

가지야마 월 유출량 공식의 일반화

○노 재 경

1. 서 론

1929년 조선총독부 토목기사 가지야마(梶山)가 우리나라 중·대하천 24개 수문지점의 자료를 이용하여 월 유출량 공식을 유도한 이래 지금까지 우리나라 수자원 설계에 끼친 영향은 엄청나다. 그동안 갈수기 유량 과대추정, 자존심 문제 등 脫 가지야마를 주창하였지만 아직까지 가지야마 공식이 사용되고 있다. 탱크 모형, DAWAST 모형, SSARR 모형 등 몇 가지 일 유출 모형이 개발 또는 적용되어 왔지만 유량자료의 신뢰도가 떨어져 적극 활용되지 못하고 있다. 이것이 가지야마 공식이 아직까지 사용되고 있는 주된 이유인 것 같다. 또한 그 동안 수문관측에 대한 우리의 관심정도를 반영하고 있는 것이 아닌가 하는 생각이 든다.

자료를 신뢰하지 못하여 비유량 방법 또는 가지야마 공식을 사용하여 설계하고 있는 실정이다. 예컨대 최근 수치지도가 많이 구축되고 있는데 지형도, 토양도, 토지이용도 등의 지도를 수치화하여 이를 이용한 분포형 모형을 이용해 공간적으로 정교하게 유출량을 모의할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 그러나, 여기서 관측 유량의 유출률이 심지어 200%까지 나오기 때문에 유출률을 50%로 일률적으로 맞추어 모의하는 옳지 못할 일이 벌어지고 있다. 유출률 50%가 타당한 것인지? 모의결과 갈수기 유량은 얼마가 되어야 하는지? 첨두유량은 얼마가 되어야 하는지? 수문곡선의 상승부, 하강부의 형상은 제대로 나타나는지? 감수부는 제대로 표현되는지? 이에 대하여 잣대로 삼을 어떤 뚜렷한 기준이 없다. 문제는 신뢰성 있는 자료가 부족하기 때문이다.

여기서 굳이 구시대적인 가지야마 공식을 다루게 된 것은 다음과 같은 이유 때문이다. 첫째는 북한 지역의 유출량을 모의하는데 강우량 자료가 월 단위 자료만 이용할 수 있었기 때문이었고, 둘째는 요즈음 흔히 사용하기 좋아하는 각종 모형의 모의 결과가 여기서 제시하는 가지야마 공식에 의한 모의결과 보다는 나아야 되지 않겠냐 하는 오기 때문이었다. 복잡하고 어렵게 모의한 결과가 간단한 가지야마 공식에 의해 모의한 결과보다 못해서야 어디 말이나 되겠냐?

가지야마 공식의 계수 f 를 유역의 지상 및 기상인자와 연관시켜 일반화시켜 f 값의 선택에 보다는 객관성을 부여하자는 것이 목적이다. 일반화 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 자료의 가용성을 고려하여 가능한 방법을 모색해야 할 것이다. 간단한 공식을 적용하는데 준비할 자료가 많거나 복잡하다면 배보다 배꼽이 더 큰 꼴이 될 것이다. 방법은 간단하다. 관측유출량을 이용해 최적 f 값을 구하고 이를 여러 가지 인자와 연관시키는 것이다.

2. 공식 설명

梶山(1929)이 1916-1927년의 한반도 중·대하천 24개 수위-유량 관측 자료를 이용하여 유도한 월 유출량을 구하는 공식이다.

$$R = \sqrt{P^2 + (138.6f + 10.2)^2} - 138.6f + E \quad (1)$$

여기서, P는 월 강수량(mm), f는 유역 특성에 관계되는 계수(0.6-1.4), E는 월 강수량의 크기에 따른 보정우량(mm), R은 월 유출고(mm)이다.

표 1 월 강수량 크기에 따른 보정우량(mm)

월 강수량 (mm)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
0	-2.5	-2.5	0.0	5.0	0.0	-2.0	0.0	0.0	6.0	7.0	0.0	0.0
0~10	-2.0	-2.0	0.0	5.5	0.0	-3.0	0.0	0.0	6.4	6.3	0.0	0.0
10~20	-1.5	-1.5	0.0	6.0	0.0	-4.0	0.0	0.0	6.8	5.6	0.0	0.0
20~30	-1.0	-1.0	0.0	7.5	0.0	-6.0	0.0	0.0	7.2	4.9	0.0	0.0
30~50	0.0	0.0	0.0	8.5	-2.4	-9.0	0.0	0.0	8.0	3.5	0.0	0.0
50~70	0.0	0.0	0.0	9.0	-3.6	-12.0	0.0	0.0	8.8	2.1	0.0	0.0
70~80	0.0	0.0	0.0	0.5	-6.0	-17.0	0.0	0.0	9.0	1.0	0.0	0.0
80~100	0.0	0.0	0.0	5.0	-12.0	-20.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0
100~150	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-26.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0
150~200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-30.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0
200~250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-22.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0
250이상	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-15.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0

가지야마 공식은 다음과 같은 가정하에서 유도되었다. 첫째, 우리나라 조사 대상 하천에서의 유출율은 40-70%, 평균 55%이다. 둘째, 유역에서의 연평균 유출량은 500mm이며, 이 때 f=1.0, 600, 700mm 일 때 f=0.8, 0.6, 400, 300mm 일 때 f=1.2, 1.4로 변한다. 셋째, 월 강수의 유무를 막론하고 기저유량은 10.2mm로 한다. 넷째, 유역내에서 월 평균 강수량이 어느 한도 이상이 되면 유역내에서의 최대 저류량은 138.6mm로 한정한다. 다섯째, 계절적 또는 월 강수량의 다소에 따라 개정치 E를 변화시킨다.

3. 공식의 일반화

공식에서 E값은 제시한 값을 그대로 사용하는 것으로 하였고, f값만 변화시키는 것으로 하였다. 유출자료가 있는 유역의 최적 f값과 유역의 기상, 지상인자를 연관시켜 적용하였다. 유역의 기상, 지상인자는 년 강수량, 우기, 건기강수량, 지형, 토지이용, 토양, 지질 등 인자를 생각할 수 있다. 이들 관계를 도출하기 위해서는 유출 자료가 양호한 지점을 적어도 20-30개소 지점의 자료

를 사용하여 통계적으로 유의한 결과를 얻어야 한다. 유역마다 지형, 토지이용, 토양, 지질도를 분석하여 적용해야 되겠지만 지도로부터 자료를 정리하는 것은 실제 설계에서 다른 분석보다도 지도작업량이 너무 많기 때문에 별로 바람직하지 않다. 또한 이들 지도들이 모두 사용할 수 있을 정도로 수치화되어 있지 않은 상태이기 때문에 f값을 년 강우량과, 유역면적만의 함수로 관계시켰다.

표 2는 f값 계산을 위해 선정된 유출 지점의 유출 현황이다. 공식유도에 사용된 자료는 한국 수자원공사가 운영하는 다목적댐 및 용수전용댐과 그밖의 몇 개 수위관측소 지점을 포함하여 전체 18개 지점의 227개년 유출자료이다. 각 지점의 자료년수는 3~24년이고, 연평균 강우량은 926.1~1,543.8mm, 연평균 유출량은 395.6~858.6mm, 유출률은 42.7~68.0%이다.

표 2 주요 유출 지점의 유출자료 보유 현황

유역명	유역면적 (km ²)	자료기간	자료년수	연평균 강우량 (mm)	연평균 유출량 (mm)	유출률 (%)
소양강댐	2,703	1974-1997년	24	1,152.4	784.1	68.0
충주댐	6,648	1986-1997년	12	1,169.0	758.4	64.9
안동댐	1,584	1977-1997년	21	1,080.6	593.6	54.9
임하댐	1,361	1993-1997년	5	926.1	395.6	42.7
합천댐	925	1989-1997년	9	1,246.3	591.5	47.5
남강댐	2,285	1976-1997년	22	1,437.5	799.3	55.6
대청댐	4,134	1981-1997년	17	1,143.0	626.3	54.8
섬진강댐	763	1975-1997년	23	1,238.2	665.4	53.7
영천댐	235	1983-1997년	15	1,057.2	481.3	45.5
사연댐	125	1981-1997년	17	1,280.4	690.5	53.9
운문댐	301.3	1995-1997년	3	967.9	401.5	41.5
도척	5.9	1986-1988년	3	1,297.3	819.1	63.1
괴산	671	1976-1985년	10	1,138.2	630.9	55.4
기대	346.5	1983-1986년	4	1,290.9	618.6	47.9
용담	937	1970-1976년	7	1,351.7	771.5	57.1
공주	7,126	1967-1976년	10	1,218.5	657.9	54.0
보성	275	1976-1983년	8	1,543.8	858.6	55.6
나주	2,060	1965-1981년	17	1,327.9	710.3	53.5
계	18개 지점		227			

f값은 최적화 방법에 의해 탐색하였으며, 황금분할법(Golden Search Method)을 사용하였다. 목적함수는 관측유출량과 모의유출량의 월 오차화와 년 오차화 두가지로 하였다. 또한 연도별로도 최적 f값을 찾을 수 있고, 전체년에 대해서도 최적 f값을 찾을 수 있도록 하였다.

여기서는 목적함수로서 년 오차화를 사용하였고, 지점별로 연도별, 전체년에 대해 최적 f값을 탐색하였으며, 아래 식과 같이 년 강우량, 유역면적으로 연관시켰다.

$$f = 52.14 \times P^{-0.530} A^{-0.023}, r = 0.247, n = 18 \quad (\text{전체년인 경우}) \quad (2)$$

$$f = 53.04 \times P^{-0.499} A^{-0.066}, r = 0.349, n = 227 \text{ (연도별인 경우)} \quad (3)$$

여기서, P는 연강우량(mm), A는 유역면적(km²)이다, r은 상관계수, n은 자료수이다..

전체년인 경우는 r = 0.247이고, 연도별인 경우 r = 0.349로서 연도별인 경우가 유의성이 있었다. 상관계수의 유의수준은 자유도(n-2) 16인 경우 1%에서 0.5897, 5%에서 0.4683이고, 100이상인 경우 1%에서 0.2540, 5%에서 0.1946이다.

그림 1은 가지야마 식의 f값 증가선 비교이다. 여기서, 관측 f값은 지점별로 연도별, 전체년에 대해 황금분할법에 의해 탐색한 f값이고, 모의 f값은 공식 (2), (3)에 연강우량, 유역면적을 대입하여 계산된 값이다. 전체년인 경우 관측 f값의 범위는 0.55-1.60인데 비해 모의 f값의 범위는 0.93-1.20이었고, 연도별인 경우 관측 0.40-1.60, 모의 0.67-1.61이었다. 결과는 모의값이 오히려 일 반적인 f값의 범위 0.8-1.2에 수렴되었다.

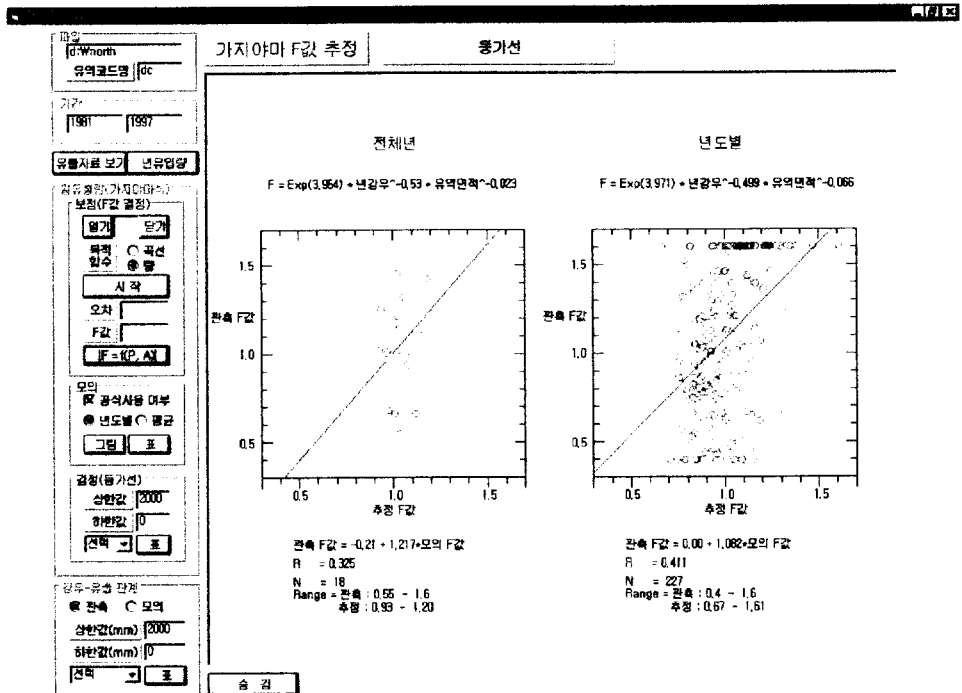


그림 1 가지야마 식의 f값 증가선 비교

또한 표 1의 자료를 이용하여 유출률 공식을 유도하였다. 보통 유출률은 유역면적이 증가하면 감소하고, 강우량이 증가하면 증가한다. 따라서, 유출률을 유역면적과 연강우량을 관련시켜 함수화 하였으며, 다음 공식 (4)와 같다.

$$Rr = 0.495 \times A^{0.047} P^{0.609}, (r=0.582) \quad (4)$$

여기서, Rr은 연 유출률(%), A는 유역면적(km²), P는 연 강우량(mm), r은 상관계수이다. 상관계수는 0.582로서 자유도(n-2) 100이상인 경우 1%에서 0.2540, 5%에서 0.1946이므로 유의성이 있다.

표 1의 227개년 유출률 자료와 공식에 의해 계산한 유출률을 1:1등가선에 분포시켜 공식의 적합성을 판단하였다. 결과는 그림 2와 같으며, 1:1 등가선에 집중하여 나타나 유도된 공식은 적합한 것으로 보았다.

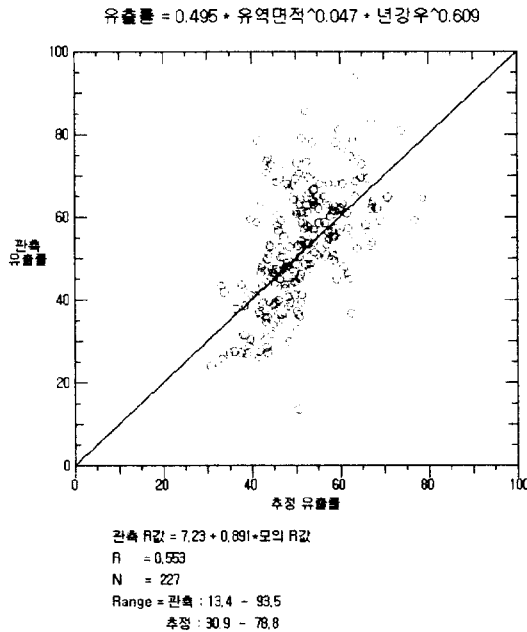


그림 2 유출률 공식, $R=f(P,A)$ 의 적합성 분포

4. 공식의 검증

유출 지점별로 최적 f값과 추정 f값을 사용하여 월 유출량을 모의하여 비교하였다. 수문곡선, 모의결과, 관측-모의 등가선 비교는 지면관계상 생략하며, 이를 정리하면 표 2와 같다. 표의 값은 연평균값이며, 괄호안은 모의/관측 유출량 비율이다.

연평균하여 관측 유출량은 392.3~857.2mm, 최적 f값에 의한 모의 유출량은 439.3~875.1mm, 추정 F값에 의한 모의 유출량은 464.5~929.6mm를 나타내 추정 f값에 의한 유출량이 높게 모의되었다. 또한 모의/관측 유출량 비율은 최적 f값인 경우 97.8~112.6%, 추정 f값인 경우 86.6~123.2%로 나타나, 추정 f값에 의한 모의 결과가 편차가 컸다. 그러나, 수문곡선과 모의결과로부터 전반적으로 판단해 볼 때 이 정도의 편차는 허용할 정도의 수준이었다.

표 2 최적, 추정 f값에 의한 모의 유출량 비교

유역명	유역면적 (km ²)	강우량 (mm)	관측 유출량 (mm)	유출률(%)		모의 유출량(mm)		유출률(%)		최적 f값
				관측	공식	최적 f값	추정 f값	최적f	추정f	
소양강댐	2,703	1,152.4	782.9	67.9	52.5	778.7(99.5)	678.3(86.6)	67.6	58.9	0.55
충주댐	6,648	1,169.1	758.5	64.9	55.3	742.1(97.8)	703.0(92.7)	63.5	60.1	0.66
안동댐	1,584	1,080.6	593.2	54.9	49.3	595.3(100.4)	579.8(97.7)	55.1	53.7	1.01
임하댐	1,361	926.0	392.3	42.4	44.5	439.3(112.0)	464.5(118.4)	47.4	50.2	1.42
합천댐	925	1,246.3	590.9	47.4	52.4	620.9(105.1)	724.0(122.5)	49.8	58.1	1.49
남강댐	2,285	1,437.5	798.2	55.5	59.6	812.5(101.8)	902.2(113.0)	56.5	62.8	1.05
대청댐	4,134	1,143.0	626.0	54.8	53.3	638.3(102.0)	644.8(103.0)	55.8	56.4	0.99
섬진강댐	763	1,238.2	660.4	53.3	51.7	677.5(102.6)	689.2(104.4)	54.7	55.7	1.06
영천댐	235	1,057.3	474.1	44.8	44.4	533.7(112.6)	527.0(111.2)	50.5	49.8	1.14
사연댐	125	1,280.4	683.2	53.4	48.5	717.4(105.0)	687.8(100.7)	56.0	52.7	1.14
운문댐	301.3	968.0	394.7	40.8	42.6	440.4(111.6)	486.1(123.2)	45.5	50.2	1.60
도척	5.9	1,297.2	814.5	62.8	42.3	845.0(103.7)	718.4(88.2)	65.1	55.4	0.66
피산	671	1,138.1	629.2	55.3	48.8	642.7(102.1)	610.6(97.0)	56.5	53.7	0.94
기대	346.5	1,290.9	616.1	47.7	51.1	626.7(101.7)	692.5(112.4)	48.5	53.6	1.19
용담	937	1,351.5	770.9	57.0	55.1	771.2(100.0)	739.0(95.9)	57.1	54.7	0.79
공주	7,126	1,218.5	657.9	54.0	56.9	665.1(101.1)	689.0(104.7)	54.6	56.5	1.03
보성	275	1,543.9	857.2	55.5	56.4	875.1(102.1)	929.6(108.4)	56.7	60.2	1.30
나주	2060	1,328.0	709.1	53.4	56.5	731.5(103.2)	757.2(106.8)	55.1	57.0	1.03

한편 유출률은 관측값이 40.8-67.9%, 최적 f에 의한 모의값이 45.5-67.7%, 식(3)의 추정 f에 의한 모의값이 49.8-62.8%을 나타내었으며, 식(4)의 공식에 의한 유출률은 42.3-59.6%을 나타내었다.

5. 결 론

가지야마 공식의 f값을 유역면적과 연 강우량의 함수로 간단하게 표현하였다. 그러나, 결과는 만족할만한 수준이었다. 또한 유출률 공식도 제시하였다. 모의를 할 때 참고자료로 사용할 수 있을 것이다.

여기서 월 유출량을 다룬 것은 좋아서 한 것이 아니다. 연속유출을 다룰 때는 기본적으로 일 단위로 분석해야 된다고 생각한다. 그러나, 수문자료의 신뢰성이 떨어져 아직도 설계하는데 많은 경우가 가지야마 공식에 의존하는 현실을 외면하는 것 보다는 적극 인정하는 것이 오히려 탈 가지야마를 앞당기지 않을까?

요즈음 여러 가지 모형을 사용하고 있으나 적어도 여기서 제시하는 일반화 가지야마 공식에 의한 결과 보다는 좋아야 되지 않겠나 하는 점을 말한다.

아울러 가지야마 공식을 버리기 위한 가장 빠르고 확실한 길은 수문관측에 대한 우리의 관심과 배려라는 것을 명심해야 될 것이다. 돈만 투자한다고 해결되는 것은 아니다. 지금까지 얼마나 많은 돈을 투자했는가? 투자가 적어서 해결되지 않은 것이 아니었다. 더 중요한 것은 수문관측에 대한 순수한 마음가짐이다. 이 보다 더 중요한 것이 없다. 수자원의 미래가 달려있기 때문이다.