

논의 유출곡선번호 추정

Estimating Runoff Curve Numbers for Paddy Fields

임 상 준* · 박 승 우**

Im, Sang Jun · Park, Seung Woo

Abstract

This study involves field monitoring of hydrologic characteristics of paddy fields under common irrigation practice, statistical analysis of maximum retention storage, determination of CNs for antecedent moisture conditions. Curve numbers were estimated from observed rainfall-runoff relationship of two years data. The estimated CN for AMC-II was 78, and the CNs for AMC-I and II were 63 and 88, respectively. A water balance model was used to find the effect of ridge height changes and initial ponding depth in paddy fields on runoff. The probability distribution of initial ponding depth was also investigated. The initial ponding depth follows normal probability distribution. Initial ponding depth corresponding 10%, 50%, and 90% probability were considered to be equivalent to AMC-I, AMC-II, and AMC-III, respectively. Long-term runoff data from paddy fields were simulated by a water balance model using recorded climate data, ridge height and estimated initial ponding depth derived from probability distribution. The estimated CNs using simulated runoff were 70, 79, and 89 for CN-I, CN-II, and CN-III, respectively.

요 지

논에서의 수문 특성을 현장 조사 및 측정하고, 강우-유출 자료로부터 논 최대 잠재저류량의 확률적 특성을 분석하여, 선행강우조건에 따른 CN을 추정하였다. 추정된 CN은 AMC II의 경우 78이었으며, AMC-I, III의 경우에는 각각 63, 88이었다. 논 강우-유출자료에 의한 CN은 년 홍수량 자료의 적용여부가 불확실하므로 이를 보완하고, 물고높이나 초기담수심의 영향을 구체적으로 구명하기 위하여 논 물수지 모형을 구성하였다. 논 유출량은 선행 강우뿐 아니라 초기담수심에 따라 변화하므로 최대 잠재저류량을 이용하여 CN을 결정하기에는 어려움이 따른다. 따라서, 최대 잠재저류량의 경우와 같이 담수심의 확률분포함수를 이용하여 CN을 추정하였다. 담수심의 확률분포는 정규분포함수를 이루고 있으며, 이로 부터 10%, 50%, 90% 확률 담수심을 추정하였다. 물수지 모형을 이용하여 확률담수심, 물고높이 및 기상자료로부터 논 유출량을 추정하였다. 추정된 유출량으로부터 CN을 계산하고, 확률 담수심에 해당하는 CN-I, CN-II, CN-III를 결정하였으며, 그 값은 각각 70, 79, 89이었다.

Keywords : CN, AMC, water balance model, ponding depth.

* 서울대학교 대학원 농공학과 박사 과정

** 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 교수

1. 서 론

설계 강우량으로부터 홍수량을 추정하는 방법으로 SCS(US Soil Conservation Service) 유출곡선번호법이 널리 이용되고 있다(윤태훈, 1991). 유출곡선번호법은 토양, 식생피복상태, 선행수분조건 등에 따라 수문단위의 유출곡선번호(runoff curve number, CN)를 결정하고, 저류매개변수를 구하여 강우-유출 관계로부터 유효우량 또는 직접 유출고를 산정한다(SCS, 1972).

SCS의 CN은 미국의 농업구역 중 수문학적 토양, 식생피복형이 균질한 소유역의 연 홍수량 관측치의 평균적인 강우-유출관계로부터 결정된 0~100 범위의 값을 갖는 경험적인 지수이다(SCS, 1972). CN은 수문학적 토양-식생피복형이 동일한 경우도 경종 방법, 수문학적 조건 등에 따라 변화하며, 유역의 침투손실 등의 경험적인 관계를 나타내고 있다. 미계측 유역의 유출량의 추정에 있어서 유출곡선번호법의 적용성이 높은 것은 CN의 추정을 통하여 유역의 수문특성을 적절히 표시할 수 있는 까닭이다.

유출곡선번호법을 우리나라의 미계측 유역에 적용하기 위해서는 유역의 CN을 정확히 추정해야 할 것이다. 그러나, SCS에서는 밭, 초지, 경사지 등의 토지이용상태에 대한 CN은 주어지지 있으나, 논이나 산림의 경우에는 적절한 값이 주어지지 않다. 흔히, 논은 CN으로 출과 또는 곡류 작물 등의 경우를 적용하는 데, 이들은 미국 중서부의 밭 작물의 경우로서, 논은 수문학적 특성과는 상이한 것이 사실이다. 즉, 밭의 유효우량은 침투손실에 의하여 지배되며, 선행토양수분조건 등을 고려해야 하는 데, 논은 경우는 담수 상태이므로 물고높이 등에 의하여 좌우된다(정하우와 박승우, 1987). 따라서, 유출곡선번호법의 적용을 위해서는 논은 CN에 대한 추정이 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 논은 CN을 이론적, 실험적 방법에 의하여 결정하고, 그 결과를 현장 자료 등과 비교 분석하여 적용성을 검토하였다.

2. 유출곡선번호법

설계 강우량에 대한 유역의 직접 유출량이나 유효우량의 결정을 위한 유출곡선번호법 또는 CN법은 1954년 USDA의 SCS에 의해 개발되었다(Ponce와 Hawkins, 1996). CN법의 주요 내용은 Rallison과 Miller(1982), Hjelmfelt(1991), 그리고 윤태훈(1991) 등에 의해 소개되었다. Ponce와 Hawkins(1996)은 CN

법의 이론적 고찰과 함께 역사적 발전과정, 주요 가정 및 CN의 추정 방법 등에 대하여 논의하였으며, 앞으로의 적용 가능성과 CN법의 장단점에 대하여 살펴보았다.

유출곡선번호법에 의한 직접 유출량은 아래의 식으로부터 계산된다.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (1)$$

여기서, P 는 누가강우량, S 는 차단, 지면저류, 침투 등에 의한 최대 잠재저류량, Q 는 누가 유출량이다.

한편, 최대 잠재저류량을 표시하는 지수로서 유출곡선번호 CN을 식 (2)와 같이 정의하였다.

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

식(2)에서 최대 잠재저류량, S 는 mm로 나타내어진다. 일반적으로 CN이 결정되면, 식 (2)로부터 최대 잠재저류량 S 를 구하여, 식 (1)로부터 직접유출량 Q 를 결정할 수 있다. 따라서, CN의 정확한 추정이 유역의 유출량 계산에 있어서 중요한 요소임을 알 수 있다.

CN은 다음의 두 가지 방법을 적용하여 결정할 수 있다. 즉, ① 수문학적 토양군과 토지 이용, 경종 및 처리상태, 수문학적 조건 등에 따라 SCS의 National Engineering Handbook, Section 4 (NEH-4)의 기준치로부터 평균 CN을 구하고, 선행강우에 따라 보정하는 방법, ② 강우-유출자료로부터 CN을 추정하는 방법 등이다. 또한, 강우-유출자료에 의한 CN의 결정 방법은 대상 유역의 규모나 자료 구득 방법 등에 따라 ① 강우 침투계에 의한 방법, ② 유출시험포의 자료에 의한 방법(Yoo 등, 1993), ③ 유역의 강우-유출자료에 의한 방법(Hjelmfelt 등, 1982) 등으로 구분할 수 있다.

강우-유출자료에 의한 방법은 최대 잠재저류량, S 를 아래의 식을 이용하여 계산하고, 식 (2)로부터 CN을 구하는 것이다.

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

식 (3)에서 이용되고 있는 강우량 및 유출량 자료는 연 홍수량 자료와 그에 해당하는 유출량 자료를 의미한다. 연 홍수량 자료를 이용할 경우, 강우량과 유출량의 재현기간이 서로 다르고, 장기간에 대한 강우-유출자료가 부족하므로, 유역의 경우에는 일반적으로 자료의 통계적 특성을 이용하여 CN을 계산한다(Ponce와 Hawkins, 1996). Hjelmfelt 등(1982)은 S 의 분포는 대수정규확률분포를 보인다고 하였는데, 이와 같은 사실은 Hauser와 Jones(1991), Ritter와 Gardner(1991)

등의 자료에서도 동일한 결과가 관찰되었다. 따라서, 이들은 S의 대수정규분포함수의 평균값을 AMC-II로 하고, 10%의 값을 AMC-I, 90%의 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 등, 1985).

3. 강우-유출자료에 의한 유출곡선번호

3.1 재료 및 방법

논의 CN을 결정하기 위해, 그림 1과 같이 경기도 안산시 반월동 소재 반월저수지 몽리구역내의 일부 논을 대상으로 실제 농민들이 경작하는 상태에서 1986~87년의 2개년 동안 일별 관배수 상황을 측정하였다. 용수지거로부터 유입되는 유량은 그림 2와 같이 유입부에 cut-throat flume를 설치하고, 그 수위를 자기수위계를 이용하여 측정하였으며, 유출량도 같은 방법으로 측정하였다.

또한, 논에는 이랑 직후에 간이 수위측정기를 설치하여, 일별 담수위를 측정하였으며, 침투량계로부터 일별 침투량을 구하였다. 논벼의 증발산량은 대상지구로부터 8km 거리의 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농장에서 라이시미터법을 이용하여 측정하였다.

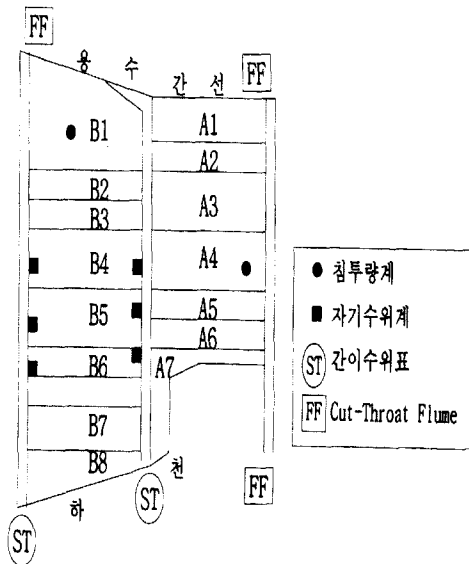


그림 1. 대상지구의 모식도



그림 2. 유입수로의 유량 측정

3.2 결과 및 고찰

표 1은 대상지구의 1986~87년의 일별 강우량과 유출량의 측정자료 중 P/S가 0.46 이상의 강우에 대한 CN의 계산 결과를 보여주고 있다. 논을 CN을 결정하기 위하여 대상기간 중 강우량과 유출량 자료로부터 식 (3)을 이용하여 최대 잠재저류량을 계산하였으며, 이로부터 CN을 추정하였다. 계산된 최대 잠재저류량은 표 1과 같이 20~121mm의 범위를 보였으며, CN은 최소값이 68이었으며, 최대값은 93으로서, 평균 76이었다.

표 1. 강우-유출량 자료에 의한 논을 CN 계산 결과

시 간	강우량, P(mm)	유출량, 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

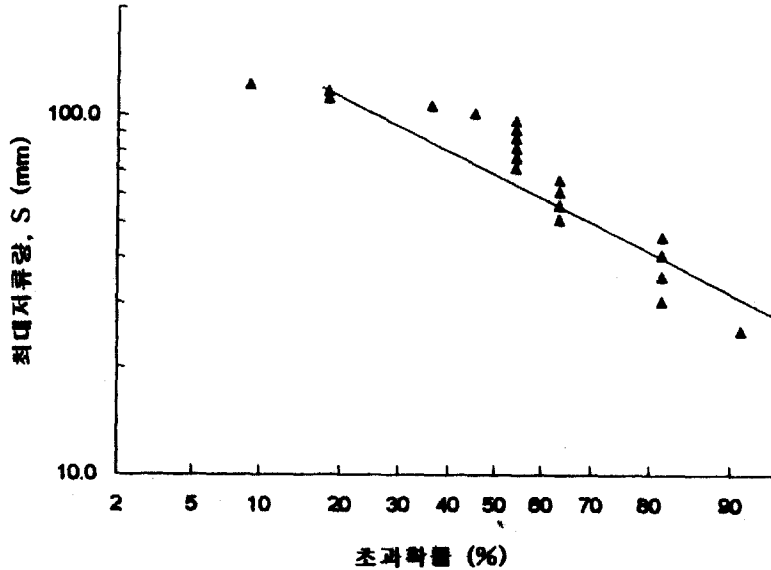


그림 3. 최대 잠재저류량, S의 대수정규분포함수

유역의 강우-유출 자료에 의한 CN은 실측 자료로부터 계산된 최대 잠재저류량의 확률분포함수를 이용하여, 10, 50 및 90% 확률의 최대 잠재저류량을 구하고, 이로부터 AMC 조건에 따른 CN을 추정한다. 따라서, 논의 강우-유출 자료에 의한 CN을 결정하기 위하여 최대잠재저류량의 확률분포함수를 결정하였다. 최대잠재저류량 S는 각 확률분포함수에 대하여 상당한 변화를 나타냈으나, χ^2 검정 결과, 대수정규분포함수에 대하여 5% 유의수준에서 적합성이 인정되었다. 그림 3은 대수정규분포함수에 대한 최대 잠재저류량 S의 확률분포를 보여주고 있다. 논의 최대 잠재저류량 변화도 유역의 경우와 마찬가지로 대수정규분포함수를 적용할 수 있음을 의미하는 것으로 생각되었다. 확률분포함수로부터 10, 50, 90% 확률에 해당하는 최대 잠재저류량을 구하였으며, 그 값은 각각 146.6, 70.1, 33.6mm이었다. 이상의 결과를 식 (2)에 대입하여 10, 50, 90% 확률, 혹은 AMC-I, II, III의 경우에 대한 논의 CN은 63, 78, 88 등으로 추정되었다.

4. 물수지모형에 의한 유출곡선번호

4.1 물수지 모형

논에서의 정밀한 일별 물수지 측정결과로부터 얻은 CN은 표 1에서와 같이 2개년의 한정된 자료로서 연 강수량 등의 적용여부가 불확실하므로, 이를 보완하고,

초기 담수심 등의 영향을 보다 구체적으로 구명하기 위하여 논에서의 일별 물수지를 추정할 수 있는 모형을 구성하도록 하였다.

물수지 모형은 그림 4와 같이 1개의 논을 대상으로 하여 일별 담수심을 추정하고, 강우시 배수지거로부터 유출되는 양을 추정하도록 하였다. 논의 물수지의 기본 식은 다음과 같다.

$$W_t = W_{t-1} + I_t + P_t - (D_t + ET_t + F_t) \quad (4)$$

여기서, W 는 일평균 담수심, I 는 관개수량, P 는 강우량, D 는 유출량, ET 는 증발산량, 그리고 F 는 침투량

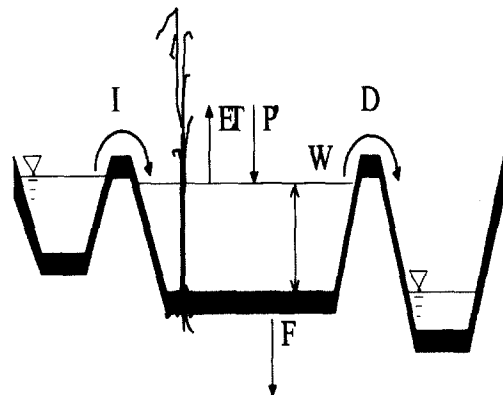


그림 4. 논의 물수지모형 모식도

표 2. 물수지모형의 적용 결과

시 간	강우량 (mm)	물고높이 (mm)	담수심 (mm)	유출량 (mm)	
				실측	추정
7/18/86	13.7	54	49.3	3.2	1.0
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

이다. 첨자 t 는 t 일을 나타낸다. 한편, 담수심 W 는 물고높이 이상이 될 수 없으며, 물고높이 이상의 양은 전부 배수된다. 즉

$$D_t = D_t \quad \text{if } W_t \leq H_t \quad (5)$$

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

그리고,

$$W_t = H_t \quad \text{if } W_t > H_t \quad (7)$$

여기서, H 는 물고높이이다.

물수지 모형을 이용하여 일별 유출량을 추정하고, 그 결과를 측정치와 비교하여 표 2를 얻었다. 표 2와 같이 모형의 추정결과는 초기담수심과 물고높이에 따라서 정확도가 좌우되는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과에도 불구하고 추정치와 실측치의 상관계수는 0.982로 잘 일치하였다.

4.2 담수심

물수지 모형을 이용하여 입력변수에 따른 유출량의 변화 등을 검토한 결과, 유출량은 물고높이, 초기 담수심 등에 따라 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 담수심과 물고높이는 인위적인 조작에 따라 좌우되는 변수로서, 관행 영농방법에서는 생육시기에 따라 조절한다.

담수심은 반월, 이천 및 발안 3개지구의 실측 담수심 자료를 이용하였다. 반월지구는 1986~1988년의 26개의 논에 대한 실측 자료이며, 이천지구는 1995년의 52개, 발안지구는 1996년의 70개 논의 실측 담수심 자료이다. 순별 평균담수심은 연도별, 지구별로 차이를 보였으나, 그림 5에서와 같이 이양 직후 활착기와 8월 중하순의 출수기 등에서는 비교적 큰 담수심을 나타내었고, 중간낙수기인 7월 상순 및 그 전후는 상대적으로 작은 값을 보였다.

앞에서 살펴본 바와 같이, 논 의 경우에는 선행강우조건에 따른 최대 잠재저류량을 이용하여 CN을 결정하기에는 어려움이 따른다. 논 의 유출량은 선행강우뿐만 아니라 물고높이와 초기담수심에 따라 변화하며, 최대 잠재저류량도 물고높이와 담수심에 의하여 결정되기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 최대 잠재저류량의 경우와 같이 담수심의 확률분포함수를 이용하여 CN-I, CN-II, CN-III를 추정하도록 하였다.

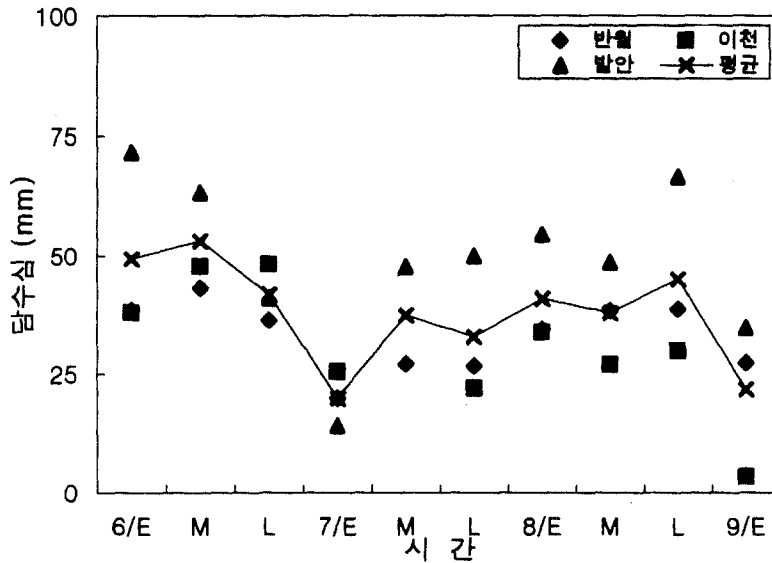


그림 5. 시기별 논의 담수심 변화

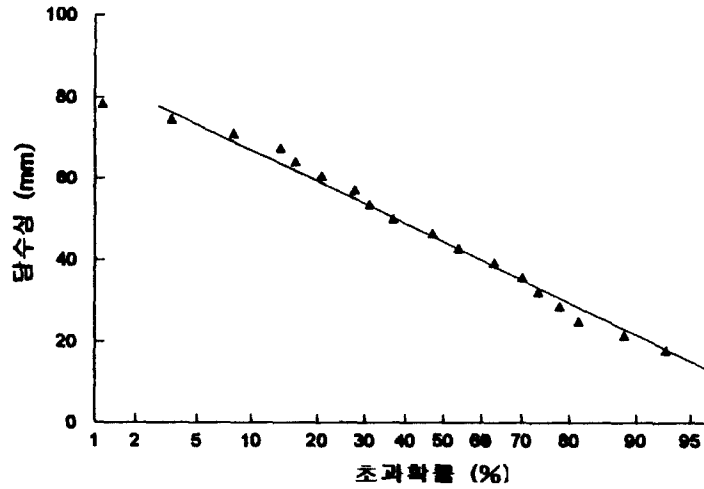


그림 6. 담수심의 정규확률분포함수 (6월 중순)

표 3. 논외의 시기별 확률담수심 (mm)

확률 (%)	6월			7월			8월			9월
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상
10	13.8	21.8	14.1	3.2	7.2	7.8	10.4	13.0	12.5	0.0
50	40.5	44.4	37.1	19.9	28.1	27.4	35.2	38.2	39.7	27.1
90	67.2	67.0	60.1	36.7	49.1	47.1	60.0	63.3	66.9	54.4

일별 담수심 자료를 이용하여 순별 평균담수심의 확률 분포함수를 분석한 결과, 시기별, 지구별로 차이를 보였으나 χ^2 검정 결과, 생육기간을 통하여 정규분포함수에 대하여 5% 유의수준에서 적합성이 인정되었다.

그림 6은 6월 중순의 담수심 자료에 대한 정규분포함수의 확률분포를 보여주고 있다. 이로부터 생육시기별 초과확률에 해당하는 담수심을 추정할 수 있으며, 그 결과는 표 3과 같다. 여기서, 정규분포함수의 10, 50, 90% 확률에 해당하는 담수심을 논외의 AMC-I, II, III의 경우로 적용할 수 있을 것으로 생각되었다.

4.3 물고높이

물고높이는 생육시기 및 영농방식에 따라 변화하는 것으로, 논외의 물수지에 있어서 중요한 인자이다. 물고높이 자료를 얻기 위하여 발안 및 기전저수지의 관개지구내에 70개의 논외를 선정하여, 7개의 관개단위로 구분하였다. 그림 7은 물고높이 측정기를 이용하여 물고높이를 측정하는 장면이다.



그림 7. 물고높이의 측정

대상지구의 시기별 물고높이 변화는 그림 8과 같다. 그림 8은 대상지구를 7개의 관개단위로 구분하여 각 관개단위별 물고높이 자료를 평균하여 표시한 것으로, 담수를 위하여 대체적으로 물고높이를 높게 유지하고 있으며, 이랑 직후에 80.9mm로 상대적으로 높고 중간단수기인 7월 상순에 34.6mm로 낮게 나타났다.

5. 논외의 유출곡선번호

논외의 물수지 모형으로부터 수원지방의 1964~87년의 기상자료를 이용하여 논외의 일별 유출량을 추정하였다. 표 4는 $P/S \geq 0.46$ 인 큰 강우에 대한 논외의 생육단계별 유출곡선번호의 추정 값을 제시하고 있다. CN-I의

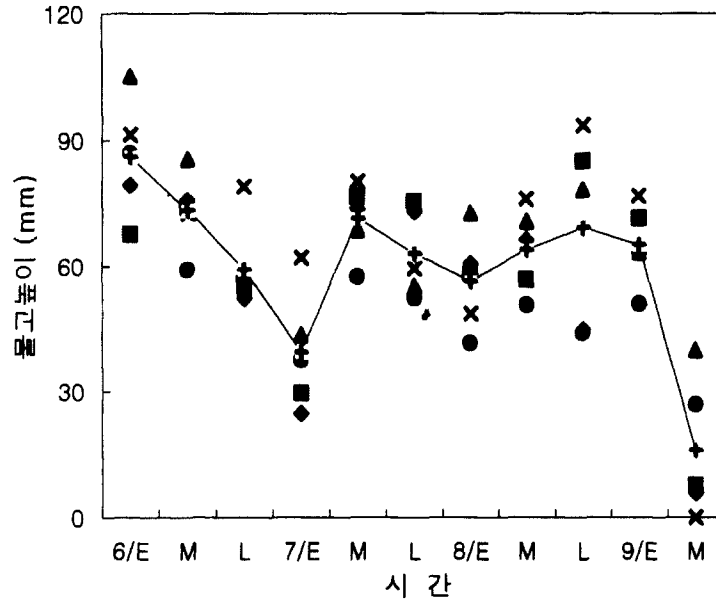


그림 8. 논외 시기별 물고높이의 변화

표 4. 물수지모형에 의한 논외 CN의 계산 결과

시 간	물고높이 (mm)	확률담수심 (mm)			CN			
		10%	50%	90%	I	II	III	
6	상	80.9	13.8	40.5	67.2	-	-	84
	중	74.0	21.8	44.4	67.0	71	78	91
	하	57.3	14.1	37.1	60.1	76	83	94
7	상	34.6	3.2	19.9	36.7	78	84	92
	중	72.9	7.2	28.1	49.1	64	73	83
	하	67.2	7.8	27.4	47.1	69	78	88
8	상	57.7	10.4	35.2	60.0	70	83	91
	중	63.4	13.0	38.2	63.3	69	81	94
	하	67.2	12.5	39.7	66.9	69	79	91
9	상	66.1	0.0	27.1	54.4	65	75	89
평균					70	79	89	

경우는 64~77의 범위로 평균 70이었으며, CN-II는 72~84의 범위로서 평균은 79, CN-III는 83~94의 범위로서 평균 89로 제안되었다.

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

추정된 평균 CN을 이용하여 논외 강우-유출 관계를 도시하면 그림 9와 같다. 그림 9에는 물수지 모형에 의한 유출량 자료와 실측 유출량 자료를 함께 나타내었다.

한편, 이상의 대상지구의 유출량 자료 및 물수지모형의 결과에 의한 유출곡선번호의 값을 비교하면 표 5와 같다. 표 5에서는 실측 강우-유출량 자료에 의한 CN과 물수지 모형의 계산 결과에서 1965~87의 전기간 자료, P/S의 비가 0.46이상의 경우, 그리고, 연 홍수량 자료 등을 구분하여 제시하였다. 한편, NEH-4의 경우, 수문학적 토양군 A,B,C,D 등에 따른 CN의 변화는 논외 경우에는 적용되지 않음을 알 수 있었다. 연 홍수량은 보통 논벼의 생육시기인 7~9월 중에 발생되며, 이 기간중의 논외는 담수상태를 유지하고 있다. 또한, 토양 분류상 투수성에 차이가 있는 경우라도 장기간의 담수 재배로 인하여 침투량이 일정하게 되며, 영농관리상 사양토와 같이 배수가 잘되는 논외의 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 줄과 작물의 등고선 재배시 수문학적 토양군 B의 CN-II의 값인 79와 등고선 테라스의 경우인 74와 유사한 값이다. 그러나, NEH-4의 AMC-I, III등의 값은 79일 때 62 및 92, 74일 때 55,

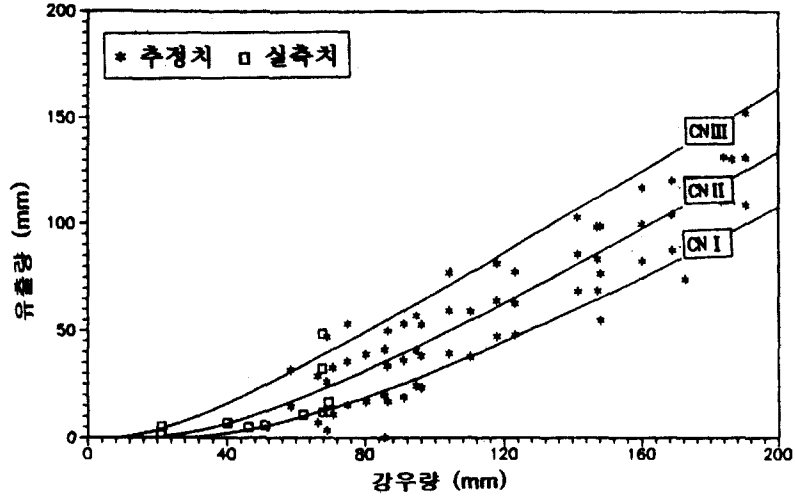


그림 9. 논 의 실측 및 추정 유출량 비교

표 5. 논 의 유출곡선번호 추정 결과

구 분	CN			비 고
	I	II	III	
강우-유출량 자료	63	78	88	$P/S \geq 0.46$
물수지모형에 의한 결과	66	76	88	전체 자료
	70	79	89	$P/S \geq 0.46$
	70	77	86	년홍수량 자료

88 등의 값으로 본 연구에서 제안한 70, 89 등보다 약간 큰 변화폭을 가지고 있음을 알 수 있었다.

6. 결 론

소유역의 홍수유출 계산에 널리 이용되고 있는 유출곡선번호법의 적용에 필요한 논 의 CN을 결정하기 위하여 대상지구에 대하여 논 의 물수지 요소를 측정하였으며, 강우-유출량의 관계로부터 선행함수조건에 해당하는 CN-I, CN-II, CN-III 등을 정의하였다. 또한, 장기간의 강우자료로부터 CN을 추정하기 위해 물수지모형을 구성하고, 실측 자료와 비교하였으며, 이로부터 논 의 CN을 추정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 논 의 유출량 자료를 이용하여 유출곡선번호를 추정한 결과, CN-I은 63, CN-II는 78, CN-III는 88 등이었다.

(2) 물수지모형을 구성하여, 초기담수심과 물고높이

에 따른 논 의 유출량을 모의발생하였으며 실측자료와 비교하여 적용성을 검토하였다.

(3) 생육시기별 물고높이를 조사하고 담수심의 확률분포함수를 결정하였으며, 초과확률 10%, 50%, 90%의 담수심을 구하여 AMC-I, II, III 등의 조건으로 적용하였다.

(4) 수원지방의 1964~87년의 일 강수량 자료로부터 물수지모형을 적용하여 CN을 추정한 결과 CN-I은 70, CN-II는 79, CN-III는 89 등의 값으로 대상지구의 강우-유출자료에 의한 결과와 유사한 값이었다.

감 사 의 글

본 연구는 1995년도 한국과학재단 연구비 지원(과제번호 : KOSEF 951-0601-002-2)에 의한 결과로서 지원당국에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 윤태훈 (1991). "유호우량산정을 위한 곡선번호방법의 적용성." 한국수문학회지, 제24권, 제2호, pp. 97-108.
- 정하우, 박승우 (1987). 저수지 물관리 연구(III). 농림수산부, 농업진흥공사, 서울대학 교 농과대학 부속 농업개발연구소.
- Hauser, V.L. and Jones, O.R. (1991). "Runoff curve numbers for the southern high plains." *Trans., ASAE*, Vol. 34, No. 1, pp. 142-148.

- Hawkins, R.H., Hjelmfelt, A.T. and Zevenbergen, A.W. (1985). "Runoff probability, storm depth, and curve numbers." *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, Vol. 111, No. 4, pp. 330-340.
- Hjelmfelt, A.T., Kramer, L.A. and Burwell, R.E. (1982). "Curve numbers as random variables." *Rainfall-Runoff Relationship*, WRP, Littleton, Colo., pp. 365-370.
- Hjelmfelt, A.T. (1991). "Investigation of curve number procedure." *J. Hydr. Div.*, ASCE, Vol. 117, No. 6, pp. 725-737.
- Ponce, V.M. and Hawkins, R.H. (1996). "Runoff curve number: Has it reached maturity?" *J. Hydro. Engrg.*, ASCE, Vol. 1, No. 1, pp. 11-19.
- Rallison, R.E. and Miller, N. (1982). "Past, present and future SCS runoff procedure." *Rainfall-Runoff Relationship*, WRP, Littleton, Colo., pp. 353-364.
- Ritter, J.B. and Gardner, T.W. (1991). "Runoff curve numbers for reclaimed surface mines in Pennsylvania." *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, Vol. 117, No. 5, pp. 656-666.
- SCS (1972). *National Engineering Handbook*. Section 4, Hydrology, U. S. Department of agriculture, U. S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Yoo, K.H., Yoon, K.S. and Soileau, J.M. (1993). "Runoff curve numbers determined by three methods under conventional and conservation tillages." *Trans.*, ASAE, Vol. 36, No. 1, pp. 57-63.
- 〈최종본 도착일 : 1997년 8월 1일〉