실험과 수치해석을 수행하여 래버린스 여수로의 중요한 매개변수인 측벽각과 수두비율간의 관계를 비교 분석함으로써 설계시의 수두비율의 상한 값을 제시하였다.

본 연구에서는 필요충분하지는 않지만 사업비를 최소화할 수 있는 홍수대책을 강구하고자 여수로의 부분

개축을 통해 홍수배제능력을 증대시킬 수 있는 방안을 강구함으로써 치수 및 경제적인 측면에서 현실적인 대안을 제시하고자 하였다. 분석방법은 우선 개축모형을 시험적용하기 위한 댐을 선정하여 기존의 선형 웨어, 가동 웨어 및 래버린스 웨어(labyrinth weir) 등 3개 웨어 형식에 대하여 수리모형실험과 Flow-3D를 이용한 3차원수치해석을 통해 월류 수심별 방류량을 분석하였다. 최종적으로 해당구역의 빈도별 홍수량과 PMF를 산정한 후, 실험에서 구한 수위별 방류량 곡선을 이용하여 저수지홍수추적을 실시함으로써 개축 전·후의 최고수위 변화를 비교 분석하였다.

2. 실험을 통한 웨어 형식별 방류능력 분석

2.1 시험적용 댐의 선정

2002년 현재의 농업용 저수지는 표 1에서 보는바와 같이 전국에 모두 17,820개소가 있는데 유효저수량을 기준으로 분류해보면 10만 m³미만의 소규모 저수지가 전체 저수지의 88.7 %를 차지하고 있으며, 50만 m³규모의 저수지가 6.9 %, 전체의 95.6 %가 100만 m³이하의 저수지로 분석되었다. 1,000만 m³ 이상의 저수지는 40개소로서 전체 저수지의 0.2 %에 불과하다.

개축모형별 방류능력 개선효과를 분석하기 위해서는 개축모형을 시험적용 할 시설물이 필요한데 저수용량이 너무 적으면 저수지홍수추적을 통한 최고수위 산정이 곤란하므로 중규모에 해당하는 댐 중에서 임의로 선정하였다. 시험적용 댐은 유효저수용량이 300만 m³이고, 측수로형 여수로가 있는 댐으로 주요 제원은 표 2와 같다.

2.2 래버린스 웨어의 적용

래버린스 웨어는 주기적인 반복으로 이루어진 다각형 평면을 갖는 것이 특징이다. 그러므로 일정한 여수로의 폭에 대하여 긴 웨어길이를 확보할 수 있어서 선형 측수로식 여수로에 비해 방류량을 증대시킬 수 있는 장점이 있다. 래버린스 웨어의 유량 관계식은 다음과 같은 식 (1)로 표현된다.

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} h^{1.5} \quad (1)$$

여기서, Q는 웨어를 통해 배제되는 유량, L은 웨어의 총 길이, 또는 물넘이의 폭, h는 총 수두, 또는 웨어 정부를 넘어가는 흐름의 수심(수심과 속도 수두의

표 1. 농업용 저수지 유효저수량별 시설현황

구 분	소 계	10만 m ² 미만	50만 m ² 미만	100만 m ² 미만	200만 m ² 미만	500만 m ² 미만	천만 m ² 미만	천만 m ² 이상
개소수	17,820	15,798	1,235	371	230	123	23	40
%	100.0	88.7	6.9	2.1	1.3	0.7	0.1	0.2

* 자료 : 농업생산기반정비사업 통계연보(2003, 농림부 · 한국농촌공사)

표 2. 시험적용 댐의 주요 제원

시 설		내 용	단 위	설계제원	비고
저수지	면 적	유역면적	km ²	11.30	
	저 수 량	총저수량	만m ³	390	
		유효저수량	만m ³	300	
	관리수위	홍수위	EL.m	66.0	
		만수위	EL.m	64.5	
사수위		EL.m	52.0		
제 당	댐형식			중심코어 필댐	
	제당표고		EL.m	68.0	
	댐 길이		m	240	
	댐 높이		m	29	
여수토 방수로	여수토	형식		측수로	
		여수토 길이	m	53	
		홍수량	m ³ /s	207	200년 빈도
	방수로	일류수심	m	1.5	
		방수로 길이	m	127.8	
		방수로 폭	m	10	

합), g 는 중력 가속도 그리고 C_d 는 유량계수이다. 위 식은 h 가 웨어 정부의 수두가 아닌 상류부의 접근수두인 것을 제외하고는 일반적으로 사용하는 웨어공식과 같은 형태이다. 이 경우 웨어의 유효길이는 $L_e = 2B + 4a$ 로 선형 웨어의 길이 W 에 비해 물이 월류되는 유효길이를 늘릴 수 있는 장점이 있다. 래버린스 웨어의 유량배제능력은 측벽길이(B) 및 각도(α), 웨어의 높이(P) 등 형상과 관련된 인자와 접근수두의 상태 등에 따라 차이를 보이며 방류량은 식(2)와 같은 함수로 표현된다.

$$Q = f(h/P, \alpha, L/W, L_d/B, \quad (2)$$

approach flow condition)

래버린스 웨어의 상세도는 그림 1에서 보는 바와 같이, 측벽각도(α)는 간섭의 효과를 고려하여 25°로 하였고, 웨어의 벽두께는 가로세로비(aspect ratio)를 고려하여 3차원 격자망에서 인식할 수 있도록 0.9m로 하였다. 웨어의 높이(P)는 현 상태인 선형 여수로의 높이와 동일하게 유지하였다. W/P 는 수직

가로세로비(vertical aspect ratio)로 정의되며 2이하의 값을 가지는 경우 인접 측벽과의 수맥간섭효과로 래버린스 웨어의 효율이 급감하게 되므로 8이상의 값으로 하였고, 단면형상 입력변수인 α , a 및 B 의 값에 의해 래버린스 웨어 단면을 설계할 경우 유효길이(L_e)와 폭의 비인 배율(magnification)은 2.0으로 Taylor (1970)가 제시한 이상적인 배율 제한범위인

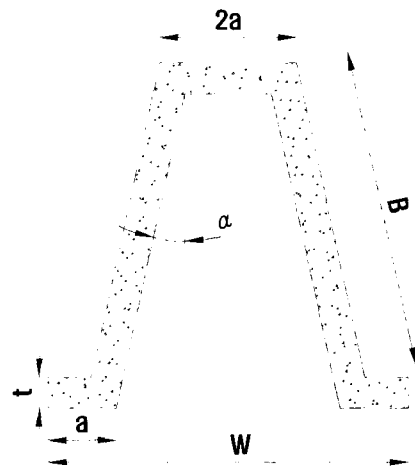


그림 1. 래버린스 웨어의 상세도

표 3. 곡선형 래버린스 웨어의 단면치수

Labyrinth 형상	α ($^{\circ}$)	a (m)	B (m)	t (m)	n	P (m)	L_e (m)	W (m)	W/P	배율 (L_e/W)
사다리꼴	25	1.32	9.31	0.9	5	1.5	24	12.0	8	2.0

$2 \leq L_e/W \leq 4$ 이내의 값을 갖도록 하였다. 표 3은 곡선형 래버린스 웨어의 단면치수를 상세히 제시한 결과이다.

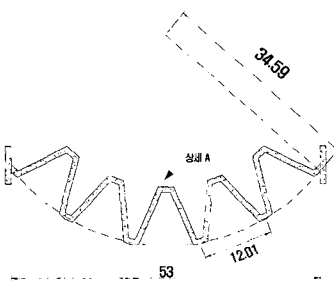
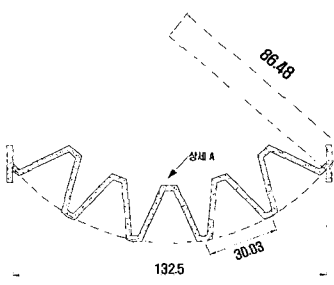
2.3 가동 웨어의 적용

가동 웨어(movable weir)는 저류기능을 쉽게 발휘하거나 또는 없앨 수 있는 보를 말하며 철판 하부에 설치된 유압실린더를 이용하여 상단부의 철판 각도를 조정하고 전도시킴으로서 저수용량을 조절하는 형식이다. 기존 여수로의 상단에 가동 웨어를 설치할 경우 저수용량을 증대시킬 수 있어 수자원의 추가적인 확보에 도움을 줄 수 있으나 방류능력을 증대시키기 위해서는 웨어마루 표고를 낮추고 가동 웨어를 설치하는 것도 하나의 개축방안이 될 수 있을 것이다. 기존 여수로의 웨어마루에서 접근수로 바닥까지의 월류부를 제거하고 웨어마루 전 연장에 가동 웨어를 설치하는 방안으로 검토하였다.

2.4 수리모형실험

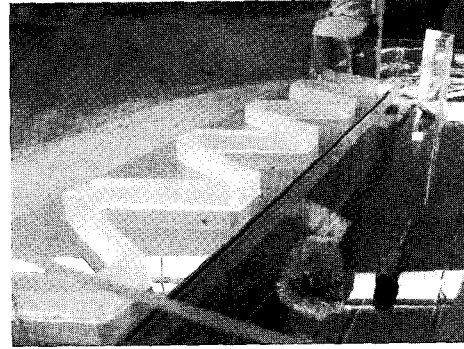
여수로 월류웨어의 형태는 표 4에서 제시한 설계도면에서 보듯이, 우선 기존의 반곡(ogee)형태 선형 웨어에 대해서 모형실험을 실시하고, 개축모형으로 선정된 1)선형 래버린스 웨어, 2)곡선형 래버린스 웨어, 그리고 3)가동 웨어 등 3가지 형태에 대해서 수리모형실험을 실시하였다. 각각의 수위 조건에 따라 기존 웨어 및 개축모형의 수위-방류량을 관측하였다. 기존 여수로는 반곡형태의 물넘이 단면을 가진 측수로 형식이기 때문에 자유월류 조건에서 자유유출의 형태로 흐름이 형성된다. 또한 래버린스 웨어의 경우도 마찬가지로 자유유출의 형태이다. 여수로의 상류(저수지)에는 실험용수를 공급하여 주어진 조건의 수위가 안정하게 유지됐을 경우의 방류량을 관측하였다. 모형의 축척은 월류수심 조건 및 모형의 크기, 순환 실험용수량 등을 고려하여 그림 2와 같이 1/40의 광역모형을 제작하였다.

표 4. 곡선형 래버린스 웨어의 원형설계와 축소모형 제원비교

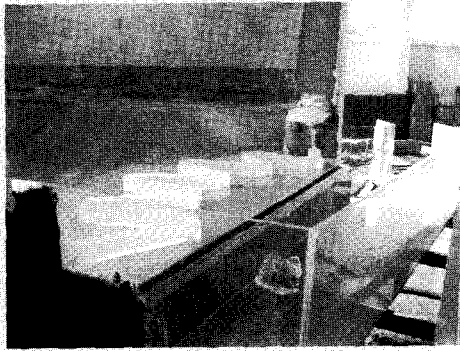
변 수	원형설계 (m)	축소모형 (cm)
설계도면		
웨어 벽의 두께(t)	0.9	2.25
꼭지점 내부 폭(A)	1.5	3.75
꼭지점 외부 폭(D)	2.65	6.63
측벽각 (α)	25°	25°
웨어마루 높이(P)	1.5	3.75
유량계수(Cd)	2.0	2.0
측벽의 실제 길이(L1)	9.31	23.3
벽의 유효 길이(L2)	24	60
물넘이의 총 길이(L3)	120	300
한 사이클의 폭(w)	12.0	30
사이클 수(n)	5	5
흐름에 직각방향으로의 웨어 폭(W)	53	132.5



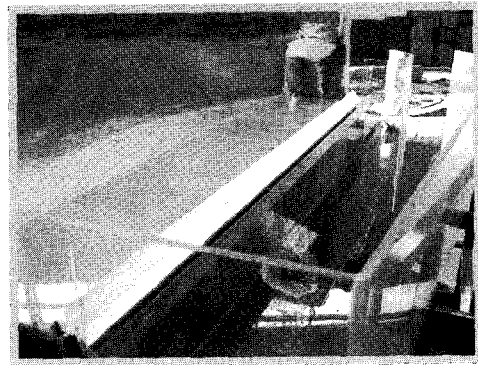
(a) 선형 웨어



(b) 선형 래버린스 웨어



(c) 곡선형 래버린스 웨어



(d) 가동 웨어

그림 2. 개축모형별 수리모형제작(축척 1/40)

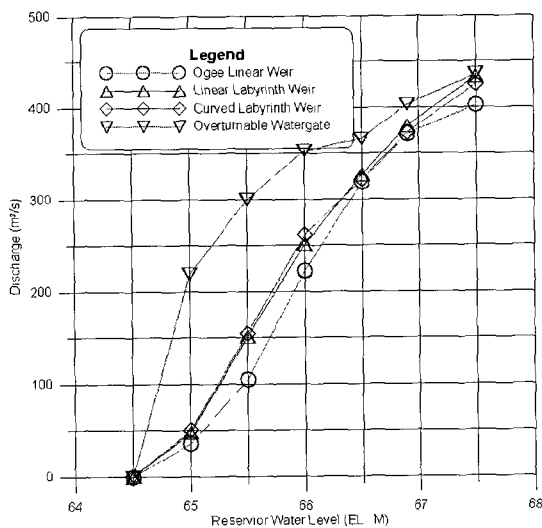


그림 3. 수리모형실험을 통한 개축모형별 수위-방류량 곡선

실험결과를 그림 3에서 제시하였으며 기존의 선형 웨어와 3가지 개축모형의 접근유속은 댐 설계기준인 4.0 m/s를 만족하는 것으로 나타났다. 래버린스 웨어의 경우에는 월류 초기의 저(低)수위에서는 큰 효과를 나타냈으나, 고수위일 경우 수맥간섭의 영향으로

효과가 감소되어 선형 웨어 보다 15~20 % 더 방류되었다. 그러나 홍수위를 초과한 EL. 66.5 m부터는 월류수맥 간섭 및 잠류현상으로 인해 효과가 급격히 감소되는 것으로 나타났다. 측수로 조절부에서는 모든 실험에서 EL. 66.5 m 전후에서 측수로 용벽을 월류하는 것으로 나타났다. 가동 웨어의 경우는 웨어를 전도한 후에 방류량이 큰 값으로 상승하다가 EL. 66.5 m 이상부터 방류량이 일정한 폭으로 증가하는 것으로 나타났다. 저수위일 경우 측수로내의 용적이 방류량을 감당할 수 있으나 EL. 66.5 m 이상일 경우 잠류현상이 발생하여 방류량 증가율이 둔화되는 것으로 나타났다.

2.5 Flow-3D를 이용한 3차원 수치해석

본 연구에서는 3차원 수치해석을 분석 대상의 여수로에 적용하기 위하여 Flow-3D를 이용하였다. 해석 방법은 기본적으로 비정상 유동상태이며, 3차원 Navier-stokes 방정식 및 에너지방정식을 유체 및 열-유동해석에, 그리고 유체로부터 또는 유체로의 열 전달에 의한 고체내의 온도는 열전도에 의한 에너지 교환을 에너지방정식 생성 항으로 사용하여 해석하고

있다. 또한 유체의 난류유동에는 기본대수모형으로부터 RNG(renormalized group theory)모형까지의 난류방정식을 선택할 수 있으며 자유표면해석을 위해 VOF(volume of fluid)방정식이 사용되고 있다.

해당 여수로의 3차원 수치해석을 수행하기 위해서 전처리단계(pre-process)인 구조물 및 지형격자 생

성을 위해 기존의 선형 웨어(ogee type)와 래버린스 웨어를 그림 4와 같이 생성하였고, 가동 웨어는 단순한 형식이므로 별도의 수치해석은 실시하지 않았다. 초기조건 및 경계조건은 모의대상 영역을 직육면체로 제한하고 각각의 6개면에 대하여 수위 및 압력, 유속 등의 입력 자료에 의해 3차원 흐름해석을 하게 된다.

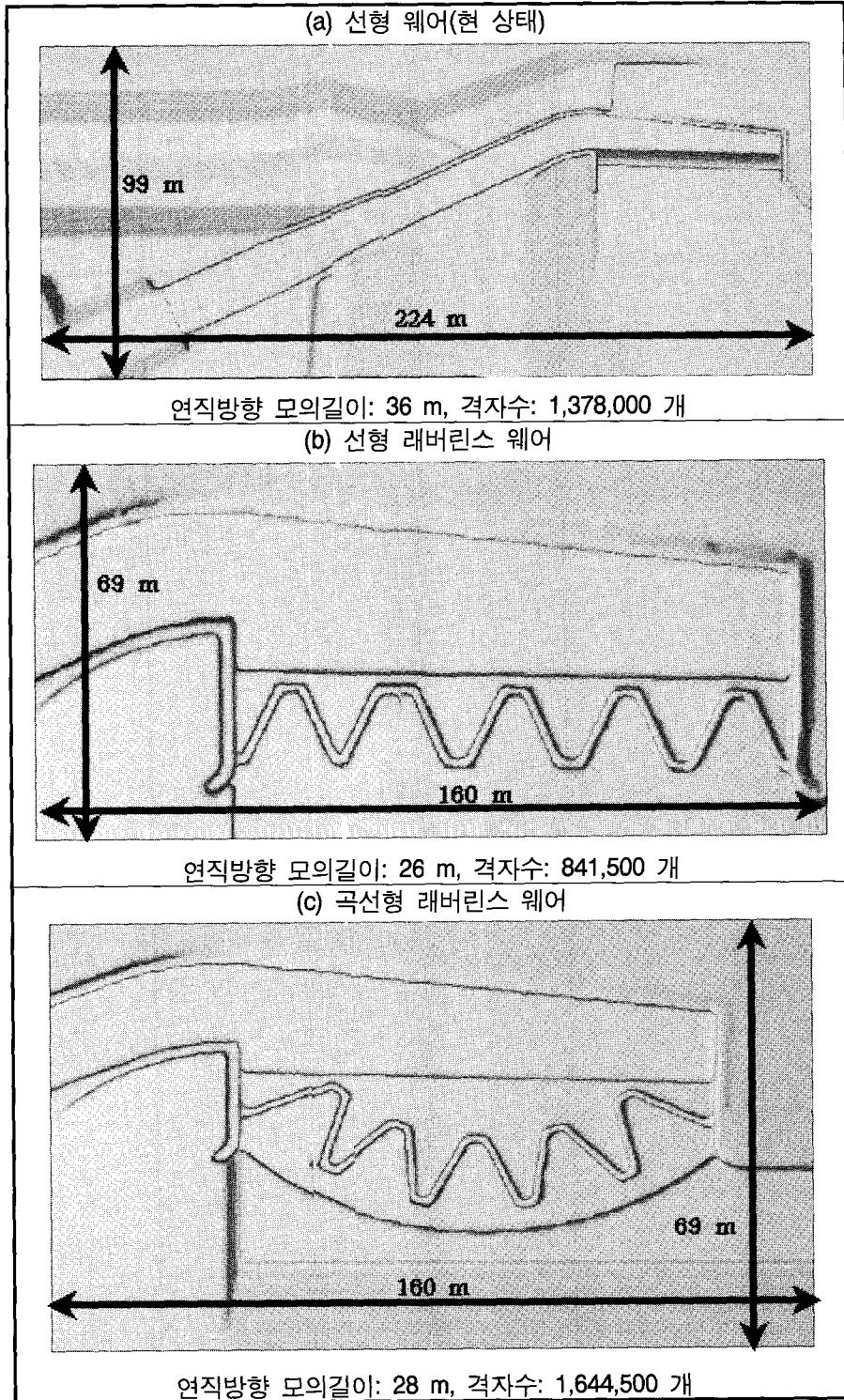


그림 4. 여수로 구조물 및 지형격자

표 5. 개축모형별 수위-방류량 수치해석 결과

(단위 : m³/s)

수위 (EL. m)	선형 웨어 (현 상태)		선형 래버린스 웨어 (개축모형1)		곡선형 래버린스 웨어 (개축모형2)	
	weir eq.	수치모의	Tullis eq.	수치모의	Tullis eq.	수치모의
64.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65.00	40.83	35.20	68.97	63.55	75.72	60.20
65.50	114.64	105.00	170.36	171.08	186.81	168.91
66.00	-	220.60	-	256.45	-	266.44
66.50	-	305.50	-	324.04	-	324.53
66.90	-	364.00	-	361.99	-	357.82
67.50	-	374.90	-	408.12	-	402.23

본 연구에서는 상시만수위부터 자연 월류되는 방식으로 초기 및 경계조건을 주었기 때문에 상류단은 저수지 수위를 입력하였고, 하류단은 저수지 수위를 지정하지 않고 유출(outflow)되는 방식을 채택하였다. 수위별 방류량은 댐 하류부에 검사체적을 설치하고 수위별로 검사체적을 통과하는 방류량을 시간에 따라 연속적으로 측정하여 일정한 값으로 수렴하는 부분(80초~120초)의 평균을 방류량으로 산정하였다.

수치해석결과는 표 5와 같이, 월류부에서는 래버린스 웨어의 경우 웨어의 유효길이를 좀더 길게 하기 위하여 선형과 곡선형을 비교해 보았으나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 수위-방류량 해석결과는 래버린스 웨어의 경우 기존 선형 웨어 보다 15~20% 더 많이 방류되는 것을 알 수 있었다. 래버린스 웨어의 방류량은 수위 EL. 65.0 m에서 선형 웨어에 비해 최대 71%의 증가효과를 보였지만 $h/P=0.9$ (Tullis)가 되는 수위인 EL. 65.94 m를 기점으로 방류량이 증가율이 둔화되었다. 수맥간섭이 심각해지는 수위인 EL. 66.18 m에서 곡선형 래버린스 웨어의 방류량은 287 m³/s로 선형 웨어의 방류량인 251 m³/s에 비해 14% 더 많았으며, 그 이상의 수위에서는 선형 웨어의 방류량에 근접해짐을 확인할 수 있다.

2.6 분석결과

수리모형실험과 수치해석 결과를 비교한 결과 Flow-3D를 이용한 수치해석은 신뢰성이 매우 높은 것으로 분석되었다.

여수로 웨어를 개축하기 전과 후의 수위-방류량 곡선은 그림 5와 같다. 래버린스 웨어에 의한 방류량은 월류 초기의 저(低)수위 EL. 65.0 m에서는 선형 웨어에 비해 최대 71%의 증가효과를 보였지만 $h/P=0.9$ 가 되는 수위인 EL. 65.94 m를 기점으로 방류능력이 감소하기 시작한다. 래버린스 웨어의 경우

기존의 선형 웨어 보다 15~20% 더 많은 양이 방류되었다. 그러나 홍수위를 초과한 EL. 66.5 m부터는 수맥간섭 및 잠류현상으로 인해 효과가 급격히 감소되는 것으로 나타났다.

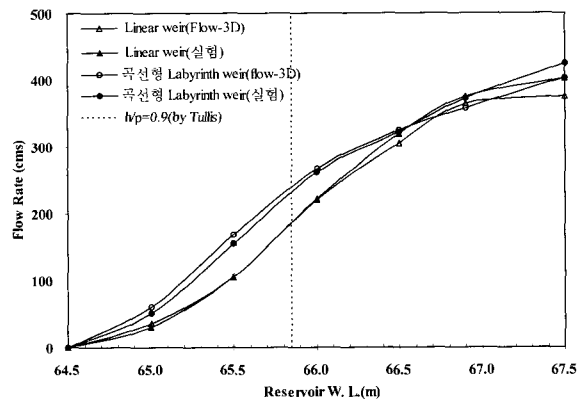


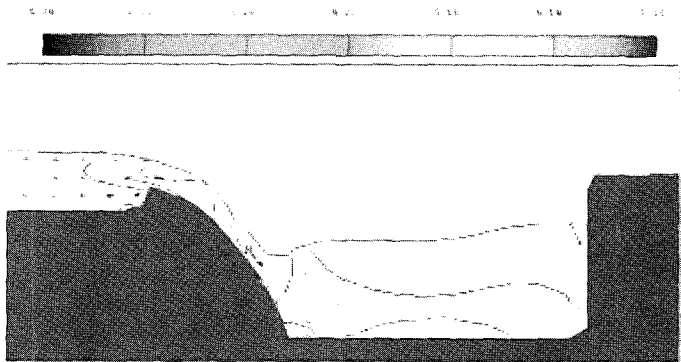
그림 5. 수리모형실험 및 수치해석에 의한 수위-방류량 곡선 비교

측수로 조절부에서는 EL. 66.5 m를 전후에서 잠류 현상이 심각해지면서 래버린스 웨어 뿐만 아니라 가동 웨어의 경우에도 측수로 용벽을 월류하는 것으로 나타났다.

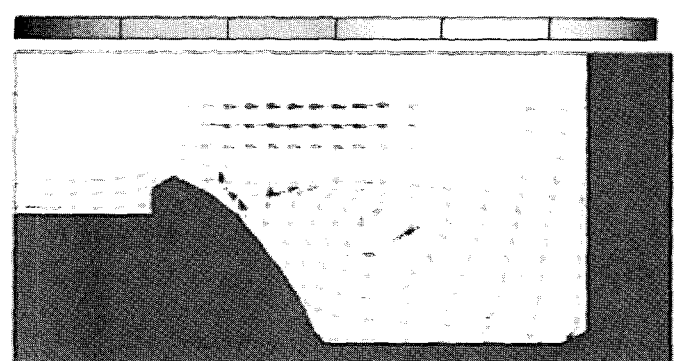
3. 저수지홍수추적을 통한 개축모형별 효과분석

3.1 강우량 산정

확률강우량은 울진관측소의 시 강우자료(1971~2003년, 33개년)를 사용하여 빈도 분석하였다. 또한 가능최대강수량은 '한국가능최대 강수량 추정(건설교통부, 2004)'를 이용하였다. 빈도분석에 적용한 확률분포형은 Gamma, GEV, Gumbel, Log-normal, Log-Pearson Type III, Weibull, Wakeby 등 총 13



(a) 수위 66.0 m(월류수심 1.5 m) 조건



(b) 수위 67.5 m(월류수심 3.0 m) 조건

그림 6. 수리모형실험과 수치해석 결과 비교(선형 웨어)

개의 분포형을 적용하였다. 한편 매개변수 추정은 확률가중모멘트법(probability weighted moment method, PWM : Greenwood)을 적용하였고, 적합도 검정은 χ^2 검정, Kolomogorov - Smirnov 검정, Cramer - Von Mises검정, PPCC 검정법 등을 이용하였다.

3.2 홍수량 산정 및 저수지홍수추적

분석 대상 유역의 홍수량을 산정하기 위해서 유역의 매개변수를 표 6에서 산정하여 제시하였다. 홍수량을 산정하기 위하여 확률강우량의 시간분포는 Huff의 4분위로 하였고, Clark 단위도법을 사용하여 빈도별 홍수량 및 PMF를 산정하였다.

홍수량 산정결과 6시간의 임계지속시간에서 100년, 200년 빈도에서는 설계홍수량(200년 빈도, 207.0 m³/s)보다 작은 153.0 m³/s, 190.0 m³/s로 산출되었고, 500년 빈도와 PMF에서는 251.4 m³/s와 436.0 m³/s로 설계홍수량을 초과하는 것으로 분석되었다.

개축모형별 개선효과를 분석하기 위하여 산정된 수위-방류량 곡선과 빈도별 홍수유입수문곡선으로 저수

지홍수추적을 실시하여 현 상태와 개축모형 적용 후를 비교 분석하여 표 7과 그림 7에서 제시하였다. 우선 현 상태인 선형 웨어에서는 PMF유입 시 최고수위가 EL. 66.90 m로 설계홍수위(EL. 66.0 m)를 0.9 m 초과하는 것으로 나타났다. 래버린스 웨어를 적용한 경우 월류수심은 200년 확률홍수량 유입 시 26.2%, PMF 유입 시 9.6% 저하되는 것으로 분석되었다. 또한 가동 웨어를 적용한 경우에는 PMF 유입시 최고수위가 EL. 66.09 m로 월류수심을 선형 웨어보다 33.8% 낮출 수 있는 것으로 분석되었다.

3.3 경제성분석

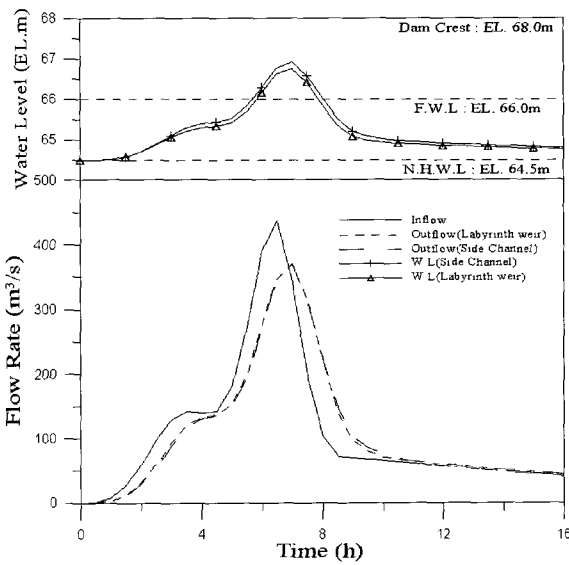
본 논문의 목적이 사업비 최소화를 위한 홍수대책을 제시한 것이므로 해당 댐의 곡선형 래버린스 웨어와 가동 웨어의 공사비를 비교해 보았다. 시험적용 댐의 웨어의 길이가 53 m인데 웨어 부분만을 개축할 경우 1m당 공사비는 곡선형 래버린스 웨어의 경우 14백만 원, 가동 웨어는 18백만 원으로 래버린스 웨어가 약간 더 적은 것으로 나타났다. 그러나 홍수배제능력을 고려한다면 가동 웨어가 좀 더 경제성이 큰 것으로 분석되었다.

표 6. 대상유역의 매개변수

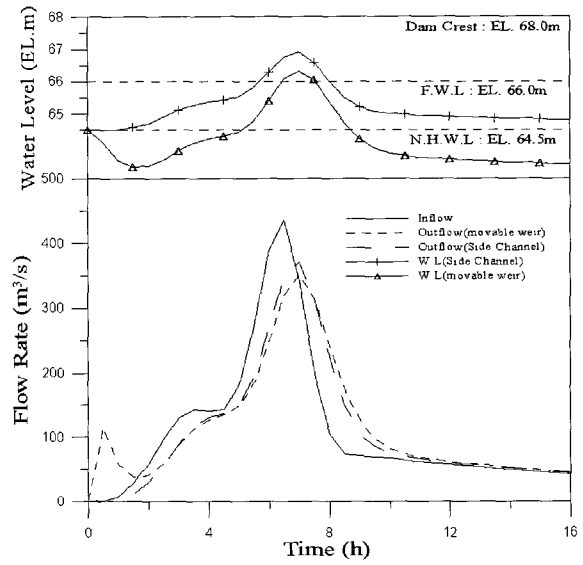
시설물명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	하천경사 (m/m)	CN값		도달시간 (h)	저류상수 (h)
				AMC II	AMC III		
대수호지	11.30	8.8	0.071	63	79	0.70	0.81

표 7. 개축모형별 저수지홍수추적 결과

빈도	첨두유입량 (m ³ /s)	월류 수심(m)			
		선형 웨어	선형 래버린스 웨어	곡선형 래버린스 웨어	가동 웨어
100년	153.0	1.11	0.79	0.76	0.00
200년	190.1	1.26	0.98	0.95	0.03
500년	251.4	1.50	1.30	1.25	0.42
PMF	436.0	2.40	2.25	2.20	1.59



(a) 곡선형 래버린스 웨어



(b) 가동 웨어

그림 7. PMF에 대한 저수지홍수추적 결과

4. 결론

본 연구에서는 국내 중소규모 댐의 여수로 형식 중 가장 많은 측수로형 여수로를 대상으로 효과적인 개축방안을 마련하기 위하여 래버린스 웨어와 가동 웨어를 개축모형으로 선정한 후 실제 적용했을 때의 개선효과를 검증하기 위하여 중규모 댐을 선정하여 수리모형실험과 수치해석을 통해 홍수배제능력을 분석한 결과 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었다.

- (1) 3차원수치해석에서 구한 방류량과 흐름양상 등이 수리모형실험결과와 매우 유사하게 나타나

Flow-3D를 이용한 3차원수치해석결과는 신뢰할 만한 수준으로 확인되었다.

- (2) 홍수유입초기에는 래버린스 웨어의 방류량 증대효과가 있으나 설계홍수위를 초과하면서 월류수맥의 간섭 및 측수로의 잠류현상(불완전 월류)으로 선형 웨어의 방류량에 수렴하는 것으로 나타났다. 이러한 이유로 래버린스 웨어의 경우 100년 및 200년 확률홍수량에 대해서는 어느 정도 효과가 있으나 PMF와 같은 극대홍수량에 대해서는 효과가 미미한 것으로 분석되었다. 또한 래버린스 웨어의 길이를 좀 더 길게 위한 방법으로 직선형을 곡선형으로

설치하더라도 방류량 증가효과가 거의 없는 것으로 나타났다.

- (3) 래버린스 웨어를 적용한 경우 최고수위는 선형 웨어에 비해 200년 확률홍수량 유입 시 26.2 %, PMF 유입 시 9.6 % 저하되는 것으로 분석되었다. 또한 가동 웨어를 적용한 경우에는 PMF 유입시 최고수위가 EL. 66.09 m로 월류 수심을 선형 웨어보다 33.8 % 낮출 수 있는 것으로 분석되어 래버린스 웨어보다 효과가 큰 것으로 나타났다.
- (4) 래버린스 웨어와 가동 웨어의 공사비를 비교한 결과 래버린스 웨어가 약간 적은 것으로 나타났으나, 홍수배제능력을 고려한다면 비용 대 효과 면에서 가동 웨어가 좀 더 유리한 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2004). 댐의 수문학적 안정성 검토 및 치수능력 기본계획수립 보고서
농림부 (2003). 농업생산기방정비사업 통계연보
문영일, 이창해, 신희범, 박래건 (2003). 저수용량을 기준으로 한 댐 재개발의 경제성 분석, 연구보고서, 서울시립대학교
박세훈, 문영일, 서일원, 이대홍 (2005). 중소규모 댐

의 홍수배제능력 증대방안에 대한 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 735- 739

박세훈 등 (2006). 댐의 홍수배제능력증대를 위한 여수로 최적설계방안 연구, 연구보고서, 한국시설안전기술공단

최태훈 (1987). 댐 월류량 증대를 위한 Labyrinth 웨어의 수리특성에 관한 실험적 연구, 석사학위논문, 연세대학교

D. Yildiz and Uzucek (1997). *Modeling the performance of labyrinth spillways*, Hydro-power & Dams.

Flow Science, Inc. (1999). *FLOW-3D User's Manual*.

J. Paul Tullis, Nosratollah A. and Waldron D. (1994). *Design of labyrinth spillways*. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(3), pp. 247-255.

Taylor, G. and Hay, N. (1970). *Performance and design of labyrinth weirs*. *Journal of Hydraulic Division*, Vol. 96, No. HY11. pp. 2337-2357.

- ◎ 논문접수일 : 2007년 04월 25일
- ◎ 심사의뢰일 : 2007년 05월 03일
- ◎ 심사완료일 : 2007년 06월 12일