

논의 유출곡선번호 결정

임 상 준* · 박 승 우**

1. 서 론

SCS의 유출곡선번호는 미국의 농업유역 중 수문학적 토양, 식생피복형이 균질한 소유역의 연홍수량 관측치의 평균적인 강우-유출관계로 부터 결정된 0~100 범위의 경험적인 지수이다 (SCS, 1972). CN 값은 수문학적 토양-식생피복형이 동일한 경우도 경종 방법, 수문학적 조건 등에 따라 변화하며, 유역의 침투손실 등의 경험적인 관계를 계량화한 것이다. 미계측 유역의 유효우량의 추정에 있어서 SCS법의 적용성이 높은 것은 CN값의 추정을 통하여 유역의 수문특성을 적절히 표시할 수 있는 까닭이다 (Knisel 등, 1981).

SCS법을 우리나라의 미계측 유역에 적용하기 위해서는 유역의 CN값을 정확히 추정해야 할 것이다. 그러나, SCS법은 밭, 초지, 경사지 등의 토지이용상태에 대한 CN값은 주어져 있으나, 논이나 산림의 경우에는 적절한 값이 주어지지 않았다. 흔히, 논이 CN값으로 줄파 또는 곡류 작물 등의 경우를 적용하는 데, 이는 미국의 중서부의 밭 작물의 경우로서, 논이 수문학적 특성과는 상이한 것이 사실이다. 즉, 밭의 유효우량은 침투손실에 의하여 지배되며, 선행토양수분조건 등을 고려해야 하는 데, 논은 담수 상태이므로 물고높이 등에 의하여 좌우된다 (정 등, 1987). 따라서, SCS법의 적용을 위해서는 논이 CN값에 대한 추정 방법의 개발이 선행되어야 할 것이다.

본 연구의 목적은 논이 유효우량의 산정을 위한 유출곡선번호를 이론적, 실험적 방법에 의하여 결정하는 데 있다. 논이 CN값을 SCS 유효우량법에 상응하도록 결정하고, 그 결과를 시험포장 및 현장 자료 등과 비교 분석하여 적용성을 검토하도록 하였다.

2. 유출곡선번호법

강우-유출자료에 의한 CN의 결정방법은 대상유역의 규모나 자료 취득 방법 등에 따라 (1) 강우 침투계에 의한 방법 (Schroeder, 1987), (2) 유출시험포의 자료에 의한 방법 (Yoo 등, 1991), (3) 유역의 강우-유출자료에 의한 방법 (Fogel 등, 1980; 윤, 1991) 등으로 구분할 수 있다. 또한, 강우-유출량 자료로 부터 CN을 결정하는 방법에는 도식적 방법과 해석적 방법등이 있다. 도식적 방법에서는 CN별 강우-유출 관계를 이용하여, 측정된 강우-유출자료들을 양분하는 곡선을 택하거나, 양분하는 곡선이 없는 경우는 인접한 2개의 곡선으로 부터 보간법으로 해당 곡선을 그리고, 그 CN값을 결정한다. 이때의 CN값을 해당 수문학적 토양-식생 피복상태의 평균 CN값 혹은 CN_{II} 로 한다 (SCS, 1972).

* 서울대학교 대학원

** 서울대학교 농공학과 교수

해석적 방법은 강우-유출량 자료로부터 식(1)을 이용하여 S를 구한 다음, 식(2)에 대입하여 해당 폭우사상에 대한 CN값을 결정한다(윤, 1991).

$$S = 5(P+2Q-\sqrt{4Q+5PQ}) \quad (1)$$

$$CN = \frac{25400}{254+S} \quad (2)$$

해석적 방법의 결과는 CN값의 변위가 상당히 큰 것이 보통인 데, 이는 도식적 방법에서와 달리 평균값을 적용하지 않은 것에 기인한다. 이는 유역의 유출량이 평균적인 CN값 이외에도 선행토양 수분조건 (AMC)에 따라 좌우되기 때문이다.

3. 경구의 유출곡선번호

3.1 재료 및 방법

논의 CN값을 결정하기 위해, 경기도 안산시 반월동 소재 반월저수지 하류의 동리구역의 일부 수개의 농구를 대상으로, 실제 농민들이 경작하는 상태에서 1986, 87년의 2개년 동안 일별 관배수 상황을 측정하였다(정 등, 1986, 1987)

각 포구별 용수지거 유입량은 그림 1과 같이 유입부에 cut-throat flume을 설치하고, 그 수위를 자기수위계를 이용하여 측정하여 수위-유량 곡선으로 부터 구하였다. 또한, 배수지거의 말단에 같은 방법으로 배수량을 측정하였다.

3.2 결과 및 고찰

표 1은 시험 농구의 일별 강우량과 배수량 측정 자료 중 P/S의 비가 0.46 이상의 폭우사상에 대한 강우량, 유출량, 저류량, 그리고 추정 CN값 등을 나타낸 것이다. CN값은 68~93의 범위를 보였으며, 그 평균값은 76이었다. 표 1에서 CN값의 변화는 초기담수심, 물고높이 등에 따라 차이를 보였다.

표 1. 논지 실측 유출량, 저류량 및 유출곡선번호

Date	Rainfall, P (mm)	Runoff, Q (mm)	S (mm)	P/S	CN
8/11/86	67.8	11.9	119	0.57	68
8/20/86	21.2	5.4	29	0.74	78
8/27/86	21.0	2.4	46	0.46	85
9/02/86	50.9	6.0	110	0.46	70
8/11/86	67.8	48.4	20	3.35	93
8/11/86	67.8	32.3	47	1.44	84
8/28/86	69.5	12.3	121	0.57	68
8/28/86	69.5	16.8	98	0.71	72
7/12/87	46.0	5.0	103	0.46	71
8/14/87	40.0	7.0	70	0.57	78
8/24/87	62.0	11.0	108	0.57	70

이상의 농구 시험자료로부터 논지 CN값을 결정하기 위해 각 폭우사상별 저류량 S값의 확률분

포함수를 추정한 결과, 대수정규분포포함수를 나타내었다. 폭우사상별 최대저류량 S는 상당한 변화를 나타내었으나, χ^2 검정에 의한 검정결과 5% 유의수준에서 적합성이 인정되었다. 이는 논의 최대저류량 변화도 앞서 고찰한 바와 같이 유역의 경우와 마찬가지로 대수정규분포포함수를 적용할 수 있음을 의미하는 것으로 생각되었다 (Hjelmfelt 등, 1991). 초과확률 10%, 50%, 90%에 해당하는 최대저류량 S의 값은 각각 33.6, 70.1, 146.6 mm 등이었다. 이상의 결과를 이용하여 초과확률 10, 50, 90%, 혹은 AMC I, II, III의 경우에 대한 논의 CN값은 63, 78, 88 등으로 추정되었다.



그림 1. 자기수위계가 설치된 Cut-Throat Flume

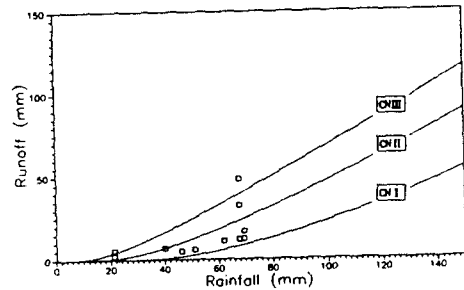


그림 2. 논의 강우-유출 관계

그림 2는 CN_I, II, III의 각 경우의 강우-유출 관계를 도식적으로 나타낸 것이다. 논의 대한 AMC의 결정은 관개 등으로 일정한 담수심을 갖는 상태에서 폭우사상이 발생하기 때문에 선행강우와 관련해서 적용할 수 없음을 알 수 있었다.

4. 물수지 모형에 의한 유출곡선번호

4.1 물수지 모형

경구에서의 일별 물수지 측정결과로부터 얻은 CN값은 표 1에서와 같이 2개년의 제한된 자료로서 연 강수량 등의 적용 여부가 불확실하다. 이를 보완하고, 초기 담수심 등의 영향을 보다 구체적으로 구명하기 위하여 논의에서의 일별 물수지를 추정할 수 있는 모형을 구성하도록 하였다.

물수지 모형은 1개의 경구를 대상으로 하여 일별 담수심을 추정하고, 배수지거로부터 포구 또는 경구 밖으로 유출되는 양을 추정하도록 하였다. 경구의 물수지의 기본식은 다음과 같다.

$$W_t = W_{t-1} + I_t + P_t - (D_t + ET_t + F_t) \quad (3)$$

여기서, W = 일평균 담수심; I = 관개량; D = 배수량; ET = 증발산량; F = 침투량이다. 한편, 담수심 W 는 물고높이 이상이 될 수 없으며, 그 양은 전량 배수된다. 즉

$$D_t = D_t \quad \text{if } W_t \leq H_t \quad (4)$$

$$D_t = D_t + (W_t - H_t) \quad \text{if } W_t > H_t \quad (5)$$

$$W_t = H_t \quad \text{if } W_t > H_t \quad (6)$$

여기서, H = 물고높이이다.

식(3)~(6)를 근거로 경구의 일별 담수심 및 배수량을 구할 수 있는 물수지 모형을 개발하였는데, 증발산량 ET 는 Penman식을 적용하여 일별 기상자료로 부터 잠재증발산량을 구하고, 논벼의 생육기간별 작물계수를 이용하여 추정하였다.

물수지 모형의 일별 배수량의 추정치와 실측치를 비교하면 표 2와 같으며, 이를 도식적으로 표시하면 그림 3과 같다. 표 2와 같이 모형의 추정결과는 물고높이에 따라서 변화하는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과에도 불구하고 추정치와 실측치의 결정계수는 0.96이었으며, 이들의 관계를 회귀식으로 나타내어 보정하도록 하였다.

표 2. 물수지 모형에 의한 추정 유출량과 실측 유출량 비교

Date	Rainfall (mm)	Ridge Height (mm)	Ponding Depth (mm)	Runoff (mm)		R ²
				Obs.	Sim.	
7/18/86	13.7	54	49.3	3.2	1.0	0.965
7/18/86	13.7	30	27.3	3.9	3.0	
7/19/86	12.0	54	51.4	3.2	1.4	
8/11/86	67.8	54	41.0	48.4	47.6	
8/13/86	29.7	54	44.0	16.1	12.9	
8/13/86	29.7	155	149.2	17.1	17.1	
8/28/86	69.5	122	63.4	12.3	4.8	
8/28/86	69.5	75	21.0	16.8	9.4	

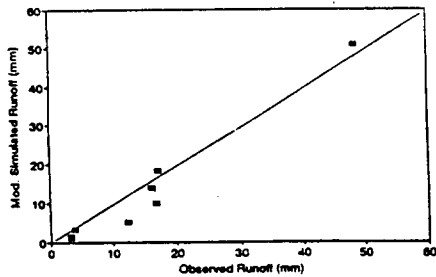


그림 3. 실측 유출량과 추정 유출량의 비교

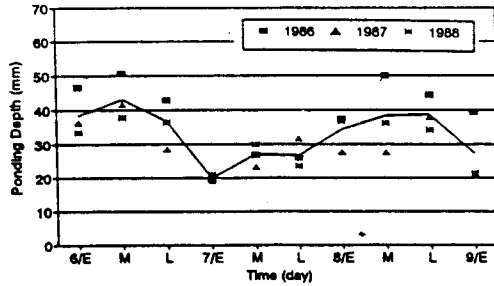


그림 4. 논벼의 순별 담수심 변화 (1986-1988)

4.2 경구의 담수심

물수지 모형의 결과로 부터 배수량은 물고높이, 초기 담수심 등에 따라 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 물고높이는 인위적인 조작에 따라 좌우되는 변수이고, 관행 영농법에서는 생육 시기에 따라 담수심의 조절하는 것이 보통이므로 현장자료를 적용해야 한다.

반월지구의 1986-88년 3년 간의 순별 평균담수심을 조사한 결과, 연도별 시기별 담수심은 최대 23mm내외의 차이를 나타내었다. 순별 평균담수심의 확률분포함수를 분석한 결과, 정규분포함수가 적절한 것으로 나타났으며 이로 부터 정규확률분포함수의 초과확률 10, 50, 90%의 값에 해당하는 담수심을 논 의 AMC I, II, III의 경우로 적용할 수 있을 것으로 생각되었다.

한편, 시험대상 농구의 일별 담수심 중 순별 최대값을 평균 물고높이로 가정하여 생육시기별, 연도별 값을 추정하였다. 이와같은 가정은 관행 물관리의 조사 결과 등과 유사한 경향을 나타내고 있으며, 실제 포장조사의 경험에 비추어도 대체적으로 타당한 자료로 생각되었다.

4.3. 논 의 유출곡선번호

물수지 모형을 이용하여 수원지방의 1964-87년의 기상자료로 부터 경구의 일별 유출량을 추정하였다. 여기서, 차단량은 3.2mm로 하고, 배수량 중 일부는 농구의 저지대, 배수구 등에 저류되거나 침투손실 등을 적용하여 손실율을 15%로 하였으며, P/S≥0.46인 큰 강우만을 대상으로 하였다. 표 3은 논벼의 생육단계별 유출곡선번호의 추정값을 제시하고 있다. CN_I의 경우는 65~72의

표 3. 논벼의 생육단계별 유출곡선번호

Date	Ridge depth	Ponding depth (mm)			CN		
		10%	50%	90%	I	II	III
E	62mm	13.1	38.4	62.0	65	75	89
6 M	59	20.2	43.1	59.0	68	82	91
L	57	12.5	36.3	57.0	71	79	91
E	57	2.5	19.9	37.3	68	75	82
7 M	56	6.8	27.0	47.2	68	77	86
L	61	7.3	26.6	45.9	66	75	84
E	58	9.5	34.3	59.3	68	77	81
8 M	84	12.5	38.3	64.0	70	76	85
L	54	12.7	38.6	54.0	72	82	90
9 E	52	0.6	27.3	52.0	69	79	91
Avg.					69	78	88

범위로 평균 69였으며, CN_{II}는 75~82의 범위로서 그 평균은 78, CN_{III}는 85~91의 범위로서 평균 88로 제안되었다. 논벼의 평균 CN값에 대한 유출량과 물수지 모형에 의한 유출량을 비교하면 그림 5와 같다. 또한, 반월지방의 실측자료도 함께 표시하였다.

생육시기별로 CN값의 변화는 앞서 고찰한 바와 같이 초기담수심과 물고높이 등에 기인하는 것으로, 현장 경구의 일별 자료를 근거한 것으로 적용성이 있을 것으로 생각되었다. 다만, 본 연구의 결과는 관행적인 영농상태를 전제로 추정한 결과이므로, 극단적인 경우 즉, 초기 담수심이 전혀 없는 상태의 논이나, 물고높이를 휴반 높이로 하여 설계 유출량을 정할 필요가 있는 경우에는 적용할 수 없을 것이다.

한편, NEH-4의 경우 수문학적 토양군에 따른 CN값의 변화는 논 의 경우에는 적용되지 않은 점을 지적하지 않을 수 없다. 연 강수량은 보통 논벼의 생육시기인 7-9월 중에 발생되며, 이 기간중의

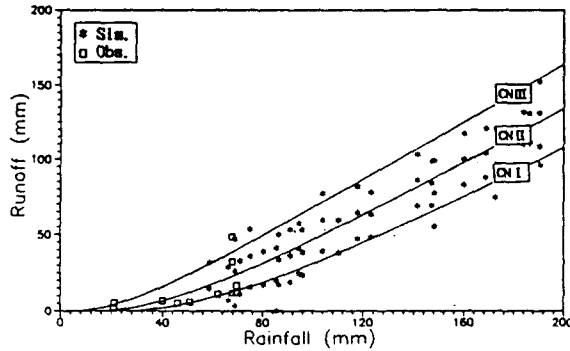


그림 5. 논벼의 유출곡선번호에 따른 강우-유출 관계

논은 담수심을 유지하는 상태임을 감안하여야 할 것이며, 비록 토양통 등의 분류상 투수성에 차이가 있는 경우라도 장기간의 담수재배로 인해 침투량이 감소하는 토양 특성을 갖고 있으며, 영농관리상 사양토와 같이 배수가 잘되는 논벼의 경우는 객토 등을 통해서 개답을 하거나, 그 밖의 토양개량 등을 실시하여 연 홍수량 발생시기에는 침투량의 차이로 인한 유출량의 변화를 고려할 필요성이 거의 없는 것이 현실이다.

이상에서 제시한 논벼의 유출곡선번호의 값은 NEH-4에서 제시한 줄파 작물의 등고선 재배시 수문학적 토양군 B의 CN_{II} 의 값인 79와 등고선 테라스의 경우인 74와 유사한 값이다. 그러나, NEH-4의 AMC I, III등의 값은 79일 때 62 및 92, 74일 때 55, 88 등의 값으로 본 연구에서 제안한 69, 88 등보다 약간 큰 폭의 값을 갖음을 알 수 있었다.

5. 요약 및 결론

소유역의 홍수유출 계산에 널리 이용되고 있는 유출곡선번호법의 적용에 필요한 논벼의 CN 의 결정을 목적으로, 실제 농구를 대상으로 경구의 물수지 요소를 측정하여 강우-유출량의 관계로부터 선행토양함수조건에 해당하는 CN_I, CN_{II}, CN_{III} 등의 값을 정의하였다. 또한, 장기간의 강우자료에 대한 CN 값의 조정 등을 위해 물수지 모형을 구성하고, 포장자료와 비교 검증하였으며, 포장자료를 근거로 하여 모형을 이용하여 CN 값을 추정하여 비교하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 경구의 강우시 배수량 자료를 이용하여 유출곡선번호를 추정한 결과, CN_I 은 63, CN_{II} 는 78, CN_{III} 는 88 등이었다.

② 논벼 생육시기별 경구별 물고높이와 초기 담수심 등의 확률분포함수를 정하고, 초과확률 10%, 50%, 90%의 값을 구하여 AMC I, II, III 등의 조건으로 적용하였다.

③ 생육시기별 물고높이와 초기 담수심 등을 고려하여 수원지방의 1964-87년의 일 강수량 자료로부터 물수지 모형을 적용하여 CN 값을 추정한 결과 CN_I 은 69, CN_{II} 는 78, CN_{III} 는 88 등의 값으로 경구의 자료에 의한 결과와 유사한 값이었다.