

유역관리모형을 활용한 유출성분 분석

Analysis of Run-off Components using Watershed Management Model

이상진*, 황만하**, 신현호***, 신용노****

요 지

일반적으로 유역의 유출량을 모의하는 경우 강우-유출모형을 구축한 후 해당 모형에서 제공하는 유출결과를 활용하고 있다. 그러나 모형에 의한 유출결과는 단편적인 유출총량에 대해서만 검증된 결과이기 때문에 기저 및 직접유출성분 각각의 적정에 대한 신뢰성 문제가 야기될 수 있다. 본 연구에서는 금강유역을 대상으로 SSARR모형을 적용하고 단순 유출결과 뿐만 아니라 유출성분별로 결과값을 도출하고, 이를 검증하기 위해 분리주파수 기법을 활용하여 관측값의 유출성분을 분리하고, 모의결과와 서로 비교하였다. 이와같이 적용·검증된 모형을 토대로 유출성분 뿐만 아니라 소유역별 습윤상황과 용수이용정보 등 유출지표를 산정하여 효율적 유출관리 지원을 위한 기초 수문정보를 제공하고자 하였다.

핵심용어 : 유출성분, 분리주파수, SSARR, 유역습윤지수, 용수이용지수

1. 서론

댐과 같은 수공구조물이 있는 유역의 경우에는 효율적인 유역관리 차원에서 유역내 주요지점의 신뢰도높은 상세 유출정보제공이 요구된다. 일반적으로 주요지점의 관측유량을 유사하게 모의하는 강우-유출모형을 구축한 후, 해당 모형에서 제공하는 상세 유출결과를 활용하고 있다. 그러나 모형에 의한 유출결과는 단편적인 유출총량에 대해서만 검증된 결과이기 때문에 유출성분분리의 적정성 여부에 대한 의문이 야기될 수 있다. 따라서 유역의 효율적인 이·치수 관리 의사결정을 지원하기 위한 유역상태, 강우특성, 유출성분 등 유역 유출지표의 제시가 필요하며, 특히 유출성분은 유역을 대표하는 수문지표로써 유출관리 차원에서 중요한 인자이다.

박재성 등(1999)은 충북 초정 소유역을 대상으로 NRCS-CN방법 및 물수지분석법, 지하수위 강하곡선법, 유출수문곡선법으로 지하수량을 산정하여 비교·분석하였다. 정영훈(2000) 등은 미원면을 중심으로 NRCS-CN방법을 적용하여 지하수량을 산정하였다. 배상근 등(2006)은 IHP(국제수문개발계획)의 유역 중 위천유역과 평창강 유역내의 5개 소유역에 대하여 기저유출분리법으로부터 유출성분을 분리하고 이를 NRCS-CN방법으로 구한 지하수량과 비교하였다.

다른 방법으로 강우-유출의 상관관계가 강우지속시간, 유역특성에 따라 서로 다른 주파수를 갖고 발생한다는 점에 착안하여 수지필터를 이용한 기법을 활용하여 수문곡선을 직접 유출성분(주로 홍수성분)과 기저 유출성분(주로 지하수 침투 등으로 인해 유출시간이 홍수성분에 비해 상대적으로 긴 유출량) 등으로 분리하는 기법을 활용할 수 있다. 이것은 유출성분의 분리곡선과 커다란 차이를 나타내지 않지만 수평분리법이나 지하수 감수곡선을 고려한 방법과 같이 임의성을 배제할 수 있다는 점에 있어서 더욱 합리적이다.

Lyne 등(1979)은 주파수필터를 이용하여 유출성분을 분리하는 Digital Filter 기법을 활용하여 유출성분을 분리하였으며, 한국건설기술연구원(2004)에서는 이 기법을 활용하여 유출량 관측자료로부터 지표수 유출량을 고주파 영역의 신호로, 지하수 유출량은 저주파수영역의 신호로 간주하여 유출성분을 분리하고 해당유역의 유출특성을 분석하였다.

본 연구에서는 금강유역을 대상으로 이미 구축되어 있는 유역유출예측시스템(Rainfall Runoff Forecasting System, RRFs)의 유출성분 분석결과를 검증하기 위해 분리주파수 기법을 활용하여 유출성분을 산정하였으며, 강우량과 댐유입량의 상관관계를 분석하여 대청댐 유역의 유출특성을 해석하였다.

* 정희원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 · E-mail : sjlee@kwater.or.kr
** 정희원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 · E-mail : mhhwang@kwater.or.kr
*** 정희원 · 한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원 · E-mail : johnny13@changwon.ac.kr
**** 정희원 · 한국수자원공사 물관리센터 물관리계획팀장 · E-mail : ylshin@kwater.or.kr

2. 분리주파수에 의한 유출성분 분리

유역의 유출을 산정하기 위해서는 수문곡선으로부터 수문학적 유출성분을 도출해야한다. 먼저 관측한 유출 수문곡선(저수지에서는 유입수문곡선)을 유출 분리법에 따라 기저유출(지하수 및 중간유출) 성분과 직접 유출(지표 또는 직접 유출)성분으로 분리하고, 각 유출성분에 대응하는 경우와의 관계를 분석하였다.

시계열에 포함된 몇 개의 함수의 감쇠기에 대해서 그 유량의 대수 $\ln Q$ 를 시간에 대해 도시한다. 이때 그래프에서 부분적으로 직선 구간으로 이루어진 부분은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = Q_0 e^{-t/T_c} \tag{1}$$

여기서 T_c 는 지하수감수곡선상의 도달시간으로 분리주파수 f_c 의 관계는 식(2)와 같다.

$$f_c = \frac{\delta}{2\pi} \frac{1}{T_c} \tag{2}$$

δ 는 분리 필터에 이용되는 감쇠계수이며 T_c 와 f_c 및 계수 c_0, c_1, δ 와의 관계는, 식(3)과 같다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{c_0} \quad , \quad c_0 = (\delta/T_c)^2 \tag{3}$$

3. 대상유역 적용

3.1 분리주파수를 이용한 장기유출성분 분리

유출수문곡선에서 지표유출과 지하수유출량을 분리하기 위하여 강우(X)와 유입량(Y)의 상관관계를 Table. 1과 같이 분석하였다. 3일이내에는 강우에 따른 유출량은 강한 상관을 나타내고 있는 것으로 분석되었으며, 부분적으로 4~9일, 9~14일 순으로 4~5일 간격으로 상관관계가 구성되는 것으로 분석되었다. 또한 FFT 분석결과 유량의 지체시간을 나타내는 τ 가 0.495로 산정된 것을 토대로 대청댐 유역의 δ 와 수문곡선 감쇠부 주기인 T_c 를 각각 2.0 및 4.0일로 결정하여 저주파 필터를 구성하였다. 또한 복합호우를 구분하기 위해 최대 Lag 를 90%까지 취하면 9일로 나타나 Lag 최대치는 9일로 결정하였다.

이와 같이 구성된 저주파필터를 이용하여 유출량을 분리한 결과 갈수유량을 제외한 평균유출량은 $Q = 75.3\text{cms}$ 이며, 기저유출과 직접유출으로 성분 분리한 후의 각 성분의 평균치는 갈수유량 0.55cms, 기저평균 44.06cms, 직접평균 31.22cms였다. Fig. 1은 83년~2000년동안 연간 유출을 도시한 것으로 년강수량의 크기가 증가할수록 총유출율도 각각 증가하는 것으로 나타났으며, 결정계수(R^2)는 0.66으로 분석되었다. 한편 유출성분 분리에 의한 기저 및 직접유출의 유출을 결정계수는 Fig. 2와 같이 각각 0.9124, 0.8932로 분석되었다. 연강수량이 900mm를 상회하면서 유출량은 200mm이상 이 되면서 직접유출량이 상대적으로 커지고 있으며, 이것은 분리주파수에 의하여 분석된 결과와 매우 근사한 것이다.

Table 1 Rainfall-Runoff correlation in Dea-cheung Basin

1일	0.7327	6일	-0.0182	11일	-0.0211	16일	0.0282	21일	-0.0276	26일	0.0384
2일	-0.1982	7일	0.0625	12일	-0.009	17일	-0.0255	22일	0.0022	27일	-0.021
3일	0.1213	8일	-0.0274	13일	0.0374	18일	0.0303	23일	0.0062	28일	0.0006
4일	0.0168	9일	-0.0128	14일	0.0015	19일	-0.0181	24일	-0.0041	29일	0.059
5일	0.0155	10일	0.0573	15일	-0.0394	20일	0.0472	25일	-0.0083	30일	-0.0326

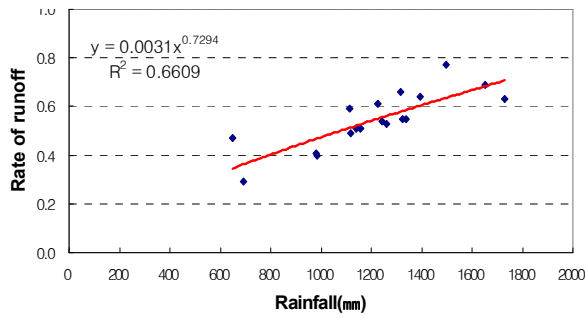


Fig 1 Yearly Runoff Characteristic ('83-'00)

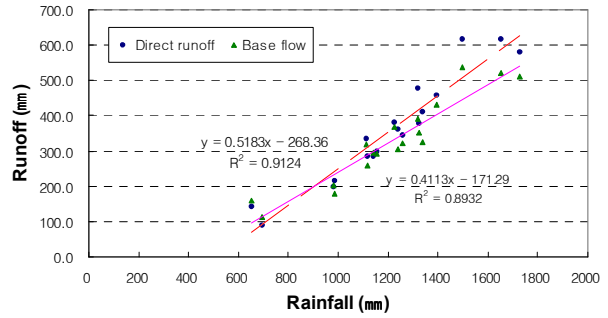


Fig 2 Yearly Runoff Component Separation('83-'00)

3.2 RRFs에 의한 유출성분 분석

유역유출예측시스템(RRFs)은 미공병단(Corps of Engineers, 1956)에서 개발한 SSARR모형에 기반을 둔 모형으로서 이상진(2006)과 류경식(2007)이 금강유역에 적용하여 유출특성을 분석한 바 있다. 따라서 본 연구의 분리주파수에 의한 유출성분 분리결과를 RRFs에 의한 유출성분 분리결과와 비교분석하여 적정성을 검토하였다. 1983~2000년 동안 SSARR 모형에 의한 대청댐유역의 유출성분 모의결과를 직접유출과 기저유출로 분리하여 Fig 3에 도시하였다. 연강수량이 큰 1985, 1987 및 1998년의 경우에는 직접유출량이 기저유출량에 비해 큰 것으로 나타났으며, 연강수량이 상대적으로 적은 1994년의 경우에는 기저유출량이 우세한 것으로 분석되었다. 전반적으로 연강수량이 1000mm정도에서 유출량은 200~300mm이며, 이를 전후로 기저 및 직접유출량이 서로 역전되는 유출특성을 나타내었다. 즉 유출량이 200mm 이상이 되면 유역의 포화도는 매우 커지게 되어 지하로 침투하는 유출량보다 상대적으로 직접유출량이 지배적으로 변한다는 것을 확인할 수 있다.

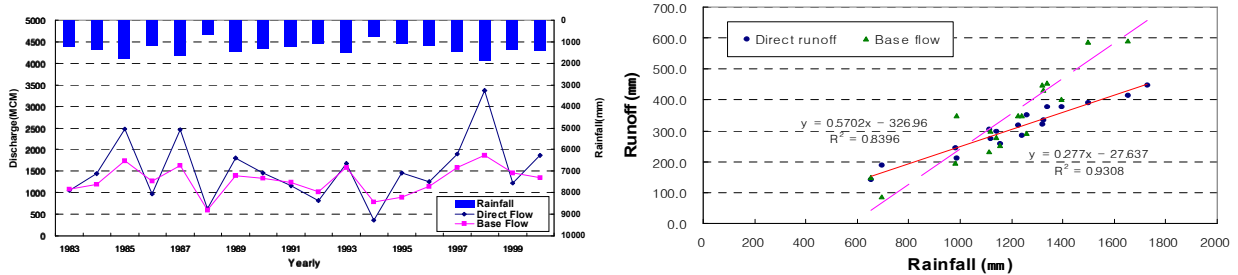


Fig 3 Table 1. Runoff Component Analysis by RRFs and Rainfall in Dea-cheung Basin

3.4 결과 분석 및 유출 지표 산정

분리주파수를 활용한 기법에 의해 산정된 기저 및 직접 유출성분의 검증을 위하여 앞서 분석된 RRFs에 의한 유출성분과 비교·분석하였다. Fig. 4는 주파수 분리기법과 RRFs 모의시 기저 및 직접 유출성분 분석결과를 비교한 결과를 나타낸 것으로 전반적으로 모의결과와 분리된 직접 및 기저유출량 값이 근사함을 보여주고 있다. 계절별(봄:3월~5월, 여름:, 가을:9월~11월, 겨울:12월~2월)로 살펴보면 갈수기에 해당하는 겨울철(12월~2월)에 강우가 가장 부족한 계절로써 기저유출량의 모의치가 다소 과대 산정된 반면 전반적으로 년중 유출량은 비교적 근사하게 모의한 것으로 분석되었다.

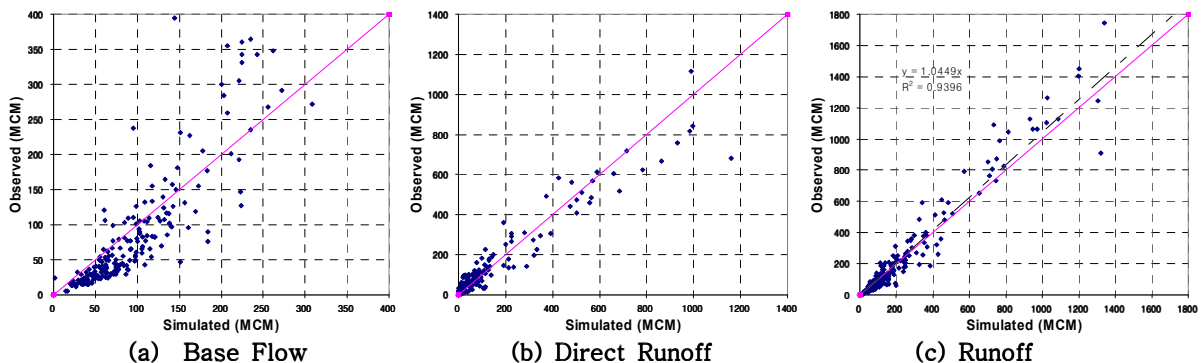


Fig. 4 Relation Between Modeled and Observed

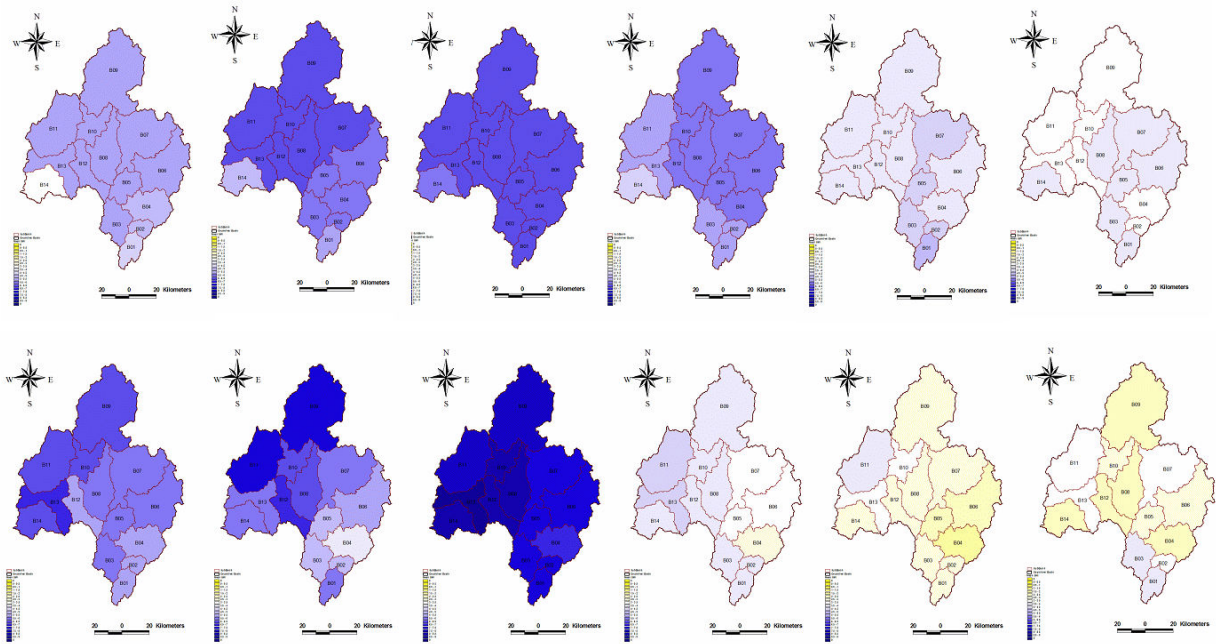


Fig. 5 Soil Moisture Index of each small basin

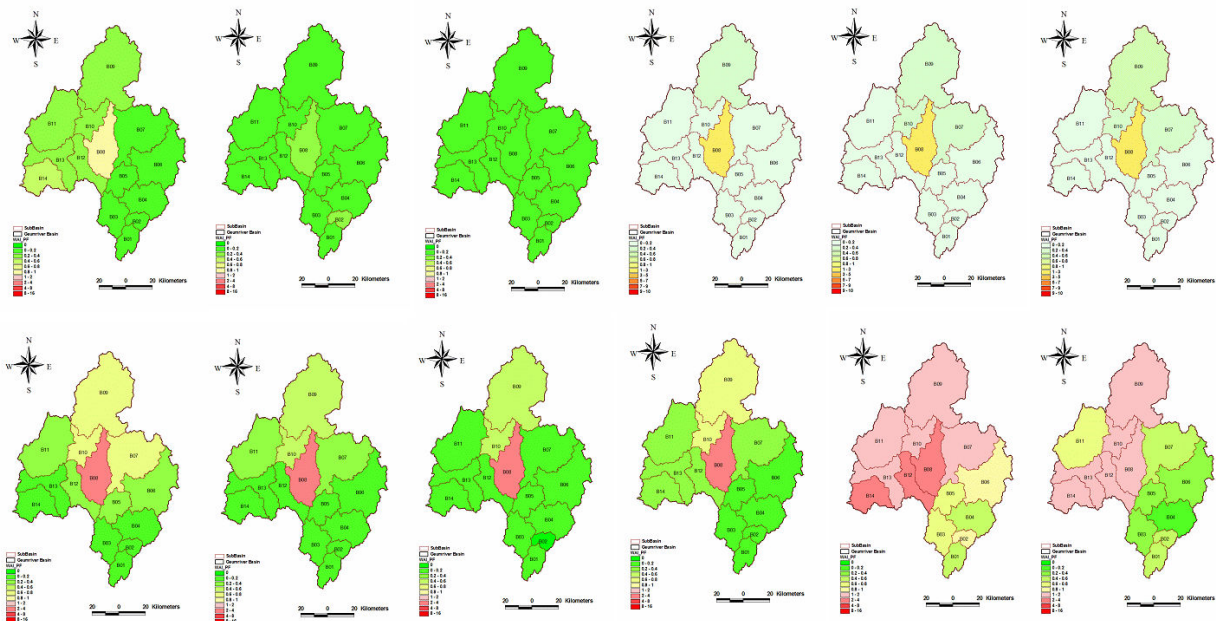


Fig. 6 Index of water available for use

이와 같이 적용·검증된 분석결과 바탕으로 금강유역 습윤상황을 GIS 분석도구인 Arc View 3.2a를 활용하여 14개 소유역별 유역습윤상황을 분석하였다. Fig 5는 월별 소유역별 습윤상황을 SMI(Soil Moisture Index)로 나타낸 것으로 2007년 1월~12월 기간의 유역상황을 나타낸 것이다. SMI는 유역내 토양습윤상태에 따른 유출율을 산정하는 매개변수이기 때문에 강우로 발생되는 유출의 정량적 결정에 직·간접적인 영향을 주는 것으로 유역의 습윤상황을 대변한다고 할 수 있다. 겨울철 부족한 강우(1~3월)는 봄이되면서 강수확보로 인하여 유역 전반에 습윤상황으로 변화하고 있으며, 홍수기(7월~8월)에는 유역 습윤 포화가 커지고 있음을 알 수 있다. 또한 그림에서 2007년의 4월~5월은 평년보다 강수량이 적어 상대적으로 예년보다 낮은 습윤상황을 반영하고 있음을 알 수 있다.

Fig 6은 소유역내에서 발생된 유출량 대비 계획된 목적을 위해 사용된 수량의 비를 나타내는 용수소모지수를 월별 소유역 현황을 분석한 것이다. 용수소모지수가 1이상인 소유역은 해당월 총유출량으로 용수소요량을 자체적으로 만족시키지 못하는 소유역임. 따라서, 용수소모지수가 1이상인 소유역은 부족수량에 대해 타소유역에서

공급을 받거나 자체 소유역내 저류시설물을 통해 공급받고 있는 실정임을 나타내고 있다.

7. 결론

유역의 효율적인 물관리를 위해서는 유역내 주요 지점의 유출량과 유출성분과 같은 상세 유출정보제공이 무엇보다 중요하다. 이를 위해 통상적인 방법으로 주요지점의 관측유량을 유사하게 모의하는 강우-유출모형을 구축한 후, 해당 모형에서 제공하는 상세 유출결과를 활용하고 있다. 그러나 모형에 의한 유출결과는 단편적인 유출총량에 대해서만 검증된 결과이기 때문에 기저 및 직접유출성분 각각의 적정에 대한 신뢰성 문제가 야기될 수 있다. 본 연구에서는 금강유역을 대상으로 SSARR모형을 적용하고 단순 유출결과 뿐만 아니라 유출성분별로 결과값을 도출하고, 이를 검증하기 위해 분리주파수 기법을 활용하여 관측값의 유출성분을 분리하고, 모의결과와 서로 비교하였다. 이와같이 적용·검증된 모형을 토대로 유출성분 뿐만 아니라 소유역별 습윤상황과 용수 이용정보 등 유출지표를 산정하여 효율적 유출관리 지원을 위한 기초 수문정보를 제공하고자 하였다.

주파수 분리기법과 RRFS 모의시 기저 및 직접 유출성분 분석결과를 비교한 결과 전반적으로 모의결과와 분리된 직접 및 기저유출량 값이 매우 근사한 것으로 나타나 모형의 유역적용성이 탁월한 것으로 분석되었다. 이를 토대로 모형에서 합리적인 소유역별 유역습윤현황을 분석하고, 용수이용현황 정보를 제공하여 효율적 유출관리 지원을 위한 기초 수문정보로 활용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의지속적확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (1997). **기존댐 용수공급 능력 조사(금강수계) 보고서**
- 건설교통부 (2000). **수자원장기종합계획 보고서**.
- 한국수자원공사 (2004a) **금강유역조사 보고서**.
- 한국수자원공사 (2004b) **대청다목적댐 관리연보**.
- 한국수자원공사 (1996). **낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발(분석모델부분)**.
- USACE (1991). SSARR User manual. North Pacific Div., Portland.
- 한국건설기술연구원, **지표수 수문성분 해석기술 개발 보고서**, 과학기술부(2004).
- Arnold, J. G. and Allen, P. M., Validation of Automated Methods for Estimating Base Flow and Groundwater Recharge form Stream Flow Records, J. Am. Water Resour. Assoc., 35, pp. 411-424(1999)
- Lyne, V, and Hollick, M., Stochastic Time Variable Rainfall Runoff Modeling. Hydrology and Water Resources Symposium Berth, 1979, Proceedings, National Committee on Hydology and Water Resources of the Institution of Engineers, Australia, pp. 89-92(1979).
- Nathan, R. J. and McMahon, A. T., Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis, Water Resour. Res., 26, pp 1465-1473 (1990).
- 박재성, 김경호, 전민우, 김지수 (1999). "소유역의 지하수함양을 추정기법", **한국지하수환경학회지**, 한국지하수 환경학회, Vol. 6, No 2, pp. 76-86.
- 정영훈, 김경호 (2000). "SCS-CN방법에 의한 미문면의 지하수 함양량 추정", **건설기술연구소 논문집**, 충북대학교, Vol. 19, No. 2, pp. 181-190.
- Soil Conservation Service (1969, 1971). "Hydrology" in SCS National Engineering Handbook, Section 4. 「NRCS-CN방법과 기저유출 분리법을 이용한 지하수함양량 산정」 **한국환경학회지** 제15권 제3호 253~260, 2006
- 이상진, 이배성, 류경식, 황만하 (2006). "유출모의를 위한 주요제어지점 유량특성분석", **한국수자원학회논문집**, **한국수자원학회**, 제39권, 11호, pp. 905~914.
- 류경식, 황만하, 맹승진, 이상진 (2007). "유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석", **한국물환경학회논문집**, **한국물환경학회**, Vol. 23, No 4, pp. 527~534.