

## 다단계 배수시설로 구성된 광미적치장 배수체계 분석

송원경(한국지질자원연구원)

허승(지오제니컨설턴트)

권현호, 심연식(광해방지사업단)

### 1. 서론

일반적인 댐의 수문 분석에서는 배수구가 단순하여 강우에 의한 유출량과 배수처리량의 합을 단순 비교하여 배수처리 능력을 판단한다. 그러나 광미적치장의 경우에는 지하 배수시설뿐만 아니라 지상배수시설과 비상배수시설 등 여러 단계의 배수처리 시설이 복합적으로 운영되기 때문에 총유출량과 총배수처리량을 단순비교하게 되면 실제와 다른 결과가 나오게 된다.

본 연구에서는 이러한 다단계 배수시설로 구성된 구 상동광산의 신광미적치장(그림 1)의 배수처리 능력을 조사하기 위하여 GIS 기법을 동원하여 수문분석을 실시하였다. GIS 기법은 강우-유출 등 수문학적 모형에 있어서 많은 새로운 방법을 연구할 수 있다. 강우 유출해석에서 GIS의 활용은 자료의 수집, 분석, 보관뿐만 아니라 해석결과의 전달 측면에서도 효과적이다.

수문해석에서 우선 배수시설이 정상적으로 작동할 경우 댐의 배수처리능력을 검토하다. 다음으로 배수시설들이 부분 혹은 전부가 기능을 상실되었을 경우 배수능력을 분석하여 댐의 범람여부를 검토하였다.

유출량 산정에는 미국토양보존국(SCS : U.S Soil Conservation Service)에서 개발한 유효우량 산정법과 홍수 도달시간에 해당하는 특정 발생빈도의 최대 강우강도에 유역의 물리적 상태를 나타내는 유출계수와 유역면적을 곱하여 계산하는 기준합리식을 이용하였다.



(a) 위에서 본 모습



(b) 정면에서 본 모습

그림 1. 구 상동광산 신광미적치장 전경

## 2. 배수체계

신광미적치장 배수체계는 본간선 터널, 지선, 비상배수로 및 지상 배수로로 구성되어 있다(그림 2). 그림에서 보는 바와 같이 신광미적치장은 각 계곡으로부터 유입되는 지표수를 집수하는 4개의 지선(A, B, C, D)이 광미 적치장의 중앙부를 통과하는 본간선에 연결되어 있다(한공창 외, 1997). 지상배수 시스템은 폭우 시 일차 보호용으로 조성된 보조댐, 배수로 그리고 비상배수로 등으로 구성되어 있다. 이들 배수시설의 제원은 표 1과 같다.



그림 2. 광미적치장 배수체계

표 1. 광미적치장 배수시설 제원

시설명	길이(m)	규격(m)
본선	1,250	R=1.25
A지선	111	R=0.75
B지선	35	R=0.75
C지선	89	R=0.75
D지선	164	R=0.75
비상배수로	976	2.7×2.7m

### 3. 분석방법

유출량 즉 댐 영역내로 유입되는 강우량을 산출하는 방법에는 여러 방식이 존재하나, 국내에서 널리 사용되고 있는 유출계수(C)를 이용한 기존합리식 방법과 유출곡선지수(Runoff Curve Number) CN을 사용하는 SCS(U.S Soil Conservation Service)방법을 사용하여 유출량을 계산하였다. 유출량의 산출에서 중요하게 고려해야 할 인자들로는 침투, 지형, 토지이용, 토양, 지질, 토양의 수분상태(선행강우) 등이 있다. 이들 인자를 종합적으로 고려하여 유효우량을 산출하였다.

유효우량이란 지상에 도달한 강우량 중 차단, 저류, 증발, 지하수 침투 등을 제외하고 지표면 및 지표하 유출을 통하여 직접유출을 형성하게 되는 강우량을 말한다.

SCS방법에 의한 유효우량의 산정식은 다음과 같다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

여기서, P : 호우별 총우량 (mm)

S : 유역의 최대 잠재보유수량과 초기손실의 합 (mm)

Q : 직접유출량에 해당하는 유효우량 (mm)

연구대상 지역의 유효강우량을 산정하기 위하여 유역의 토양도(1:50,000) 및 토지이용도(1:25,000)를 이용하여 SCS의 분류체계에 의해 수문학적 토양군(A, B, C, D)와 각 피복항목에 대한 유출곡선지수(CN)값을 산정하였다.

기존합리식에서 침투유량은 홍수 도달시간에 해당하는 특정 발생빈도의 최대 강우강도에 유역의 물리적 상태를 나타내는 유출계수와 유역면적을 곱하여 식(2)와 같이 계산한다. 합리식이 가지는 논리적 근거 및 거동을 실제로 증명할 수 없기 때문에 유출량 추정방법으로는 객관성이 다소 떨어진다고 평가되나, 합리식이 가지는 단순성으로 인해 침투유량 설계가 빠르고 소유역에 적합하기 때문에 국내외에서 널리 사용되고 있다.

$$Q = \frac{1}{3.6} CIA = 0.2778 CIA \quad (2)$$

여기서, Q는 침투홍수량( $m^3/s$ ), C는 무차원 유출계수, I는 도달시간을 강우지속시간으로 하는 특정발생빈도의 확률강우강도(mm/hr), A는 유역면적( $km^2$ )이다. 유출계수는 유역의 형상, 지표면의 피복상태, 식생 피복상태 및 개발상황 등을 감안하여 결정한다(유승근 외, 2002). 연구지역인 광미적치장 유역이 대부분 산지이므로, 텍사스 주 수송국에서 제안된 산지유역의 유출계수를 참조하여 국내 실정에 적합하도록 수정된 유출계수(김지호, 2003)를 적용하였으며, 토지이용 및 경사도별로 산지유역의 유출계수로 제안된 값을 사용하였다. 산지 이외의 유출계수 값은 하천설계기준(유승근 외, 2002)에서 제시한 유출계수와 미국토목학회의 유출계수를 선택하여 경사도에 따라서 보정하여 계산하였다.

강우량은 건설교통부에서 작성한 한국 확률강우량도(2000, 한국건설기술연구원)로부터 구한 상동지역 확률강우량(PMP)을 이용하였다. 일반적으로 댐 수문 해석 시 재현기간은 100년을 기준으로 하므로 본 연구에서도 100년 빈도 1시간 강우량인 80.31mm를 기준으로 계산하였다.

홍수도달시간은 유역의 최원거리 지점에서 내린 비가 유역출구에 도달하는데 소요되는 시간이다. 도달시간 산정은 아래 식과 같이 SCS의 지체공식을 이용하였다.

$$t_c = \frac{1.67L^{0.8}[(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900S^{0.5}} \quad (3)$$

여기서,  $t_c$  : 홍수도달시간(hr)  
 $L$  : 최원거리 지점에서의 유로연장(ft)  
 $CN$  : 유출곡선지수  
 $S$  : 평균경사(%)

배수되는 유량의 산출에는 아래와 같이 Manning 식을 이용하였다.

$$Q = AV \quad (4)$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

여기서,  $Q$  : 배수량 ( $m^3/s$ )  
 $V$  : 유수단면적의 평균속도(m/s)  
 $R$  : 경심 ( $R = \frac{A}{P}$ )  
 $I$  : 관로 경사 (%)  
 $n$  : 조도계수 (콘크리트 관의 경우 0.011~0.015)  
 $A$  : 유수단면적  
 $P$  : 유수가 관과 접하는 길이인 율변

## 4. 배수 특성 분석

### 4.1 배수유역 경계

영역의 구분은 신광미적치장 비상물막이 상류, 하류를 기본유역으로 배수체계를 분석하였고, 점차적으로 세분화하여 각 배수로에 따라서 비상물막이하류, 신설 배수로, 비상배수로, C지선, D지선, 분간지선의 6개 집수구역으로 세분화하여 집수량과 배수량 등의 배수체계를 분석하였다(그림 3).

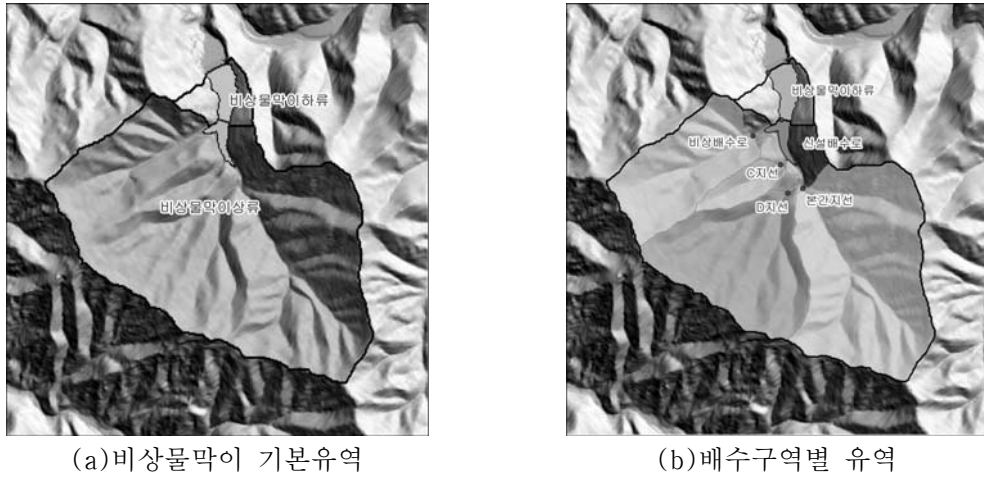


그림 3. 집수구역, 출구점 및 유역경계

#### 4.2 도달시간

각 격자점에서 출구점까지의 유로연장, 토양도와 토지이용도에 의해 산출되는 격자점에서의 유출곡선지수를 적용하였으며, 유역별 평균경사를 사용하여 각 격자점에서의 도달시간을 계산하였다. 산악지형으로 토양적 특성은 비슷할 것으로 보이며, 지형적 특성이 많이 반영되어 계곡부, 능선부, 경사도에 따라 도달시간의 범위가 정해진 것으로 판단된다.

신광미적치장 유역의 최원거리 지점에서의 도달시간은 비상물막이 하류 유역은 22.5분, 비상물막이 상류 유역은 55.0분으로, 강우 개시 후 한 시간 이내에 유역의 모든 강우가 집수구역에 도달하는 것으로 분석되었다(그림 4).

비상물막이 상류 유역을 배수유역에 따라 세분화하여 계산된 도달시간은 비상배수로 유역은 34.2분, C지선 유역은 22.9분, D지선 유역은 35.5분, 본간지선 유역은 43.5분, 신철배수로 유역은 23.5분이다. 도달시간은 대체적으로 유역 내 거리에 비례하며 경사도에 따라서 편차도 보임을 알 수 있다.

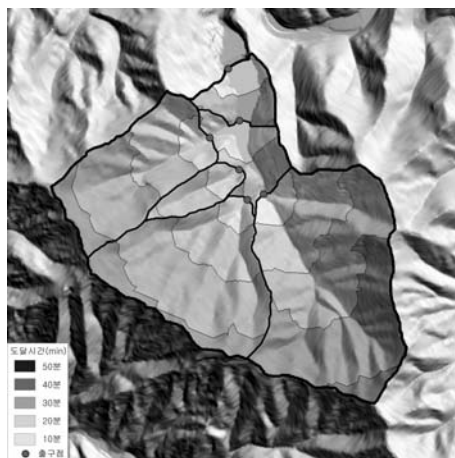


그림 4. 도달시간 분포

### 4.3 유출량

유출량 산출의 유역 분류는 신광미처리장의 비상물막이를 경계로 상류와 하류 두 유역으로 구분하여 기초 유역 분석을 수행하였고, 비상물막이 상류 유역을 각 배수로별로 신설배수로, 비상배수로, C지선, D지선, 본간지선의 5개 유역으로 세분하여 각각에 대한 상세 배수체계를 분석하였다. 유역경계 내의 모든 유출량을 합산하여 각 유역의 유출량을 산출하였는데 이렇게 구한 유역별 시간당 누적 집수량은 표 4와 같다.

SCS방법을 적용한 유출량 산출방법에서 초기 시간의 값들은 강우의 일정량이 토양에 흡수되어 유출이 없다고 가정하였으므로 일정 시간까지의 누적 집수량은 0의 값을 가지게 되며, 기존합리식을 사용한 경우에는 항상 일정량 흡수되고 나머지는 유출되는 것을 가정하고 있기 때문에 초기 시간에도 일정량이 누적되어 집수되는 양상을 보인다.

유역의 면적이 작은 신광미처리장 비상물막이 하류 유역은 SCS방법과 기존합리식 방법의 누적 집수량은 약 5시간 후에 비슷하게 되며, 유역면적이 넓은 신광미처리장 비상물막이 상류 유역은 7시간 후에 각각의 방법으로 계산한 누적집수량이 비슷하게 된다.

신광미처리장 유역을 상세 배수구역별로 분석하면 비상물막이 상류에서는 대체로 6~7시간 정도에서 SCS방법과 기존합리식으로 계산한 누적집수량이 서로 비슷해진다.

누적집수량이 같아진 이후에는 SCS 방법으로 산출된 유출량이 기존합리식을 사용하여 계산된 경우보다 커지게 되는데, 이는 SCS 방법은 초기 시간에는 강우가 전량 토양에 침투, 흡수되어 일정 시간이 경과한 다음부터 유출이 발생되며, 강우가 지속되면 토양이 포화 상태가 되어 점차 강우의 유출 비율이 증가하는 유출 모델이기 때문이다. 반면, 기존합리식 방법은 앞서 설명한 바와 같이 강우량과 유출량의 비율이 시간과 상관없이 일정하게 유지되는 유출 모델이기 때문에 강우 초기부터 유출이 발생하며, 일정 시간 이후에도 강우량의 일부가 지속적으로 토양에 침투, 흡수되는 양상을 보여준다.

표 2. 비상물막이를 경계로 구분한 유역별 시간당 누적 집수량

시간 (min)	SCS 방법(m <sup>3</sup> )		기존합리식 방법(m <sup>3</sup> )	
	비상물막이 하류	비상물막이 상류	비상물막이 하류	비상물막이 상류
0	0	0	0	0
10	0	0	406	897
20	0	0	1,675	4,990
30	0	0	2,977	15,251
40	0	7	4,278	34,938
50	56	63	5,579	62,050
60	232	405	6,880	90,173
∴				
280	34,603	521,287	35,506	708,877
290 <sup>1)</sup>	36,815	559,009	36,807	737,000

300	39,055	597,301	38,109	765,123
∴				
420	67,532	1,090,116	53,723	1,102,598
430 <sup>2)</sup>	70,007	1,133,281	55,024	1,130,721
440	72,494	1,176,691	56,325	1,158,844

#### 4.4 배수량

배수량 산정 입력 변수 중 조도계수는 콘크리트 관의 값(0.011~0.015) 중 배수효율이 가장 낮은 0.015 적용하였으며, 유수단면적 A는 배수로 단면적의 80%를 사용하여 배수량을 구하였다(표 3).

본간선배수로는 C지선, D지선과 본간지선이 하나의 관으로 유입되어 하나의 출구에서 배출된다. 각 지선의 배수처리량은 실제 배수처리량과 다르게 나타난다. 각 지선의 배수처리량은 본간선의 배수처리량의 일정비율이며 실제 처리할 수 있는 배수량이다.

표 3. 유역별 배수처리량

구분	비상물막이 하류		비상물막이 도수로	비상물막이 상류				
	기존 배수로	신설 배수로		비상 배수로	C지선	D지선	본간지선	본간선 전체
배수량 (m <sup>3</sup> /10min)	8,110	8,770	(15,090) <sup>1)</sup>	4,980	(38,620) <sup>2)</sup>			20,780

주 1) 비상물막이 도수로에 유입되는 물은 전량 비상물막이 하류로 유입되므로 실제 배수처리량에서 제외됨

2) 지선별 배수량 합은 본간선 전체 배수량에 비하여 크므로 실제 배수량은 유입량에 따라 좌우됨

### 5. 배수처리 능력 분석

#### 5.1 경우 1-전체 배수시설 정상작동

배수시설에 대하여 시간별 유출의 증가량과 배수처리량의 비교 검토를 통해 배수처리 능력을 분석하였다. 우선 배수처리 능력 분석 시 각 유역별 유출증가량이 최대이며, 배수시설이 100% 작동하는 경우에 대한 분석 결과는 표 4와 같다.

각각의 배수시설에 대한 배수 처리 능력을 검토한 결과, 전체적으로 배수처리량이 최대 유출증가량 보다 약 1.4배 정도 많음을 확인할 수 있다. 그러나 비상 배수로는 배수처리량이 최대 유출증가량보다 적으므로 초과되는 유출량이 신설 배수로를 통해 비상물막이 하류로 유입되는 것으로 예측된다.

표 4 배수 처리 능력 분석표(단위 : m<sup>3</sup>/10min)

구 분	비상 배수로	C지선	D지선	본간 지선	본간선 전체	신설 배수로	비상물 막이 하류	합계
최대 유출증가량 <sup>1)</sup>	5,564	1,176	7,573	11,980	20,729	1.828	1,301	31,252
최대 배수처리량	4,980	14,120	11,560	12,940	20,780	(15,090) <sup>2)</sup>	16,880	42,640
배수처리능력	<b>0.9배</b>	<b>12.0배</b>	<b>1.5배</b>	<b>1.1배</b>	<b>1.0배</b>	-	<b>13.0배</b>	<b>1.4배</b>

주 1) 100년 빈도 1시간 확률강우량 80.13mm/hr 적용 결과

2) 비상물막이 도수로의 배수처리량으로 비상물막이 상류에서 하류로 통과시키는 양임

### 5.2 경우 2-본간선 작동 불능

신광미적치장의 배수 시설 중 가장 많은 배수처리 능력을 갖고 있는 본간선이 유입구가 막혀 작동 불능상태에 이를 경우에 대한 분석을 실시하였다(표 5). 이 경우 본간선 유역의 유출량 전체와 비상배수로 유역의 배수초과량인 21,313m<sup>3</sup>/10min 가 신설배수로를 통해 비상물막이 하류로 유입된다. 신설배수로의 배수처리량은 15,090m<sup>3</sup>/10min이므로 이를 초과하는 8,051m<sup>3</sup>/10min는 비상물막이 상류에 저류된다.

결국 비상물막이 하류 영역에서 증가되는 유출량은 16,391m<sup>3</sup>/10min인데 이는 배수처리량 16,880m<sup>3</sup>/10min에 근접하므로 본간선 배수시설이 막히는 일이 없도록 평상시 관리가 요구 된다.

표 5. 본간선 작동 불능시 배수처리 계산표(단위 : m<sup>3</sup>/10min)

구 분	비상 배수로	C지선	D지선	본간지선	본간선 전체	신설 배수로	비상물막이 하류
최대 유출증가량	5,564	1,176	7,573	11,980	20,729	1.828	1,301
본간선 작동 불능시 유출증가량	5,564	-	-	-	-	23,141	16,391
배수처리량	4,980	-	-	-	-	(15,090) <sup>2)</sup>	16,880
배수 초과량	584 <sup>1)</sup>	-	-	-	20,729 <sup>1)</sup>	(8,051) <sup>3)</sup>	-

주 1) 비상배수로 초과량과 본간선 초과량은 신설배수로로 유입

2) 신설배수로 유역의 비상물막이 도수로를 통해 비상물막이 하류로 유입

3) 비상물막이 도수로 초과량은 비상물막이 상류에 저류됨 (비상물막이 상류의 저수량은 188,550m<sup>3</sup>임)



### 5.3 경우 3-전체 시설 작동 불능

비상물막이 상류의 저류량은 188,550m<sup>3</sup>이고 비상물막이 하류의 저류량은 363,375m<sup>3</sup>으로, 총 551,925m<sup>3</sup>이다. 표 6은 모든 배수시설이 가동되지 않을 경우의 폐재댐 범람 위험도를 검토하기 위하여 기존합리식을 적용하였을 경우 총 강우량에 따른 총유출량을 계산한 결과이다. 기존합리식을 적용하여 유출량을 계산할 경우, 모든 배수시설이 가동되지 않는다면 총 강우량이 251.1mm 이상일 경우 확보된 저류량을 초과하게 되어 폐재댐이 범람하는 것으로 분석된다.

총 강우량 251.1mm는 확률강우량 기준으로 20년 빈도 12~24시간, 50~200년 빈도 6~12시간의 범위에 해당되므로 주의가 요구된다. 이러한 강우량은 상동지역 확률강우량에 따라 100년 빈도 24시간 확률강우량인 380.33mm를 적용할 경우 약 16시간동안 강우가 지속되는 상태에 해당된다.

표 6 총 강우량에 따른 총 유출량 및 저류 가능량

총 강우량 (mm)	0	50	100	150	200	250	251.1	300
총 유출량 (m <sup>3</sup> )	0	109,912	219,823	329,735	439,647	549,558	551,925	659,470
저류 가능량 (m <sup>3</sup> )	551,925	442,013	332,102	222,190	112,278	2,367	0	-107,545

## 6. 결론

- 1) 상세 유역 배수 체계 분석 결과, 배수로 정상 작동 시 80.31mm/hr의 강우강도로 1시간 동안 비가 내리면 신광미적치장은 범람의 위험성이 없는 것으로 예측된다.
- 2) 배수처리 능력 분석 결과, 신광미적치장 배수설비는 100년 빈도 1시간 확률강우량 (PMP)을 기준으로 전체 1.4배의 배수처리 능력을 확보하고 있는 것으로 계산된다. 그러나 배수설비 중 배수처리 비중이 가장 높은 본간선의 배수처리 능력이 대상 유역의 최대 유출량과 비슷한 정도이므로, 배수시설에 대한 지속적인 관리와 점검이 요구된다.
- 3) 모든 배수시설이 작동하지 않는다면 총 강우량이 251.1mm 이상일 경우 폐재댐은 범람 위험성이 있는 것으로 예측된다.

## 사사

본 연구는 광해방지사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었다.

## 참고문헌

1. 김지호 (2003), 우리나라 하천유역의 합리식 유출계수 산정에 관한 연구, 박사학위논문, 홍익대학교
2. 유승근, 최성규, 문상원 (2002), GIS를 이용한 밀양강 유역의 지형학적 특성 분석, The

Journal of GIs Association of Korea, Vol.10, pp.107-122

3. 한국건설기술연구원 (2000), 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서:제1권 한국  
확률강우량도, 건설교통부
4. 한공창 외, 1997, 상동광산 광미적치장 안정성 검토 및 유지관리 대책방안 연구, 한국자원  
연구소, 대한중석(주), pp 308.