

강우 매트릭스를 활용한 댐 운영 조건표 개발에 관한 연구

정창삼*

인덕대학교 토목환경공학과 부교수

A Study on the Development of a Dam Operation Table Using the Rainfall Matrix

Changsam Jeong*

Professor, Civil and Environmental Engineering, Induk University

요약

최근 우리나라는 이상기후에 의한 국지성 호우의 빈도가 잦아지며 홍수피해가 증가하고 있다. 지난 2017년 7월 16일 충북지역에서 발생한 집중호우의 재현기간을 산정한 결과 괴산댐 상류지역에서 지속기간 2시간 기준 약 1,524년 빈도의 강우로 추정되었고, 당시 괴산댐 최고수위는 EL.137.60 m까지 상승하여 댐마루 높이(EL.137.65 m)까지 5 cm의 여유 밖에 없었다. 1957년 이후 62년 동안 운영된 괴산댐은 유역의 수문량 증가로 인한 대책마련이 필요하고, 단일 목적 댐인 발전전용 댐으로 개발되어 홍수조절 효과가 작으며, 별도의 홍수조절을 위한 치수시설물이 존재하고 있지 않아 상하류 지역 주민의 안전성 확보를 위한 신속한 의사결정을 위하여 효율화된 운영방안 마련이 필요하다. 본 연구에서는 홍수 예보시 신속한 의사결정을 목적으로 강우 매트릭스를 구성하고 각 조건별 댐 최고 수위를 사전에 산정하여 조건표를 작성한 후 상황 발생시 신속하게 조건에 해당하는 수위를 찾는 방식의 댐 운영방안을 제시하였다.

핵심용어: 이상기후, 국지성 호우, 댐 운영, 강우 매트릭스

ABSTRACT

Recently, flood damage has been increasing in Korea due to frequent local torrential rains caused by abnormal weather conditions. According to the calculation of the recurrence period of torrential rain that occurred in North Chungcheong Province on July 16, 2017, it was estimated that the rainfall frequency in the upper are of Goessan Dam was around 1,524 years, and the highest level of Goesan Dam rose to EL.137.60 meters, leaving only 5 cm of margin until the height of the dam floor (EL.137.65 meters). The Goesan Dam, which operated for 62 years since 1957, needs to be prepared to cope with the increase of floodgate volume in the basin, the development of a single purpose dam for power generation only, and there are no measurement facilities for flood control, so efficient operation methods are needed to secure the safety of residents in upper and lower regions. In this study, a method of dam operation was proposed by constructing a rain matrix for quick decision making in flood prediction, calculating the highest level of dam for each condition in advance, and preparing a survey table, and quickly finding the level corresponding to the conditions in case of a situation.

Keywords: Abnormal weather condition, Local torrential rain, Dam operation, Rainfall matrix

*Corresponding author: Changsam Jeong, jeongchangsam@gmail.com

Received: 25 March 2020, Revised: 15 June 2020, Accepted: 23 June 2020



1. 서론

지구온난화에 관한 종합적인 대책 검토를 목적으로 구성된 기후변화에 관한 정부 간 협의체 제5차 보고서(IPCC, 2014)에 따르면 21 세기 말 지구의 평균기온은 최대 6.4도, 해수면은 약 59 cm 상승할 것으로 전망하고 있으며 최근 지구온난화로 인해 전 세계적인 기상이변이 발생하여 각 지역의 강우량의 증가 또는 집중호우의 발생빈도가 증가하는 추세이다. 우리나라 기상의 일반적 특징으로는 기후변화가 불규칙하며 여름철 장마와 폭우를 동반한 태풍의 영향으로 대규모 집중 호우가 발생한다. 기상청의 한반도 장기 미래 전망에 따르면 21 세기말(2071년~2100년)우리나라 기온은 약 4°C 상승하고, 강수량도 증가할 것으로 전망하고 있으며, 지점별 100년 빈도 1일 최대 강수량이 약 60년 빈도로 낮아져 홍수위험성이 높아질 것으로 전망되고 있다. 더욱이 최근에 이상기후로 인해 과거에 거의 발생하지 않던 규모의 강우가 발생하면서 홍수발생이 빈번하게 발생되고 있다.

우리나라는 산지가 많은 지형특성으로 하천 저지대에 인구가 밀집하여 도시화가 이루어져 있으며, 이로 인해 홍수 발생빈도뿐만 아니라 홍수피해 규모도 급격히 증가하고 있다. 또한 근래에 들어 국지성 집중호우 등으로 좁은 지역에 많은 양의 호우가 집중되는 현상이 빈번히 발생하고 있다. 돌발 홍수 등 짧은 시간에 좁은 지역에 발생하는 집중호우의 경우 예측이 어려우며(Ahn et al., 2018), 신속한 대응이 이루어지지 못한 경우 심각한 피해를 불러일으킬 수 있다(Yoo et al., 2019). 기존의 홍수방어대책은 과거의 홍수사상을 기반으로 수립되었기 때문에 최근 증가하고 있는 돌발홍수 등에는 홍수방어대책 수립시 예상했던 수준까지 대응하기 어려운 것이 현실이다.

2017년 7월 16일 충청지역에 발생한 국지성 집중호우로 인해 괴산댐 상하류지역에 홍수피해가 발생하였다. 집중호우가 발생하기 불과 2시간 전 기상청 예보에도 예측되지 못한 집중호우가 경사가 급한 산지 특성을 갖는 괴산댐 유역에 발생하며 괴산댐과 달천 일부지점의 수위가 계획홍수위를 초과하는 홍수가 발생하였다(MOLIT, 2017). 괴산댐은 홍수기 제한수위를 불과 0.35 m 초과한 상태를 유지하며 운영중이었으나, 기존의 운영방식으로는 지속시간 6시간 기준 500년 빈도 이상(KHNP, 2019)의 집중호우에 대응하기에 한계가 있었다. 특히 발전용댐으로 1957년 개발된 괴산댐은 유역면적(km²) 대비 총저수량(백만 m³)의 비율이 약 43.86으로 대표적인 다목적댐인 소양강댐의 비율 약 0.93과 비교하여 약 47배에 달해 홍수 조절능력이 매우 제한적일 수밖에 없다[Water Resources Management Information System (accessed 2020.03.20.)]. 따라서 본 연구에서는 기존의 방식으로는 집중호우로 인한 홍수에 대응하기 어려운 소규모 댐을 위한 홍수대응 방안을 개발하고자 하였다.

2. 연구대상지

2.1 연구대상 유역의 일반현황

달천은 충청북도 보은군 내속리면 사내리의 속리산 천왕봉(EL.1,057.7 m) 서쪽 계곡에서 발원하여, 보은군, 괴산군, 충주시 일대를 유하한 후, 충주시 칠금동과 가금면 창동리 경계에서 남한강 좌안으로 합류하는 하천으로서, 유역면적 1,614 km², 하천연장은 123 km이다.

달천 유역은 좌표상으로 한강수계의 중상류부에 해당하는 동경 127°32' 18"~128°04' 24", 북위 36°29' 03"~36°02' 03" 사이에 위치하며, 소백산맥을 유역의 동부 분수령으로 낙동강유역과 접하고, 차령산맥을 유역의 서쪽 분수령으로 하여 금강유역과 접하고 있으며, 유역은 이 둘 두 산맥의 영향으로 유역면적의 69%인 1,107.7 km²가 산지이다. 유로는 달천 본류와 지류가 대부분 하상경사가 크며 사행의 형태를 유지하고 있고, 하천 중상류부에는 1957년 축조된 발전용댐인 괴산댐이 위치하고 있다(Fig. 1).



Fig. 1. Basin map and characteristics of Goesan dam

달천유역 내에 설치되어 운영 중인 괴산댐은 남한강의 지류인 달천을 막아서 축조한 높이 28 m, 길이 171 m, 유효낙차 20.65 m, 부피 49,555 m³의 중력식 콘크리트 댐이다. 댐 마루의 높이는 EL.137.70 m, 만수위의 높이는 EL.135.65 m로 약 2 m 정도의 여유고가 있다(Table 1). 조선전업주식회사(한국전력공사의 전신)가 1952년에 착공하여 1957년에 준공했다. 댐의 규모는 비록 작지만, 순수한 국내 기술진의 조사·계획·설계·시공으로 이루어진 최초의 발전 전용 댐으로 댐의 좌안 직하류 부에는 댐식 발전소가 있으며, 그곳에 프로펠러 수차발전기 2대가 설치되어 있다(KHNP, 2012).

발전소의 최대출력은 2,800 kW로, 연간 1,100만 kWh의 발전량을 공급한다. 그밖에 여수로 시설은 높이 7 m, 구간너비 8 m, 7문으로 초당 2,700 m³의 설계홍수량을 배수할 수 있다. 댐에 의해 조성된 저수지는 괴산군 칠성·문광·청천의 3개면에 걸쳐 있다.

Table 1. Specifications of Goesan dam

정상표고(EL. m)	계획홍수위(EL. m)	댐높이(m)	총저수용량(백만 m ³)
137.65	136.925	28.00	15.3
유역면적(km ²)	상시만수위(EL. m)	홍수기 제한수위(EL. m)	저수위(EL. m)
671.00	135.65	134.00	131.65

2.2 연구대상지의 홍수피해 현황

2017년 7월 14일 ~ 16일 달천유역의 총 강수량은 174.6 mm가 내렸으며, 홍수피해가 컸던 7월 16일은 141.5 mm의 강수가 내렸다. 7월 16일 달천 유역에 내린 강수량 중 87.2%가 6시간 이내의 아주 짧은 시간동안 시간당 평균 20.6 mm의 강우강도로 내렸다.

달천유역 중 금회 홍수로 피해가 많이 발생한 괴산댐유역은 7월 14 ~ 16일 동안 괴산댐유역의 총강수량은 238.9 mm가 내렸으며, 홍수피해가 컸던 7월 16일은 189.5 mm의 강수가 내렸다. 괴산댐 유역에 내린 강수량 중 96.5%가 6시간 이내의 아주 짧은 시간동안 시간당 평균 30.5 mm의 강우강도로 내렸다(Table 2).

Table 2. Rainfall records of the flood event (July 14~16, 2017)

구분		임의 지속기간별 최대강수량(mm)						총 강수량 (mm)
		1시간	2시간	3시간	6시간	12시간	24시간	
달천 유역	강수량	32.4	53.8	73.2	123.4	140.9	141.7	174.6
	강우강도(mm/hr)	32.4	26.9	24.4	20.6	11.7	5.9	
괴산댐 유역	강수량	42.8	76.2	100.7	182.9	189.4	189.5	238.9
	강우강도(mm/hr)	42.8	38.1	33.6	30.5	15.8	7.9	

2.2.1 홍수특성 분석

달천유역의 홍수피해는 괴산댐 상류지역과 직하류에서 많이 발생하였다. 괴산댐 홍수상황 분석을 위해 강우 및 댐 상류 수위변화를 검토한 결과 괴산댐 상류 최고수위는 계획홍수위인 EL.136.93 m보다 0.67 m 상승한 EL.137.60 m로 측정되었다 (Fig. 2).

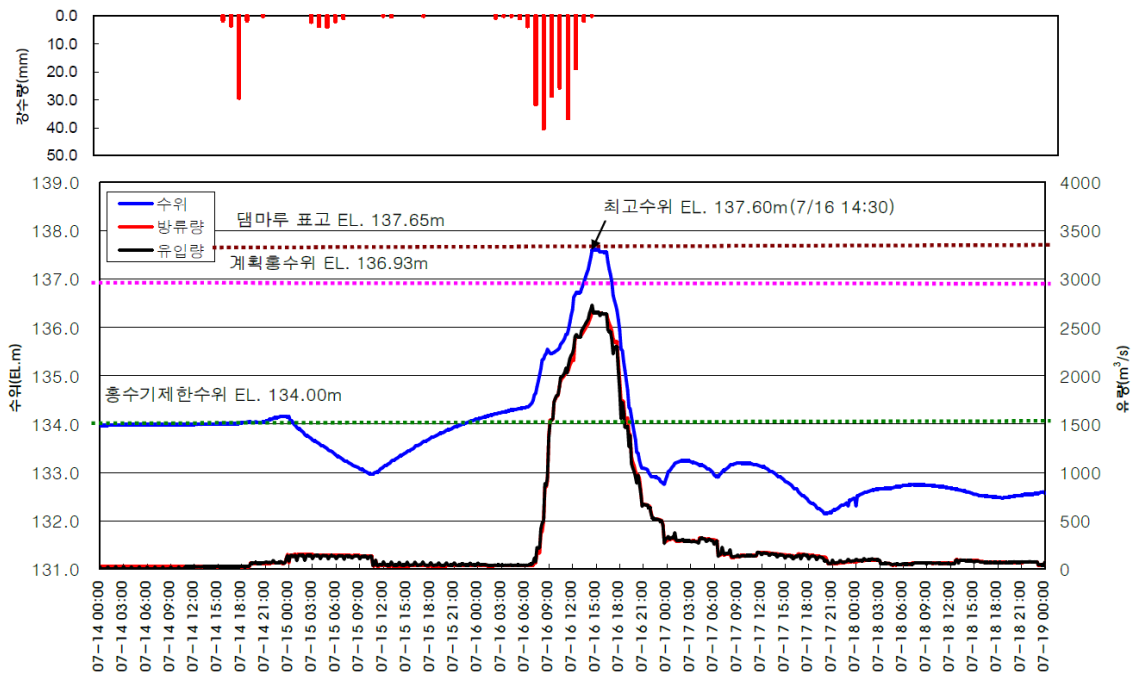


Fig. 2. Hydrograph of the flood event in July 2017

2.2.2 홍수피해 현황

달천 유역에서 홍수피해가 큰 지점은 청주시 어암리, 운암리, 옥화리, 금관리, 고성리, 괴산군 지촌리, 능촌리 등이며, 주요 피해 양상은 단시간 집중호우에 의한 통수능력을 초과하는 홍수량 발생, 빠른 유속에 의한 제방 및 저수호안 유실 피해 등이다. Table 3은 달천 주요지점의 피해현황이다.

Table 3. Status of flood damages in Dalcheon river

하천명	피해위치	피해내용	피해규모	피해원인
달천	청주시 상당구 미원면 어암리 (방마루교 하류 부근)	제방 범람 제방 유실	제방 2.50 km 월류 (민가 및 주변 농경지 침수) 제방 세굴 200 m	초과 강우 과도한 유속
	청주시 상당구 미원면 운암리 (인풍정교 부근)			
	청주시 상당구 미원면 옥화리 (옥화1교 부근)			
	청주시 상당구 미원면 금관리 (금관교 부근)			
	괴산군 청천면 고성리 (고성교 부근)			
	괴산군 청천면 지촌리 산 46-60 (후영교 하류 약 700 m)	제방 도로 유실	1 km 파손 300 m 완파	초과 강우
	괴산군 괴산읍 능촌리 6-1, 215-8, 청천면 도원리 산 18-2	좌안 제방 유실 인도교 유실	1,350 m 1개소	초과 강우 과도한 유속
	보은군 산외면 갈탕리 397-5	제방 유실	180 m	과도한 유속

3. 홍수유출모의

3.1 강우-유출모형 구성

괴산댐 지점의 홍수량 산정은 2017년 기 고시된 달천 하천기본계획(변경) 보고서(Chungcheongbuk-do, 2017)의 자료를 기초로 HEC-HMS 모형을 이용하여 재산정하였다. 괴산댐 상류 달천 유역의 홍수량 산정지점은 괴산댐, 압향천 합류점, 감천 합류점을 기준으로 분할하여 홍수량을 산정하였다. 유역 및 하도추적 매개변수는 달천 하천기본계획(변경) 보고서(Chungcheongbuk-do, 2017)의 홍수량 산정시 적용한 매개변수를 적용하였다.

괴산댐 유입량 산정은 달천 하천기본계획(변경) 보고서(Chungcheongbuk-do, 2017)에서 산정한 것과 동일한 기준으로 괴산댐 지점, 압향천 합류점, 감천 합류점을 기준으로 분할하여 홍수량을 산정하였다(Table 4, Fig. 3).

Table 4. Characteristics of sub-basins

하천명	산정지점	소유역	면적(km ²)		유로연장(km)	
			누가	소유역	누가	소유역
달천	괴산댐	괴산댐	677.00	197.14	78.57	34.77
	압향천 합류후	압향천	479.86	223.29	61.00	26.39
	감천 합류후	감천	256.57	256.57	35.36	39.74

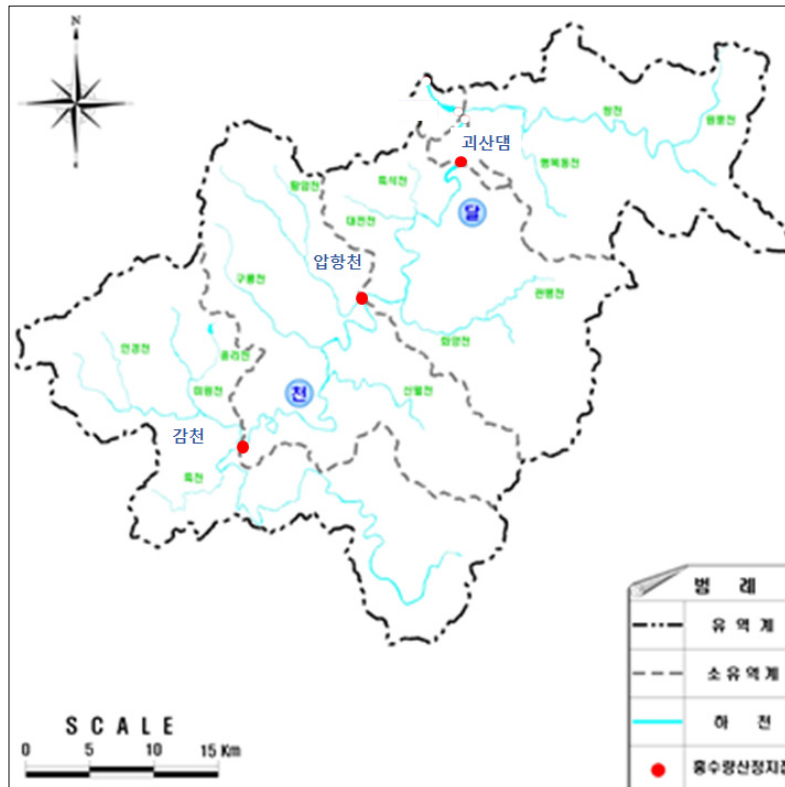


Fig. 3. Points of flood calculation

3.2 모형의 검증

2017년 7월 16일 호우사상을 반영하여 홍수량을 산정한 결과 첨두홍수량은 $2,610.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 산정되었다. 국가수자원관리 종합정보시스템에서 제공하는 괴산댐 유입량 자료 검토결과 2017년 7월 15일~7월 17일 3일간 괴산댐 최대 유입량은 $2,642.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 금회 산정한 홍수량과 약 1.2%의 오차로 유사한 값을 보이는 것으로 산정되었다(Fig. 4).

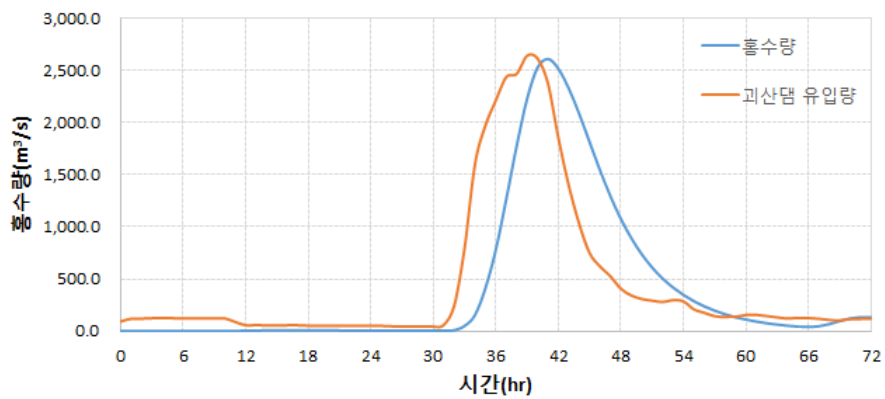


Fig. 4. Verification of the runoff model using the July 16, 2017 event

4. 저수지 홍수추적

4.1 저수지 홍수추적 모형의 구성

HEC-5 모형을 이용한 저수지 홍수추적을 통하여 2017년 7월 발생한 호우시 실측자료를 검증하고, 향후 홍수기 괴산댐 운영 방안을 검토하기 위해 2가지 CASE에 대하여 저수지 홍수추적을 수행하였다.

- (1) CASE 1: 2017년 7월 16일 발생한 호우시 관측데이터를 이용한 저수지 홍수추적 검증
- (2) CASE 2: 홍수기 제한수위 운영을 위한 저수지 홍수추적

저수지 운영방식으로는 Technical ROM(Reservoir Operation Method), SRC(Spillway Rule Curve) ROM, Rigid ROM, Auto ROM 등이 있으며, 금회 검토에서는 현재 운영 중인 Auto ROM 운영방식을 적용하여 검토하였다.

4.1.1 저수지 수위별 내용적

달천 하천기본계획(변경) 보고서(Chungcheongbuk-do, 2017)의 평면도 및 횡단면도를 이용하여 배수위 영향범위까지의 하도구간 내용적을 작성하여 활용하였다(Table 5, Fig. 5).

Table 5. Storage capacity of Goesan dam reservoir

표 고 (EL. m)	내용적 (1,000 m ³)	표 고 (EL. m)	내용적 (1,000 m ³)	표 고 (EL. m)	내용적 (1,000 m ³)	표 고 (EL. m)	내용적 (1,000 m ³)
119.50	38.68	124.50	631.96	129.15	2,274.75	134.15	6,982.66
120.00	62.80	125.00	748.51	129.65	2,577.07	134.65	7,662.91
120.50	91.88	125.50	876.93	130.15	2,911.59	135.15	8,389.04
121.00	125.76	126.00	1,016.83	130.65	3,280.39	135.65	9,160.71
121.50	165.72	126.50	1,169.02	131.15	3,688.46	136.15	9,990.63
122.00	215.18	127.00	1,333.86	131.65	4,141.91	136.65	10,865.58
122.50	277.44	127.50	1,512.05	132.15	4,639.02	137.15	11,773.97
123.00	350.48	128.00	1,707.27	132.65	5,172.62	137.65	12,726.90
123.50	433.61	128.50	1,930.10	133.15	5,739.19	138.00	13,416.36
124.00	527.01	129.00	2,186.91	133.65	6,342.42	-	-

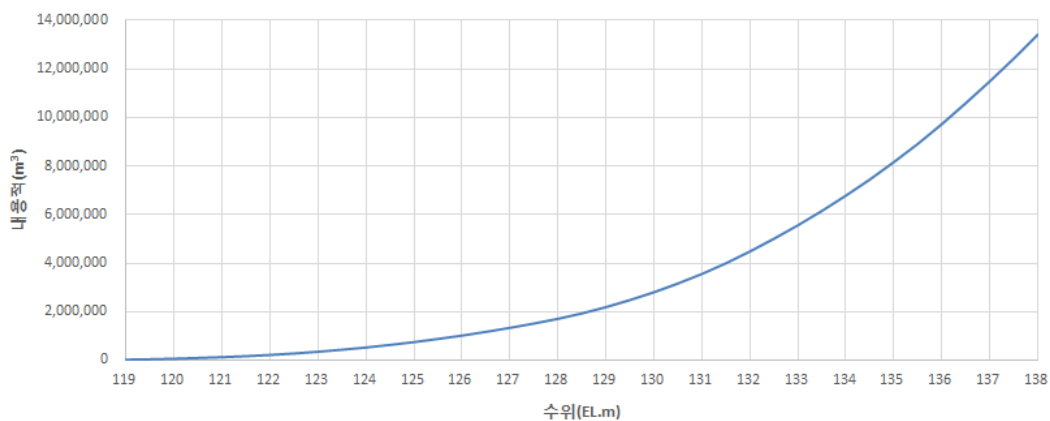


Fig. 5. Storage capacity versus water level curve of Goesan dam reservoir

4.1.2 유입량 산정

CASE 1의 유입량은 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 7월 15일~7월 17일 괴산댐 유입량 실측자료를 적용하였다. CASE 2는 HEC-HMS 모형을 이용하여 산정한 지속시간 및 강우조건(30 mm~360 mm)별 홍수량 산정 결과를 저수지 추적모의를 위한 댐 유입량으로 적용하였으며, 댐 운영 조건표 개발을 위한 기초자료로 사용하였다(Fig. 6).

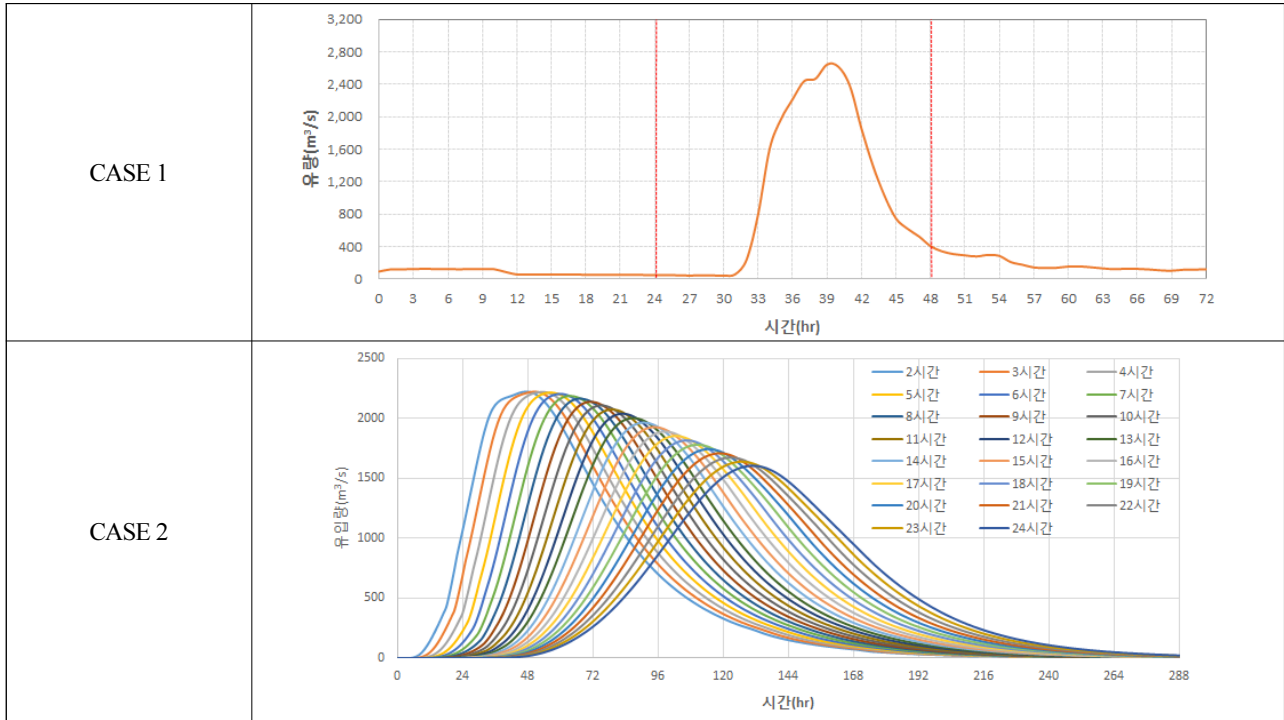


Fig. 6. Inflow hydrograph of Goesan dam by cases and duration times

4.1.3 괴산댐 방류량

저수지 추적을 위한 괴산댐 방류량 데이터는 Table 6과 같이 수력발전소 댐 관리지침(KHNP, 2012)의 저수위별 방류량 조건표를 이용하였다. 조건표 방류량 이용시 방류량에는 배사문비를 통한 총방류량 포함하여 적용하였다.

Table 6. Discharge capacity of Goesan dam

저수위	방류량	수문 개도	저수위	방류량	수문 개도	저수위	방류량	수문 개도
129.15	47	2.00	132.15	689	3.50	135.15	1,792	6.50
129.65	68	2.00	132.65	841	4.00	135.65	1,998	7.00
130.15	94	2.00	133.15	1,049	4.50	136.15	2,211	7.50
130.65	338	2.00	133.65	1,222	5.00	136.65	2,431	8.00
131.15	457	2.50	134.15	1,404	5.50	137.15	2,576	8.00
131.65	589	3.00	134.65	1,594	6.00	-	-	-

4.2 저수지 홍수추적 모형의 검증

2017년 7월 15일~7월 17일(3일간) 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 괴산댐 유입량, 방류량, 수위 실측 자료와 금회 분석한 저수지 홍수추적 검토결과를 비교 분석하였다. 검토결과 괴산댐 상류로 최대홍수량(2,642.80 m³/s) 유입시

총 방류량은 2,562.35 m³/s, 괴산호 최고수위는 EL.137.16 m로 산정되었다. 저수지 홍수추적 결과 금회 산정 결과와 실측방류량은 3.1% 차이로 2017년 7월 호우사상을 잘 나타내는 것으로 검토되었다(Table 7, Fig. 7).

Table 7. Observed and calculated discharge from Goesan dam

구분	유입량(m ³ /s)	총방류량(m ³ /s)	저수위(EL. m)
괴산댐 (관측치)	2,642.80	2,643.00	137.60
금회 검토(계산치)	2,642.80	2,562.35	137.16

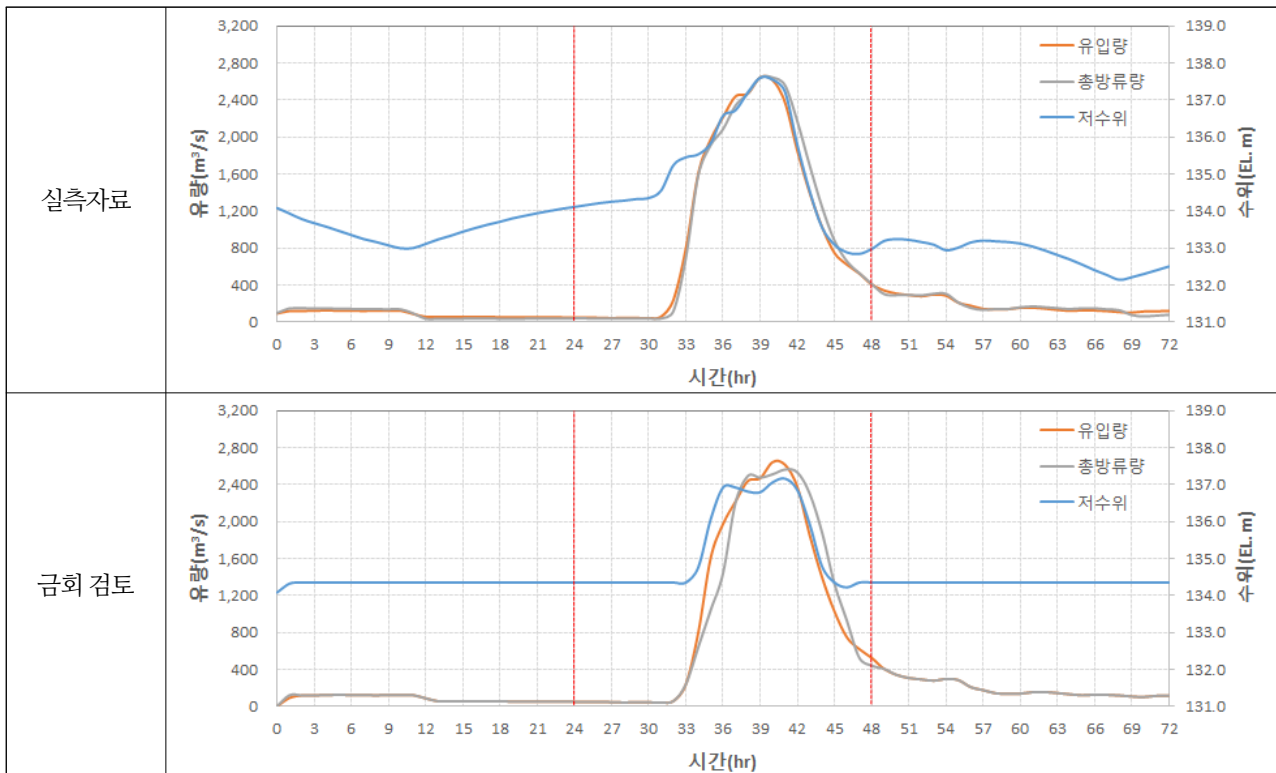


Fig. 7. Verification of the reservoir operation model using the July 16, 2017 event

5. 강우매트릭스를 활용한 댐 운영 조건표 개발

강우발생 12시간 또는 24시간 이전 유역에 예보된 지속시간별 강우량 조건에 따라 홍수기 제한수위(EL.134.0 m)에서부터 탄력적 제한수위까지 예비 방류를 실시하는 방안으로 저수지 홍수추적을 수행하였다.

지속시간별 강우량 조건에 따른 홍수량 산정 및 저수지 추적결과를 활용하여 탄력적 제한수위를 결정할 수 있도록 조건표를 작성하였다.

가. Step 1. 예보된 강우량 조건에 대한 첨두홍수량을 추정

- (1) 1시간부터 24시간까지 총 24개 지속시간에 대하여 30 mm부터 360 mm까지 강우량을 매치시켜 지속시간-강우량의 매트릭스를 구성하였다.
- (2) Table 8 중 회색으로 채워진 영역은 PMP 이상으로 발생 가능성이 없는 강우 이벤트로 본 연구의 범위에서 제외하였다.

- (3) 각 매트릭스 셀에는 지속시간과 강우량 조합을 HUFF 3분위로 분포시켜 HEC-HMS로 산정한 첨두홍수량을 수록하였다.
- (4) 예보된 강우량과 지속시간을 통해 표에서 첨두홍수량을 추정한다.

Table 8. Peak discharges calculated on rainfall-duration matrix

Duration (hr) \ Rainfall (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
30	95.0	95.2	95.3	95.2	94.9	94.5	94.0	93.5	92.9	92.2	91.4	90.4	89.5	88.5	87.3	86.0	85.2	83.6	82.9	81.2	80.1	79.3	78.2	77.0
60	407.9	408.8	408.7	408.2	407.0	405.5	403.7	401.1	397.9	393.9	389.6	385.0	380.0	374.2	368.9	363.5	357.8	352.6	347.4	341.7	336.9	331.1	325.7	320.9
90	811.8	813.4	813.1	812.0	810.0	807.0	802.7	796.5	788.8	780.2	770.4	759.6	748.6	737.5	725.1	713.3	701.0	689.0	677.0	666.4	654.1	642.4	631.2	619.4
120	0.0	1,261.7	1,261.3	1,259.5	1,256.4	1,251.7	1,243.5	1,233.1	1,220.3	1,205.5	1,188.6	1,170.8	1,151.3	1,132.2	1,113.4	1,093.4	1,073.4	1,054.1	1,034.3	1,015.7	996.3	976.8	958.6	939.5
150	0.0	1,734.3	1,733.7	1,731.7	1,727.6	1,720.1	1,707.4	1,691.8	1,672.6	1,650.2	1,625.3	1,599.1	1,572.6	1,542.4	1,515.8	1,487.0	1,459.4	1,431.2	1,404.1	1,376.2	1,349.3	1,322.5	1,296.1	1,270.0
180	0.0	2,221.7	2,221.2	2,219.0	2,213.8	2,202.8	2,185.2	2,163.6	2,137.4	2,106.9	2,073.5	2,038.0	2,001.6	1,963.8	1,926.6	1,889.0	1,852.4	1,815.4	1,779.8	1,742.8	1,708.3	1,672.4	1,638.0	1,604.2
210	0.0	0.0	2,719.3	2,716.5	2,709.8	2,694.4	2,672.3	2,643.6	2,609.3	2,570.0	2,527.0	2,482.7	2,437.1	2,389.9	2,343.1	2,296.0	2,250.4	2,203.9	2,158.4	2,113.3	2,069.0	2,025.3	1,982.2	1,940.1
240	0.0	0.0	3,224.2	3,221.6	3,212.7	3,192.7	3,164.2	3,128.9	3,086.7	3,038.2	2,985.7	2,930.8	2,875.1	2,818.4	2,761.0	2,704.7	2,648.8	2,593.1	2,538.6	2,484.0	2,430.8	2,378.6	2,327.2	2,277.9
270	0.0	0.0	0.0	3,731.6	3,720.0	3,695.1	3,661.2	3,618.2	3,566.6	3,508.6	3,445.9	3,380.4	3,315.0	3,248.3	3,181.8	3,115.4	3,049.6	2,983.9	2,919.7	2,856.8	2,793.7	2,732.4	2,673.0	2,613.9
300	0.0	0.0	0.0	0.0	4,230.2	4,201.2	4,160.4	4,109.0	4,048.7	3,980.8	3,909.0	3,833.8	3,757.2	3,680.7	3,603.2	3,526.6	3,450.0	3,375.1	3,301.7	3,228.9	3,156.8	3,087.1	3,018.6	2,952.8
330	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4,709.2	4,661.4	4,601.9	4,532.9	4,454.6	4,372.8	4,287.0	4,200.0	4,112.5	4,024.4	3,937.8	3,851.5	3,766.3	3,683.2	3,600.9	3,520.5	3,441.2	3,365.3	3,289.6
360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5,164.3	5,097.0	5,018.1	4,930.5	4,837.3	4,741.6	4,643.1	4,544.3	4,446.3	4,348.8	4,253.1	4,158.0	4,064.5	3,972.5	3,881.9	3,794.6	3,710.0	3,626.1

나. Step 2. Step 1에서 산정한 강우 이벤트별 홍수량 및 탄력적 제한수위를 이용하여 저수지 추적을 통해 댐의 최고수위 추정

- (1) 총 263 case의 강우조건 별 홍수유출수문곡선(시간별 댐 유입량)에 대하여 저수지 추적을 수행하였다.
- (2) 모의 초기 수위는 탄력적 제한수위 운영을 위하여 EL.130 m, EL.131 m, EL.132 m 세 가지 조건으로 최고수위를 산정하였다.
- (3) 총 789 case에 대해 댐 최고 수위 산정하고 매트릭스에 수록하여 지속시간별 강우량에 대한 저수지 수위를 추정하였다.

다. Step 3. 홍수시 안정적인 댐 관리를 위한 수위설정

- (1) 기본적으로 홍수시 댐의 한계수위는 계획홍수위(EL.136.925 m)와 안정적인 운영을 위해 상시만수위(EL.135.65 m)와 계획홍수위 사이인 EL.136.00 m로 제시하였다.
- (2) 설정된 한계수위 이상인 셀을 Step 2에서 산출한 조건별 댐 최고수위에 파란 색(EL.136.925 m)으로 표시하였다.

라. Step 4. 예보된 강우이벤트 조건에 해당하는 셀을 아래 표 3개에서 찾고 한계수위 이하의 값을 나타내는 표를 선택하여 탄력적 운영수위 결정

- (1) 최종적으로 결과는 아래 Table 9~Table 11의 형태로 주어지며,
- (2) 댐 관리자는 예보된 강우조건에 해당하는 셀을 아래 3개의 표에서 찾아 설정된 한계수위를 유지할 수 있는 탄력적 운영수위를 결정한다.

6. 결론

본 연구는 초단기로 예보되는 강우량 조건에 대하여 소규모 댐 운영자가 즉각적으로 홍수방어를 수행할 수 있는 댐 운영방안을 제시한 연구이다. 2017년 7월 16일 괴산댐 유역에 발생한 홍수사상과 발생가능한 강우량 및 지속시간 조합을 구성하고 강우-유출모형과 저수지 홍수추적 모형을 이용하여 모든 조건에 대한 댐 최고수위를 산정하였다. 산정한 댐 최고수위를 강우량 및 지속시간을 조합한 매트릭스에 표기하여 예측 강우조건에 대한 댐 최고수위를 즉각적으로 추정할 수 있는 홍수기 댐 운영 조건표를 개발하였다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 유역면적 대비 저수용량이 상대적으로 작은 소규모 댐은 기존의 홍수기 댐 운영 방법으로는 단기 예측이 불가능한 돌발홍수 등에 대응하기에 한계가 있다. 본 연구의 대상인 괴산댐 유역의 경우 강우 발생 후 1시간 이내에 댐이 최고수위에 도달하여 예측되지 못한 돌발홍수 발생시 홍수에 대응하기 위한 시간이 확보되지 못하는 것으로 나타났다.
2. 홍수기 댐 운영 조건표를 개발하여 초단기로 예보되는 강우량에 신속하게 대응할 수 있는 댐 운영 방법을 개발하였다. 개발된 조건표는 현재 홍수통제소에서 운영하고 있는 댐과 보등의 연계운영 계획에 적용되어 괴산댐 운영에 활용되고 있다.
3. 본 연구를 통해 개발된 홍수기 댐 운영방법은 유역의 최상류부에 위치하여 상류 댐과의 연계운영을 고려하지 않아도 되는 단일 댐에만 적용가능하다는 한계가 있으나, 현재 2차원(강우량 및 지속시간 조합)으로 구성된 매트릭스를 상류댐의 방류량을 추가한 3차원 매트릭스로 확장할 경우 하천을 따라 직렬로 연결된 댐 군의 연계운영에도 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgments

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (Ministry of Science, ICT & Future Planning) (No. 2017R1A2B4009338).

References

- Ahn, J. and Jeong, C. (2018). Numerical Simulation of the Flood Event Induced Temporally and Spatially Concentrated Rainfall - On August 17, 2017, the Flood Event of Cheonggyecheon. Korean Society of Disaster & Security. 11(2): 45-52.
- Chungcheongbuk-do (2017). Dalcheon River Basic Plan (Change) Report. Chungcheongbuk-do: Chungcheongbuk-do. Dam Hydrological Information. Water Resources Management Information System, <http://www.wamis.go.kr/> (accessed 2020.3.20.).
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 p.
- KHNP (2012). Hydroelectric Power Plant Dam Management Guidelines. Gyeongsangbuk-do : Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.
- KHNP (2019). Final Report on the Research Service for the Efficient Operation of Goesan Dam. Gyeongsangbuk-do : Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.
- MOLIT (2017). 2011, Flood Damage Survey. Sejong City: Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- MOLIT (2018). Flood Prevention Program. Sejong City: Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

Yoo, H., Lee, S. O., Choi, S., and Park, M. (2019). A Study on the Data Driven Neural Network Model for the Prediction of Time Series Data: Application of Water Surface Elevation Forecasting in Hangang River Bridge. Korean Society of Disaster & Security. 12(2): 73-82.

Korean References Translated from the English

국토교통부 (2017). 2017년 홍수피해상황조사. 세종특별자치시: 국토교통부

국토교통부 (2018). 홍수방어계획. 세종특별자치시: 국토교통부

댐수문정보. 국가수자원관리종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/> (accessed 2020.3.20.).

안정환, 정창삼 (2018). 시공간적으로 편중된 강우에 의한 홍수사상 수치모의 - 2017년 8월 17일 청계천 홍수사상을 대상으로. 한국방재안전학회 논문집. 11(2): 45-52.

유형주, 이승오, 최서혜, 박문형 (2019). 시계열 자료의 예측을 위한 자료 기반 신경망 모델에 관한 연구: 한강대교 수위예측 적용. 한국방재안전학회 논문집. 12(2): 73-82.

충청북도 (2017). 달천 하천기본계획(변경) 보고서. 충청북도: 충청북도.

한국수력원자력 (2012). 수력발전소 댐 관리지침. 경상북도: 한국수력원자력.

한국수력원자력 (2019). 괴산댐 운영 효율화 방안 연구용역 최종보고서. 경상북도: 한국수력원자력.