

수위-유량 관계식의 수문학적 검증

○노 재 경·이 한 구

1. 서 론

한국수문조사연보(1997)에 수록된 수위관측소의 수는 총 239개소이다. 이중 건교부 관리는 212개소, 한국수자원공사 관리는 39개소, 농어촌진흥공사·농지개발조합 18개소 등이다. 한편 유량연보(1997)에는 수위관측소가 총 321개소 수록되어 있으며, 이중 한강홍수통제소 관할유역에 93개소, 낙동강홍수통제소 관할유역에 104개소, 금강홍수통제소 관할유역에 55개소, 영산강홍수통제소 관할유역에 36개소, 섬진강홍수통제소 관할유역에 33개소가 있다.

한편 유량연보(1997)에는 총 125개소 지점용 유량측정성과를 수록하고 있다. 이중 건설교통부 관리는 76개소이며, 한강홍수통제소 21개소, 낙동강홍수통제소 36개소, 금강홍수통제소 9개소, 영산강홍수통제소 7개소, 섬진강홍수통제소 3개소이다. 한국수자원공사 관리는 49개소이며, 댐 유역별로 유량측정성과를 보고서로 발간하고 있으며, 이들 자료를 댐 운영자료와 함께 매년 수문자료집의 형태로 발간하고 있다.

위와 같이 여러 기관에서 관리하고 있는 유량자료의 신뢰도는 대부분 아주 낮다고 한다. 원인은 크게 수위-유량 관계의 복잡성, 관측시설의 관리부실, 유량측정성과의 오차 등으로 볼 수 있다.

수위-유량 자료의 신뢰도 분석방법은 수문학적 방법, 수리학적 방법으로 구분되며 각각 목적이 다르다. 수문학적 방법은 강우-유출 과정이 제대로 이루어지는지 보는 것이다. 즉, 수위관측소 지점의 유역에 대해 연강우량대 연유출량의 비율은 적당한가? 수위관측소 지점에서 일별 또는 시간별 강우-유량의 수문곡선은 상승부, 첨두부, 하강부가 모두 합리적으로 이루어지는가 등을 분석·검토하는 것으로 볼 수 있다.

그러나, 연강우량대 연유출률의 비율 즉, 유출률이 얼마이어야 적당한 값인지 아직 제시된 것은 없다. 여기서 유출률을 유역면적과 연강우량의 함수로 제시하였으며, 그런대로 사용할 수 있다고 본다. 각종 수자원의 계획에서 유량자료의 신뢰도가 떨어져 이를 직접 사용하지 않고 수계별로 유출률이 일정 범위로 들어오도록 비유량법 등에 의해 유출량을 만들어 사용하고 있는 실정이다. 앞으로 수계별 권역별로 유출률 공식을 만들어 하나의 지표로 사용될 수 있도록 해야 할 것이다.

또한 강우에 대한 유출반응을 자세히 살펴 보는 것도 수문학적 방법에 의한 신뢰도 분석 방법으로 볼 수 있다. 이에 대한 평가방법이 정형화된 것은 없으며, 수문곡선의 형상, 기간별 강우량

대 유출량의 비교 등 아직은 주관적, 경험적으로 평가해야 할 것이다. 댐의 유입량 자료와 비교하는 것도 좋은 방법이라 할 수 있다.

여기서는, 수위관측소 지점의 수위-유량 관계식을 도출하고, 관측수위로부터 유량을 계산하여 수문곡선을 작성해 보고 유출률을 평가하고 댐 유입량과 비교해 보고자 한다. 이와같은 일련의 과정을 '수문자료관리시스템(1998, 노재경)'을 이용하여 수행하였다.

2 분석지점 및 사용자료

분석지점은 한국수자원공사가 관리하고 있는 대청댐 유역내 수위관측소 지점으로 하고 사용자료는 '97유량측정성과를 이용하였다.

대청댐 유역의 수문관측소 위치는 그림 1과 같다. 대청댐의 유역면적은 4,134km²이고 유역내 우량관측소는 15개소가 있으며, 1개소당 지배면적은 276km²이다.

수위관측소는 본류에 하류로부터 옥천 수위관측소(2,957km²), 호탄 수위관측소(1,909km²), 수통 수위관측소(1,539km²)가 있으며, 지류 보청천의 하류에 위치한 청성 수위관측소(484km²), 지류인 초강천의 하류에 위치한 송천 수위관측소(619km²) 등 5개소가 있다. 우량관측소는 대청댐 유역에 15개소, 옥천 지점 유역에 10개소, 호탄 6개소, 수통 5개소, 청성 3개소, 송천 1개소가 있다. 유역 평균 강우량은 산술평균하여 계산하였으며, 1,090.5~1,422.6mm이다.

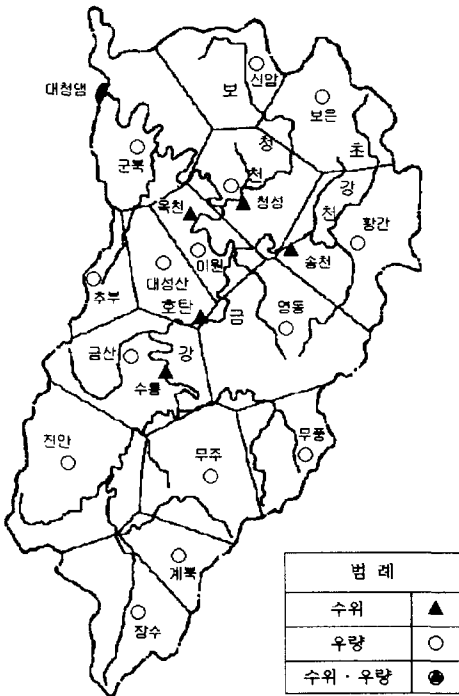


그림 1 대청댐 유역 수문관측소

표 1 대청댐 수위관측소별 강우관측소

수위 관측소	유역 면적 (km ²)	하천명	유역내 강우관측소	평균 강우량 (mm)
대청댐	4134	금강	군북, 추부, 청성, 신합, 보은, 대성산, 이원, 황간, 영동, 금산, 진안, 무주, 무풍, 계북, 장수(15개소)	1,338.0
옥천	2957	금강	대성산, 이원, 황간, 영동, 금산, 진안, 무주, 무풍, 계북, 장수(10개소)	1,326.1
호탄	1909	금강	금산, 진안, 무주, 무풍, 계북, 장수(6개소)	1,412.6
수통	1539	금강	진안, 무주, 무풍, 계북, 장수(5개소)	1,422.6
청성	484	보청천	청성, 신합, 보은(3개소)	1,090.5
송천	619	초강천	황간(1개소)	1,294.5

3 분석 방법 및 결과

‘수문자료관리시스템’을 이용하여 분석하였다. 분석방법은 수위관측소별로 다음의 순서로 수행하였다.

수위-유량 관계식 : 수위-유량 관계식은 $Q=a(H\pm b)^c$ 와 같다. 기본적으로 3개 구간으로 나누어 관계식을 도출하는 것으로 하였으며, 구간을 나누지 않고 전구간에 대해서도 관계식을 유도할 수 있다. 그림 2와 같이 양대수지에서 직선이 나오도록 零흐름수위(b)를 정하고 구간을 세 구간으로 나누어 구하였으며, 결과는 표2와 같다. 청성지점은 전구간식도 제시하였다. 그림 2에서 네모의 점 자료는 삭제된 자료이며, 축을 반대수, 정상으로 나타내어 구간 설정에 도움을 주어 보다 양호한 수위-유량 관계식을 유도할 수 있게 한다.

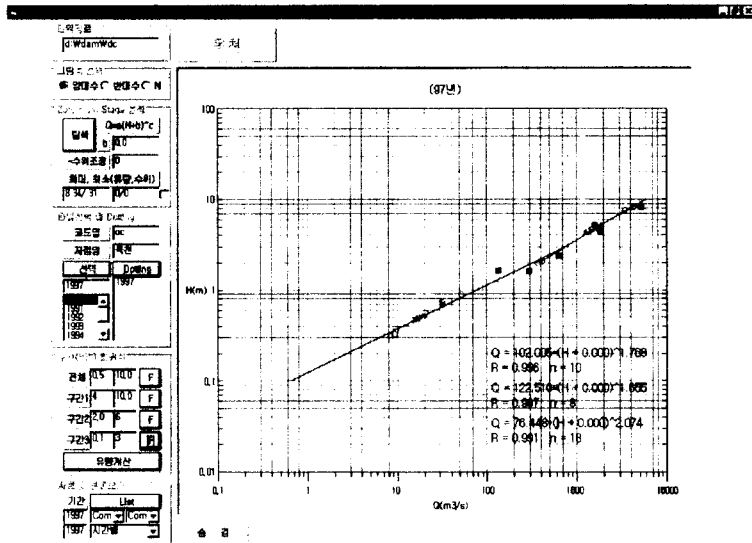


그림 2 옥천 지점 수위-유량 관계식

수문곡선 : 옥천 지점을 예를 들어 설명하면 일 수문곡선은 연 강우량 1,326.1mm에 연 유출량 745.0mm로 나타나 유출률 56.2%를 보여주고 있다. 또한 기간을 10월1일~3월31일, 4월1일~6월20일, 6월21일~9월30일로 나누어 기간별 유출률, 강우량, 유출량을 제시하였다. 일별, 시간별로 지점별 결과는 각각 표 3, 표 4와 같으며, 대청댐 운영 결과와 비교하였다.

청성 지점의 경우는 수위-유량 관계식을 구간별로 적용한 결과 너무 높게 나타나 전구간에 대해서도 적용하였지만 결과는 약간 낮게 나타났으나 갈수기 유량이 높게 나타나고 있다. 시간 수문곡선의 경우는 유출률이 100% 정도를 나타내 자료의 신뢰도가 떨어진다.

유출률이 수계별로 유역면적에 따라 어느 정도 되어야 하나? 갈수량이 수계별로 유역면적에 따라 어느 정도 되어야 하나? 이런 것들이 아직 체계적으로 정리된 것은 없다. 예를 들어 대청댐

의 갈수량은 0.10~0.30mm이고 평균하여 0.146mm(1981~1997)이다. 유역의 토양수분상태에 따라 수계별, 유역면적별 유출량의 범위는 유량의 수문학적 해석에 좋은 지표가 된다.

표 2 대청댐 수위관측소 수위-유량 관계식(1997)

관측소	수위-유량 관계식	관측수위
옥천	$Q = 102.005 \times H^{1.708} \quad (H > 5.06)$	최대: 6.94m 최소: 0.30m
	$Q = 122.510 \times H^{1.000} \quad (3.08 \leq H \leq 5.06)$	
	$Q = 76.448 \times H^{2.0/4} \quad (H < 3.08)$	
호탄	$Q = 97.580 \times (H+0.10)^{1.934} \quad (H > 4.33)$	최대: 4.72m 최소: 0.11m
	$Q = 109.044 \times (H+0.10)^{1.900} \quad (2.31 \leq H \leq 4.33)$	
	$Q = 71.117 \times (H+0.10)^{2.940} \quad (H < 2.31)$	
수통	$Q = 36.008 \times (H-0.10)^{2.587} \quad (H > 2.33)$	최대: 4.17m 최소: 0.65m
	$Q = 35.054 \times (H-0.10)^{2.020} \quad (1.30 \leq H \leq 2.33)$	
	$Q = 29.172 \times (H-0.10)^{3.013} \quad (H < 1.30)$	
청성	$Q = 24.399 \times (H-0.10)^{2.304} \quad (\text{전구간})$	최대: 4.32m 최소: 0.42m
	$Q = 26.754 \times (H-0.10)^{2.200} \quad (H > 1.50)$	
	$Q = 29.791 \times (H-0.10)^{1.932} \quad (0.87 \leq H \leq 1.50)$	
	$Q = 38.545 \times (H-0.10)^{2.934} \quad (H < 0.87)$	
송천	$Q = 91.875 \times (H-0.20)^{1.089} \quad (H > 3.73)$	최대: 4.08m 최소: 0.39m
	$Q = 49.397 \times (H-0.20)^{2.183} \quad (1.47 \leq H \leq 3.73)$	
	$Q = 43.938 \times (H-0.20)^{2.002} \quad (H < 1.47)$	

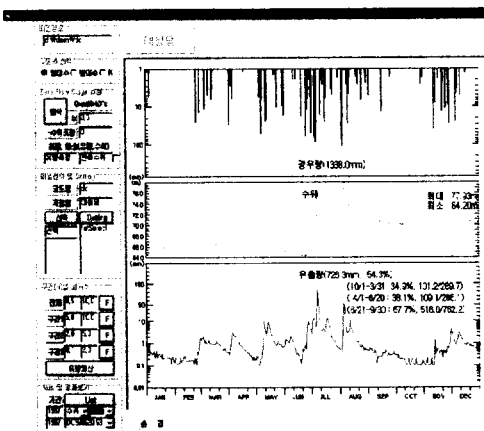


그림 3 대청댐 일 유입량 수문곡선

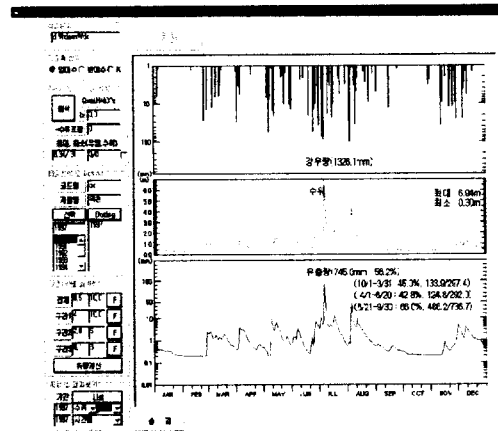


그림 4 옥천 지점 일 수문곡선

표 3 대청댐 수위관측소별 일 유출계산 종합

지점명	유역면적 (km ²)	년						10.1-3.31			4.1-6.20			6.21-9.30		
		강우 (mm)	유출 (mm)	유출률(%)			강우 (mm)	유출 (mm)	유출 률 (%)	강우 (mm)	유출 (mm)	유출 률 (%)	강우 (mm)	유출 (mm)	유출 률 (%)	
				관측	공식	차										
대청댐	4134.0	1338.0	726.3	54.3	58.7	-4.4	289.7	101.2	34.9	286.1	109.1	38.1	762.2	516.0	67.7	
옥천	2957.0	1326.1	745.0	56.2	57.5	-1.3	297.4	133.9	45.0	292.0	124.8	42.8	736.7	486.2	66.0	
호탄	1909.0	1412.6	721.6	51.1	58.5	-7.4	325.7	157.8	48.4	312.3	91.0	29.1	774.6	472.9	61.0	
수통	1539.0	1422.6	768.9	54.0	58.2	-4.2	330.6	146.5	44.3	326.6	159.0	48.7	765.4	463.4	60.5	
청성	484.0	1294.5	821.2	63.4	52.0	11.4	267.6	146.7	54.8	243.9	147.8	60.6	783.0	526.7	67.3	
송천	619.0	1090.5	572.4	52.5	47.4	5.1	249.5	77.5	31.1	268.0	94.6	35.3	573.0	400.3	69.9	

주) 표에서 연 유출률 공식은 $0.495 \times \text{유역면적}^{0.047} \text{연강우량}^{0.609}$ 이다.

표 4 대청댐 수위관측소별 시간 유출계산 종합

지점명	유역면적 (km ²)	시간 강우 (6.20-9.20)			시간 최대		일 강우 (6.21-9.30)			일 최대	
		강우 (mm)	유출 (mm)	유출률 (%)	강우 (mm)	유출 (mm)	강우 (mm)	유출 (mm)	유출률 (%)	강우 (mm)	유출 (mm)
대청댐	4134.0	767.5	572.3	74.6	20.1	4.9	762.2	516.0	67.7	138.6	85.06
옥천	2957.0	727.1	494.7	68.0	16.1	5.3	736.7	486.2	66.0	130.6	91.54
호탄	1909.0	759.0	488.2	64.3	15.8	5.1	774.6	472.9	61.0	134.0	92.50
수통	1539.0	-	-	-	-	-	765.4	463.4	60.5	138.0	76.28
청성	484.0	803.9	802.9	99.9	30.0	24.5	783.0	526.7	67.3	137.0	131.06
송천	619.0	591.0	424.6	71.9	33.0	7.9	573.0	400.3	69.9	111.0	126.56

연 유출률은 51.1-63.4%, 공식에 의한 유출률은 47.4-58.7%를 나타내고 있으며, 청성 지점은 차이가 11.4%로 가장 크게 나타났다. 청성 지점을 예로 계절별 유출률을 보면 10.1-3.31 경우는 54.8%로 대청댐 34.9% 보다 19.9% 많게, 4.1-6.20 경우는 60.5%로 대청댐 38.1% 보다 22.4% 많게, 6.21-9.30 경우는 67.3%로 대청댐 67.7%와 같게 나타나 청성 지점의 평·갈수기 유량이 높게 나타난 것으로 나타났다. 그러나 표 4에서 일 최대값을 보면 강우량 137.0mm에 유출량 131.06mm로 나타나 홍수기의 신뢰도도 높다고 할 수는 없다. 송천의 경우도 일 최대값을 보면 유출량이 강우량 보다 높게 나타나 결과가 좋지 않다.

시간별의 경우는 6월20일부터 9월20일까지 계산하였다. 수통 지점은 자료가 누락돼 있으며 청성 지점의 경우를 제외하고는 일별의 6.21-9.30의 결과와 비슷하게 나타났다. 청성 지점의 경우는 유출률이 99.9% 나타나고 시간별 최대값이 강우량 30.0mm에 유출량 24.5mm로 나타나 신뢰성이 떨어진다.

또한 수위-유량 관계식을 유도할 때 자료군에서 벗어난 자료를 얼마나 포함하느냐, 또한 구간을 어떻게 나누느냐에 따라 계산된 유량 결과도 약간씩 다르게 나타난다.

그림 5는 수위관측소별 계산된 유출량을 댐의 유입량과 유역면적별로 비교하여 유출량의 단위를 mm로 하여 나타낸 것이다. 그림 6은 단위를 백만m³으로 표현한 것이다. 그림에서 막대그래프는

강우량/유출량을 나타낸 것이며, 선은 유출률이다.

유출률은 강우량이 증가하면 증가하고 유역면적 증가하면 감소하는 경향을 나타내며, 유출량은 강우량, 유역면적이 증가하면 증가하는 경향을 나타낸다. 그림 6에서 보면 송천 지점이 유역면적(619km²)이 청성 지점(484km²) 보다 넓은데 유출량은 오히려 적게 나타나 계산된 유량이 어딘가 잘못된 것을 알 수 있다. 이것은 10.1-3.31, 4.1-6.20 경우(여기서는 그림을 생략하였음)에서도 나타났으며, 수통과 호탄 지점의 경우도 4.1-6.20의 결과가 거꾸로 나타나 수통, 호탄 지점의 계산된 유량의 신뢰도가 떨어지고 있다.

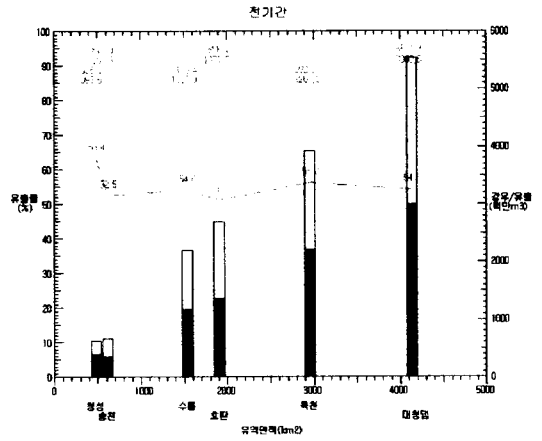
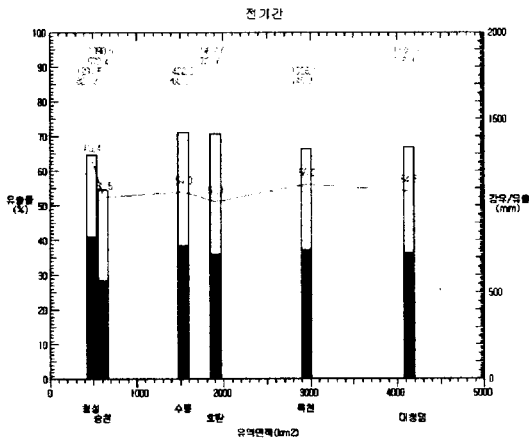


그림 5 댐청댐 수위관측소별 유출량 비교(mm) 그림 6 대청댐 수위관측소별 유출량 비교(백만m³)

4. 결론

대청댐 유역의 수문관측소를 예로 수위-유량 관계식의 수문학적 검증 방법에 대해 살펴보았다. 유출률, 수문곡선, 댐 유입량과 비교, 유역면적별 일정기간별 유출량 비교 등을 설명하였다. 또한 모형에 의한 모의 결과와도 비교해 보았다.

수문곡선은 옥천, 호탄, 수통 지점의 경우는 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 유역면적별 유출량을 보면 청성과 송천, 호탄과 수통 등에서 결과가 거꾸로 나타난 것이 아닌가 하는 의심을 갖게 하였다. 이와같이 신뢰도 평가는 다양한 방법으로 평가하여 상호보완이 이뤄져야 한다. 그러나, 아직 신뢰도를 객관적으로 평가할 수 있는 명확한 지표가 마련돼 있지 않은 실정이다. 이를 위해서는 양질의 자료가 다양하게 쌓여있어야 한다.

또한, 관측 유출량을 모형에 의해 모의된 유출량과 비교하는 것도 유량 자료의 신뢰도를 분석하는 하나의 방법이 된다. 제대로 관측이 되었다면 관측 유출량은 수문곡선에서 모의된 결과와 비슷한 경향을 보여줄 것이며, 신뢰도가 떨어진다면 관측 유출량은 모의된 결과와 어떤 차이를 보여줄 것이다. 자세한 것은 지면관계상 생략하였으며, DAWAST 모형의 모의결과와 비교한 결과 모의/관측 비율은 청성, 송천 지점을 제외하고 96.6 ~99.8%로서 좋은 결과를 나타내었다.