

# 나팔형 여수로를 가진 기존댐의 수리·수문학적 안전성평가에 관한 연구

A Study on Evaluation for Hydraulic and Hydrologic Safety of  
an Existing Dam with Morning Glory Spillway

신은우\*      김경덕\*\*  
Shin, Eun-Woo      Kim, Kyung-Duk

## Abstract

In this study, hydraulic and hydrologic safety of an existing dam with morning glory spillway was evaluated and the problems were derived in order to control extreme floods efficiently. For design flood(520cms and EL. 170.3m), the spillway was turned out to have no problem for discharge and negative pressure in vertical transition. However, the critical point for discharge starts with EL. 170.7m which transits weir flow condition to orifice flow condition and there may be negative pressure in weir crest. While maximum water level can not be greater than EL. 170.5m including freeboard according to the dam design criteria, the maximum water level based on reservoir routing was turned out to be EL. 172.46m, and fundamental measures should be requested and planned.

## 요 지

본 연구에서는 절대적인 안전성이 요구되는 댐의 홍수방어능력을 확보하기 위해서 나팔형 여수로를 가진 기존댐에 대한 수리·수문학적 안전성을 평가하였다. 검토결과 현재의 설계홍수량인 520cms(EL. 170.30m)에 대해서는 홍수소통과 연직관의 부압발생의 문제가 없는 것으로 나타났으나, 오리피스 흐름으로 변환되는 EL. 170.70m를 초과하는 방류에는 한계가 있는 것으로 나타났으며, 웨어의 정점 부근에서 부압 발생의 가능성이 있는 것으로 판단된다. 여유고를 고려한 댐최고수위는 EL. 170.5m를 넘지 않아야 하는데, 금번 저수지 홍수추적 결과 댐최고수위 EL. 172.46m로 약 2m 상회하는 것으로 나타나 이에 대한 근본적인 대책이 필요하다고 판단된다.

**Keywords :** hydraulic and hydrologic safety, morning glory spillway, reservoir routing

**핵심 용어 :** 수리·수문학적 안전성, 나팔형 여수로, 저수지 홍수추적

\* 한국시설안전기술공단 진단 2본부 본부장, 공학박사

\*\* 한국시설안전기술공단 진단 2본부 과장, 공학박사

E-mail : ewshin@kistec.or.kr 031-910-4008

•본 논문에 대한 토의를 2004년 3월 31일까지 학회로 보내  
주시면 2004년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

우리 나라의 수문학적 특수성으로 인하여 예로부터 저수지 축조에 적극적이었으며, 해방이후 본격적인 국토개발과 함께 많은 댐이 건설되어 왔다. 이러한 상황에서 댐들을 효율적으로 운영하고 안전하게 홍수를 소통하는 것은 대단히 중요하며, 정기적으로 정밀안전진단을 실시함으로써 댐 시설물의 구조적, 기능적 결함을 도출하고 있다.

최근의 수문기상학적 변화와 더불어 기존댐이 건설당시 제한된 수문자료에 개략적인 경험적 기법을 적용하여 설계가 되었으므로, 현재의 시점에서 관측자료의 누적에 따른 수문자료의 확충과 발전된 해석기법을 기반으로 기존댐의 수문량을 평가할 필요성이 대두되고 있다. 우리 나라의 경우 댐하류에 인구가 조밀하여 댐과 피가 발생한다면 가히 천재지변의 인명 및 재산피해가

발생할 것으로 예상되므로 이에 대한 요구는 더욱 중요시된다.

우리 나라의 댐 및 저수지의 총수는 1999년말 현재 약 18,000개소이며, 그 중 국제대담회 기준 대담에 속하는 댐은 1,214개소로 조사된 바 있다(한국수자원공사, 2000). 이 중 목적별로는 관개용수댐이 1,114개소(91.8%)로서 가장 많으며, 댐형식별로는 코아형 사력댐이 795개소(65.5%)로 가장 많이 건설되어 사용되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 1970년대에 천수답에 농업용수를 공급하고 생활용수 및 관개용수를 공급하기 위하여 준공된 A댐(나팔형 여수로를 가진 댐 높이는 50m, 댐길이는 169m의 중앙심벽식 사력댐)에 대한 수리·수문학적 안전성을 평가하여 문제점을 도출하고자 하였다. 대상댐에 대하여 현재까지의 수문자료를 수집, 구축하고 다음과 같은 사항을 고려하여 Fig. 1과 같은 절차로 댐 여수로의 방류능력을 평가였다.

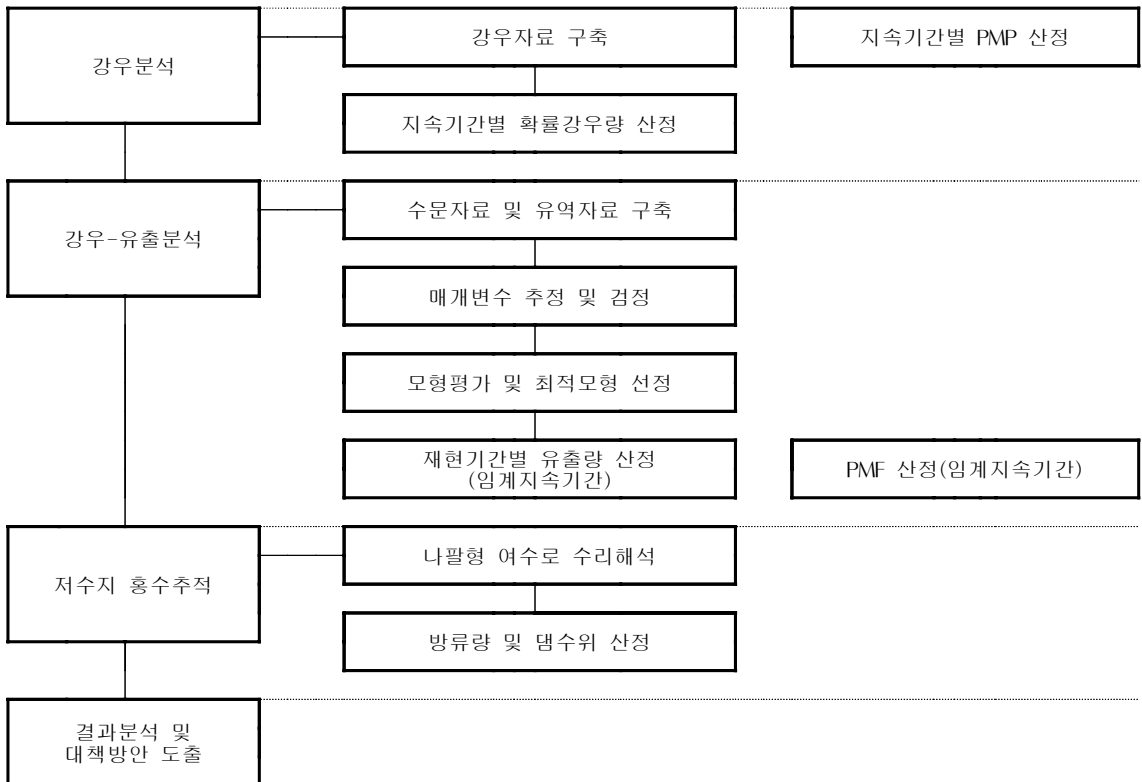


Fig. 1 안전해석 흐름도

- 1) A댐에는 실시간 수문(댐유입량, 방류량 등) 관측 자료가 전무하여 PCS를 이용한 강우 및 수위 관측기를 설치하고 실시간 관측을 실시하였다.
- 2) 나팔형 여수로의 저수위-방류량 곡선 산정, 유입부의 종단면형 적정 설계 검토, 수평방류관의 흐름 특성 분석, 공기유입관 적정 설계 검토 등 수리학적 분석을 수행하였다.
- 3) 임의 지속시간의 홍수 수문곡선에 대하여 저수지 홍수추적을 수행함으로써 저수지 최고수위가 발생하는 지속시간을 대상으로 하였다.

## 2. 강우분석

포항 기상청 자료에서 매년 주요한 강우사상에 대하여 각 지속시간별로 최대치가 나타날 수 있도록 자기우량지를 수집하여 지속시간별로 최대치 자료를 구축하였다(강우 지속시간 1시간, 2시간, 3시간, 4시간, 6시간, 9시간, 12시간, 15시간, 18시간, 24시간, 48시간). 확률분포형은 gamma 분포형, GEV(General Extreme Value) 분포형, Gumbel 분포형, log-Gumbel 분포형, lognormal 분포형, log-Pearson type III 분포형, Weibull 분포형, Wakeby 분포형을 적용하였으며, 확률분포형의 매개변수는 모멘트법(method of moments : MOM), 최우도법(method of maximum likelihood : ML), 확률가중 모멘트법(method of probability weighted moments : PWM)으로 추정하였다. 도시적인 해석과 적합도 검정( $\chi^2$ -검정, Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정, Cramer von Mises(CVM) 검정, probability plot correlation coefficient(PPCC) 검정)을 통하여 적정 확률분포형을 선정하였다. 전 지속시간에 대하여 동일한 확률분포형을 선정하게 되면, 확률강우강도식을 유도할 때, 재현기간이 커짐에 따라 발생할 수 있는 확률강우량의 역전현상을 방지할 수 있기 때문에 각 검정과 도시적 해석 결과가 양호한 경우에는 동일한 확률분포형을 선정하는 것도 하나의 방법이라 판단된다. 따라서, 각 지속시간에 대하여 전반적으로 가장 많이 채택된 Gumbel 분포형을 적정분포형으로 선정하였다. 지점 확률강우량을 면적 확률강우량으로 변환하는 것이 필요한데, 대상유역에 위치하는 포

Table 1 각 지속시간별 확률강우량 및 PMP

| 지속시간<br>(hr) | 확률강우량 (mm) |         | PMP (mm) |
|--------------|------------|---------|----------|
|              | 100년 빈도    | 200년 빈도 |          |
| 4            | 113.8      | 123.9   | 339.0    |
| 6            | 151.0      | 170.1   | 436.0    |
| 9            | 209.2      | 245.1   | -        |
| 12           | 247.4      | 293.7   | 611.0    |
| 15           | 274.8      | 328.3   | -        |
| 18           | 284.5      | 333.3   | 719.0    |
| 24           | 320.5      | 372.2   | 786.0    |
| 48           | 349.9      | 403.5   | 927.0    |

항 관측소 자료만 자료기간이 비교적 길어 빈도해석이 가능하였으며, 유역면적이 52.8km<sup>2</sup>로 비교적 작고 댐 안전성을 고려하여 지점 확률강우량을 면적강우량으로 사용하였다. 가능최대 강수량(PMP)은 수문기상학적 방법을 사용하였으며, 수문자료의 수집, 구축 및 분석은 한국건설기술연구원의 협조에 의하여 이루어 졌음을 밝히는 바이다(건설교통부, 2000).

## 3. 강우-유출분석

단위도법을 이용한 확률홍수량 산정은 확률강우량을 입력자료로 사용하며, 주요 실측 시간별 홍수사상에 의한 단위도를 유도하여 얻어진다. 확률강우량을 이용하여 지속시간 4시간부터 증가시켜 가면서 단위도를 통한 유출수문곡선을 작성하였으며, 확률강우량의 시간분포는 실측 호우사상의 통계적 처리에 의한 Huff의 시간적 분포를 사용하였다.

대상유역에 대한 강우-유출모형의 매개변수를 산정하기 위해서는 강우와 유출에 대한 실측자료를 이용하여 면밀한 검정(calibration)과 검증(verification)의 과정이 필요하다. 그러나, A댐 유역은 실시간 홍수량의 관측이 행해지지 않은 미계측 유역이므로 정확한 대표 단위도를 유도하기 위해서 수문자료의 관측이 불가피하였다. 수문자료의 관측을 위하여 댐지점에 강우량과 댐의 수위변화를 계측할 수 있는 센서를 설치하여 데이터 로거에 값을 기록하고 로거의 무선 인터넷 기능을 이용하여 원격지 데이터베이스에 저장함으로써 강우-유출모형 구축에 필요한 실측자료를 수집하는데 현장성과 실시간 동시성을 확보할 수 있었으며, 효과적인 실측자



Fig. 2 수위-강우 계측시스템의 설치전경

료를 얻을 수 있었다. 다음 Fig. 2는 설치완료후의 수위-강우 계측시스템의 전경을 나타내고 있다.

해석기간 중 A댐 유역의 계측된 호우사상 중 가장 큰 7월 15~16일 호우사상에 적용하였다. 차후 지속적인 계측으로 많은 호우자료의 축적이 이루어진다면 더 정확하고 신뢰성 있는 분석이 이루어 질 수 있을 것으로 판단된다. 강우-유출자료를 이용한 유역의 단위도 유도는 HEC-1 모형의 Clark 합성단위도 방법, SCS 무차원단위도 방법 및 Snyder 단위도법을 같은 호우사상에 대하여 적용하였다. 관측한 호우사상에 대하여 홍수 유입량을 산정하고 그 때의 관측 유입량과 비교하였다. 다음 Fig. 3은 실제 홍수사상에 대한 Clark, SCS, Snyder 단위도법에 의한 유입량 모의 운영결과와 실측유입량을 비교한 것이다.

본 댐은 용수전용댐으로서 홍수조절공간이 부족하고 일정수위에 도달하면 방류되는 나팔형 여수로를 가진 댐이므로 실제 호우사상을 비교적 잘 모의하고 추정 홍수량이 최대가 나타나는 SCS 모형을 적정 모형으로 선정하였다. 강우의 시간분포는 Huff의 각 분위에 대하여 각 지속기간별로 유출량을 산정하였으며, 다음 표 2는 산정된 홍수량 분석결과를 나타내고 있다. SCS 단위도법의 경우 지속기간 15시간, Huff 3분위에 대하여 100년 빈도 365cms, 200년 빈도 452cms, 지속기간 12시간 PMF 1,052cms로 산정되었다. 금번분석에서 PMF 추정치는 기존의 최대홍수량을 상회하는 것으로 분석되었다.

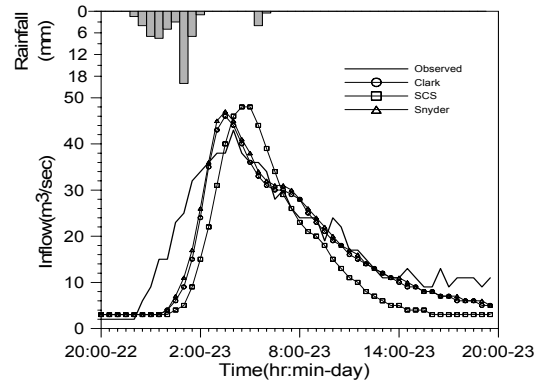


Fig. 3 A댐 유역 수문곡선 비교(2001.7.15 - 7.16)

#### 4. 나팔형 여수로 수리해석

A댐의 여수로 형식은 나팔형 여수로(morning glory spillway)로서, 일반적으로 나팔형 여수로의 수리 특성은 수리모형실험을 통하여 분석한다. 본 연구에서는 제반 제약 사항 등으로 인하여 직접 수리모형실험은 실시하지 않았으며, 기존의 연구 성과를 바탕으로 A댐의 나팔형 여수로에 대하여 수리특성(여수로의 저수위-방류량 곡선 산정, 유입부의 종단면형 적정 설계 검토, 수평방류관의 흐름 특성 분석, 공기유입관 적정 설계 검토)을 검토하였다(USBR, 1977; Novak과 Cabelka, 1981; Campbell과 Guyton, 1953).

##### 4.1 여수로의 저수위-방류량 곡선 산정

나팔형 여수로는 최대방류량이 1,000cms 미만인 중소 규모의 댐 가운데 지형조건이 협소하여 여수로의 공간이 제한될 경우에 사용한다. 나팔형 여수로는 나팔모양을 가진 원형 웨어(overflow control weir), 연직관(vertical transition), 그리고 수평방류관(closed discharge channel)으로 구분할 수 있다. 원형 웨어와 연직관은 월류한 흐름이 저항 없이 통과할 수 있도록 설계되어야 하며, 수평방류관은 부압 발생 등의 위험을 고려하여 자유수면을 확보하여야 한다. 여수로의 흐름은 저수지 수위의 변화에 따라 세 가지 형태로 분류할 수 있다(USBR, 1977).

Table 2 홍수량 분석결과 비교 단위 : m<sup>3</sup>/s

| 구 분  | 지속기간         | 재 현 기 간 |         |        | 채택수문자료       |        |        | 최대홍수량  |         |        | 비 고    |  |
|------|--------------|---------|---------|--------|--------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--|
| 설계당시 | 1일 최대        | -       |         |        | 포항 1951-1971 |        |        | 595.0  |         |        |        |  |
| 급회분석 | 지속기간<br>(hr) | 분위      | 재 현 기 간 |        |              |        |        |        |         |        |        |  |
|      |              |         | 100 yr  |        |              | 200 yr |        |        | PMF     |        |        |  |
|      |              | Clark   | SCS     | Snyder | Clark        | SCS    | Snyder | Clark  | SCS     | Snyder |        |  |
|      | 04           | 1       | 116.66  | 141.92 | 116.72       | 132.02 | 162.24 | 131.75 | 489.73  | 655.57 | 481.99 |  |
|      |              | 2       | 128.18  | 153.22 | 127.98       | 144.95 | 174.81 | 144.35 | 536.72  | 699.45 | 527.61 |  |
|      |              | 3       | 135.70  | 158.80 | 135.21       | 152.99 | 180.60 | 152.07 | 563.55  | 719.48 | 553.44 |  |
|      |              | 4       | 136.06  | 156.17 | 135.31       | 153.44 | 177.63 | 152.26 | 559.61  | 697.04 | 549.41 |  |
|      | 06           | 1       | 148.90  | 187.83 | 148.19       | 175.02 | 223.34 | 173.78 | 575.74  | 780.75 | 566.60 |  |
|      |              | 2       | 171.52  | 213.66 | 170.11       | 201.80 | 253.94 | 199.69 | 651.42  | 865.51 | 640.43 |  |
|      |              | 3       | 185.12  | 225.41 | 183.20       | 217.84 | 267.82 | 215.15 | 697.65  | 907.81 | 685.46 |  |
| 4    |              | 187.43  | 220.22  | 185.14 | 219.32       | 260.33 | 216.30 | 691.48 | 865.88  | 678.67 |        |  |
| 09   | 1            | 200.70  | 254.78  | 198.74 | 247.53       | 317.84 | 244.57 |        |         |        |        |  |
|      | 2            | 230.35  | 288.29  | 227.52 | 282.99       | 358.51 | 279.11 |        |         |        |        |  |
|      | 3            | 258.66  | 320.20  | 254.86 | 314.76       | 392.87 | 309.82 |        |         |        |        |  |
|      | 4            | 262.22  | 311.37  | 257.99 | 319.12       | 381.77 | 313.79 |        |         |        |        |  |
| 12   | 1            | 225.64  | 285.62  | 223.16 | 280.81       | 360.08 | 277.09 | 680.31 | 903.54  | 669.38 |        |  |
|      | 2            | 256.30  | 317.42  | 252.95 | 317.30       | 397.09 | 312.88 | 746.48 | 963.37  | 735.61 |        |  |
|      | 3            | 289.63  | 355.42  | 285.14 | 356.58       | 440.92 | 350.88 | 827.89 | 1051.95 | 814.92 | 최대     |  |
|      | 4            | 291.83  | 348.44  | 287.26 | 357.35       | 430.00 | 351.75 | 813.15 | 994.05  | 800.55 |        |  |
| 15   | 1            | 235.81  | 295.26  | 233.06 | 297.13       | 376.28 | 293.25 |        |         |        |        |  |
|      | 2            | 264.82  | 321.04  | 261.41 | 328.75       | 402.99 | 324.33 |        |         |        |        |  |
|      | 3            | 300.91  | 364.92  | 296.60 | 370.01       | 451.72 | 364.68 |        |         |        |        |  |
|      | 4            | 303.73  | 356.91  | 298.96 | 373.98       | 442.43 | 368.18 |        |         |        |        |  |
| 18   | 1            | 228.06  | 280.57  | 225.54 | 277.84       | 345.91 | 274.49 | 692.22 | 892.98  | 682.28 |        |  |
|      | 2            | 250.12  | 298.19  | 247.06 | 304.29       | 365.75 | 300.47 | 733.47 | 903.63  | 723.85 |        |  |
|      | 3            | 286.52  | 340.52  | 282.52 | 346.49       | 414.06 | 341.66 | 813.80 | 995.03  | 803.73 |        |  |
|      | 4            | 290.18  | 339.58  | 285.95 | 348.46       | 410.06 | 343.51 | 804.51 | 960.65  | 794.84 |        |  |
| 24   | 1            | 229.94  | 274.27  | 227.37 | 278.12       | 335.65 | 274.74 | 662.78 | 828.91  | 654.43 |        |  |
|      | 2            | 247.15  | 283.32  | 244.22 | 294.48       | 339.88 | 290.96 | 681.97 | 806.39  | 674.68 |        |  |
|      | 3            | 279.92  | 321.77  | 276.29 | 334.55       | 386.54 | 330.32 | 757.06 | 890.43  | 748.96 |        |  |
|      | 4            | 285.57  | 328.46  | 281.82 | 336.64       | 389.09 | 332.35 | 750.90 | 878.15  | 743.09 |        |  |
| 48   | 1            | 169.54  | 184.53  | 167.98 | 201.21       | 220.64 | 199.30 | 521.81 | 595.14  | 517.02 |        |  |
|      | 2            | 168.49  | 175.61  | 167.01 | 199.17       | 208.73 | 197.48 | 495.23 | 532.61  | 491.75 |        |  |
|      | 3            | 190.30  | 201.03  | 188.54 | 223.95       | 237.39 | 222.00 | 543.69 | 586.40  | 540.45 |        |  |
|      | 4            | 195.27  | 210.58  | 193.51 | 228.94       | 248.05 | 227.01 | 544.78 | 598.54  | 541.42 |        |  |

저수지의 수위가 낮은 경우에 나팔모양의 유입구는 월류형 웨어와 같은 기능을 한다. 저수지의 수위가 증가하면 관로 내의 흐름은 중력에 의한 흐름과 압력차에 의한 흐름이 공존하는 흐름 상태에 이른다. 그 이후에 저수지의 수위가 계속 증가하면, 관수로 흐름이 된다. 각각의 분류된 흐름에 대한 유량 특성을 Fig. 4에 나타내었다.  $g$ 이하의 수위에서 웨어의 흐름은 자유수면을 가지며 월류 흐름 상태를 보인다. 이때 여수로에서 방류되는 유량은 이러한 월류 흐름 상태에 의해 제어된다. 수위에 따른 유량은 일반적인 웨어의 월류 유량 공

식을 사용하여 구할 수 있다.  $g$ 와  $h$ 사이의 수위에서는 전체 유량이 연직관의 직경에 의해 결정되는데 이러한 구간을 오리피스 흐름 상태라고 한다. 수위가  $h$ 이상이 되면 수평방류관에서 흐름은 만관 상태가 되며 여수로는 관수로 흐름의 특성을 나타내게 된다.

원형 웨어 아래에서 관벽을 따라 흐르는 흐름이 하나의 수맥으로 결합하는 점을 분기점이라고 한다. 월류부의 수위가 증가하면 분기점의 위치는 유입부 쪽으로 상승한다. 월류부의 수위가 Fig. 4에 제시한  $g$ 보다 크게 되면 웨어는 완전히 수몰되어 결국 유입부는 웨어의 기



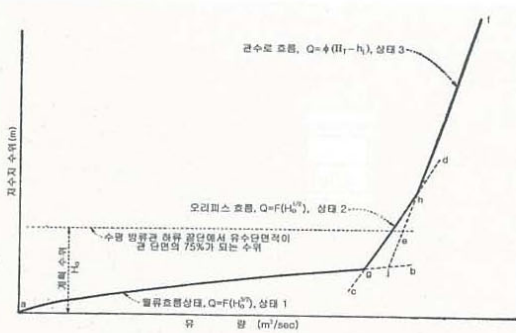


Fig. 4 나팔형 여수로의 저수위-방류량 곡선

능을 상실하게 되며 오리피스 흐름으로 변화한다. 월류 흐름, 오리피스 흐름, 그리고 관수로 흐름의 세가지 조건에 대하여 산정된 여수로의 방류량 관계곡선을 Fig. 5에 제시하였다. 동일한 수위에서 세가지 조건으로부터 산정된 방류량 중 최소값이 실제 여수로의 방류량이 된다. Fig. 5에서 A댐 여수로는 수위가 EL. 170.7m 미만에서는 월류 흐름의 형태를 나타내며, 이후 A댐의 정점인 EL. 172.7m까지 오리피스 흐름을 형성하고 있다. A댐의 여수로에서 관수로 흐름은 발생하지 않는 것으로 나타났다. Fig. 5에서 수위가 약 EL. 170.3m일 때 설계홍수량 520cms가 여수로를 통하여 방류됨을 확인할 수 있다. 이것은 현재의 설계홍수위인 EL. 170.2m와 유사한 값으로서 현재 설정된 설계홍수위의 타당성을 확인할 수 있다. 그리고 수위가 EL. 170.7m 이상에서는 오리피스 흐름이 형성되어 수위의 변화에 대한 방류량의 민감도가 현저하게 감소하고 있으며, 댐 마루 표고 EL. 172.7m에서는 약 680cms의 유량을 방류할 수 있는 것으로 계산되었다.

#### 4.2 웨어의 종단면형 검토

원형 웨어에서의 월류 수맥의 단면형은 직선형 웨어와 다른 특성을 갖는다. 직선형 웨어의 경우 수두가 증가함에 따라 월류 수맥의 단면은 웨어로부터 멀어지게 된다. 이와는 다르게 원형 웨어의 경우  $H_s/R_s = 0.5$  이하인 범위에서의 월류 수맥 정상부 만이 수위의 증가에 따라 웨어로부터 멀어질 뿐이며 수맥의 하류부는 오히려 가까워지는 경향을 보인다. 즉, 수위가 낮아짐에

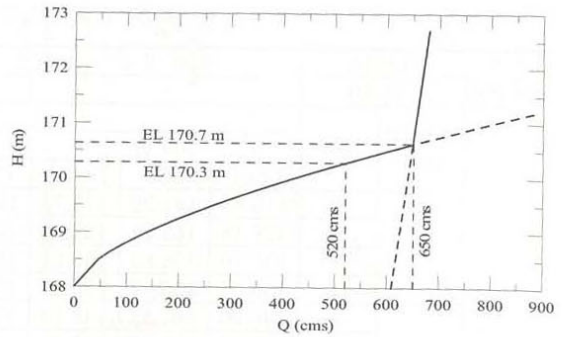


Fig. 5 여수로의 저수위-방류량 곡선

따라 수맥의 하류 부분에서 수맥이 웨어와 붙일치 되어 공간이 발생할 수 있다. 수위가 낮아지면서 월류 수맥이 웨어의 단면에서 떨어지는 이 같은 현상은 수맥을 따라 부압이 발생할 수 있으며 구조물의 안전에 위험적인 요소가 된다. 웨어의 단면 설계가  $H_s/R_s$  값이 약 0.25-0.3을 초과하는 범위에서 이루어진 경우에는 설계홍수위 보다 낮은 수위에서 발생가능한 부압에 대하여 검토하여야 한다(USBR, 1977).

Table 3은 덕동댐의 여수로에 해당하는  $P/R_s = 0.3$ 인 경우에 대한 수맥의 형상을 웨어의 정점을 원점으로 하여 좌표로 나타낸 것이다. A댐의 설계홍수위(웨어 정부로부터 2.2 m)에 대한  $H_s$ 를 산정하면 2.41m이다. 따라서,  $H_s/R_s = 0.21$ 이므로 USBR(1977)에서 제시한 범위에 포함되지 않으며 설계홍수위보다 낮은 수위에 대한 부압을 고려할 필요는 없다. 그러나 수위가 증가함에 따라 월류 수맥의 정상부가 웨어로부터 멀어지는 현상이 발생하고 있으며  $H_s = 4.6m$  부근에서 웨어와 수맥 사이의 간격이 최대가 되는 것으로 나타났다. 저수지의 수위가 설계홍수위 이상인 경우에 웨어의 정점 부근에서는 부압 발생의 가능성이 있는 것으로 판단된다.

#### 4.3 수평방류관에서의 공기 흐름 특성 검토

A댐의 감세지는 버킷(bucket) 형식으로 되어 있으므로 A댐에서 수평방류관의 하류단 수위는 수평방류관의 흐름에 영향을 주지 않으며, 수평방류관 내에서 도수 발생의 가능성은 없다.

Table 3  $H_s/R_s$  값에 따른 웨어의 단면 ( $P/R_s = 0.3$ )

| $\frac{H_s}{R_s}$ | 0.20                             | 0.25    | 0.30   | 0.35   | 0.40   | 0.45   | 0.50   | 0.60   | 0.80   |
|-------------------|----------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\frac{X}{H_s}$   | 웨어 정점 이상 단면부에 대한 $\frac{X}{H_s}$ |         |        |        |        |        |        |        |        |
| 0.000             | 0.0000                           | 0.0000  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.010             | 0.0130                           | 0.0130  | 0.0130 | 0.0125 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0115 | 0.0110 | 0.0100 |
| 0.020             | 0.0245                           | 0.0242  | 0.0240 | 0.0235 | 0.0225 | 0.0210 | 0.0195 | 0.0180 | 0.0170 |
| 0.030             | 0.0340                           | 0.0335  | 0.0330 | 0.0320 | 0.0300 | 0.0290 | 0.0270 | 0.0240 | 0.0210 |
| 0.040             | 0.0415                           | 0.0411  | 0.0390 | 0.0380 | 0.0365 | 0.0350 | 0.0320 | 0.0285 | 0.0240 |
| 0.050             | 0.0495                           | 0.0470  | 0.0455 | 0.0440 | 0.0420 | 0.0395 | 0.0370 | 0.0325 | 0.0245 |
| 0.060             | 0.0560                           | 0.0530  | 0.0505 | 0.0490 | 0.0460 | 0.0440 | 0.0405 | 0.0350 | 0.0250 |
| 0.070             | 0.0610                           | 0.0575  | 0.0550 | 0.0530 | 0.0500 | 0.0470 | 0.0440 | 0.0370 | 0.0245 |
| 0.080             | 0.0660                           | 0.0620  | 0.0590 | 0.0565 | 0.0530 | 0.0500 | 0.0460 | 0.0385 | 0.0235 |
| 0.090             | 0.0705                           | 0.0660  | 0.0625 | 0.0595 | 0.0550 | 0.0520 | 0.0480 | 0.0390 | 0.0215 |
| 0.100             | 0.0740                           | 0.0690  | 0.0660 | 0.0620 | 0.0575 | 0.0540 | 0.0500 | 0.0395 | 0.0190 |
| 0.120             | 0.0800                           | 0.0750  | 0.0705 | 0.0650 | 0.0600 | 0.0560 | 0.0510 | 0.0380 | 0.0120 |
| 0.140             | 0.0840                           | 0.0790  | 0.0735 | 0.0670 | 0.0615 | 0.0560 | 0.0515 | 0.0355 | 0.0020 |
| 0.160             | 0.0870                           | 0.0810  | 0.0750 | 0.0675 | 0.0610 | 0.0550 | 0.0500 | 0.0310 |        |
| 0.180             | 0.0885                           | 0.0820  | 0.0755 | 0.0675 | 0.0600 | 0.0535 | 0.0475 | 0.0250 |        |
| 0.200             | 0.0885                           | 0.0820  | 0.0745 | 0.0660 | 0.0575 | 0.0505 | 0.0435 | 0.0180 |        |
| 0.250             | 0.0855                           | 0.0765  | 0.0685 | 0.0590 | 0.0480 | 0.0390 | 0.0270 |        |        |
| 0.300             | 0.0780                           | 0.0670  | 0.0580 | 0.0460 | 0.0340 | 0.0220 | 0.0050 |        |        |
| 0.350             | 0.0660                           | 0.0540  | 0.0425 | 0.0295 | 0.0150 |        |        |        |        |
| 0.400             | 0.0495                           | 0.0370  | 0.0240 | 0.0100 |        |        |        |        |        |
| 0.450             | 0.0300                           | 0.0170  | 0.0025 |        |        |        |        |        |        |
| 0.500             | 0.0090                           | -0.0060 |        |        |        |        |        |        |        |
| 0.550             |                                  |         |        |        |        |        |        |        |        |
| $\frac{Y}{H_s}$   | 웨어 정점 이하 단면부에 대한 $\frac{Y}{H_s}$ |         |        |        |        |        |        |        |        |
| -0.000            | 0.519                            | 0.488   | 0.455  | 0.422  | 0.384  | 0.349  | 0.310  | 0.238  | 0.144  |
| -0.020            | 0.560                            | 0.528   | 0.495  | 0.462  | 0.423  | 0.387  | 0.345  | 0.272  | 0.174  |
| -0.040            | 0.598                            | 0.566   | 0.532  | 0.498  | 0.458  | 0.420  | 0.376  | 0.300  | 0.198  |
| -0.060            | 0.632                            | 0.601   | 0.567  | 0.532  | 0.491  | 0.451  | 0.406  | 0.324  | 0.220  |
| -0.080            | 0.664                            | 0.634   | 0.600  | 0.564  | 0.522  | 0.480  | 0.432  | 0.348  | 0.238  |
| -0.100            | 0.693                            | 0.664   | 0.631  | 0.594  | 0.552  | 0.508  | 0.456  | 0.368  | 0.254  |
| -0.150            | 0.760                            | 0.734   | 0.701  | 0.661  | 0.618  | 0.569  | 0.510  | 0.412  | 0.290  |
| -0.200            | 0.831                            | 0.799   | 0.763  | 0.823  | 0.677  | 0.622  | 0.558  | 0.451  | 0.317  |
| -0.250            | 0.893                            | 0.860   | 0.826  | 0.781  | 0.729  | 0.669  | 0.599  | 0.4830 | 0.341  |
| -0.300            | 0.953                            | 0.918   | 0.880  | 0.723  | 0.779  | 0.708  | 0.634  | 0.510  | 0.362  |
| -0.400            | 1.060                            | 1.024   | 0.981  | 0.932  | 0.867  | 0.780  | 0.692  | 0.556  | 0.396  |
| -0.500            | 1.156                            | 1.119   | 1.072  | 1.020  | 0.938  | 0.841  | 0.745  | 0.595  | 0.424  |
| -0.600            | 1.242                            | 1.203   | 1.153  | 1.098  | 1.000  | 0.891  | 0.780  | 0.627  | 0.446  |
| -0.800            | 1.403                            | 1.359   | 1.301  | 1.227  | 1.101  | 0.970  | 0.845  | 0.672  | 0.478  |
| -1.000            | 1.549                            | 1.498   | 1.430  | 1.333  | 1.180  | 1.028  | 0.892  | 0.707  | 0.504  |
| -1.200            | 1.680                            | 1.622   | 1.543  | 1.419  | 1.240  | 1.070  | 0.930  | 0.733  | 0.524  |
| -1.400            | 1.800                            | 1.739   | 1.647  | 1.489  | 1.287  | 1.106  | 0.959  | 0.757  | 0.540  |
| -1.600            | 1.912                            | 1.849   | 1.740  | 1.546  | 1.323  | 1.131  | 0.983  | 0.778  | 0.551  |
| -1.800            | 2.018                            | 1.951   | 1.821  | 1.590  | 1.353  | 1.155  | 1.005  | 0.797  | 0.560  |
| -2.000            | 2.120                            | 2.049   | 1.892  | 1.627  | 1.380  | 1.175  | 1.022  | 0.810  | 0.569  |
| -2.500            | 2.351                            | 2.261   | 2.027  | 1.697  | 1.428  | 1.218  | 1.059  | 0.837  |        |
| -3.000            | 2.557                            | 2.423   | 2.113  | 1.747  | 1.464  | 1.247  | 1.081  | 0.852  |        |
| -3.500            | 2.748                            | 2.536   | 2.167  | 1.778  | 1.489  | 1.263  | 1.099  |        |        |
| -4.000            | 2.911                            | 2.617   | 2.200  | 1.796  | 1.499  | 1.274  |        |        |        |
| -4.500            | 3.052                            | 2.677   | 2.217  | 1.805  | 1.507  |        |        |        |        |
| -5.000            | 3.173                            | 2.731   | 2.223  | 1.810  |        |        |        |        |        |
| -5.500            | 3.290                            | 2.773   | 2.228  |        |        |        |        |        |        |
| -6.000            | 3.400                            | 2.808   |        |        |        |        |        |        |        |
| $\frac{H_s}{R}$   | 0.20                             | 0.25    | 0.30   | 0.35   | 0.40   | 0.45   | 0.50   | 0.60   | 0.80   |

따라서, A댐의 여수로는 설계홍수량(520 cms)에 대해 도수가 발생하지 않으면서 자유수면을 갖는 흐름 영역에 포함된다. 이러한 형식은 부압에 의한 안전성을 고려할 때 가장 이상적인 수평방류관의 설계이다. 수평방류관의 직경과 적절한 공기유입관의 설계는 나팔형 여수로에서 발생할 수 있는 부압을 피하기 위한 중요한 요소이다. 이를 위하여 수평방류관의 직경은 여수로의 설계 유량에 대해서 관의 75%를 유지할 수 있는 크기이어야 하며, 공기유입관은 유입되는 공기양의 최대 값에 대해 설계되어야 하므로 A댐에서는 이러한 두 가지 사항을 검토하였다.

#### 4.3.1 수평방류관의 적정 단면적

수평방류관에서의 흐름은 사류이므로 계산은 상류에서 하류 방향으로 수행하였으며, 연직관의 조절점을 상류단 경계로 하였다. 설계홍수량이 통수되는 경우에 배수곡선은 S3곡선을 형성하며, 하류단에서 최대 수심이 발생한다. 이때, 하류단의 유수 단면적 비율이 약 73%로 산정되었다. USBR(1977)에서는 유수 단면적이 수평방류관 단면적의 75% 이하인 경우에 부압 발생에 대하여 안전하다고 제시하고 있으며, A댐의 여수로는 현재의 설계홍수량에 대하여 이러한 조건을 만족하고 있다. 방류량 550cms일 때 유수 단면적이 수평방류관 단면적의 75%에 이르는 것으로 나타났다. 따라서, 수평방류관의 안전 측면에서 판단할 때, 현재의 시설규모로서는 최대 550cms까지 방류가 가능한 것으로 나타났다. 그 이상이 방류될 경우 원형웨어에서 월류 흐름 조건을 만족하지만 수평방류관의 안전 측면에서는 문제가 있는 것으로 나타났다.

#### 4.3.2 공기유입관의 크기

공기유입관을 통하여 유입되는 공기는 수평방류관의 흐름을 안정시켜 주는 역할을 한다. 이 때, 공기유입관을 통한 공기의 유입 유속은 압축에 의한 효과를 배제하기 위해서 50m/s이하로 유지되어야 한다(Novak과 Cabelka, 1981). 본 고에서는 A댐 여수로 공기유입관에서의 공기량을 계산하여 공기유입관의 적정규모를 확인하였다. 공기의 흐름량은 여수로의 기하학적인 특징에 따라 변화가 심하므로 수리모형실험을 이용하여

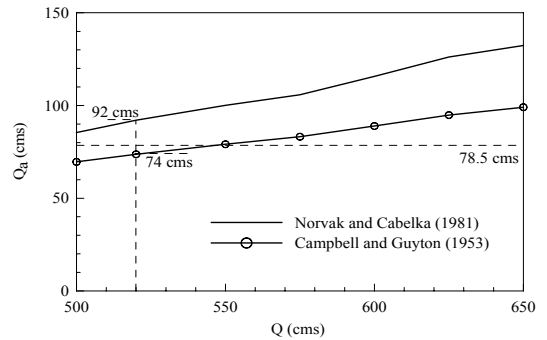


Fig. 6 방류량의 변화에 따른 공기 유입량

검토하여야 하지만 본 고에서는 기존에 제시된 식을 이용하였으며(Campbell과 Guyton, 1953), 수평방류관의 하류단 유수단면적이 전체 수평방류관 단면적의 80% 정도인 650cms까지 적용하여 공기유입량을 산정하였다. Fig.6은 산정된 공기유입량을 나타낸 것으로서, 가로축과 세로축은 각각 여수로를 통하여 방류되는 유량과 유입되는 공기량을 나타낸다. Fig.6에서 식 Novak과 Cabelka(1981)가 제안한 식에 의한 결과가 Campbell과 Guyton(1953)이 제안한 결과보다 다소 크게 나타나고 있으며, 공기 유입량이 방류량에 비례하여 증가하고 있음을 확인할 수 있다. A댐의 설계홍수량인 520cms의 방류량에 대하여 산정된 결과는 각각 74cms와 92cms이다. 산정된 공기량을 A댐의 공기유입관의 총단면적으로 나누어 유속을 계산하면 각각 47m/sec와 58m/sec로서 유속의 상한값인 50m/sec 미만이거나 약간 상회하는 결과를 나타낸다. 이것은 공기유입량 산정공식이 실험에 의한 값이 아닌 개수로 흐름의 경우 적용되는 경험공식임을 감안할 때 설계홍수량인 520cms에 대해서는 큰 무리가 없을 것으로 보인다. 그러나, 설계홍수량을 크게 상회하는 유량에 대해서는 공기 유입관의 단면적이 재조정되어야 할 것이다.

## 5. 비교고찰

금번에 SCS 모형으로부터 산정한 재현기간별, PMF 유출수문곡선에 대하여 저수지 초기수위를 상시만수위인 EL. 168m를 설정하여 수문학적 저수지 홍수추적을 실시하였다.



Table 4 저수지 홍수추적 결과

| 지속<br>기간<br>(hr) | 100년 빈도            |                      |                    | 200년 빈도            |                      |                    | PMF                |                      |                    | 비 고    |
|------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------|
|                  | 최대<br>유입량<br>(cms) | 최고<br>홍수위<br>(EL. m) | 최대<br>방류량<br>(cms) | 최대<br>유입량<br>(cms) | 최고<br>홍수위<br>(EL. m) | 최대<br>방류량<br>(cms) | 최대<br>유입량<br>(cms) | 최고<br>홍수위<br>(EL. m) | 최대<br>방류량<br>(cms) |        |
| 4                | 159                | 168.64               | 90                 | 181                | 168.73               | 102                | 719                | 170.33               | 498                |        |
| 6                | 225                | 168.95               | 133                | 268                | 169.10               | 170                | 908                | 170.97               | 649                |        |
| 9                | 320                | 169.32               | 230                | 393                | 169.54               | 293                |                    |                      |                    |        |
| 12               | 355                | 169.48               | 275                | 441                | 169.74               | 350                | 1052               | 172.18               | 672                |        |
| 15               | 365                | 169.56               | 298                | 452                | 169.84               | 376                |                    |                      |                    |        |
| 18               | 341                | 169.52               | 287                | 414                | 169.76               | 355                | 995                | 172.46               | 675                | 댐수위 최대 |
| 24               | 322                | 169.52               | 287                | 387                | 169.74               | 349                | 890                | 172.03               | 670                |        |
| 48               | 201                | 169.18               | 192                | 237                | 169.31               | 228                | 586                | 170.59               | 561                |        |

Table 4를 살펴보면 재현기간 100년인 경우 강우 지속기간 15시간에서 최대유입량 365cms, 최대방류량 298cms, 댐최고수위 EL. 169.56m로 나타났다. 재현기간 200년인 경우 강우 지속기간 15시간에서 최대유입량 452cms, 최대방류량 376cms, 댐최고수위 EL. 169.84m로 나타났다. PMF인 경우는 강우 지속기간 18시간에서 최대유입량 995cms, 최대방류량 675cms, 댐최고수위 EL. 172.46m로 나타났다.

## 6. 결 론

현재까지의 수문자료를 수집, 구축하여 최근의 기상 상태를 최대한 반영하고, 합리적인 수리·수문모형 기법을 적용하여 댐 여수로의 방류능력을 평가하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) A댐 여수로는 EL. 170.70m 미만에서 월류 흐름 상태를 나타내며, 이후 댐마루까지 오리피스 흐름 상태를 나타내고 있다. 따라서, 현재의 설계홍수량인 520cms(EL. 170.30m)에 대해서는 월류 흐름으로서 통수에는 문제가 없으나 오리피스 흐름으로 변환되는 EL. 170.70m를 초과하는 방류에는 한계가 있을 것으로 판단되며, 이에 대한 대책 수립이 필요하다.
- 2) 여수로 유입부 종단면형의 적정설계 검토결과 현재의 설계홍수량 이내에서는 연직관에 부압 발생의 우려가 없는 것으로 나타났다. 그러나, 저수위가 설계홍수위를 초과하는 경우에는 웨어의 정점 부근에서 부압 발생의 가능성이 있는 것으로 판단된다.

- 3) 공기유입관 적정성을 검토한 결과 설계홍수량 방류시 유수로 유입되는 공기량은 큰 무리가 없는 것으로 나타났으나, 설계홍수량 이상의 유량에 대해서는 공기유입관의 단면적이 확대되어야 한다. 또한, 현재 유입부의 위치(EL. 171.05m)보다 저수지 수위가 높아지는 경우 수몰되므로 높은 곳으로 이동시켜 공기유입에 지장이 없어야 할 것으로 판단된다.
- 4) 수평방류관 내에서 흐름은 도수발생으로 인한 압력 흐름의 가능성이 없는 것으로 판단되며, 설계홍수량이 방류되는 경우, 하류단의 유수 단면적이 수평방류관 단면의 73%로 계산되어 부압에 대하여 안전한 것으로 나타났으며, 수평방류관의 안전측면을 고려할 때 현재 시설규모로는 최대 550cms까지 방류가 가능한 것으로 판단된다.
- 5) 댐설계기준(건설교통부, 2001)에 의하면 PMF시 댐 코아마루(EL. 171.0m)보다 0.5m 여유고를 두도록 하고 있다. 따라서, 여유고를 고려한 댐최고수위는 EL. 170.5m를 넘지 않아야 하는데, 금번 분석결과 댐최고수위 EL. 172.46m로 약 2m 상회하는 것으로 나타났다.

홍수시 댐파괴는 막대한 인명 및 재산피해가 불가피하므로 절대적 안전성이 요구되므로 이에 대한 근본적인 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 건설교통부 (2001). 댐설계기준, 한국수자원학회.
2. 건설교통부 (2000). 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서, 제2권 : 별책부록, 한국 가능최대강수

- 
- 량도, 한국건설기술연구원.
3. 한국수자원공사(2000). 전국의 댐 현황조사 및 댐특성에 관한 연구 - 한국의 댐.
  4. Campbell, F.B. and Guyton, B. (1953). "Air demand in gated outlet work." Proceeding Minnesota International Hydraulic Convention of IAHR, 529-533.
  5. Novak, P. and Cabelka, J. (1981). Models in Hydraulic Engineering, Pitman Publishing Inc., Marshfield, MA.
  6. USBR (1977). Design of Small Dams, US Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO.

(접수일자 : 2003년 8월 5일)