

Nash 모형과 Diskin 모형을 이용한 순간단위도의 유도 및 비교 연구

Derivation and Comparison of Nash and Diskin Models for IUH

박진욱* / 유철상** / 김중훈***

Park, Jin Uk / Yoo, Chulsang / Kim, Joong Hoon

Abstract

In the study the instantaneous unit hydrographs (IUHs) based on the linear Nash (1957) and the nonlinear Diskin (1964) models are derived and compared for the Soyang river basin. Total 14 rainfall runoff events are used for the study and the model parameters are estimated by minimizing the sum of square error considering runoff hydrograph ordinates as relative weights. The representative IUHs for both models are decided to show an average shape of derived IUHs. In the application of the representative IUHs of Nash and Diskin, Diskin model shows better performances in reproducing the observed outflows, especially the peak flow. In the comparison of two Diskin models little difference could be found between the IUHs with the same or different number of two characteristic reservoirs.

keywords: instantaneous unit hydrograph (IUH), Nash model, Diskin model

요 지

본 연구에서는 선형인 Nash 모형(1957)과 비선형인 Diskin 모형(1964)을 이용하여 소양강댐 유역에 대해 대표단위도를 유도하고 비교, 분석하였다. 본 연구에서는 소양강댐 유역의 14개 호우사상을 이용하였고, 각각에 대해 유출수문곡선의 종거를 가중치로 하는 매개변수의 최적화 방법을 이용 Nash 모형과 Diskin 모형의 매개변수를 추정하였다. 유역의 대표단위도는 이러한 방법으로 추정된 단위도들의 평균적인 형태가 되도록 결정하였다. 각 단위도의 비교에서는 선형인 Nash 모형에 비해 비선형인 Diskin 모형의 경우가 유출을 모의하는데 더욱 적합함을 발견할 수 있었고, 특히 첨두유량의 재현에 Diskin 모형이 우수함을 파악할 수 있었다. 아울러, Diskin 모형의 경우에는 다른 특성을 나타내는 두 저수지의 수를 서로 같게 하는 경우와 다르게 하는 경우 유도된 단위도의 형태에는 큰 차이가 없는 것으로 밝혀졌다.

핵심용어 : 순간단위도, Nash 모형, Diskin 모형

-
- * 고려대학교 토목환경공학과 석사과정
Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
 - ** 고려대학교 환경공학과 조교수
Assistant Prof., Dept. of Environmental Eng., Korea Univ., Chungnam 339-700, Korea
 - *** 고려대학교 토목환경공학과 부교수
Associate Prof., Dept. of Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

1. 서 론

유출해석은 수문학에서 여전히 주된 관심사중의 하나이며, 인간의 생활에 직접 관련된 문제이다. 이러한 유출을 모의하는데 있어서 가장 기본적인 것이 단위도(Unit Hydrograph; UH)이다. 단위도 방법은 Sherman(1932)에 의해서 유출수문곡선 계산에 처음으로 제안되었다. 단위도란 일정시간에 일정한 강도의 경우에 의한 단위 깊이의 초과 우량에 의해서 발생된 직접유출수문곡선으로 정의된다.

순간단위도는 아주 작은 시간동안 단위 깊이의 우량에 대한 직접유출수문곡선을 나타낸다. 이러한 순간단위도는 시간이나 선행조건에 독립적인 대상유역의 특성함수로 가정된다. Snyder(1938)는 단위도의 침투치, 침투치에 도달하는 시간, 침투치의 50%와 70%되는 우량의 너비를 구하는 방법을 제시하였으나, 이것으로 전체적인 단위도의 유도는 불가능하였다. Clark(1945)은 단위도를 유도하는데 있어서 도달시간, 저류상수, 시간-면적 곡선을 매개변수로 하였다. Nash(1957)는 유역전체가 일련의 저수지로 구성되어 있다는 가정으로 저수지의 수와 저류상수라는 매개변수를 이용해 순간단위도 개념적 모형의 기초를 제공하였다. Diskin(1964)은 두 개의 Nash 모형을 선형적으로 결합하는 대신 저수지의 수나 저류상수를 달리하고 새로운 매개변수를 도입하여 이 두 식의 비율을 정하는 형식으로 비선형성을 고려할 수 있는 단위도를 제시하였다. 미국의 토양보존국(1972)에서는 유효강우 중심과 단위도의 침투치 사이의 시간만을 매개변수로 무차원 단위도 방법을 제시하였다. 이밖에도 Edson(1951), Dooge(1959), Chow(1962), Sugawara와 Fumiyuki(1956) 등의 연구가 있었다.

본 연구에서는 기본적으로 선형저수지의 연결이라는 유사한 구조를 가지고 있으나 선형적으로 표현되는 Nash(1957) 모형과 비선형적으로 표현되는 Diskin(1964) 모형의 두 가지 방법을 이용하여 단위도를 유도한 후 비교하여 봄으로서 강우-유출 과정의 비선형성 정도를 파악해 보고 아울러 각각의 경우 유출해석의 결과에 어떻게 영향을 미치고 있는지를 검토함을 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구에서는 소양강댐 유역의 14개 강우-유출 사상에 대해 Nash 모형과 Diskin 모형의 최적 매개변수를 추정한 후 이들을 대표할 수 있는 순간단위도를 결정하며, 이렇게 해서 얻어진 각각의 단위도를 유출해석에 적용하여 그 결과를

비교 검토하고자 한다.

2. 배경이론

2.1 Nash 모형

Nash(1957)는 유역전체가 일련의 n 개 저수지로 구성되어 있으며 각 저수지에 대한 저류량(S)과 유출량(O)의 관계는 $S = KO$ 와 같은 저류상수 K 를 갖는 선형관계를 가진다고 가정하였다. 첫 번째 저수지가 순간적으로 만수되어 두 번째 저수지로 유출되고, 두 번째 저수지로부터 세 번째 저수지로 유출되어 마지막 n 번째 저수지를 통과한 유출량을 구하고자 한다고 생각하면

$$I - O = K \frac{dO}{dt} \quad (1)$$

첫 번째 저수지가 순간적으로 만수된 후에는 더 이상의 유입량이 없다고 생각하므로 $I=0$ 이다. 따라서 식 (1)은

$$-O_1 = K \frac{dO_1}{dt} \quad (2)$$

식 (2)를 풀면

$$O_1 = \frac{1}{K} e^{-t/K} \quad (3)$$

여기서 O_1 은 첫 번째 저수지로부터의 유출량인 동시에 두 번째 저수지의 유입량이다. 따라서, 두 번째 저수지에 대한 식 (1)의 관계는

$$O_1 - O_2 = K \frac{dO_2}{dt} \quad (4)$$

식 (4)를 풀면

$$O_2 = \frac{1}{K} \left(\frac{t}{K} \right) e^{-t/K} \quad (5)$$

마찬가지 방법으로 세 번째 저수지로부터의 유출량을 구하면

$$O_3 = \frac{1}{2K} \left(\frac{t}{K} \right)^2 e^{-t/K} \quad (6)$$

마지막 n 번째 저수지로부터의 유출량, 즉 전 유역

으로부터의 유출량은

$$O_n(t) = \frac{1}{K(n-1)!} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-t/K} \quad (7)$$

식 (7)은 유역 전반에 걸쳐 순간적으로 내린 단위유
효우량을 n 개의 저수지를 통해 선형추적하여 얻은 순
간 단위도(IUH)의 종거를 계산하는 식이다.

2.2 Diskin 모형

이 모형은 Nash의 모형을 기본으로 하고 있다. 즉,
두 Nash의 모형을 병렬로 연결하고 여기에 한 개의
매개변수 α 를 더하여 강우강도에 따른 유출의 비선형
성을 구현하고자 하였다. 식으로 나타내면 다음과 같
다.

$$O_n(t) = \frac{\alpha}{K_1(n_1-1)!} \left(\frac{t}{K_1}\right)^{n_1-1} e^{-t/K_1} + \frac{1-\alpha}{K_2(n_2-1)!} \left(\frac{t}{K_2}\right)^{n_2-1} e^{-t/K_2} \quad (8)$$

2.3 매개변수 검정

본 연구에서는 HEC-1 모형에서 사용하는 매개변수
최적화 방법을 사용하였다. 이때, 목적함수는 다음과
같다.

$$STDER = \sqrt{\sum_{i=1}^n (QOBS_i - QCOMP_i)^2 \times WT_i / n} \quad (9)$$

여기서 $QCOMP_i$ 는 시간 i 에서의 계산 유출수문
곡선의 종거 $QOBS_i$ 는 관측된 유출수문곡선의 종거,
 n 은 수문곡선의 종거수, WT_i 는 평균유량을 초과하
는 유량에 대한 정확도를 높이기 위한 가중치이며 다
음과 같이 표현된다.

$$WT_i = (QOBS_i + QAVE) / (2 \times QAVE) \quad (10)$$

여기서 $QAVE$ 는 관측유량의 평균치이다.

3. 연구 대상 유역 및 자료

본 연구에서는 대상유역을 소양강댐 유역으로 정하
였다. 이용한 자료로는 소양강댐의 건설 후 현재까지의
기간 중에서 홍수시 시간별 강우-유출 자료를 한국수
자원공사에서 보관하고 있는 『소양강댐 홍수 수문자

료』를 이용하여 조사하였다. 이 중에서 자료정리가 비
교적 잘 된 14개의 강우-유출사상을 선택하였다. 원래
의 강우자료에서 HEC-1 프로그램에서 SCS 유효우
량 방법을 사용하여 강우 손실량을 계산한 후에 이를
배제시킨 유효강우강도를 입력자료로 사용하였다. 이때,
CN값은 81.5를 사용하였다.

본 연구에서 매개변수 검정에 사용되는 자료는 소양
강댐 지점에서의 관측된 유입수문곡선이며, 기저유량은
 \emptyset 지수법을 이용하여 분리하였다. 그 결과는 결과부
에서 계산된 수문곡선과 함께 그래프로 도시되어 있다.

4. 적용 및 결과

Nash(1957, 1959) 모형과 Diskin(1964)모형을
Fortran 프로그램으로 구현한 후에 다음과 같은 작업
을 수행하였다. 순간단위도의 종거는 30시간을 발생
시켰다.

4.1 각 호우사상별 매개변수의 추정

4.1.1 Nash 모형

소양강댐 지점 대표호우자료의 유효우량 자료와 관
측된 유입수문곡선에서 기저유량을 분리한 직접유출수
문곡선으로 목적함수 $STDER$ 을 최소로 하는 매개변
수를 시행착오 방법으로 추정하였다. n 값의 경우 최
소 0.1에서 최대 20까지 0.1씩 증가시켰고, K 값의
경우는 최소 1에서 최대 20까지 1씩 증가시키면서
 $STDER$ 의 최소값을 찾았다. 그 결과는 표 1과 같다.

표 1. Nash 모형의 매개변수 추정결과

호우 번호	Nash		
	$STDER$	n	K
1	719.188	6	0.7
2	163.638	2	5.4
3	151.189	3	5.1
4	237.945	2	5.2
5	245.979	3	4.1
6	94.499	3	4.2
7	143.172	3	3.4
8	287.760	2	4.4
9	751.114	2	4.1
10	446.881	2	4.4
11	235.922	3	5.4
12	459.336	2	6.4
13	253.659	5	1.3
14	511.750	3	3.0

표 1에서 보면 Nash 모형의 경우 저수지의 개수 n 은 2 내지 3인 것으로 또한 저류계수인 K 는 대략 4.4부근인 것으로 판단된다. 아울러 저류상수와 저수지의 수를 곱한 $K \cdot n$ 이 유역의 지체시간 T_L 와 같다는 가정 하에 강우강도와 T_L 값과의 관계를 알아보기 위해서, 각 호우사상별로 강우강도를 대표하는 강우강도 첨두치와 $K \cdot n$ 의 T_L 값을 단순선형 회귀분석하여 보았다. 여기서, 최종남(1998)이 유도한 순간단위도의 형태가 다른 호우사상에 비교하여 편차가 심하다고 판단된 호우사상(1, 3, 11, 13)들은 배제시켰다. 그림 1은 이러한 회귀분석 결과를 도시한 그래프이다.

회귀분석방정식은 그림 1에 나타낸 바와 같고 결정

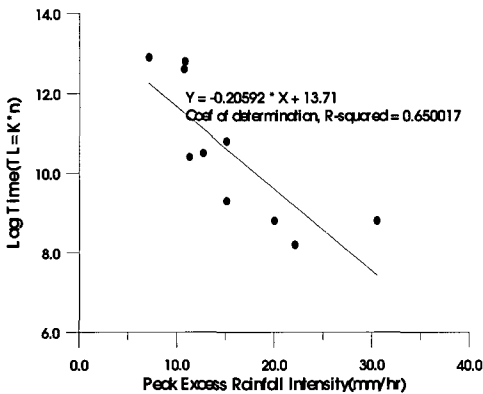


그림 1. 강우강도와 $K \cdot n = T_L$ 과의 선형회귀분석

계수도 대략 0.65로 상관성이 있음을 보여주고 있다. 회귀곡선의 기울기가 음수로 강우강도가 커질수록 유역의 지체시간이 작아지는 경향을 보이므로 정성적으로도 합리적인 결과를 보인다.

Nash 모형으로 계산된 수문곡선은 대략적인 경향은 잘 보여주고 있지만 관측된 수문곡선의 첨두치들은 확실히 반영하고 있지는 못하는 경향을 보였다.

4.1.2 Diskin 모형

Diskin 모형은 매개변수가 앞에서 설명한 것처럼 다섯 개나 되므로 최적 매개변수의 추정에 시간상의 어려움이 있었으므로, n 값과 K 값의 경우를 최대 10으로 한정하여서 최적의 매개변수를 구하였다. α 의 경우는 0에서 1까지 범위 내에서 0.01씩 증가시켰다. 최대값들을 10으로 한정하는 것은 Nash 모형에서 최적의 매개변수를 추정할 경우 n 값과 K 값들 모두 10을 넘는 경우를 보이지 않았기 때문이다.

본 연구에서 Diskin 모형의 경우에는 Diskin I과 Diskin II로 나누어서 매개변수를 추정하였다. Diskin I의 경우는 순간 단위도의 증거값을 나타내는 식에서 각각의 두 항의 n 값들만이 서로 같은 것으로 가정하였고, Diskin II의 경우는 n 값들도 서로 다른 것으로 시행착오를 수행하였다. 추정된 매개변수 값들은 표 2에 나타내었다.

표 2에서의 Diskin 모형의 $STDER$ 과 표 1에서의 Nash 모형의 $STDER$ 값들을 보면 Nash 모형보다

표 2. Diskin 모형의 매개변수 추정 결과

호우 번호	Diskin I					Diskin II					
	$STDER$	$n_1=n_2$	K_1	K_2	α	$STDER$	n_1	n_2	K_1	K_2	α
1	705.678	10	0.5	0.9	0.57	703.788	9	10	0.9	0.5	0.53
2	160.322	5	1.5	3.9	0.66	156.873	5	10	1.6	2.3	0.76
3	145.049	3	0.2	5.0	0.80	143.517	2	10	8.9	1.2	0.82
4	186.026	6	2.9	1.0	0.47	184.696	4	7	4.0	0.8	0.57
5	243.694	4	0.3	3.1	0.05	243.069	4	10	3.1	0.1	0.96
6	74.729	3	0.4	4.3	0.08	69.763	3	10	4.3	0.1	0.94
7	105.194	6	1.3	2.6	0.58	104.517	5	6	3.1	1.3	0.45
8	192.048	5	1.0	2.7	0.50	179.405	3	9	3.9	0.5	0.70
9	570.614	7	0.7	2.7	0.68	566.387	5	10	1.0	2.0	0.71
10	280.787	2	7.8	3.1	0.40	280.708	2	3	3.2	6.1	0.71
11	207.164	8	1.3	3.2	0.48	207.078	9	10	1.2	2.7	0.50
12	386.863	6	1.1	3.9	0.52	382.976	3	10	7.2	0.6	0.61
13	251.926	8	1.1	0.6	0.75	251.623	6	10	1.3	2.4	0.96
14	493.060	7	1.9	0.8	0.52	491.895	4	10	2.9	0.5	0.72

Diskin 모형의 경우가 *STDER* 값이 모든 경우의 경우에 더 작아졌음을 알 수 있다. 이는 Diskin 모형의 경우가 Nash 모형보다 유출수문곡선의 비선형적인 특징을 나타내는데 더 유리하다는 것을 나타낸다. 또한 n 값을 달리한 Diskin II의 경우가 Diskin I의 경우보다 좀더 작은 *STDER* 값을 나타내고는 있으나 그 차이는 대체로 미비하여 적용에 있어서 굳이 n_1 및 n_2 값을 분리할 필요는 없을 것으로 판단된다.

Nash 모형에서 계산된 수문곡선과 비교해 볼 때, 계산된 수문곡선이 관측된 수문곡선의 침투치에 가까이 접근하는 경향 볼 수 있었다. 이것이 Diskin 모형에서 *STDER*을 줄이는 가장 큰 요소이다. 다른 호우사상의 수문곡선에서도 같은 침투치 부근에서 같은 효과를 보이고 있다. Nash 모형과 비교해서 Diskin 모형의 침투치의 모양이 거의 비슷한 경우라 할지라도 침투치의 이외의 부분에서 Diskin 모형이 Nash 모형보다는 관측수문곡선에 대해 좀더 비슷한 모양을 보이므로 약간 작은 *STDER*이 계산되었다.

4.1.3 각 모형들의 비교

모든 호우사상의 Nash 모형에서 Diskin I 모형으로, 또는 Diskin II 모형으로 갈수록 *STDER*이 작아지는 경향을 보인다. Diskin I 모형에서 K 값의 경우는 하나의 K 값이 작은 값으로 추정되고 나머지는 큰 값으로 추정되었고 α 값은 대체로 0.5부근으로 추정되어, 앞에서 매개변수 변화에 따른 순간단위도 형태의 변화양상에서도 알 수 있었듯이 순간단위도 자체가 비선형성을 가지게 유도되었음을 알 수 있다. Diskin II 모형에서는 하나의 n 값은 5부근이었고, 나머지 n 값은 10이 가장 많이 추정되었다. 이것은 최대의 n 값을 10이상으로 할 경우 10보다 큰 값이 최적의 매개변수로 추정될 가능성도 있다는 것을 나타낸다.

Diskin 모형의 n 값은 Nash 모형의 그것에 비해 큰 경향이 있었다. 하지만 본 연구에서 추정된 n 값으로는 소양강 유역의 정확한 n 값을 정의하기는 곤란하였다. 이것은 앞에서도 언급했던 것처럼 관측된 수문곡선이 정확하지 않기 때문인 것으로 사료된다. 본 연구의 방법은 단지 관측된 수문곡선과 계산된 수문곡선의 차이를 가장 최소화하는 매개변수만을 구하였기 때문이다. 따라서 수문곡선의 차이를 최소화하는 매개변수들에 순위를 기록해서 일정 순위 안에 포함되는 매개변수들의 양상을 조사하여 이 소양강댐 유역의 n 값과

K 값을 정의하는 것도 한 방법이 될 것이다.

그림 2는 호우사상별로 소양강댐 유입수문곡선과 Nash, Diskin 모형을 이용하여 최적의 순간단위도를 유도한 후에 계산된 수문곡선을 도시한 그래프이고, 그림 3은 각 호우 사상별 순간단위도를 비교한 그림이다.

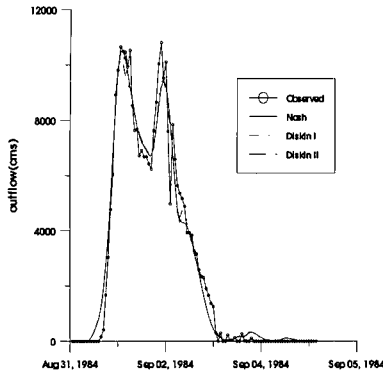
대체로 오차값이 적어질수록 관측된 소양강댐 유입수문곡선과 비교적 잘 맞는 경향을 보인다. Nash 모형으로 최적화시킨 경우는 앞에서 지적했듯이 침투치를 무시한 부드러운 곡선의 수문곡선을 보이는 반면에 Diskin 모형의 경우는 침투치를 보임으로써 관측된 수문곡선에 근접하려는 형태를 보인다. 하지만 몇몇 호우사상을 제외하고 전체적인 형태는 Nash와 매우 흡사한 모양을 가지고 있다.

계산된 수문곡선에서는 대단히 비슷한 형태를 가지는 호우사상에서도 단위도의 경우는 호우사상 1, 10, 13번만을 제외하고는 Nash와 Diskin 모형이 현격한 차이를 보였다. 또한 차이를 보이는 단위도의 모두가 Nash 모형에서는 볼 수 없는 비선형성을 가지고 있었다. 단위도의 침투치는 Nash 모형이 부드러운 곡선을 보이는 반면에, Diskin에서는 뾰족한 형태를 띠고 있다. 이러한 형태가 관측된 수문곡선의 뾰족한 모양을 Nash 모형의 경우보다 훨씬 Diskin 모형이 *STDER*을 줄일 수 있었던 요인으로 사료된다. Diskin I과 Diskin II 모형의 경우는 비교적 동일한 형태를 보이고 있다. *STDER*이 Nash와 Diskin의 차이보다 Diskin I과 Diskin II의 차이가 작은 것은 이러한 단위도의 모양에 기인하고, 이러한 단위도의 모양은 앞에서 밝힌 바와 같이 단위도가 n 값에 둔감하기 때문이다.

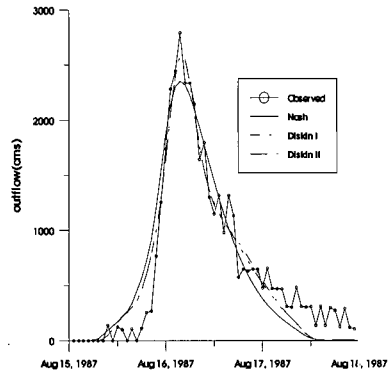
4.1.4 소양강댐 유역의 대표 단위도 결정

소양강댐 유역의 n 과 K 를 결정하기 위해서 다음과 같은 방법을 채택하였다. 우선 위의 과정으로 14개의 호우사상에서 최적화되어 계산된 순간단위도를 각각의 증거를 합산하여 평균을 구하였다. 이렇게 해서 증거를 평균한 순간단위도를 평균순간단위도라고 하면, 이러한 평균순간단위도와 가장 비슷한 모양을 가진 순간단위도를 위의 과정에서 최적의 수문곡선을 찾는 방법과 같은 방법으로 시행착오에 의해서 구하였다.

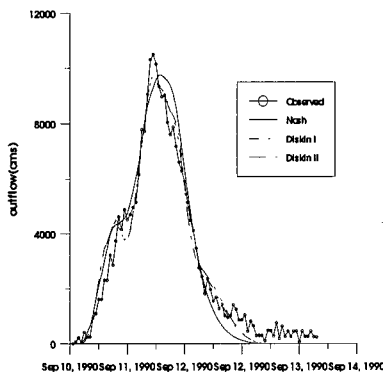
그림 4는 시행착오 방법으로 최적의 매개변수 산정에 의해서 구해진 순간단위도들을 평균하는 과정을 보여주는 것이다. 참고로 Diskin I과 II 모형의 경우는 나머지 다른 순간단위도와 형태의 측면에서 상당히 다



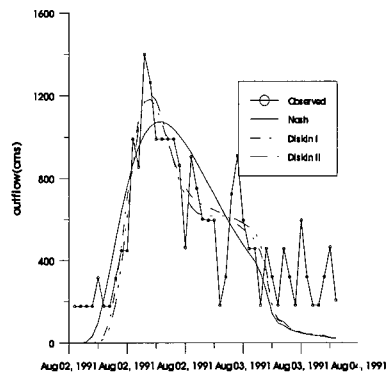
호우사상 1



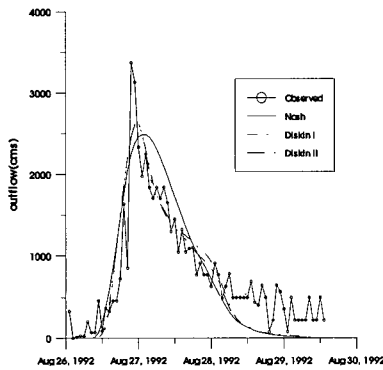
호우사상 4



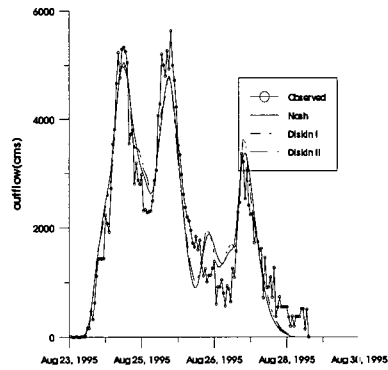
호우사상 9



호우사상 11



호우사상 12



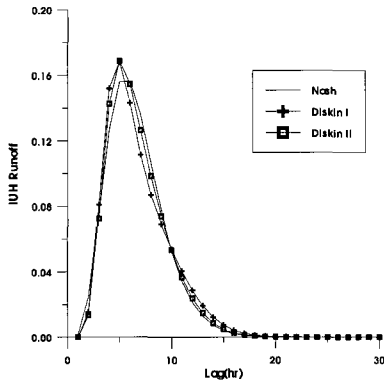
호우사상 14

그림 2. Nash, Diskin I, Diskin II 모형에 의한 호우사상 별 유출수문곡선과 관측수문곡선과의 비교

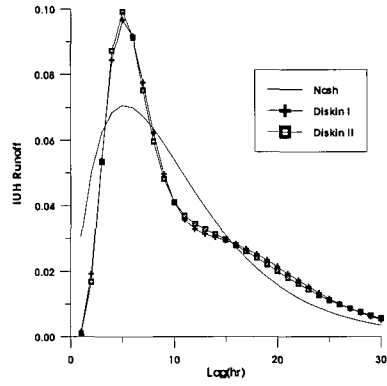
큰 모양을 보이는 3, 5, 6번 호우사상의 순간단위도들은 평균순간단위도 계산시에 배제시켰다.

이렇게 해서 구한 평균순간단위도를 시행착오에 의

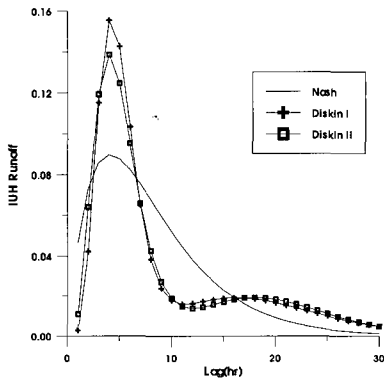
해서 가장 비슷한 순간단위도를 찾아내었다. 시행착오 방법은 앞에서 시행한 최적의 수문곡선을 구하기 위한 시행착오 방법과 동일한 알고리즘을 사용하였다. n 과



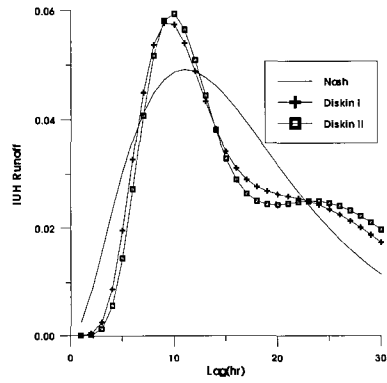
호우사상 1



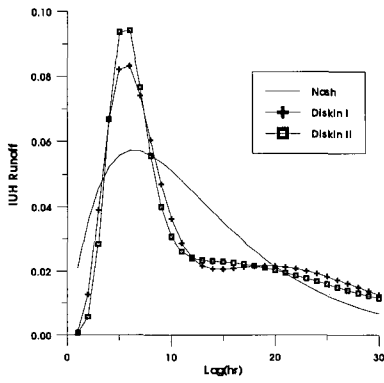
호우사상 4



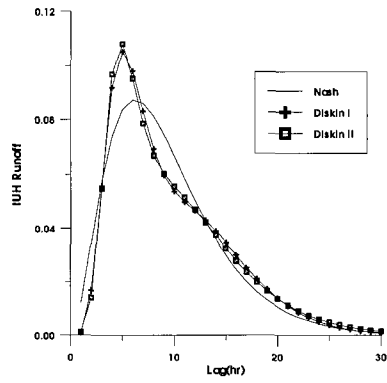
호우사상 9



호우사상 11



호우사상 12



호우사상 13

그림 3. Nash, Diskin I, Diskin II 모형에 의한 호우 사상별 순간단위도의 비교

K 의 범위는 물론이고, STDER을 계산하는 방법도 모두 동일하다.

표 3은 이러한 방법으로 구한 평균순간단위도에 가

장 비슷한 형태를 가지는 대표순간단위도의 매개변수를 정리한 것이다. 따라서 이것이 소양강댐 유역을 대표하는 매개변수 값이라고 할 수 있겠다. 표에 의하면

표 3. 최적 평균순간단위도의 매개변수

	<i>STDER</i>	$n(n_1, n_2)$		$K(K_1, K_2)$		α
Nash	38.327	2		5.2		-
Diskin I	16.306	5		1.2	3.0	0.54
Diskin II	11.678	3	5	5.6	1.3	0.46

소양강댐 유역의 경우 Nash 모형에서 저수지의 개수 n 은 2이고, K 는 5.2인 것으로 나타났다. Diskin I 모형의 n 값의 경우는 5로 Nash보다는 크게 결정되었다. 반면에 K 값들은 모두 Nash 모형의 그것들보다 작게 결정되었고, 각 K 값들은 서로 다르게 결정되고 α 값이 대체로 0.5부근으로 결정되어 순간단위도가 비선형성을 내포하고 있음을 알 수 있다. Diskin II 모형의 경우도 Diskin I 모형과 그런 면에서 비슷하였다. STDER은 수문곡선 최적화 과정에서도 나타났듯이 모형이 복잡해지면서 줄어드는 경향을 다시 한번 확인할 수 있었다.

그림 5는 평균순간단위도와 그것에 최적화된 각 모

형의 단위도의 형태를 보여준다. 그림 5에서 제일 왼쪽은 Nash 모형을 나타내는 그래프로 침두치에서 최적화된 단위도와 평균단위가 다소 큰 차를 보여줌을 알 수 있다. 그러나 이 평균순간단위도를 최적화시키는 과정에서도 역시 HEC-1에서 쓰이는 가중치의 기법을 사용하여 추정한 것이므로 계산된 순간단위도는 가장 근사한 단위도라 할 수 있겠다. 나머지 두 개의 그래프는 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 그림 6은 이렇게 최종 계산된 각각의 세 개의 모형에 대한 최적 평균순간단위도를 한눈에 볼 수 있는 그래프이다. 예상했던 것처럼 Nash 모형에 비해 Diskin 모형이 비선형성을 보여주는 단위도 형태를 보여준다. 따라서 소양강

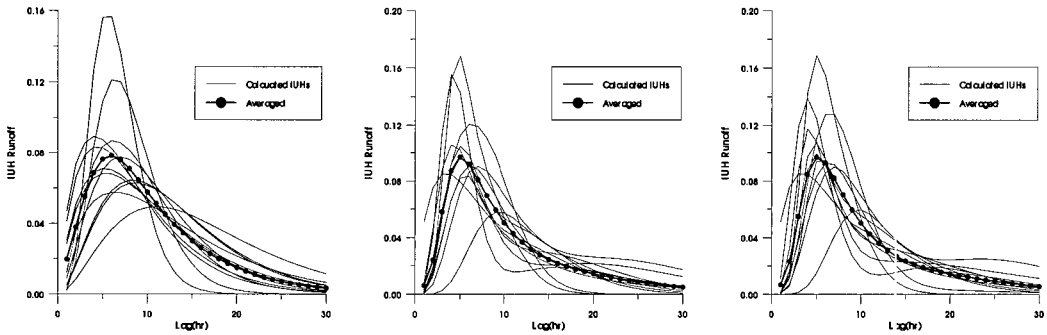


그림 4. Nash, Diskin I, Diskin II 모형으로 추정된 순간단위도들과 평균순간단위도

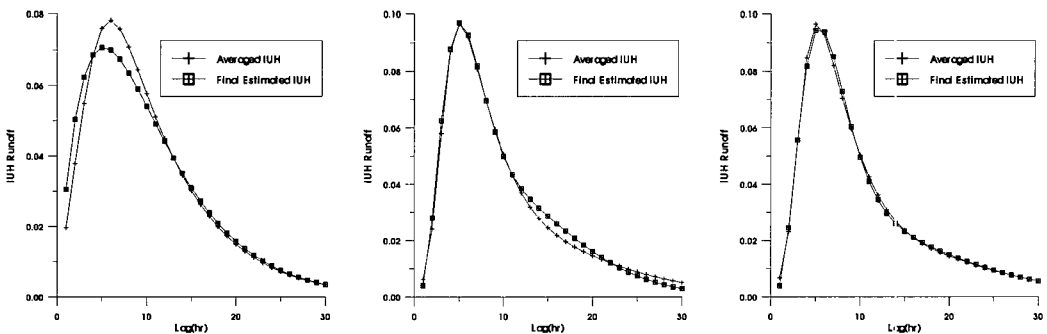


그림 5. Nash, Diskin I, Diskin II 모형의 평균순간단위도와 최적 평균순간단위도

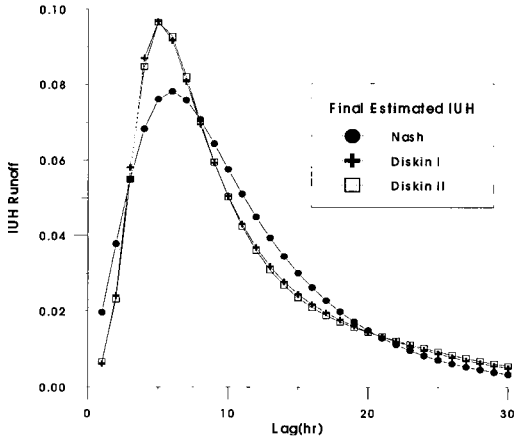


그림 6. Nash, Diskin I, Diskin II 모형의 최적 평균순간단위도의 비교

댐 유역의 경우 다소 비선형성을 보이는 순간단위도를 유출해석에 적용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. Diskin I 모형과 Diskin II 모형의 차이는 거의 없음을 그래프를 통해서 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 유출수문곡선을 구하는데 사용되는 순간단위도를 유도하기 위한 Nash 모형과 Diskin 모형을 이용하여 해당 모형에 사용되는 매개변수를 소양강댐유역의 유입수문곡선을 이용하여 추정하였다. 본 연구를 통해서 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

첫째, Nash 모형에서 저류상수 K 와 저수지 개수 n 이 커질수록 순간단위도를 지체시킨다. 단, n 값보다 K 값에 더 민감하게 순간단위도가 지체되는 양상을 보인다.

둘째, 소양강댐 유역의 순간단위도의 매개변수는 Nash 모형의 경우 n 은 2, K 는 5.2로 나타났다. Diskin I 모형은 n 은 5, K_1 과 K_2 는 각각 1.2와 3.0, α 는 0.54이었고, Diskin II 모형은 n_1 과 n_2 가 각각 3과 5, K_1 과 K_2 가 각각 5.6과 1.3, α 는 0.46으로 추정되었다. 아울러, Nash 모형과 Diskin 모형의 비교에서는 Diskin 모형이 유출수문곡선을 더 잘 재현함을 알 수 있었다.

셋째, 강우강도와 지체시간과는 반비례적인 관계를 가짐을 파악할 수 있었다. 강우강도 침투치와 K 와 n 의 곱으로 대변되는 지체시간과의 선형회귀분석을 수행한 결과 음의 상관관계를 가지며, 상관계수의 제곱

인 결정계수도 약 0.65정도로 크게 나타났다.

넷째, Diskin I 모형의 경우 추정된 n 값과 K 값은 서로 큰 차이를 보이거나 α 값의 경우는 0.5에서 크게 벗어나지 않았다. 이는 강우-유출과정의 비선형성을 나타내는 결과로 판단할 수 할 수 있다. 아울러, Diskin II 모형은 Diskin I 모형에 비해서 관측수문곡선에 보다 근접한 수문곡선을 재현해 내는 것으로 나타났으나, 그 차이는 무시할만한 정도로 판단된다.

결론적으로, 소양강댐 유역에 대한 유출수문곡선을 모의하는데 선형인 Nash 모형보다는 비선형성을 나타내 줄 수 있는 Diskin 모형에 의한 순간단위도를 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 아울러, 다양한 유역에 이들 모형을 적용해 보고 각 매개변수를 유역의 지형학적 특성 및 수문기상학적 특성으로 표현해 보는 것도 강우-유출관계를 이해하는데 중요한 의의가 있으리라 판단된다.

참 고 문 헌

- 윤용남 (1998). 공업 수문학. 청문각.
- 최종남 (1998). 강우-유출 모의를 위한 HEC-1 모형 및 신경망 모형의 비교연구. 석사학위논문, 고려대학교.
- 한국수자원공사 (1996). 소양강 다목적 댐 치수능력 증대사업 타당성 조사 및 기본계획 보고서.
- Chow, V.T. (1962). "Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins." *Univ. Illinois Eng. Exp. Sta. Bull.* 462.
- Clark, C.O. (1945). "Storage and the unit hydrograph." *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 110, pp. 1419-1446.
- Diskin, M.H. (1964). "A basic study of the linearity of the rainfall-runoff process in watersheds." Ph.D. dissertation, University of Illinois, Urbana, Ill.
- Dooge, J.C.I. (1959). "A general theory of the unit hydrograph." *J. Geophys. Res.*, Vol. 64, No. 1, pp. 241-256.
- Edson, C.G. (1951). "Parameters for relating unit hydrographs to watershed characteristics." *Trans. Am. Geophys.*

- Union*, Vol. 32, pp. 591-596.
- U.S. Army Corps of Engineers. (1990). *HEC-1 flood hydrograph package. User's manual*. The Hydrologic Engineering center, Davis, CA.
- Nash, J.E. (1957). "The form of the instantaneous unit hydrograph." *International Association of Science Hydrology*, Pub. 45, Vol. 3, pp. 114-121.
- Sherman, L.K. (1932). "Streamflow from rainfall by the unit-graph method." *Eng. News Record*, Vol. 108, pp. 501-505.
- Snyder, F.F. (1938). "Synthetic unit hydrographs." *Transactions of the American Geophysical Union*, Vol. 19, Part 1, pp. 447-454.
- Soil Conservation Service. (1972). *National engineering handbook*, Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Sugawara, Masami, and Fumiyuki Maruyama. (1956). "A method of revision of the river discharge by means of a rainfall model, Symposia Darcy." *Intern. Assoc. Sci. Hydrology*, Pub. 42, Vol. 3, pp. 71-76.
- (논문번호:99-084/접수:1999.10.04/심사완료:1999.12.07)