장성호 유역의 유출 특성 분석

한국헌* · 윤광식** · 최수명** · 조진구** · 정재운**

I. 서 론

최근 기상이변으로 한·수해가 빈번해짐에 따라 수자원개발과 이수 및 치수를 담당하는 수리시설물의 적절한 운영과 유지관리의 필요성이 증가하고 있을 뿐만 아니라, 환경과 생태보존문제로 신규 수자원개발이 어려워지고 있으며, 하천유지용수와 같은 환경용수 수요는 증가하고 있어 댐 숭상 등 기존 시설의 최대 이용이 논의되고 있다.

농업용 저수지 및 수리 구조물의 설계와 합리적인 운영을 위해서는 대상 유역의 유출 거동에 대한 적절한 구명이 필요한 바, 강우-유출 관계에 기초하여 개발된 유출모형에 의해 유출량을 산정하게 된다. 이 중 미국의 SCS(US Soil Conservation Service, 현재는 NRCS, Natural Resources Conservation Service)가 개발한 곡선지수(Curve Number, 이하 CN) 법은 농업용 수리구조물 설계와 일 직접유출의 산정에 많이 이용되는 유출량 추정 방법 중 하나이다. CN법은 미국의 농업유역 중 수문학적 토양, 식생피복형이 균질한 소유역의 년홍수량 관측치의 평균적인 강우-유출관계로부터 결정한 경험적인 지수이고, 토양, 식생피복상태, 선행수분조건(AMC, Antecedent Moisture Condition) 등이 동일한 수문단위에 대한 값이 결정되고, 저류매개변수를 구하여 강우-유출관계로부터 유효우량 또는 직접 유출고를 산정한다(SCS, 1972).

이와 같은 CN법을 우리나라의 미계측 유역에 적용하기 위해서는 유역의 CN값을 정확히 추정해야 할 것이나, CN은 밭, 초지, 경사지 등을 포함하는 미국의 토지이용상태에 대해서는 잘 제시되어 있으나, 논이나 우리나라의 산림과 같은 토지 이용 형태에는 적절한 값이 주어져 있지 않다. Im과 Park(1997) 등은 논에서의 수문특성을 측정하고, 강우-유출 자료로부터 논의 최대잠재저류량의 확률적 특성을 분석하여, 선행강우조건에 따른 CN을 추정하였다. Kim et al.(1997)은 유역이 가장 건조한 상태의 CN을 강우-유출모형인 DAWAST모형의 유역 최대잠재저류능인 U_{max}로부터 구하는 방법을 제시하였다. 이 매개변수 U_{max}는 우리나라 유역에서 관측된 일별 강우-유출량 자료를 최적화 기법으로 보정하여 구했으므로 이로부터 추정된 CN은 우리나라의 유역특성이 반영되었다고 하였다. 한편, 국내 대부분의 농업용 저수지의 경우 수문 및 유출특성 자료가 없어 효율적인 운영관리를 하기에는 어려운 실정이다.

본 연구의 목적은 영산강 수계에 위치한 장성호를 선정하여, 유역으로부터 강우-유출에 의한 호내 유입량을 결정할 수 있는 CN값을 산정하고, 산정된 CN값을 통하여 향후 용수 수요/공급량의 산정과 수자원 개발, 그리고 수리시설물의 운영 등에 이용할 수 있도록 하는 것이다.

II. 재료 및 방법

1. CN법에 의한 유출량 산정

CN에 의한 직접 유출량은 Im et al (1997)에 의해 소개된 식(1)로 계산한다.

$$Q=\frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad \text{--- (1)} \qquad CN=\frac{25400}{254+S} \quad \text{---(2)}$$

여기서, P(mm)는 누가강우량, S(mm)는 차단, 지면저류, 침투 등에 의한 최대 잠재저류량, Q(mm)는 누가유출량이다. 한편, 최대 잠재저류량을 표시하는 지수로서 유출곡선지수 CN을 식 (2)와 같이 정의하였다. 일반적으로 CN이 결정되면, 식 (2)로부터 최대 잠재저류량 S를 구하여, 식(1)로부터 직접유출량 Q를 결정할 수 있다. 따라서, CN의 정확한 추정이 유역의 유출량 계산에 있어서 중요한 요소임을 알 수 있다. 강우-유출자료에 의한 최대 잠재저류량 S를 아래의 식을 이용하여 계산하고 식 (2)로부터 CN을 구하는 것이다.

$$S=5(P+2Q-\sqrt{4Q^2+5PQ}) \quad \text{---(3)}$$

식 (3)에서 이용되고 있는 강우량 및 유출량 자료는 유역의 경우에는 일반적인 강우-유출 자료의 통계적 특성을 이용하여 CN을 계산한다(Ponce와 Hawkins, 1996). Hjelmfelte et al.(1982)은 최대 잠재저류량(S)의 분포는 대수정규확률분포를 보인다고 하였다. 따라서, 이들은 S의 대수정규분포함수의 평균값을 AMC-Ⅱ로 하고, 10%의 값을 AMC-Ⅰ, 90%값을 AMC-Ⅲ로 정의하고 있다. 그런데, S의 값이 폭우사상의 크기에 따라 변화하므로, 강우-유출자료로부터 구한 S의 P/S를 계산하고, P/S의 값이 0.46보다 큰 강우에 대하여 유역의 CN을 결정하는 방법을 제안하고 있다.(Hawkins et al., 1985)

2. 시험 유역

본 연구에서는 광주광역시, 나주시, 장성군, 함평군 일대에 농업용수를 공급해 오고 있는 대표적인 농업용 저수지인 장성호 유역을 선정하였고, 수문관측과 CN을 추정하기 위해 시험 유역을 선정하여 수위와 유량을 실측하였다. 그러나 수집된 자료의 양이 너무 적어 장성호 전체유역의 물수지 분석을 통해 산정된 CN값과 시험 유역내 추정된 CN값을 비교 분석하였다. Fig. 1과 Table 1은 장성호 유역과 장성호 유역내 시험 유역에 대한 토지 이용현황을 나타낸 것이다.

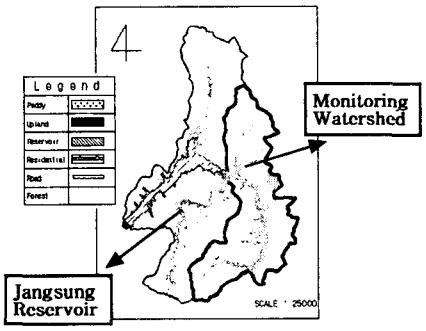

Table 1 Land use conditions of the monitoring subwatershed and Jangsung reservoir watershed {Unit: ha, ( ): %}

Watershed / Landuse	Monitoring Subwatershed	Jangsung Reservoir Watershed
Forest	4,167(83.0)	10,431(84.9)
Paddy	328(6.5)	630(5.1)
Field	105(2.2)	230(1.9)
Residential	137(2.7)	302(2.5)
Reservoir	282(5.6)	687(5.6)
Total	5,019(100.0)	12,280(100.0)

Fig. 1 Land use map of Jangsung reservoir watershed.

3. 자료의 수집

2002년 시험유역 강수량 자료는 북하면 면사무소에서 측정한 일별 강수량 자료를 수집하였고, 시험유역의 수위 및 유량 조사는 북하면 약수리 용두교 지점에 압력식 버블 수위계인 Orphimedes 수위 데이터 로거를 설치하여 20분 간격으로 시간별 연속 수위자료를 수집하였다. 수위-유량곡선을 유도하여 측정된 수위로부터 유량을 환산하였다. 기저유출량과 직접유출량은 수평분리법과 N-day법에 의해서 분리하였다.

또한, 장성호 전체 유역에 대한 CN값을 추정하기 위해 1991년 ~ 2000년까지의 기상과 저수지 운영자료를 수집하였다. 일별 강수량 자료는 농업기반공사 장성댐 관리소에서 측정된 자료를 사용하였으며, 저수지 운영자료는 농업기반공사 장성지사에서 작성한 일별 저수량일지와 통수일지를 수집하여 분석하였다.

4. 물수지 분석을 통한 유입량 추정

유역 유출량 즉 장성호 호내 유입량을 추정하기위해 시험유역의 저수지 운영자료를 이용하여 일별 물수지를 분석하였다. 유입량 추정에 사용된 물수지의 기본식은 다음과 같다.

$$S_t = S_{t-1} + Q_t + P_t - I_t - D_t - L_t - E_t, \quad 단, 0 < S_t < C \qquad (4)$$

여기서, S_t는 단위기간의 저류량, Q_t는 유입량, I_t는 관개량, D_t는 홍수방류량, P_t는 수면강하량, E_t는 호면증발량, L_t는 기타 손실량, C는 유효 저수량이다. 상기의 물수지식을 이용 강우사상별로 일별유입량을 추정한 후 수평분리법과 N-day법을 이용 기저유출량과 직접유출량을 분리하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시험유역 현장 계측을 통한 CN 추정

장성호 유역내 시험 유역을 대상으로 강우량과 유출량을 측정하였으며, Fig.2는 시험 유역에서 조사된 강

우-유출 관계를 나타내는 수문곡선이다. 최대 잠재저류량은 33.2~161.8mm의 범위를 보였으며, CN 최소값이 61.1, 최대값은 88.5이고, 평균값은 77이었다.

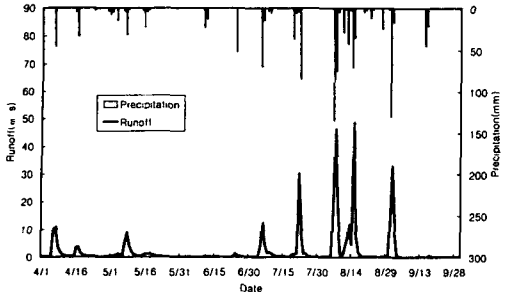

Fig. 2 Hydrograph of the sub-watershed during monitoring period (2002).

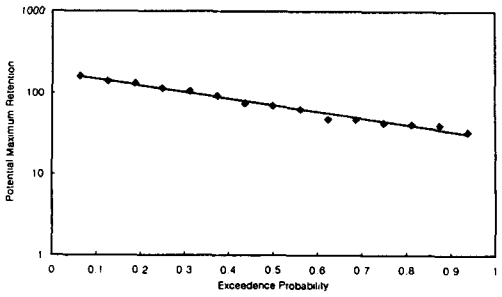

Fig. 3 Exceedence probability distribution of potential maximum retention, S.

한편, 선행수분조건에 따른 CN을 계산하기 위하여 유역의 강우-유출자료에 의한 실측자료로부터 계산된 최대 잠재저류량을 확률지에 도시하여 시험유역의 최대 잠재 저류량의 확률분포함수를 결정하였으며, χ^2검정결과, 대수정규분포함수에 대하여 5%유의수준에서 적합성이 인정되었다. 확률분포함수로부터 10, 50, 90% 확률에 해당하는 최대 잠재저류량을 구하였고, 그 값은 각각 148.8, 70.9, 33.8mm이었다. 이상의 결과를 식(2)에 대입하여 확률 10 %를 AMC-I, 50 %를 AMC-II, 그리고 90%를 AMC-III로 하여 CN_I 값을 63.1, CN_{II} 값을 78.1 그리고 CN_{III} 값을 88.2로 추정하였다.

2. 물수지분석 자료를 이용한 장성호 전체유역의 CN 추정

장성호 유역에서의 10개년간 일별 저수지 운영자료를 이용하여 물수지를 분석한 자료로부터 각 강우사상의 유역 유출량을 산정하였고, 기저유출량을 분리하여 직접유출량을 결정하였다. 총 149개의 강우와 직접유출 자료가 산정되었으며 Fig. 4에 나타난 바와 같다. 이들 강우-유출사상 관계를 이용하여 식(3)으로부터 최대 잠재저류량 S를 구하였으며, Fig. 5는 S의 확률분포함수를 분석한 결과이다. S의 대수정규분포함수의 평균값을 AMC-I로 하고, 10%의 값을 AMC-II, 90%값을 AMC-III로 하여 CN을 추정하였으며 그 결과는 Table 3과 같다.

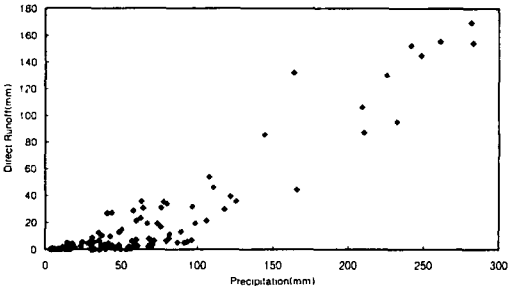

Fig. 4 Precipitation and estimated direct runoff relationship using water balance analysis for the Jangsung watershed.

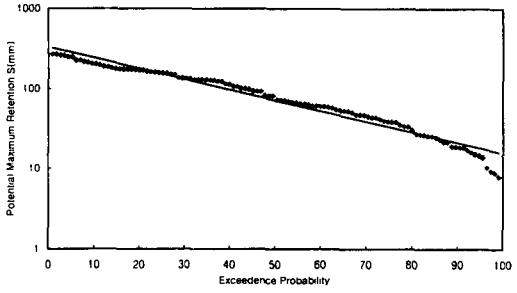

Fig. 5 Exceedence probability distribution of potential maximum retention, S.

시험유역의 유출량 자료에 의한 CN과 물수지 모형의 결과에 의한 CN 값을 비교하면 Table 3에 나타난 바와 같이 AMC-I 인 경우에는 63.1과 51.1 그리고 AMC-II 인 경우에는 78.1과 78.0, 그리고 AMC-III 인 경우에는 88.2 와 92.3으로 나타나, AMC-II인 경우를 제외하고는 서로 다른 결과를 나타내었다. 이는 시험유역의 경우는 유출 자료의 수가 과소하고, 물수지 분석 자료의 경우 시간별 자료가 아닌 일별자료를 이용 직접유출량을 추정하였기에 AMC-I 과 AMC-III 경우는 정확도가 떨어지는 것으로 판단되어 이 후 추가 연구의 필요성을 시사하였다. 하지만 유역의 평균 조건을 나타내는 CNII는 두 경우 모두 78 정도인 것으로 나타나 장성호 유역전체 유출 잠재능을 평가하는데 적용될 수 있는 것으로 사료된다. 추정된 평균 CN을 이용하여 장성호 물수지 분석에 의한 유출량 자료와 실측 유출량 자료의 강우-유출 관계를 도시하면 Fig. 6과 같다.

Table 3 Estimated CNs of Jangsung reservoir watershed

	Selected Value for Design	Water Balance Analysis		Observed Value from Monitoring Sub-watershed
		Estimated Value	P/S≥0.46	
CN_{I}	47.1	51.1	56.4	63.1
CN_{II}	67.2	78.0	80.2	78.1
CN_{III}	82.6	92.3	92.7	88.2

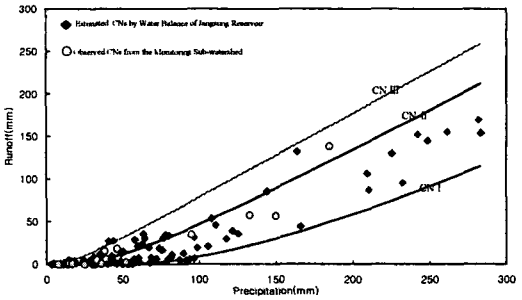

Fig 6. CNs estimated from monitoring sub-watershed and estimated CNs by water balance analysis for Jangsung reservoir watershed.

3. 연구 결과 CN과 유역의 토양과 토지피복 자료에 따른 CN 비교

Table 3에 나타난 바와 같이 기존에 검토된 CN_{II} 값은 장성호 전체 유역에 대한 물수지분석 결과의 10개년 평균 CN_{II}값과 시험유역의 유출 측정에 의한 CN_{II} 값 보다 11 정도 작게 나타났다. Kim et al.(1999)은 금강 상류부에 위치한 초강천 유역에서 강우-유출자료를 이용한 CN값을 추정하였는데 우리나라 미계측 유역에 SCS-CN 방법을 적용할 때 토양-피복 자료에 의한 CN방법이 유역의 유출량을 실제 유출량보다 작게 산정하므로 작게 산정되는 비율만큼을 고려하여 유효우량을 산정하여야 한다고 하였다. 또한, Yoon(1992)은 우리나라 미계측유역에서 유효우량 산정시 에는 토양-피복 자료에 의한 CN_{III}를 이용하는 것이 가장 타당한 것으로 보고하였다. 본 연구의 결과도 토양-피복 자료에 의해 산정된 CN_{III}값 82.6이 오히려 유출 자료로부터 추정된 CN_{II}에 가까움을 보여주고 있다. 이는 SCS가 제시하는 방법이 우리나라의 토지이용상태, 특히 산림지역의 유출능을 적절히 고려하지 못하여 CN 값이 작게 선택되는 것으로 추정된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 장성댐을 대상으로 과거 1991~2000년까지 저수지 운영기록을 수집하여 일별 물수지 분석을 실시하여 저수지 유입량을 추정하였으며, 이를 토대로 유역 전체 CN을 산정하였다. 또한, 시험유역을 선정하여 현장 모니터링을 실시하여 강우-유출 관측치로부터 CN을 산정하였으며, 장성호 유역을 대상으로 산정된 기존의 CN과 연구결과의 CN을 비교·평가하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 장성호 물수지 분석자료로 유도된 전체유역의 CN_{I}은 51.1, CN_{II}는 78.0, CN_{III}는 92.3이다. 시험 소유역 측정결과로부터 유도된 CN값은 CN I 은 63.1 CN_{II}는 78.1 CN_{III}는 88.2이었다.
2. 장성호 전체유역을 대상으로 유역의 토지이용과 토양 정보를 바탕으로 기존에 검토된 유역평균 CN_{II} 값은 67.2이며, 이는 본 연구에서 저수지 운영자료로부터 추정된 유역전체 CN_{II}값 78.0과 시험 소유역 관측치로부터 산정된 CN_{II}값 78.1보다 작은 값이다. 본 연구 결과는 유역의 유출 잠재능이 기존의 검토 결과와 상이함을 나타내고 있다. 따라서, 앞으로 여타 농업용저수지를 대상으로 유출 잠재능 평가 연구가 지속적으로 시도되어야 할 것으로 사료된다.

References

1. Hawkins, R.H., A.T. Hjelmfelt and A.W. Zevenbergen 1985. Runoff probability, storm depth, and curve numbers. Journal Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 111(4): 330-340.
2. Im, S. J and S. W. Park. 1997. Estimating Runoff Curve Numbers for Paddy Fields. Journal of Korea Water Resources Association, 30(4): 379-387. (in Korean)
3. Kim, J. H., K. S. Jung and K. Y. Lee. 1999. Estimating Curve number of SCS method for calculated runoff. In Proc. The 1999 Annual conference Korea Water Resources Association, 227-231. (in Korean)
4. Kim, T. C., S. K. Park., and J. P. Moon 1997. Estimation of Curve Number by DAWAST Model. Journal of the Korea Water Resources Association, 30(5): 423-430. (in Korean)
5. SCS (1972). National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, U. S. Department of agriculture, U. S. Government Printing Office, Washington, DC.