

월강우의 시간분포에 따른 유출량 변화

Changes of Outflow with Time Varied Monthly Rainfall Data

황만하 *, 강신욱 **
Man Ha Hwang, Shin Uk Kang

Abstract

In general, outflow is larger with rainfall but it is various in the initial moisture condition of basin and condition of rainfall distribution in both time and space. In this study, changes of outflow with time varied rainfall data were analyzed in the basin in which the moisture distribution is constant. Outflow differences with rainfall intensive of first period, middle period, and last period of month are 6.1% in January, 7.8% in February, 9.8% in March, 22.6% in April, 15.7% in May, 19.1% in June, 22.6% in July, 22.4% in August, and 16.8% in September respectively. The results show that 10 days outflow differences are ranged from 6.1% to 22.6% under the constant moisture condition, Outflow differences in the flood seasons are larger than them in the drought seasons.

Key words : outflow, monthly rainfall

1. 서 론

물의 순환을 형성하는 개개 성분 과정 중 인간이 물을 이용하고 관리하는 입장에서 가장 밀접한 관계를 가지고 있는 과정은 유출이며, 강수로 인한 물이 증발과 증산, 침투와 침류, 지하수 등의 성분과정을 거치면서 결국 하천유량의 형태로 흐르게 되는 것이다. 유출의 원천은 강수이며 유역에 내린 강수는 차단, 증발, 증산, 침투에 의해 일부가 손실되고 나머지 부분만이 유출하게 된다. 따라서 강수와 차단, 증발, 증산은 유출의 크기 및 시간적 분포에 절대적인 영향을 미치게 되며 이들 인자는 하나같이 유역의 기후에 의해 지배된다.

유출현상에 중요한 영향을 미치는 이러한 기후는 산업혁명 이후 인위적인 온실가스의 증가로 지구의 온난화를 가속시켜 평균기후에 변화를 일으킨다고 알려져 있다. 최근 기후예측 연구에서는 대기중 이산화탄소의 양이 증가할수록 홍수와 가뭄이 극심해질 것으로 보고하고 있다(Rind, 1993; Rowntree, 1993). IPCC(2001)의 보고서에서는 지난 100년간 기온은 0.3°C ~ 6.0°C 상승되었고, 이산화탄소의 농도는 30% 증가되었고, 향후 2100년까지 기온은 1.4°C ~ 8.0°C 상승할 것으로 예측하고 있다. 이러한 기후변화는 강수량, 강수특성, 증발산량 등의 변화를 야기해 유역의 물순환에 영향을 줄뿐만 아니라 수자원부존량의 변화, 홍수 및 가뭄의 빈도와 규모에도 영향을 미친다. 따라서 이러한 기후변화의 영향을 수자원 운영 및 계획에 반영시키기 위해서 유역규모 강수량 및 강수특성의 변화를 예측하고, 이에 따른 유출특성 변동의 정량적인 예측을 통해 저수지의 효율적인 운영과 이수관리 및 치수측면의 댐운영에 관한 대비가 필요하다(배덕효와 정일원, 2004).

유출에 영향을 미치는 기후인자로서 강수량 외에도 강우강도, 지속시간, 유역의 시간 및 공간적 분포 등이다. 일반적으로 강수량이 크면 이에 따라 유출량도 커지지만, 같은 크기의 강수량이라도 유역의 토양습윤상태, 강우의 공간적 분포, 강우의 시간적 분포에 따라서도 유출량은 달라진다. 본 연구에서는 유역의 토양수분상태가 일정한 조건하에서 월별 강수량의 시간분포에 따른 유출량의 변화를 분석하였다. 이를 위해 먼저 대청댐 유역의 과거 강수량과 유출량의 관계를 분석하였고, 이로부터 유출 모형의 매개변수를 추정 및 검증하였다. 강우-유출 모형에 1984년에서 2005년의 각 월별 일강수량 자료 23개 세트를 각각 입력하여 유출량을 산정하였다. 이로부터 계산된 각 유출량과 세 가지로 나눈 월별 강수량의 시간분포를 사용하여 강수량과 유출량의 관계를 분석하였다.

* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원(E-mail : hhwangmh@kwater.or.kr)
** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 연구원(E-mail : sukang@kwater.or.kr)

2. 강우-유출 모형

SSARR-8 모형은 미국 공병단의 북태평양지부에서 수자원시스템의 계획, 설계 및 관리를 위한 수학적 수문모형으로 1956년 처음 개발된 이래, 1975년 유역 및 하도추적에 대한 기본 골격을 갖추었으며, SSARR-4 이후 IS(Integrated Snowband) 유역모형과 운영예보 기능이 추가되어 현재에 이르고 있다(USACE, 1991). SSARR 모형에는 기존의 DC(Depletion Curve) 유역모형외에 SSARR-8에는 IS 유역모형이 추가되어 있어 연구목적에 따라 모형을 선택할 수 있다. IS 모형에는 DC 모형의 기능이 모두 포함되어 있으며 이외에 강설에 따른 유출기능이 대폭 보완되어 있고 장기적인 유출해석에 대한 기능이 보완되어 있다. 즉, IS 모형은 하나의 유역을 고도별로 여러 개의 띠(band)로 분할함으로써 산악지역의 강설에 대한 모의에 주안점을 둔 것 이지만, 연몰수지분석에 이용될 수 있는 차단(interception)에 대한 모의기능과 장기적 회귀지하수의 추적기능이 추가되었으며 증발산 모의에 대한 개선이 이루어져 장기적인 유출해석시에도 유용하도록 한 것이다.

3. 대상유역 및 입력자료

연구의 연구대상 유역인 대청댐 유역은 동경 $126^{\circ}41' \sim 128^{\circ}25'$, 북위 $35^{\circ}35' \sim 37^{\circ}05'$ 에 걸쳐 위치하며, 유역면적이 $4,134\text{km}^2$ 인 유역이다. 대청댐이 속한 금강유역 내 주요 지류는 상류로부터 남대천, 봉황천, 송천, 갑천, 미호천, 유구천, 지천, 논산천 등이 있으나, 미호천을 제외한 유역들은 본류 면적의 3~6% 정도밖에 되지 않는 소하천들이다. 유역내의 주요 수리시설물인 댐은 2004년 현재 총 6개 소로서 다목적댐 2개소, 농업용수댐 3개소, 하구둑 1개소 등이다.

대청댐 유역의 소유역은 수자원단위지도의 소유역 분할과 장기 용수공급 측면, 유역종합개발계획 측면 및 방재종합 대책 측면을 종합적으로 고려하여, 하천 본류의 주요 유출 제어지점을 기준으로 구분하였다. 이에 대한 SSARR 모형의 유출모의 구성체계를 그림 1에 나타내었다.

유출분석에서는 물 이용량(생활용수, 공업용수, 농업용수)을 고려하는 유역유출모의 기능, 유역 내 수문학적 유출성분별(직접유출, 기그리 1. 대상유역 유출 모의 구성도 저유출 등) 유출량 산출 기능, 댐 등 수리시설물의 공급량 변화에 따른 하류유량 모의기능, 주요 제어지점에서의 이용 용수별 물수급 평가 기능 등이 필수적으로 반영할 수 있도록 구성하였다.

4. 강우-유출 모형의 보정 및 검증

4.1 모형의 보정

본 연구에서는 SSARR-8 모형으로 양질의 유출결과를 도출할 목적으로 원시 수문자료중 유출에 가장 큰 영향을 끼치는 강우량 및 용수량에 대해 검·보정을 실시하고 또한 유역의 특성들을 반영하여 강우에 대한 유출을 정확히 구현할 수 있도록 SSARR-8 모형의 적정 매개변수를 추정하였다.

SSARR-8 모형의 적정 매개변수는 시행착오법에 의해 매개변수의 특성이 적절히 반영될 수 있도록 반복 수행하였으며 대표 예로 토양습윤상대별 유출율(SMI-ROP), 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP) 및 지표수와 복류수의 분리(S-SS)의 특성에 대해 간략히 기술하면 다음과 같다. SMI-ROP는 유역내 토양습윤상태에 따른 유출률을 산정하기 위한 매개변수로서 강우에 의해 발생 가능한 총 유출률을 결정함으로 매개변수 보정 시 가장 우선시 보정되어야 하며 대상기간을 1년 단위로 적용하였다. BII-BFP는 SMI-ROP에 의해 산정된 총 유출량을 직접유출과 기저유출로 분리하기 위한 매개변수로서 침투량에 따른 기저유출비율을 결정함으로 기저유출이 지배하는 이수기를 중심으로 모의유량이 실측유량을 근사하게 묘사할 수 있도록 매개변수를 산정하였다. S-SS는 BII-BFP에 의해 분리된 직접유출과 기저유출중 직접유출에 대해 지표유출과 지표하유출로 분리하기 위한 매개변수로서 직접유출율의 변화에 따른 지표하 유출률을 결정함으로 강수 발생으로 인한 단기유출에 대해 적용하였다. 표 1은 상기 방법에 의해 산정된 권역별 적정 매개변수를 산정한 결과이다.

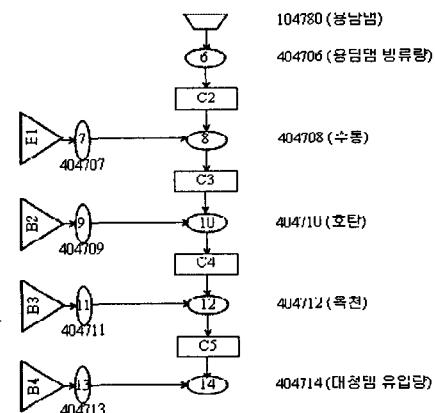


표 1. 권역별 적정매개변수 산정결과

SMI (cm)	ROP(%)			BII (cm/일)	BFP(%)			Input Rate (cm/hr)	Surface Comp.(cm/hr)	
	SMI-a	SMI-b	SMI-b		BII-a	BII-b	BII-c		S-SS-a	S-SS-b
0	10	12	15	0.0	50	55	70	0.0	0.00	0.00
1	20	20	20	1.0	18	30	55	0.5	0.05	0.15
2	55	34	42	1.5	9	18	45	1.0	0.39	0.57
3	85	55	50	2.0	6	10	40	1.5	0.89	1.07
4	95	80	65	2.5	5	8	38	2.0	1.39	1.57
5	99	90	76	3.0	4	7	37	2.5	1.89	2.07
8	100	98	95	5.0	3	6	36	3.0	2.39	2.57
12	100	100	100	100.0	2	5	35			
999	100	100	100							

4.2 모형의 검증

수문자료 보정과 적정 매개변수 산정결과에 따른 SSARR-8 모형의 검증을 위하여 2005년 1월 1일 ~ 2005년 12월 31일까지를 검증기간으로 설정하여 대상지점인 대청 지점의 유출량 모의결과를 분기별 일유출량에 대해서 비교분석을 실시하였다. SSARR 모형에 의한 일별 모의유량을 분기별로 실측유량과 비교분석하였다. 또한 유량에 대해 오차분석 및 통계분석을 실시하였으며 그 결과를 표 2에 제시하였다.

대청댐 지점에 대한 분기별 모의유입량의 결과를 살펴보면 SSARR 모형에 의한 일별 모의유출량은 관측유량을 전 기간에 걸쳐 잘 묘사하고 있으며 상대평균오차(RMSE), 최고치, 최저치 및 총유량에서도 유사한 결과를 보여주고 있다. 비록 홍수기에서 상대평균오차가 크게 나타나고 있지만 이는 자료의 수치가 크면 클수록 RMSE 오차결과도 크게 나타나는 오차검정방법의 특성으로 인한 것이기 때문에 홍수기의 RMSE가 상대적으로 이수기의 RMSE보다 크게 나타나는 것은 모의결과의 심각한 오차라 볼 수 없다. 따라서 상기 결과를 종합하여 보면 전반적으로 SSARR 모형을 통한 분기별 모의유량 산정결과는 매우 신뢰성이 높은 것으로 판단된다.

표 2. 대청댐지점 관측 유입량 및 모의유량에 대한 오차분석결과

	1분기		2분기		3분기		4분기	
	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.
RMSE	13.3		12.2		165.1		11.4	
최고치(cms)	93.5	155.0	116.2	132.0	1964.7	1390.0	91.7	124.0
최저치(cms)	11.2	16.4	12.5	9.1	23.0	36.1	10.8	20.2
총유량(cms)	2239.8	2568.9	2999.1	2776.7	21717.9	21190.6	2291.4	2925.0

5. 대청댐 유역의 유출분석

5.1 과거 강수량-유출량 분석

대청댐 유역의 면적강수량과 관측 댐유입량자료를 사용하여 월단위 강수-유출분석을 수행하였다. 사용한 자료기간은 1984년부터 2005년까지의 자료이다. 그림 2는 1984년 ~ 2005년의 해당 월의 면적강수량과 유출량을 월별로 나타내었다.

그림 2에서 살펴보면 갈수기인 1월과 2월은 강수량과 유출량의 상관관계를 찾기 힘들다. 이 시기는 토양의 험수상태가 낮은 상황에서 강수량은 토양의 험수량을 채우기 위해 대부분 땅속으로 스며들고 유출에 기여하는 양은 대부분 지하수 유출량으로 판단된다. 3월은 강수량이 가장 적은 해인 2001년과 가장 많은 해인 1996년의 관계를 제외하고는 강수에 따라 유출량이 증가하는 약한 경향을 보인다. 4월 ~ 9월의 강수량과 유출량의 관계는 다른 달에 비해 산포는 적지만 강한 상관관계를 보인다. 이와 같은 산포의 원인은 매년의 강우량, 여러 가지 기후인자, 토양함수상태 등에 기인한다. 10월은 1998년을 제외하면 약한 상관관계를 나타낸다. 11월과 12월은 1월과 2월과 마찬가지로 상관관계를 찾기 힘들다.

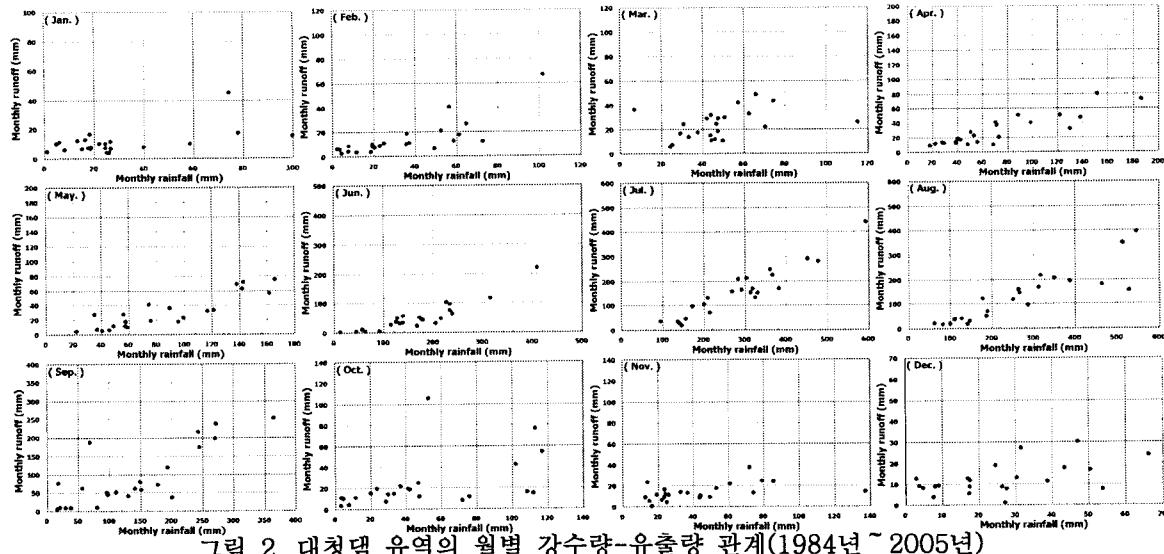


그림 2. 대청댐 유역의 월별 강수량-유출량 관계(1984년 ~ 2005년)

5.2 강수의 시간분포에 따른 강수량-유출량 분석

일반적으로 강수량과 유출량의 관계는 강우강도, 강우지속기간, 연중시기, 토양의 초기함수조건 등에 따라 복잡하고 비선형적으로 변한다. 이중 토양함수조건이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(SCS, 1985).

본 연구에서는 유역의 토양수분상태가 일정한 조건하에서 월별 강수량의 시간분포에 의한 유출량의 변화를 분석하였다. 2006년 1월에서 9월까지를 분석기간으로 하였다. 앞에서 구현된 강우-유출 모형에 1984년에서 2005년의 각 월별 일강수량 자료 23개 세트를 각각 입력하여 유출량을 산정하였다. 예를들면 1월에 대한 분석을 위해서는 2005년 12월 31일 기준의 강우-유출 모형에 1984년 ~ 2005년의 1월 일단위 면적 강수량을 23번 입력하여 각각 유출량을 산정한다. 2월부터 9월까지의 분석에 대해서도 같은 방법으로 수행한다. 각 해의 월별 강수량의 시간분포에 결정하기 위해 강수량을 순(10일)단위로 정리하였다. 이때 강수의 시간분포를 정량적으로 모형화하기 어려워 상순에 강수량이 많은 경우를 Case A, 중순에 강수량이 많은 경우를 Case B, 하순에 강수가 많은 경우를 Case C로 나누어 구분하였다. 이로써 해당 연도의 각 월은 세가지 경우중 하나에 속하게 된다. 2006년 1월부터 9월까지 토양수분상태를 기준으로 한 과거 강수량과 유출량을 표 3과 그림 6에 나타내었다.

그림 3에서 보는 바와 같이 토양수분조건을 고정한 각 월별 강수량과 유출량 관계는 모두 강한 상관성을 보이고 있으며, 월별 강수의 시간분포에 따라 산포하는 것을 볼 수 있다. 월강수량의 시간분포에 의한 유출 영향을 비교하기 위해 각 월의 전체 강수량-유출량 관계를 지수함수식으로 회귀하였다. 각 월에 대해 회귀된 식을 그림에 나타내었고 결정계수는 최소 0.82, 최대 0.93으로 양호한 상관관계를 나타내었다. 회귀된 값을 기준으로 각 Case A, B, C에 대해 평균편차를 표 3에 나타내었다. 1월의 경우 강수량이 상순, 중순, 하순에 많으나에 따라 유출량은 6.1%의 변동을 보였다. 2월의 경우는 7.8%, 3월은 9.8%의 변동을 보였다. 강수량이 본격적으로 많아지는 4월에는 22.6%, 5월에는 15.7%, 6월에는 19.1%, 7월에는 22.6%, 8월에는 22.4%, 9월에는 16.8%의 변동을 보였다. 전반적으로 유역의 토양수분량이 일정한 조건하에서 10일단위 강수량의 시간분포에 따라 최소 6.1%에서 최대 22.6%의 변동을 나타내었다. 그리고 강수량이 적은 갈수기보다 강수량이 많은 풍수기에 더 많은 변동을 나타내었다.

그림 3에서 보는 바와 같이 상순에 내린 강수량이 많은 달의 유출량이 하순에 내린 강수량이 많은 달의 유출량보다 많다. 이와 같은 원인은 유출성분중 직접유출보다 늦게 유출되는 성분인 중간유출과 일부 기저유출의 효과라고 할 수 있다.

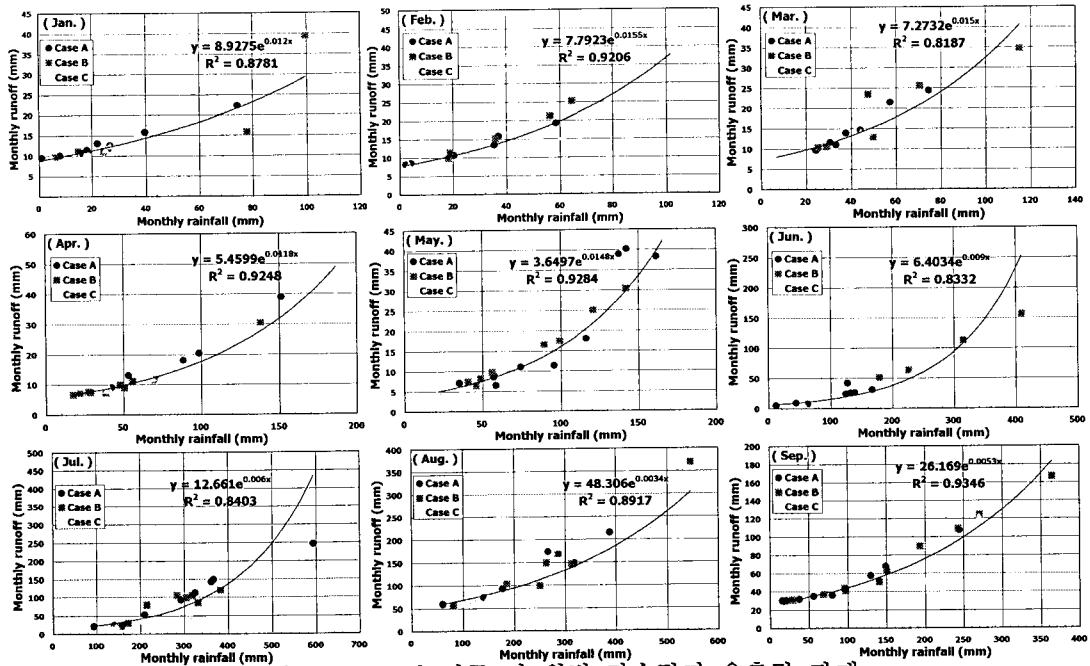


그림 3. 2006년 기준 각 월별 강수량과 유출량 관계

표 3. 2006년 기준 각 월별 평균유출량에 대한 평균편차(%)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월
Case A	3.0	3.1	4.8	16.4	2.6	16.1	8.6	11.0	5.0
Case B	0.1	8.5	6.6	-1.2	9.2	13.6	14.0	9.7	3.6
Case C	-3.1	-4.7	-5.0	-6.2	-13.1	-3.0	-13.6	-11.4	-11.8

6. 결 론

본 연구에서는 유역의 토양수분상태가 일정한 조건하에서 월별 강수량의 시간분포에 따른 유출량의 변화를 분석하였다. 이를 위해 먼저 대청댐 유역의 과거 강수량과 유출량의 관계를 분석하였고, 이로부터 유출모형의 매개변수를 추정 및 검증하였다. 강우-유출 모형에 1984년에서 2005년의 각 월별 일강수량 자료 23개 세트를 각각 입력하여 유출량을 산정하였다. 이로부터 계산된 각 유출량과 세 가지로 나눈 월별 강수량의 시간분포를 사용하여 강수량과 유출량의 관계를 분석하였다.

1월의 경우 강수량이 상순, 중순, 하순에 많으나에 따라 유출량은 6.1%의 변동을 나타내었다. 2월의 경우는 7.8%, 3월은 9.8%의 변동을 나타내었다. 강수량이 본격적으로 많아지는 4월에는 22.6%, 5월에는 15.7%, 6월에는 19.1%, 7월에는 22.6%, 8월에는 22.4%, 9월에는 16.8%의 변동을 나타내었다. 전반적으로 유역의 토양수분량이 일정한 조건하에서 10일단위 강수량의 시간분포에 따라 최소 6.1%에서 최대 22.6%의 변동을 나타내었다. 그리고 강수량이 적은 갈수기보다 강수량이 많은 풍수기에 더 많은 변동을 나타내었다.

참 고 문 헌

- 배덕효, 정일원 (2004). "기후변화와 수자원의 대응," 제2차 기후변화 학술대회, pp. 5-14.
- Rind, D. (1993). "Models see hard rain, drought if CO₂ doubles.", *Climate Alert Newsletter*, Vol. 6, No. 2, pp. 120-125.
- Rowntree, P. (1993). "Climate change and extreme weather events.", *Workshop on Socio-Economic Aspects of changes in Extreme Weather Events*, Free University, Amsterdam, pp. 15-18.
- USACE (1991). *SSARR User manual*. North Pacific Div., Portland.