

경사급변점을 이용한 기저유출분리와 Nash 모형에 의한 대표단위도 추정

Separation of Baseflow using Antecedent Recession Requirement and Estimation of Representative Unit Hydrograph by the Nash model

정진영*, 강부식**, 차영기***

Jung, Jin Young, Kang, Boosik, Cha, Young Kee

요지

일반적으로 유역의 대표단위도 산정에는 적용의 간편성을 이유로 수평직선분리법을 주로 사용하여 왔으며 이를 단기호우사상에 대한 모의에 적용해 왔다. 그러나 수평직선분리법에 의한 기저유량의 산출은 연구자의 주관성이 반영될 수 있는 가능성이 다분하며 총유출에 대한 기저유출의 기여가 상대적으로 크게 되는 장기유출모의에 대해서는 그 신뢰도가 떨어진다고 할 수 있다. 따라서 장기유출모의에서는 신뢰성있는 기저유출분리를 통한 합리적인 대표단위도를 유도하는 것이 필요하다. 또한 이 같은 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 USGS(U.S GEOLOGICAL SURVEY)에서 개발한 기저유출분리 프로그램인 PART(stream flow Partitioning)를 이용하여 기저유출을 분리하고 Nash 모형을 이용하여 유역의 대표단위도를 유도했으며 검증을 위해 강우-유출 모형인 HEC-HMS에 유도된 대표단위도와 합성단위도를 적용하여 실제유출량에 대한 통계분석을 실시하였다. 그 결과 Nash모형의 매개변수를 n 은 6.4, K 는 0.33으로 산정할 수 있었고, PART에 의해 기저유출을 분리하여 유도된 단위도가 수평직선분리법에 의해 유도된 대표단위도 보다 장기유출모의에서 더 우수한 결과를 보였다. 또한 실측유출량과 모의유출량의 첨두값에 대한 오차도 PART에 의한 방법이 더 작음을 알 수 있었다.

핵심용어: 대표단위도, 수평직선분리법, PART, Nash Model

1. 서 론

일반적으로 국내 단위도 연구는 단기호우사상 모의를 위하여 단위도를 산정한 경우가 대부분이며, 이 경우 기저유출이 직접유출에 비하여 크기가 매우 작다는 것과 기저유출 분리과정에서 적용이 용이하다는 이유로 수평직선분리법을 많이 사용해 왔다. 그러나 수평직선분리법에 의한 기저유량의 산출은 연구자의 주관성이 반영될 수 있는 가능성이 다분하며 총유출에 대한 기저유출의 기여가 상대적으로 크게 되는 장기유출모의에 대해서는 그 신뢰도가 떨어진다고 할 수 있다. 따라서 장기유출모의에서는 신뢰성있는 기저유출분리를 통한 합리적인 대표단위도를 유도하는 것이 필요하다.

* 정회원·단국대학교 토목환경공학과 석사E-mail: jjy7982@paran.com

** 정회원·단국대학교 토목환경공학과 교수E-mail: bskang@dankook.ac.kr

*** 정회원·단국대학교 토목환경공학과 교수E-mail: youngcha@dankook.ac.kr

2. 대표단위도 산정

2.1 연구유역 현황

본 연구의 대상 유역인 황구지천 유역은 안성천을 수계로 하여 유역면적이 $264.23km^2$ 이며 유로연장 $32.5km$ 인 중규모 유역이다. 진위천을 제1지류, 황구지천을 제2지류로 하고 있으며 하천의 $1/2$ 정도가 국가하천이고 나머지 $1/2$ 가 지방2급에 속한다. 유역 내의 수위 관측소는 유역의 하구로부터 $3.8km$ 떨어진 경기도 화성시 양감면 송산리에 위치한 송산수위표가 있다.

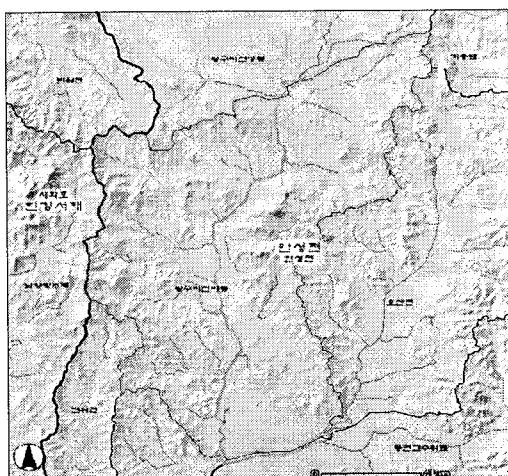


Fig. 1. 연구유역도

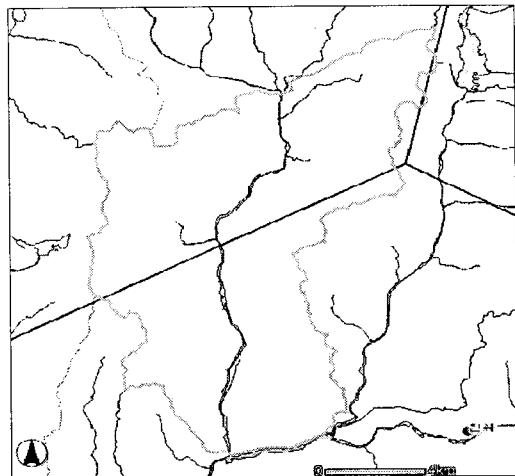


Fig. 2. 황구지천 유역의 티센망

2.2 연구내용 및 방법

대표단위도를 산정하기 위해 먼저 송산 수위표의 2001년 ~ 2003년의 유출자료를 수집하고 강우자료는 수원, 진위, 용인의 자료를 이용하였다. 또한 유출자료와 같은 기간의 일평균강우 자료를 티센망에 의해 추출하였다. 각 관측소의 티센가중치는 수원이 0.534, 진위가 0.465, 용인이 0.001 이다. 또한 본 연구에서는 수평직선 분리법과 USGS(U.S GEOLOGICAL SURVEY)에서 개발한 프로그램인 PART를 이용하여 기저유출을 분리하고 Nash 모형을 이용하여 유역의 대표단위도를 유도했다. 또한 대표단위도의 검증을 위해 강우-유출 모형인 HEC-HMS를 이용하였으며 실제유출량과의 비교를 위해 통계분석을 실시하여 대표단위도의 정확성을 검토하였다.

2.3 PART(Stream flow Partitioning) Algorithm과 Nash 모형의 매개변수 산정

USGS(U.S GEOLOGICAL SURVEY)에서 개발한 기저유출 분리 프로그램인 PART는 경사급 변점과 N-day방법을 복합적으로 사용하여 기저유출을 분리하며 Fig 3은 PART를 이용하여 본 연구에 사용한 유출자료로부터 기저유량을 분리한 사례이다. 본 연구에서는 일(day)자료를 이용하여 각 호우사상에 대해 기저유출을 분리하고 이를 Nash 모형에 적용하여 Table 1과 같이 매개변수를 산정하였으며 그에 따른 대표단위도는 Fig 10와 같다. 또한, 분석호우사상은 Fig 5 ~ Fig 9와 같다.

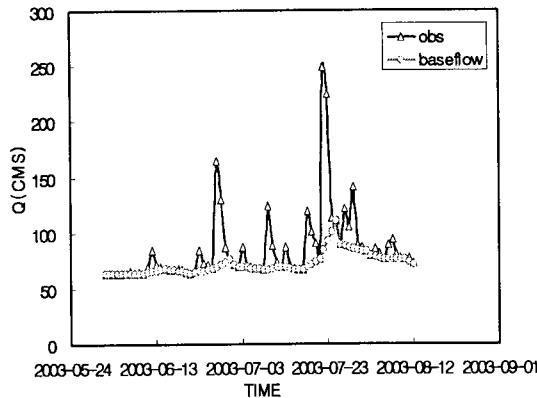


Fig 3. PART에 의한 기저유출의 분리

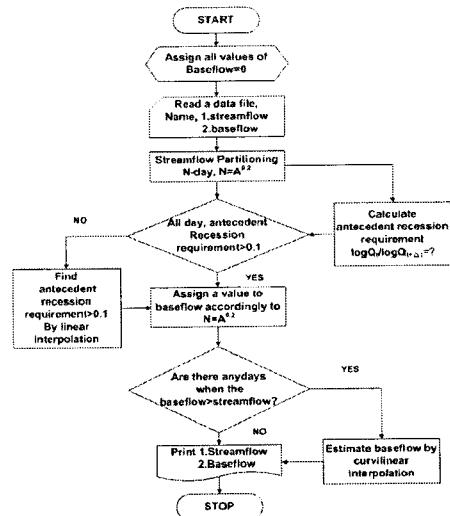


Fig 4. PART Algorithm

Table 1. 단위도 유도에 사용된 호우사상별 매개변수

호우 사상	n		K		T_p (day)		Q_p (CMS)		t_b (day)	
	PART	수평직선 분리	PART	수평직선 분리	PART	수평직선 분리	PART	수평직선 분리	PART	수평직선 분리
01.6.17	6.80	7.00	0.28	0.40	2	2	34.76	35.99	12	12
01.7.28	6.20	6.50	0.35	0.46	2	2	35.12	30.55	10	10
02.6.09	6.30	6.80	0.34	0.32	2	2	35.32	40.49	9	10
03.6.10	6.70	7.00	0.27	0.33	2	2	37.85	39.54	8	12
03.6.26	6.00	8.00	0.38	0.24	2	2	33.67	44.50	7	11
평균	6.40	7.06	0.33	0.36	2	2	35.44	38.21	10	11

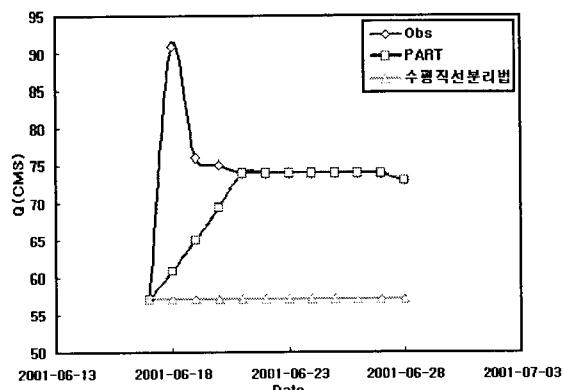


Fig 5. 2001.6.17 ~ 2001.6.28

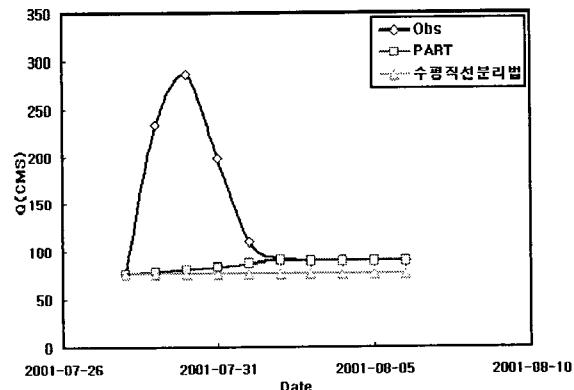
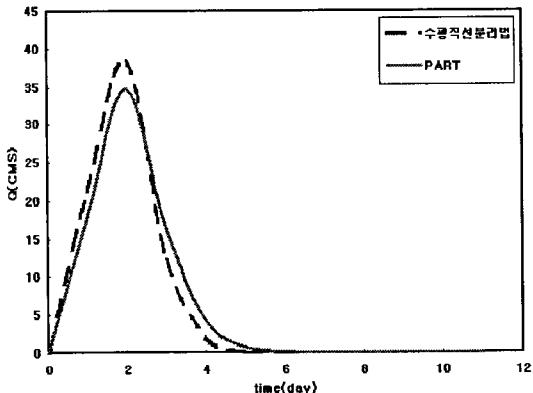
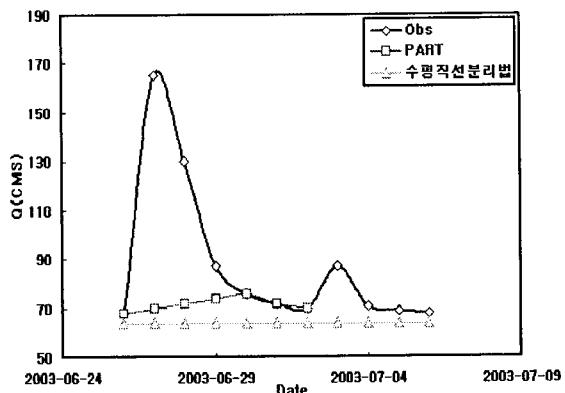
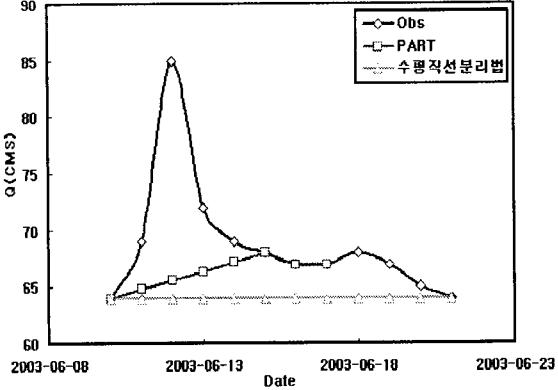
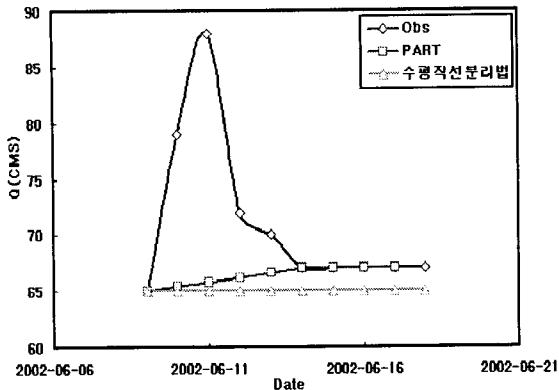


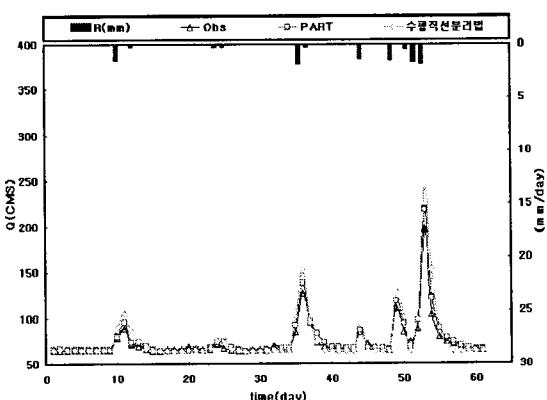
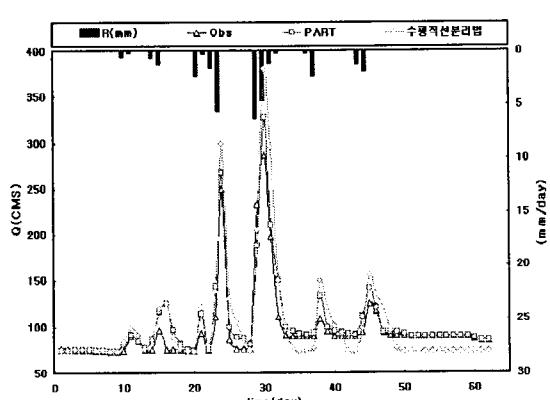
Fig 6. 2001.7.28 ~ 2001.8.6



3. 대표단위도의 적용 및 검증

3.1 대표단위도 검증

HEC-HMS를 이용하여 유출을 모의한 결과 Fig 11 ~ Fig 14와 같은 결과를 나타내었으며 실측 유출량과의 통계분석을 통해 유도된 대표단위도의 정확성을 비교 검증해보았다.



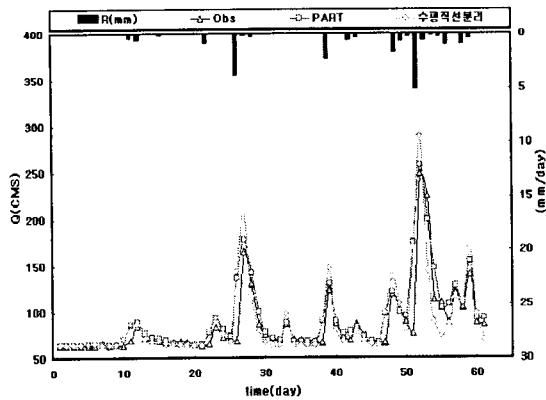


Fig 13. 2003년 6월 ~ 7월 유출모의 결과

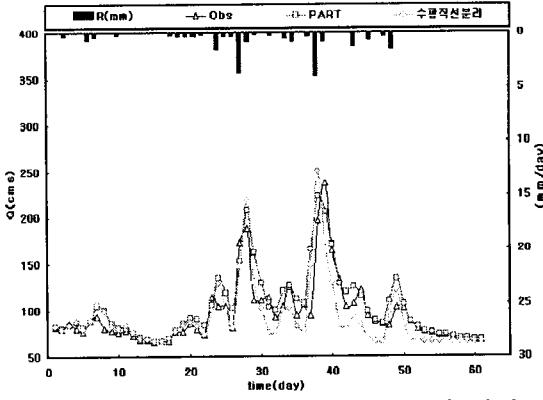


Fig 14. 2003년 8월 ~ 9월 유출모의 결과

3.2 통계분석 결과

한편 모의된 유출량과 실측유출량을 사이의 통계분석을 실시한 결과 Table 2과 같이 PART에 의한 기저유출 분리를 통해 유도한 대표단위도가 더 높은 결정계수(R^2) 값을 보였으며 평균제곱근오차(RMSE)와 총유출용적(total volume)에서도 더 우수한 결과를 보였다. 또한 Nash & Sutcliffe(1970)가 제안한 Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency(COE)를 이용하여 추가적인 정확도 분석을 실시하였다.

Table 2. 유출모의에 대한 통계분석 결과

호우사상	R^2		RMSE	
	PART	수평직선분리법	PART	수평직선분리법
7월 ~ 8월(2001년)	0.92	0.83	12.31	25.68
6월 ~ 7월(2002년)	0.98	0.95	3.05	6.10
6월 ~ 7월(2003년)	0.81	0.67	16.97	22.07
8월 ~ 9월(2003년)	0.83	0.68	15.49	18.18
호우사상	COE		$\Delta\text{총유출 } (\times 10^6 \text{ m}^3)$	
	PART	수평직선분리법	PART	수평직선분리법
7월 ~ 8월(2001년)	0.88	0.60	24.45	26.72
6월 ~ 7월(2002년)	0.93	0.68	9.89	15.38
6월 ~ 7월(2003년)	0.74	0.58	15.92	36.28
8월 ~ 9월(2003년)	0.77	0.61	25.84	35.84

4. 결 론

본 연구에서는 유역의 대표단위도를 산정하는 방법과 기저유출 분리의 신뢰도를 높이기 위해 일(day)단위자료를 이용하여 두 가지 방법으로 기저유출을 분리하고 유역의 대표단위도를 산정하였다. 이를 강우-유출 모형인 HEC-HMS에 적용하여 유출을 모의하였으며 앞서 언급한 강우-유출모의 결과로부터 몇 가지 결론을 도출할 수 있었다.

(1) PART와 수평직선분리법에 의해 유도된 대표단위도를 비교해 본 결과 수평직선분리법에

의한 대표단위도가 첨두유량을 약 $5m^3/s$ 정도 크게 산출한다. 이는 기저유출 분리에서 강우가 끝난 후 기저유출의 증가를 고려하지 못하는 수평직선분리법이 기저유량을 작게 산정하므로 상대적으로 직접유출이 커지는데 기인한다고 판단된다.

(2) 모의 유출량과 실측유출량 사이의 통계분석 결과, 수평직선분리법(결정계수:0.90~0.60)보다 PART(결정계수:0.98~0.83)에 의해 산정된 단위도가 R^2 이 0.1가량 크게 산정되므로 PART가 수문곡선분리에서 비교적 우수한 결과를 도출한다고 판단된다. 또한 유출모의에서 유출량의 전체 용적도 PART에 의해 산정된 단위도가 더 좋을 결과를 보이고 있다. 한편, COE값에서도 거의 모든 사상에 대해 PART에 의해 대표단위도가 0.2정도 크게 우수한 값을 보이고 있으며 PART에 의해 대표단위도가 나타내는 COE값은 0.8에 매우 근접하거나 이상의 값을 보이므로 Shamseldin(1997)에 따르면 매우만족 또는 비교적 양호한 결과를 나타내고 있다.

(3) 많은 연구에서 이미 알려진 바와 같이 단기간의 유출을 모의한다면 두 방법에 따른 결과가 큰 차이는 보이지 않겠지만, 본 연구와 같이 장기연속유출모의에서는 기저유출 분리방법이 유출모의 결과에 상당한 영향을 미칠 것으로 판단된다. 물론 직접유출량에 비해 기저유출량은 상당히 적은 양이지만, 대표단위도를 강우-유출자료로부터 유도한 후 장기유출모의에 적용한다면 기저유출 분리방법이 유출모의 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문을 위해 많은 지도와 함께 아낌없는 관심을 기울여 주신 강부식 교수님과 차영기 교수님께 감사의 마음을 전합니다. 또한 연구를 위해 도와주신 모든 분들께 이 논문을 바칩니다.

참고문헌

1. 정성원, 문장원(2001). “국내 기존 합성단위도 방법의 비교.” 한국수자원학회지 제 34권, 제 6호, pp. 659-672.
2. A.T.Rutledge(1998). “Computer Programs for Describing the Recession of Ground-Water Discharge and for Estimating Mean Ground-Water Recharge and Discharge from Streamflow Records-Update.” USGS Water-Resources Investigations Report pp. 98-4184.
3. J. E. Nash(1960). “A Unit Hydrograph study with particular reference to British Catchments.” Proc. Civ. Eng. Vol. 17, pp. 249-282.
4. J. E. Nash, J. V. Sutcliffe(1970). “River Flow Forecasting through Conceptual Models. Part I-A Discussion of Principles.” Journal of Hydrology, Vol. 10, pp. 282-290.
5. M. H. Diskin(1964). “A Basic Study of the Linearity of the Rainfall-Runoff Process in Watersheds.” Ph. D. Thesis, Univ. of Illinois, Urbana.
6. Snyder, F.F.(1938) “Synthetic unit-graph, Transaction of American Geophysical Union,” Vol.19. pp. 447-454.
7. B. S. Barnes(1939). “The structure of discharge recession curves: Transaction of American Geophysical Union 20.” pp. 721-725.