

Piano Keys Weir에 의한 댐 여수로의 방류 능력 증대



이 응 천 |

(주)한국종합기술 부사장/경희대 겸임교수
eclee@kecc.co.kr

1. 머리말

기상 이변에 따라 집중 호우의 강도가 증가하여, 동일 설계 빈도에 있어서도 과거 단기간의 수문 자료를 기초로 분석된 빈도 홍수량에 비하여 장기 자료에 기초한 최근의 분석치가 높은 값을 나타내고, 또 하류의 피해 위험도가 높은 댐에 대해서는 어떠한 경우에도 홍수의 월류에 의해 댐이 파괴되는 것을 방지하기 위하여 설계 홍수량을 가능최대 홍수량(PMF)으로 상향 조정하는 등, 댐의 설계 홍수량을 상당한 규모로 증가시키는 것은 우리나라를 포함하여 전 세계적인 추세이다.

특히 기존 댐에 대해서 증가된 설계홍수량을 적용코자 할 경우에는 신설 댐의 경우에 비하여 여수로(spillway) 구조물의 해체, 보완, 증설 등 고려 사항이 더욱 복잡하고 비교적 큰 추가 비용이 소요되기 때문에 가능한 한 증설 규모를 최소화 할 수

있는 방안을 찾아야 한다.

다음에 소개하는 Piano Keys Weir(PK위어)는 이러한 요구 조건에 부응하기 위하여 비교적 최근에 개발된 월류 위어로서, 수리 특성은 상이하지만 기왕의 labyrinth 위어를 개량한 형식으로 볼 수 있다.

현재 PK위어에 대한 제반 수리 현상이 많은 실험을 통해 규명되어 있는 상태이기 때문에 본고를 참고한다면 실무적으로도 바로 설계에 적용이 가능할 것이므로 상대적으로 경제적인 댐 여수로를 건설할 수 있을 것이다.

2. PK 위어의 역사

PK 위어는 21세기 댐 설계 부문에서의 획기적인 신기술로 인식되고 있으며, 댐 및 각종 물 관련 국제회의 등에서 실제 적용 사례 및 수리모형실험 성과가 자주 소개되고 있다. 또한 그간의 많은 수리모형실험 성과를 기초로 수리적 및 경제적으로 효율을 최대화 시킬 수 있는 표준 제원이 제시되어 있는 정도이다.

PK 위어는 2003년 Hydrocoop*의 Lemperiere 와 알제리 Biskra 대학의 Quamane 교수에 의해

* 프랑스에 본부를 둔 비영리의 국제 협회로서 여수로, 저수지의 퇴사 등과 관련한 무료 자문에 응하고 있다.
(www.hydrocoop.org)

학술/기술기사

최초로 제안된 개념이다. 주로 Biskra 대학의 수리 환경 실험실과 프랑스 국영 전력회사인 EDF (Electricite de France)의 수리 환경 실험실에서 10여년에 걸쳐 시행한 실험성과를 중심으로 인도, 베트남, 중국, 스위스 등지에서의 실험성과 등 총 100 종류 이상의 여러 형식의 PK 위어에 대한 수리모형 실험을 통하여 그 수리적 특성이 검증되어 있다.

Piano Keys(PK) Weir라는 명칭은, 그림-4의 (b)에서 보는 바와 같이 평면도 상으로 볼 때 흑백의 피아노 건반이 지그재그로 배열된 형상과 닮았기 때문이다.

실제로 댐의 여수로에 최초로 적용된 것은 2006년 완공된 EDF 소유의 Goulours댐의 치수능력 증대 사업이었다. 이후 설계 홍수량의 상향 조정이 필요하게 된 EDF 소유의 여러 댐의 치수 능력을 높이는 데에 PK 위어가 적용되었다. 프랑스 이외의 국가로는 알제리, 베트남, 호주 등지에서 건설되고 있거나 건설이 계획되고 있으며, 미국을 위시하여 다른 여러 나라에서도 실험을 통한 연구를 진행하고 있다.

현재는 수리 및 경제적 측면에서 가장 효율적이라고 판단되는 위어의 구조적 형상 및 부위별 제원 즉 표준화된 형상이 발표되어 있으므로 별도의 수리 실험을 시행하지 않더라도 어디에서나 설계에 적용할 수 있을 뿐 아니라 어느 수리모형 실험실에서나 손쉽게 방류량의 검증이 가능하다.

3. 기존 Ogee형 위어와 PK위어의 비교

기존 댐의 월류 구조물은 대부분 칼날(sharp-crested) 위어의 하부 수면 형상을 따르는 소위 오지형 위어(Ogee crest/Creager weir)를 선형으로 배치하는 형식이었다.

이 형식의 위어에서 가능한 최대 방류량은 대략 $Q=2.2H^{1.5} \cdot L(m^3/s)$ 로 표시된다. 즉 월류 수두 H의

1.5승과 월류 마루의 길이 L에 각각 비례한다. 위어의 설계 수두보다 작은 수위에서의 유량계수는 개략적인 최대치인 2.2 보다 작은 값을 나타낸다. 따라서 작은 수두에서는 방류량이 적기 때문에 극한 홍수 유입 시에 제한된 여수로 규모로 큰 유량을 방류하기 위해서는 깊은 월류 수심 즉 큰 수위 상승(surcharge)이 불가피하다. 따라서 (1) 상시 활용이 가능한 수위보다도 훨씬 높은 댐을 축조하여 큰 여유고(H)를 확보해 두거나, (2) 여수로의 폭(L)을 크게 취함으로써 홍수 시의 수위 상승량을 제한된 범위내로 억제시키게 된다.

그러나 홍수량이 큰 경우에는 필요한 여유고 또는 소요의 여수로 폭이 지나치게 크게 되어 위 두 가지 방안으로 처리하는 것이 비경제적이기 때문에, 유입 홍수량이 큰 댐에서는 일반적으로 여수로에 수문(gate)을 설치하고 상시 만수위를 수문 상단에 일치시킨다. 이럴 경우 상시 깊은 월류 수심(H)이 유지되어 홍수 초기부터 큰 방류 능력을 확보할 수 있기 때문에 수문이 설치되지 않은 댐에 비하여 상시 만수위 상의 여유고와 여수로의 폭을 대폭 줄일 수 있는 이점이 있다.

그러나 수문을 설치할 경우에는 최악의 경우 기계·전기적인 문제로 수문의 작동이 전적으로 불가능하게 될 수 있는 리스크를 항상 안고 있는 셈이며, 운영상의 잘못으로 인한 과도한 방류로 하류에 홍수 피해를 일으키거나 빗나간 홍수 예측으로 귀중한 저류수의 손실을 발생시킬 수도 있다.

뿐만 아니라 수문식 여수로는 비수문식 여수로에 비해 높은 유지 관리 비용을 필요로 하는 단점도 있다.

어쨌든 한정된 폭의 여수로에서 가능한 한 큰 비유량($m^3/s/m$)을 얻는 것이 경제적이기 때문에 이를 달성하기 위한 방안으로 흔히 labyrinth 위어를 적용하기도 하였다.

50년 이상의 역사를 가진 labyrinth 위어는 그림-1과 같이 철근 콘크리트의 수직 벽체를 사다리꼴로 이어 만든 위어이다. 제한된 여수로 폭에서 선

Piano Keys Weir에 의한 댐 여수로의 방류 능력 증대

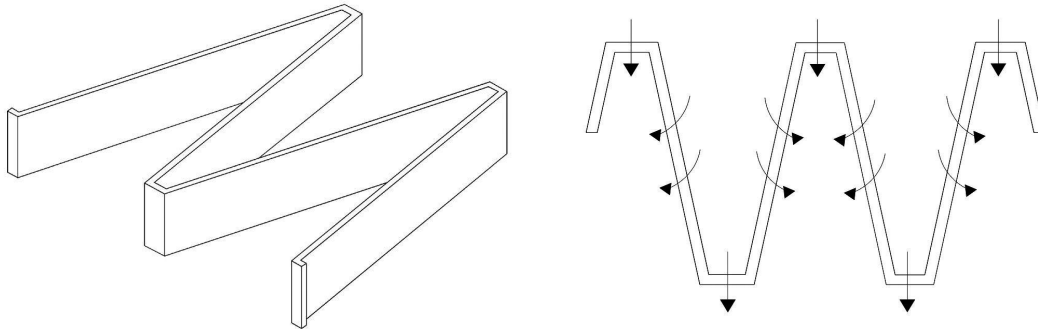


그림-1 Labyrinth 위어의 구조 및 월류 형태

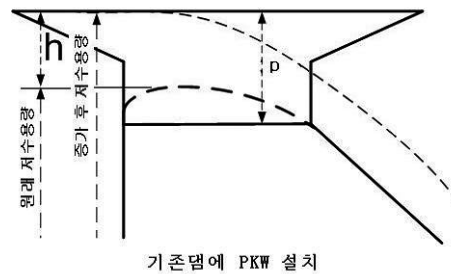
형 여수로에 비해 위어 마루의 연장을 크게 증가(통상 4배 정도)시킨 형식으로서, 동일한 폭의 선형 여수로에 비해 2배 정도 큰 비유량을 얻을 수 있다. 보다 상세한 구조 세목 및 유량계수와 월류량 등은 참고문헌 1을 참조할 수 있다.

그림-1에서 보는 바와 같이 labyrinth 위어의 설치를 위해서는 상하류 흐름 방향으로 비교적 넓은 면에서 평평한 기초 부지가 필요하므로 콘크리트댐 본체 등과 같이 설치에 필요한 부지 면적이 충분하지 않은 경우에는 적용이 불가능한 단점이 있다.

PK위어는 종래의 labyrinth 위어를 개량한 형식이긴 하지만 labyrinth 위어보다 2배 이상의 큰 방류 능력을 나타낼 뿐 아니라 위어 기초의 점유 면적이 작기 때문에 콘크리트댐의 경우에도 기존 또는 신설 댐에 대해서 공통적으로 적용할 수 있다. 따라서 전통적인 labyrinth 여수로와 비교할 때 PK위어는 labyrinth 위어가 가진 대부분의 문제점들을 해결할 수 있을 뿐 아니라 경제적으로도 대단히 효율적인 방안이라고 할 수 있다.

그림-2는 기존 콘크리트 중력식 댐의 월류부를 일부 헐어 내고 여기에 PK위어를 설치함으로써 기존 댐의 저수 용량을 증가시키는 방법을 나타낸다.

전통적인 labyrinth 여수로와 마찬가지로 PK위어는 월류 마루의 연장을 증가시키기 때문에 선형 위어와 비교할 때 주어진 수두 조건에서 방류량을 증가시키거나 또는 주어진 방류량 조건에 대해서 소요 수두를 줄일 수 있다. 즉 상시 만수위상으로



기존댐에 PKW 설치

그림-2 기존의 콘크리트댐에 PK위어를 설치하여 댐의 활용 저수용량을 증가시킬 수 있다.

필요한 여유고의 크기를 크게 줄일 수 있다.

PK위어의 방류량은 위어의 수두가 위어 높이의 1/2보다 작을 경우($h/P < 0.5$)에는 ogee 위어의 3.5~2.5배에 달하고, 수두가 위어 높이 이상일 때에는 1.5배 정도에 이른다. 이러한 사실로부터 PK 위어는 낮은 수두로 큰 유량을 방류시킬 수 있는 최적의 방안이 될 수 있음을 알 수 있다.

PK위어는 $3\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 에서 $100\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 의 범위까지의 비유량을 통과시킬 수 있으며, 비교적 낮은 월류 수두에서는 전형적인 ogee형 위어에 비해서 동일 폭의 여수로 기준으로 최소 4배 이상 큰 방류량을 얻을 수 있다. 따라서 $100\text{m}^3/\text{s}$ 이하 홍수량의 소규모 댐에서는 구조 형식이 비교적 단순한 비수문식의 ogee형 선형 여수로가 합리적이겠지만 설계 유량이 $200\sim 5,000\text{m}^3/\text{s}$ 범위의 신설 댐이라면 대개의 경우 비수문식의 PK위어가 가장 우선적으로 고려될 수 있는 여수로 형식인 것으로 판단되고 있다.

학술/기술기사

수문식 여수로가 있는 기존 댐에 비상 여수로(emergency spillway)를 신설할 경우에도 대단히 큰 유량이라면 휴즈 게이트(fuse gate)가 대안이 될 수 있겠지만, 추가 방류량이 $1,000 \sim 2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 범위라면 이 경우에도 PK위어가 훌륭한 해결책이 될 수 있을 것이다.

4. PK위어의 구조

그림-3과 같이, PK위어는 바닥에서 상향으로 경사진 수로인 유입부(inlet)와 하향의 경사 슈트인 유출부(outlet)를 이웃시켜 여러 사이클을 배치한 형식이다. 유입부와 유출부는 모두 직사각형 형태인 비선형의 위어이다. 캔틸레버로 상하류 측으로 거의 대칭되게 돌출(overhang)시키는 형태(type A)와 상류 측으로만 돌출시키는 형태(type

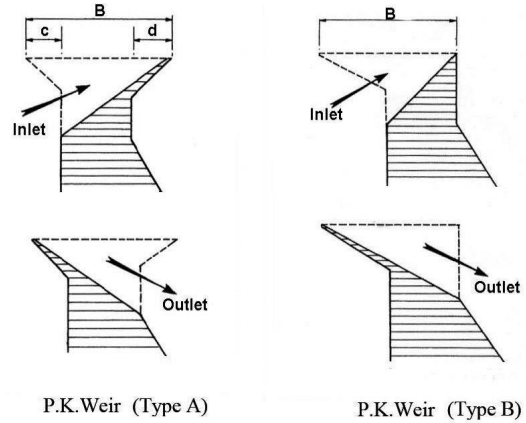


그림-3 PK위어의 전형적인 형식

B)의 두가지 형식이 일반적인 형식이다(그림-3 참조).

PK위어는 일반적으로 철근콘크리트 구조로 형성되는데, 그림-4와 같은 PK위어에서 높이(P) 4m 이하의 비교적 낮은 PK위어는 현장 타설 대신 프리

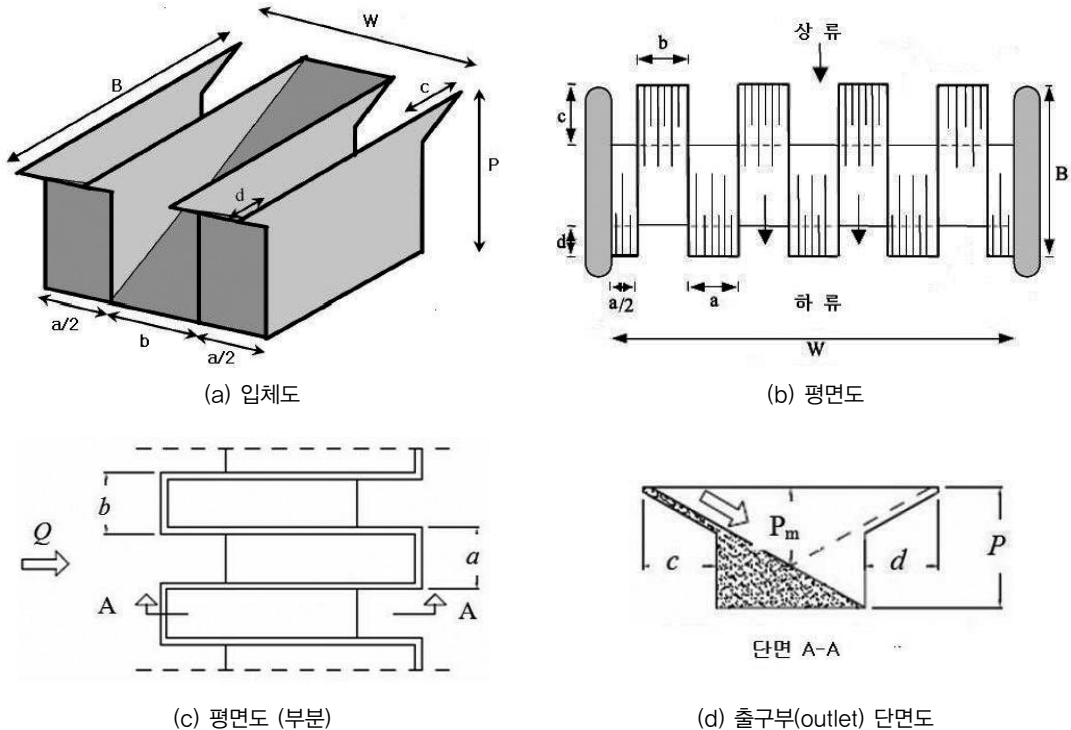


그림-4 양방 돌출형 PK위어의 구조

Piano Keys Weir에 의한 댐 여수로의 방류 능력 증대

캐스트 콘크리트로 제작하여 설치할 수도 있다. 한 사이클 전체를 하나의 프리캐스트로 제작하거나 부분적으로 프리캐스트로 제작하여 조립하는 방식을 취할 수 있다. 철근 콘크리트 구조로 할 경우 단위 1m당 소요 철근 콘크리트 양(m³)은 측벽의 최대 높이 H(m)에 대해서 0.4H² 내지 0.6H²이다. 철근 콘크리트 1m³당 2m³/s의 비율로 방류 능력의 증가 효

과를 얻을 수 있는 것으로 분석되고 있으며 단위 유량 당의 건설비가 타 형식의 위어에 비해서 대단히 저렴한 것으로 평가되고 있다.

높이 2~3m 범위의 구조체라면 강판(steel)을 조립한 형식을 채택함으로써 보다 간편하게 PK위어를 설치할 수도 있다(그림-6). 이 경우 필요에 따라 보강재(stiffener)를 붙일 수도 있으나 측벽과 측벽 사이를 브레이싱으로 보강해서는 안된다. 유목의 자유로운 유하를 막을 수 있기 때문이다.

PK위어는 기초가 차지하는 부지 면적이 크지 않고 구조적으로도 그 자체로서 균형을 유지하게 되지만 일반적으로 기초가 되는 구조체와 앵커시킴으로써 구조적인 안정성을 높인다.

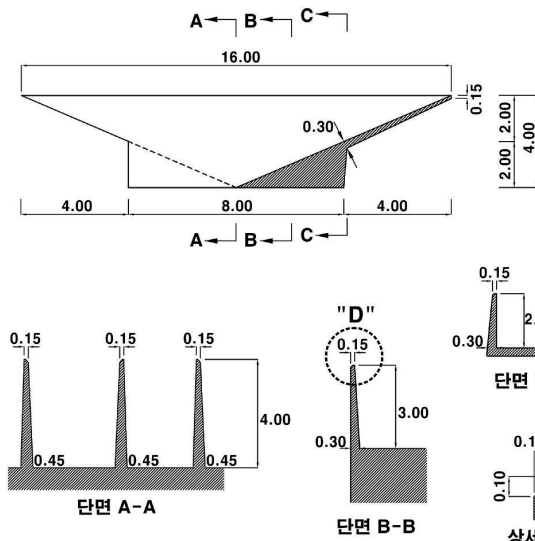


그림-5 철근콘크리트 PK위어(높이 4m)의 구조도 예

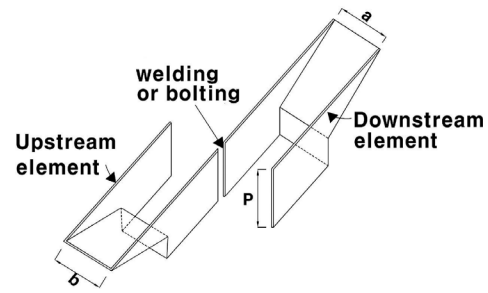


그림-6 강재 PK위어의 조립 개념

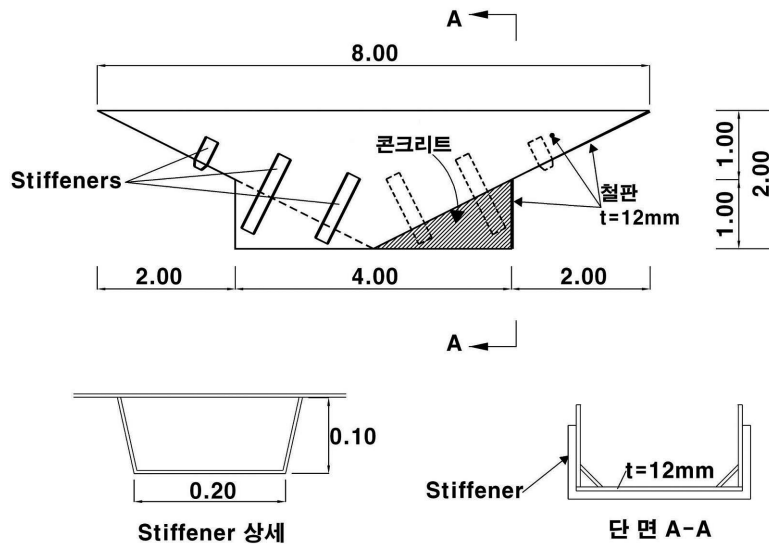


그림-7 강재 PK위어(높이 2m)의 구조도 예

5. PK위어의 수리 특성

PK위어를 통한 방류 형상은 그림-8과 같다.

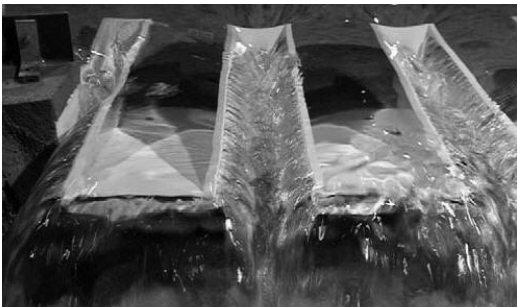


그림-8 PK위어의 방류 형상

앞의 그림-4와 같은 제원으로 표시되는 PK위어에서 위어의 총 방류량은,

$Q = f(g, H, L_t, P, W, a, b, B, S_c, S_{out}, t)$ 로 요약할 수 있다.

위의 식에서, 그림-4에 표시되지 않은 부호 중 H 는 수두, L_t 는 위어의 총 길이, W 는 여수로의 폭이다. 전통적인 ogee위어의 월류량이 월류 수두(H)의 증가에 따라 포물선형으로 급격하게 증가하는 것과는 달리 PK위어의 방류량은 수두와 거의 직선적으로 비례하는 특성이 있다(그림-9 참조).

Hydrocoop에서는 그동안의 실험성과를 기초로 그림-10과 같이 측벽의 최대 높이인 P_m 대비 비율로 PK위어 각 요소의 제원을 표시한 PK위어의 표

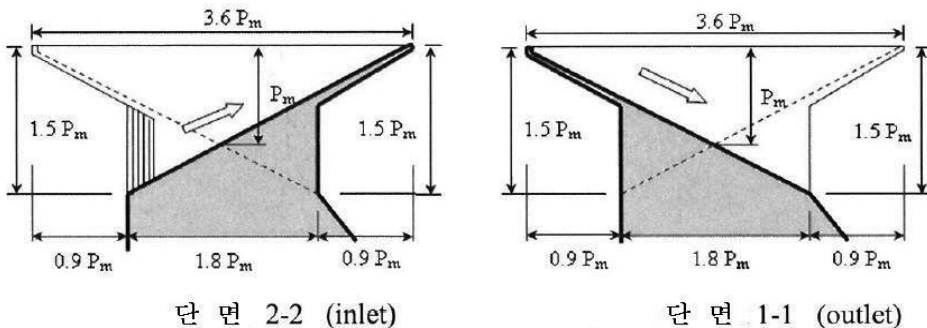


그림-10 대칭형 표준 PK위어의 P_m 대비 제원 (자료: Hydrocoop)

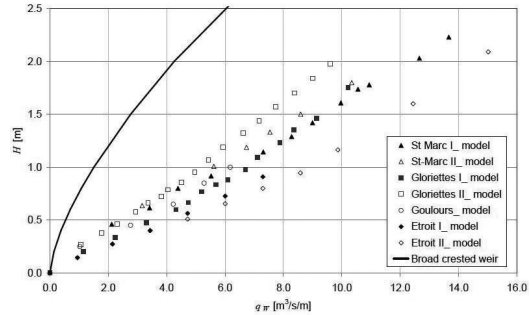
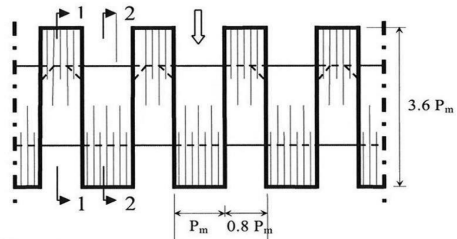


그림-9 수두에 따른 PK위어의 비유량

준 설계와 함께 방류량을 추정할 수 있는 공식을 제시하고 있다. 한편 위어 마루의 연장이 길수록 방류량이 증가하겠지만 사이클 수 $N_u(L/W)$ 를 5 정도로 하는 것이 경제적인 효율이 가장 우수한 것으로 설명하고 있다.

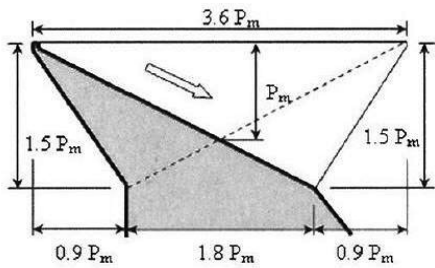
상류의 수두 H 가 일반적인 범위인 $0.5P_m \sim P_m$ 의 범위에서, 그림-10의 평면도 상에서 1사이클인 여수로폭 $1.8P_m(P_m+0.8P_m)$ 에 대한 방류량(m^3/s)은 다음 식으로 추정할 수 있다. 5사이클을 설치한다면 아래 공식으로 계산된 값에 5를 곱하면 된다.

$$Q = 1.8 P_m \times 4.5 \times H \times \sqrt{P_m} \quad (m^3/s)$$

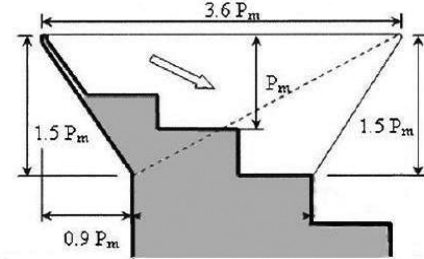


평면도

Piano Keys Weir에 의한 댐 여수로의 방류 능력 증대



Outlet cross section



Stepped outlet cross section

그림-11 상류 돌출형 PK위어의 P_m 대비 제원 (대안)

단 여수로 폭이 좁은 경우에는 ogee위어와 마찬가지로 양 끝단(abutment)에서의 수축 영향으로 위의 식으로 계산된 값보다 5~10% 낮은 방류량을 나타낸다.

표-1은 표준 PK위어의 방류량을 계산한 값이며, 방류량에 따라 필요한 PK위어의 규모(여수로의 폭, P_m, 사이클 수 N_u)를 예비적으로 판단하는데 도움이 될 것이다.

PK위어는 ogee위어와 비교할 때 수두 측면에서의 이득은 0.45P_m, 방류량 측면에서의 이득은 ogee위어에서의 월류 수심 P_m에 상당하는 것으로 설명하고 있다.

PK위어는 유목과 같은 부유물도 자연스럽게 배출하는데, 다른 형식의 위어와 마찬가지로 유목 등에 의해 PK위어의 방류량이 감소하긴 하지만 PK 위어의 방류량의 대부분은 표면수의 유출이 아니라 수표면 아래의 위어 바닥 구간을 흘러서 방류되기 때문이다. 수리 실험에 의하면 유목에 의해 막힐 경우라도 감소량은 15% 정도이고, 방류량이 증가함에 따라 감소량은 줄어든다.

표-1 표준 PK위어의 방류량

P _m (m)	Q (m ³ /s)			여수로 폭 (m)		
	N _u = 2	N _u = 5	N _u = 10	N _u = 2	N _u = 5	N _u = 10
2	70	175	350	7.2	18	36
4	380	950	1900	14.4	36	72
6	1,050	2,575	5,250	21.6	54	108
8	2,200	5,500	11,000	28.8	72	144

주: 상류 수두 0.75P_m 기준

PK위어를 월류하는 흐름은 많은 공기를 연행 (air entrainment)하게 되므로 에너지 감세 면에서 유리하다. 따라서 적어도 작은 규모의 방류량에 대해서는 하류의 세굴을 크게 감소시킬 수 있다.

파이프를 매설하여 하류 측 돌출부 아래로 공기를 공급하면 방류 시 위어 구조물에 진동이 발생하는 것을 방지할 수 있다. 그러나 실험성과에 의하면 방류량에는 차이가 없는 것으로 밝혀져 있다.

6. 적용 사례

(1) 프랑스

세계 최초로 Goulours댐에 PK위어를 설치한 이후 EDF에서는 추가로 여러 기존 댐의 치수 능력 증대 사업에 PK위어를 적용키로 하여 2010년 기준으로 건설되었거나 건설이 계획된 댐은 총 7개소이다. 이 중에서 L'Etroit 댐의 경우는 홍수시 접근이 어려운 오지에 위치한 댐이기 때문에 운영상의 안전을 고려할 때 PK위어와 같이 유지관리가 거의 필요 없는 자유 월류 형식이 대단히 중요한 선정 요건이었다.

- Goulours 댐

1946년에 완공된 EDF 소유의 높이 21m인 아치형 중력식댐(arch gravity)으로서, 수문식

학술/기술기사

여수로가 설치되어 있는 댐이다. 보완된 장기 수문 자료의 평가를 통해서 기존 $92\text{m}^3/\text{s}$ 인 댐의 설계 홍수량을 $162\text{m}^3/\text{s}$ (75% 상향)로 상향 조정하게 되었다. 여러 대안을 검토한 결과 수문식의 기존 여수로 외에 추가로 PK위어를 설치하는 안이 가장 효율적이고 경제적인 안으로 판단되었다.

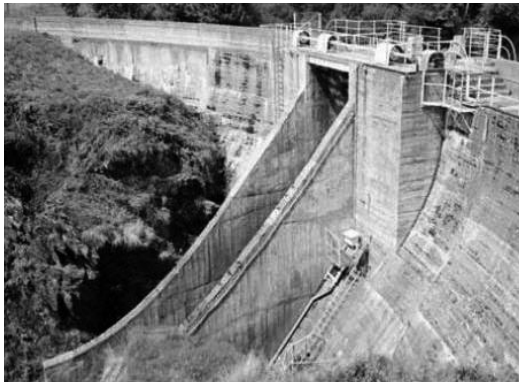
PK위어는 일부 댐 마루 구간을 헐어내고 설치하였다. PK위어의 마루고는 기왕의 상시 만수위보다 5cm 위에 두고, 저수지 수위가 PK위어 마루고에 도달하면 기존 여수로의 수문을 개방하여 방류하게 되므로 PK위어를 통한 월류는 25년 빈도를 초과하는 큰 홍수가 유입하는

경우에만 발생하게 된다.

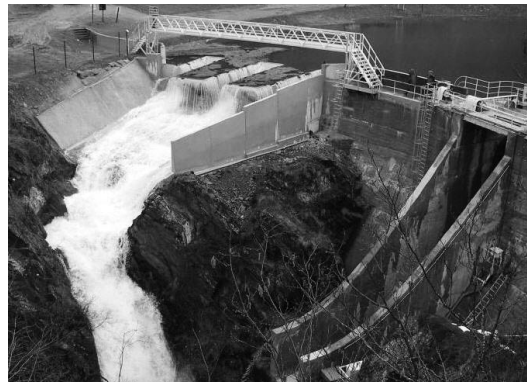
2006년 여름 동안에 건설하여 그해 겨울에 성공적으로 시험 가동되었으며, 총 공사비는 350,000 를 넘지 않았다고 한다.

- Saint-Marc 댐

1930년에 완공된 높이 40m의 콘크리트 중력식 댐이다. $623\text{m}^3/\text{s}$ 인 기존의 설계홍수량을 $750\text{m}^3/\text{s}$ (20% 상향)로 조정함에 따라 기존의 수문식 여수로 외에 추가로 폭 15m, 높이 5.35m의 PK위어를 설치하게 되었다. PK위어의 마루고는 기왕의 상시 만수위보다 15cm 위에 설치하고 수위가 그 이상으로 상승하면



(a)



(b)



(c)



(d)

그림-12 최초로 PKW가 설치된 프랑스의 Goulours 댐
(a) 설치 전, (b) 설치 후, (c) PK위어 구조물, (d) PK위어의 방류 전경

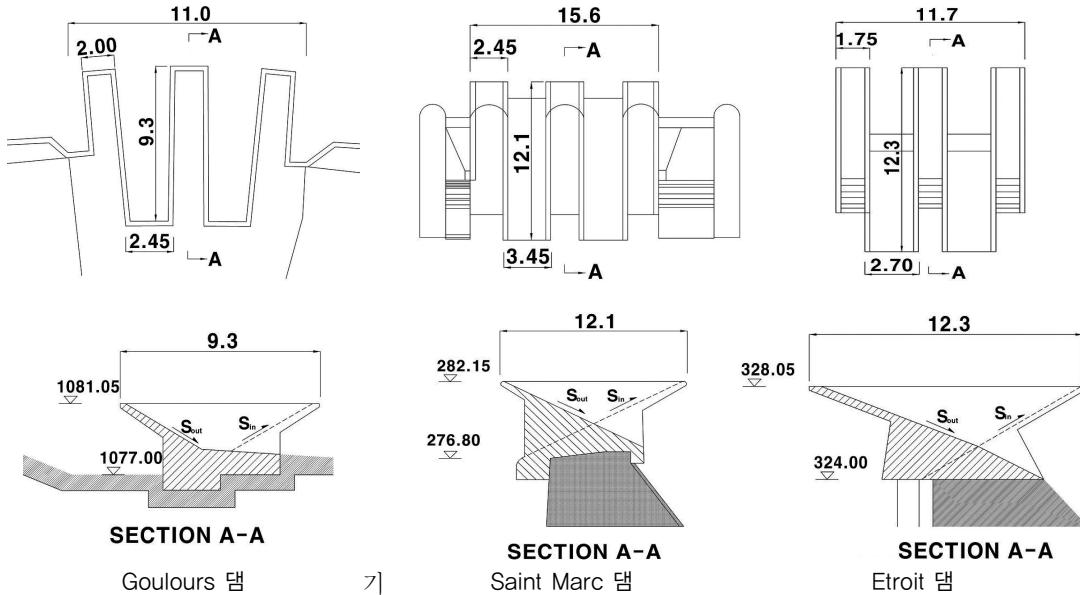


그림-13 프랑스의 PK위어 건설 사례

존 여수로의 수문을 개방한다. PK 위어의 설치로 수두 1.35m(댐의 설계 최고 수위)에서 134m³/s의 방류 능력을 추가로 확보하게 된다. 공사는 2008년 여름에 개시되었다.

택되었는데, PK위어 대신에 전부 수문을 설치하거나 일부 구간에 대해 전도형 수문(fuse gate)을 설치하는 안보다 PK위어 설치 안이 우수한 것으로 검토되었다.

(2) 베트남

현재 PK위어가 설치되는 3개의 댐을 건설 중에 있으며 추가로 2개 댐을 설계 중에 있다.

- Van Phong 댐

높이 18m, 길이 475m인 전구간 방류형 댐(barrage)인데, 중앙부 172m에 10개의 수문을 설치하고 그 외에 각각 121m와 181m 폭의 PK위어가 설치된다. 총 설계 홍수량 15,350 m³/s 중 8,700m³/s가 PK위어를 통해 방류된다.

홍수시의 허용 수위 상승량이 제한적인 현지 여건상 작은 월류 수심으로 큰 방류량을 얻을 수 있는 PK위어를 조합시켜 설치하는 안이 채

- Dakmi 2 댐

홍수량이 크고 계곡이 좁은 지점에 건설되는 높이 38m, 마루 길이 145m의 콘크리트 중력 식댐이다. 중앙부에 폭 31m의 수문식 여수로가 설치되고 그 좌우로 각각 폭 37.5m의 PK 위어가 설치된다. 수문 여수로의 분담 홍수량은 3,000m³/s이고, PK위어의 분담 홍수량은 3,440m³/s이다.

- 계획 댐

Ngan Truoi barrage에는 분담 홍수량 1,126 m³/s를 위한 폭 96m의 PK위어가 설치되며, 높이 51m인 Vinh Son 3 댐에서는 4,100m³/s의 설계 홍수량을 전량 PK위어로 방류하게 된다.

학술/기술기사

(3) 알제리

- Zit Amba 댐

댐의 최고 상승 수위는 그대로 유지하면서 기존댐의 활용 저수 용량과 방류 능력을 동시에 증가시키기 위해서 PK위어를 설치하는 계획이다.

PK위어의 마루고를 기존 ogee 위어의 마루고보다 2.5m 올림으로써 활용 가능한 저수용량을 2천2백만 m^3 추가로 확보하고, 기존 위어보다 슐(sill)을 낮추어 5.7m 높이의 PK위어를 설치함으로써 방류 능력을 기존 1,094 m^3/s 에서 1,132 m^3/s 로 증대시키게 된다. PK위어는 11 사이클이고 총 위어의 폭은 50m(4.54m×11)이다.

- Ain Zada 댐

1983년 완공된 중심 점토 코어형 록필댐이다. 앞의 Zit Amba 댐과 마찬가지로 PK위어를 설치하여 댐의 최고 상승 수위는 그대로 유지하면서 댐의 활용 저수 용량과 방류 능력을 증가시키는 계획이다.

PK위어의 마루고를 기존 ogee 위어의 마루고보다 3.0m 올림으로써 활용 저수용량을 4천1백만 m^3 추가로 확보하고, 기존 위어보다 슐

(sill)을 낮추어 9.0m 높이의 PK위어를 설치함으로써 방류 능력을 4,400 m^3/s 에서 4,650 m^3/s 로 증대시킨다.

(4) 호주

- Dartmouth댐

1979년 완공된 높이 180m의 필댐으로서 저수용량이 38억 m^3 에 달하는 호주에서 제일 높은 댐이다. 댐 안전과 관련한 1998년 호주 대담회의 지침에 의하면 극단의 위험 댐 그룹으로 분류되는 본 댐은 PMF(20,200 m^3/s) 조건에서 월류에 대해 안전해야 하지만 현재의 댐 여수로는 이 값의 절반에도 미치지 못하는 홍수량을 대상으로 설계되어 있다.

따라서 PMF를 처리할 수 있는 여러 대안에 대하여 수리 모형실험 성과, 공사비와 유지 관리비, 시공성, 운영상의 안전성, 환경성 등을 고려하여 검토한 결과 PK위어와 댐 마루의 parapet wall 설치로 결정되었다. PK위어는 기존의 여수로 지점에 건설된다. 수리 모형실험을 통하여 채택된 PK위어는 7 사이클로서 높이 9m, 폭 91m, 길이 36m이며 PK위어 벽체의 총 길이는 대략 600m이다. 🌀

참고문헌

1. 이응천, “댐 및 수력발전 공학”, 2011 5, 씨아이알, p.217-223
2. Ricky M. Anderson & Blake P. Tullis, “Piano Key Weir Hydraulics”, 31st Annual USSD Conference, San Diego, California, April 11-15, 2011
3. F. Lempérière, “New Labyrinth weirs triple the spillways discharge-Data for an easy design of P.K.Weir” <<http://www.hydrocoop.org>>
4. F. Lempérière & A. Ouamane, “The Piano Keys Weir: a new cost-effective solution for spillways.” The international journal on Hydropower and Dams. Issue Five. p.144-149, 2003
5. F. Laugier, “Design and construction of a labyrinth PKW spillway at Saint-Marc dam, France”, The International Journal on Hydropower & Dams, p.100-107, Issue Five, 2009.
6. M. Barcouda, O. Cazaillet & P. Cochet, “Cost Effective Increase in Storage And Safety of Most Dams Using Fusegates or P.K. Weirs”, ICOLD Q.86-R.3, Barcelona, 2006
7. Patrick Reynolds, “Piano Key Weir Growth”, International Water Power and Dam Construction, June, 2010
8. Patrick Reynolds, “PK Weirs in Vietnam”, Jan. 2011
9. Michael A. Phillips, Kelly Maslin & Andrew Reynolds, “Increasing spillway capacity at Dartmouth Dam”, May, 2011
10. F. Lempérière, J.P. Vigny & A. Ouamane, “Promising future for P.K. Weirs”, The International Journal on Hydropower & Dams, p.90-93, Issue Two, 2012
11. M. Leite Ribeiro, M. Bieri & J. Boillat, “Hydraulic Capacity of Existing Spillways-Design of Piano Key Weirs”, ICOLD Q.90-R.43, Brasilia, 2009
12. A. Ouamane & F. Lempérière, “Design of a new economic shape of weir”
13. R. M. Khaturia, “Remodelling of Existing Spillways (Part 2)”, October 29, 2008