

## 논의 유출곡선번호 연구

(A study of Runoff Curve Numbers for the Paddy Field)

책임연구원 : 박 승 우

(서울대학교 농공학과, 교수)

연 구 원 : 임 상 준

(서울대학교 농공학과, 박사과정)

서 영 제

(농어촌진흥공사 조사설계처, 과장)



## 1. 서론

설계강우량을 이용하여 홍수량을 추정하는 방법으로 SCS(U.S. Soil Conservation Service)의 유효우량법이 널리 이용되고 있다(윤, 1991). SCS방법은 토양, 식생의 피복상태, 토양의 선행수분조건 등에 따라 유출곡선번호(runoff curve number, CN)를 결정하고, 저류 매개변수를 구하여 강우-유출 관계로부터 유효우량 혹은 직접 유출고를 산정한다(SCS, 1972).

SCS의 유출곡선번호는 미국의 농업구역 중 수문학적 토양, 식생피복형이 동일한 소유역에 대한 연 홍수량 관측치의 평균적인 강우-유출량 관계로부터 유도된 0~100 범위의 경험적인 지수이다(SCS, 1972). CN값은 수문학적 토양, 식생, 그리고 피복형이 동일한 경우도 경작방법, 수문학적 조건등에 따라 다르며 유역의 침투손실등도 실측치를 통하여 계량화한 것이다. 미계측 유역에 대한 유효우량 추정에 있어 SCS방법의 적용성이 높은 것은 CN값 산정을 통하여 유역의 수문학적 특성을 적절히 나타낼 수 있기 때문이다.

SCS방법을 우리나라의 미계측 유역에 적용하기 위해서는 유역의 CN값을 정확히 산정하여야 한다. 그러나 SCS방법은 밭, 초지, 그리고 경사지등의 토지이용상태에 대한 CN값은 주어져 있으나 논이나 산림의 경우 적절한 값이 유도되어 있지 않다. 특히 논외의 CN값으로 줄파 또는 곡류 작물등의 경우를 적용하는 사례가 많은데 이것은 미국 중서부 밭 작물의 경지에서 유도된 것으로서 논외의 수문학적 특성과는 상이한 것이 사실이다. 즉 밭의 유효우량은 침투손실에 의하여 지배되며 선행토양수분조건 등을 고려해야 하는데 반하여 논외의 경우는 담수상태이므로 물꼬높이(담수심, 논둑)등에 의하여 좌우된다(정 등, 1987). 따라서 SCS방법의 적용을 위해서는 논외의 CN값 산정방법이 선행, 개발되어야 할 것이다.

본 연구의 목적은 논외의 유효우량 산정을 위한 유출곡선번호를 이론적, 실험적 방법에 의하여 결정하는 데 있다. 논외의 CN값을 SCS 유효우량법에 상응하도록 결정하고 그 결과를 시험포장 및 현장자료등과 비교 분석하여 그 적용성을

검토하였다.

## 2. 유출곡선번호법

### 2.1 유효유량

강우에 대한 유역의 유효유량 결정을 위한 유출곡선번호법, 또는 CN법은 미국 SCS의 기술편람(National Engineering Handbook) 수문편인 NEH-4를 참조할 수 있다(SCS, 1972). CN법의 주요내용은 Rallison(1980), Hjelmfelt (1991), 그리고 윤(1991)등에 의하여 소개되었다. Hjelmfelt(1991)는 CN법의 이론적 고찰과 함께 역사적 발전과정과 가정 인자등을 고찰하였으며 그 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

CN법에 대한 기본가정은 강우-유출의 다음 관계에서 출발하였다.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \quad (1)$$

여기서, F=강우의 실제저류량 (= P'-Q), S=차단, 지면저류, 침투 등에 의한 최대 잠재저류량, Q=누가유출량, 그리고 P'=누가 초과강우량(최대 잠재유출심)이며 각각의 단위는 mm이다.

식 (1)의 누가초과강우량 P'는 유출 발생전의 차단, 지면저류, 침투 등에 의한 초기 차단량을  $I_a$ 라 할때 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P' = P - I_a \quad (2)$$

여기서, P=누가 강우량이다. 따라서 (2)식을 (1)식에 대입하면 (3)식이 된다.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (3)$$

그리고 식(3)을 Q에 대하여 정리하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (4)$$

SCS(1972)에서는 식 (2)의 초기차단량  $I_a$ 와 저류량 S의 관계를 실험유역의 강

우-유출자료로 부터 식 (5)와 같이 정의하였다.

$$I_a = 0.2 S \quad (5)$$

따라서 식 (4), (5)로 부터 유출량을 유도하는 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (6)$$

한편 잠재저류량을 표시하는 유출곡선지수 CN값을 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (7)$$

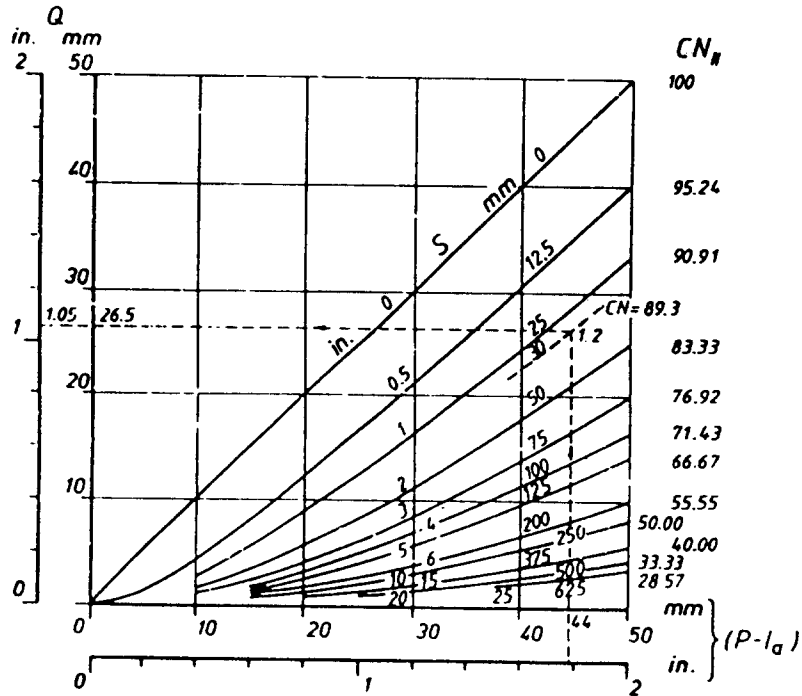
CN값이 주어진 경우, 식 (7)로 부터 잠재 저류량 S를 구하고 식 (6)을 이용하여 유효우량, 즉 유출량 Q를 산정할 수 있다. 따라서 CN값의 정확한 추정이 유역의 유효우량 해석의 관건이 됨을 알 수 있다.

## 2.2 CN값 결정법

CN값은 다음의 두 가지 방법을 적용하여 결정할 수 있다. 즉 (1) 수문학적 토양군과 토지 이용, 경작방법 및 처리상태, 수문학적 조건등에 따라 NEH-4의 기준치로 부터 평균 CN값을 구하고 선행강우에 따라 보정하는 방법이 있으며 (2) 강우-유출자료로 부터 CN값을 추정하는 방법(Fogel 등, 1980 ; 윤, 1991)이 그것이다. 수문학적 토양군과 식생피복 상태에 따른 CN값등은 수문학 교재 및 전문학술 및 기술지등에 널리 소개되어 있어 본고에서는 생략하였다.

강우-유출자료에 의한 CN의 결정 방법은 대상 유역의 규모나 자료 구득 방법 등에 따라 다시 (1)강우 침투계에 의한 방법(Schroeder, 1987), (2)유출시험포의 자료에 의한 방법(Yoo등, 1991), (3)유역의 강우-유출자료에 의한 방법등으로 구분할 수 있다. 또한, 강우-유출량 자료로 부터 CN값을 결정하는 방법에는 도식적 방법과 해석적 방법이 있다. 도식적 방법은 <그림-1>의 CN별 강우-유출의 관계를 이용하여 측정된 강우-유출량 자료들을 양분하는 곡선을 택하거나

양분하는 곡선이 없는 경우는 인접한 2개의 곡선으로 부터 보간법으로 해당 곡선의 CN값을 정할 수 있다. 이때의 CN값을 해당 수문학적 토양-식생 피복상태의 평균 CN값 혹은 CNII로 한다(SCS, 1972).



<그림-1> Relationship between total rainfall and direct runoff (AMC II)

해석적 방법은 강우-유출량 자료로 부터 식 (8)을 이용하여 S를 구한 다음 식 (7)에 대입하여 해당 폭우사상에 대한 CN값을 결정한다(윤, 1991).

$$S = 5(P + 2Q - \sqrt{4Q^2 + 5PQ}) \quad (8)$$

해석적 방법의 결과는 CN값의 변위가 상당히 큰 것이 보통인데 이는 도식적 방법과는 달리 평균값을 적용하지 않은 것에 기인한다고 볼 수 있다. 이는 유역의 유출량이 평균적인 CN값 이외에도 선행토양수분조건 (antecedent moisture content, AMC)에 따라 좌우 되기 때문이다.

NEH-4에 따르면 유역의 CN값은 AMC의 일반적인 조건 즉 AMCII 상태를 CNII로 정의하였다. 한편 선행토양수분이 충분히 건조한 상태를 AMCI, 습윤상태를 AMCIII로 하여 각각에 대응하는 CN값을 CNI, CNIII등으로 정의하고 있다.

해석적 방법에 따라 CN값을 결정하기 위한 AMC의 구분에는 여러가지 방법이 제안되고 있다. Hjelmfelt등(1982)은 식 (8)의 S값 분포는 대수정규확률분포를 나타낸다고 하였는데 이와같은 사실은 Hauser와 Jones(1991), Ritter-Gardner(1991)등의 연구에서도 동일한 결과가 관찰되었다. 따라서 이들은 S의 대수정규분포함수 평균값을 AMCII로 하고, 10%의 값을 AMCI, 90%의 값을 AMCIII로 정의하고 있다. 그러나 S값이 폭우사상의 규모에 따라 변화하므로 다음과 같은 방법에 의하여 유역의 CN값을 정하는 방법을 제안하고 있다 (Hawkins, 1985).

- ① 강우-유출자료를 최대치로 부터 크기 순으로 정리하여 최대 강우량의 폭우사상에 대한 S값과 CN값을 정하고
- ②  $P/S > 0.46$ 인 지를 검토하고
- ③ 만약  $P/S > 0.46$ 이면 다음 폭우사상의 값을 사용하여 S를 구하고 앞의 값과의 평균을 구하여 이를 유역의 S값으로 하며
- ④ 또 ②,③항에 대한 검토를 반복하여 해당되는 폭우사상에 대한 값을 구하여 그 결과를 평균 S값으로 한다.

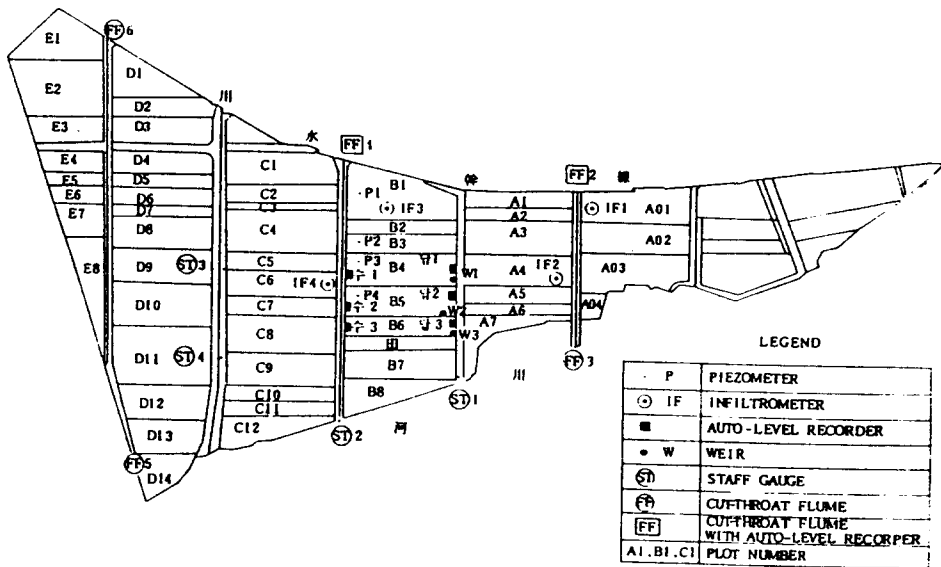
### 3. 시범지구 논외 유출곡선번호

#### 3.1 재료 및 방법

논외 CN값을 결정하기 위하여 경기도 안성시 반월동 소재 반월저수지 하류의 물리구역의 일부 수개의 논 필지를 대상으로 실제 농민들이 경작하는 상태에서 1986, 87년의 2개년 동안 일별 관배수 상황을 측정하였다(정 등, 1986,

1987). <그림-2>는 시범지구의 논 구역 대한 필지 현황을 나타낸 것이다. 각 필지별 용수지거로 유입되는 수량은 유입부에 cut-throat flume을 설치하여 수위는 자기수위계로 측정하고 수위-유량 곡선을 이용하여 일별 관개수량을 산정하였다. 또한 배수지거의 말단에서도 동일한 방법으로 배수량을 측정하였다.

시험대상 논외의 각 구역에는 이양 직후 표척을 설치하여 일별 담수위를 목측하고 평균 지반고를 측정하여 일별 담수심을 얻었다. 또한, <그림-2>에서와 같이 3개의 논 필지에서 유입량과 배수량을 측정할 수 있도록 용수구와 배수구 사이에 구형 웨어를 설치하고 각 웨어의 전면에 유량 개폐장치를 설치하여 농민들의 협조를 얻어 이들 측정장치를 통해 관배수 상황을 조절 하도록 하였으며 각 웨어의 전면에는 50x50cm의 정수조에 자기 수위계를 설치하여 수위를 측정하고 수위-유량 관계식으로 부터 일별 관개수량 및 배수량을 각각 측정하였다.



<그림-2> Location map of the study area



또한 시험지구 부근에 자기 우량계를 설치하여 일 강수량을 측정하였으며 4 곳에 설치된 침투량계를 이용하여 일별 침투량을 구하였다. 논벼의 증발산량은 시험지구에서 8Km 거리에 있는 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농장에서 라이시메터를 이용하여 측정하였다.

### 3.2 결과 및 고찰

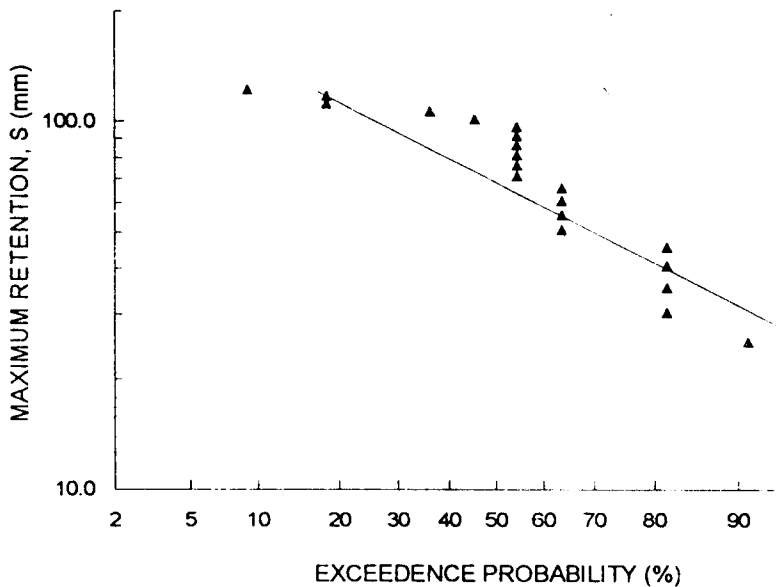
<표-1>은 시험 지구의 일별 강우량과 배수량 측정 자료 중 P/S의 비가 0.46이상 폭우사상에 대한 CN값 계산결과를 나타낸 것이다. 계산된 CN값은 68~93의 범위를 보였으며 그 평균값은 76으로 나타났다. 따라서 상기 표에서 CN값의 변화는 초기 담수심, 물꼬 조절높이 등에 따른 차이로 추정할 수 있다.

<표-1> Rainfall, runoff, maximum retention and curve numbers for paddy field in Banweol

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

그리고 상기 실험자료를 이용하여 논벼의 CN값을 정하기 위하여 최대저류량 S 의 확률분포함수를 결정하였다. 폭우사상별 최대저류량 S는 각 확률분포함수에

대하여 상당한 변화를 나타냈으나,  $\chi^2$  검정 결과 대수정규분포함수에 대하여 5% 유의수준에서 그 적합성이 인정되었다. <그림-3>은 대수정규분포함수에 대한 최대저류량 S의 적용 결과를 보여주고 있다. 논외 최대저류량 변화도 앞서 고찰한 바와 같이 일반구역의 경우도 대수정규 분포함수를 적용할 수 있는 것으로 사료되었다 (Hjelmfelt 등, 1991).

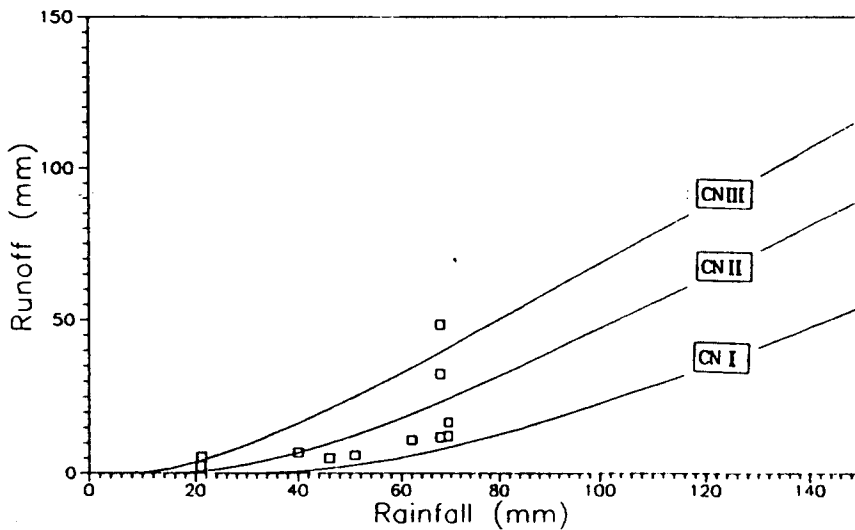


<그림-3> Exceedence probability distribution of maximum retention, S for paddy field in Banweol

<그림-3>의 결과로 부터, 확률 10, 50, 90%에 해당하는 최대저류량 S의 값은 각각 33.6, 70.1, 146.6 mm 등이었다. 이상의 결과를 식 (7)에 대입하여 10, 50, 90% 확률, 혹은 AMC I, II, III의 경우에 대한 논외 CN 값은 63, 78, 88 등으로 추정되었다.

<그림-4>는 추정된 논외 CN 값을 이용하여 NEH-4 방법에 따라 논외 강우-유출 관계를 도식적으로 나타낸 것이며 실측된 강우-유출 자료도 함께 나타내

었다. 일반적으로 논에 대한 AMC의 결정은 일반유역과 같이 5일 선행강우량과는 무관하다. 이는 관개 등으로 인하여 일정한 담수심을 갖는 상태에서 폭우사상이 발생하므로 선행강우량을 이용하여 폭우사상별 유출량의 변화를 나타낼 수 없기 때문이다.



<그림-4> Observed rainfall-runoff events for the paddy field with runoff curve numbers in Banweol

#### 4. 물수지모형에 의한 유출곡선번호

##### 4.1 물수지 모형

논에서 정밀한 일별 물수지 측정결과로부터 얻은 CN값은 <표-1>에서와 같이 2개년의 제한된 자료로서 연 강수량 등의 적용여부가 불확실하다. 이를 보

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

물수지 모형은 <그림-5>와 같은 모식도로 부터 1개의 논 필지를 대상으로 하는 일별 담수심을 추정하고, 폭우시 하나의 필지에 해당하는 배수지거로 부터 유출되는 양을 추정하도록 하였다. 논 의 물수지 기본식은 다음과 같다.

$$W_t = W_{t-1} + I_t + P_t - (D_t + ET_t + F_t) \quad (9)$$

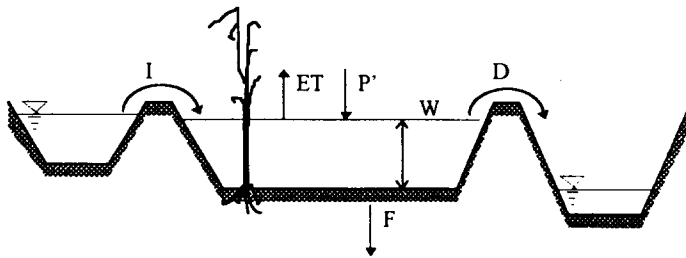
여기서, W=일평균 담수심, I=관개수량, D=배수량, ET=증발산량, 그리고 F=침투량이다. 첨자 t는 t일을 나타내고 있다. 한편 담수심 W는 물꼬높이 이상이 될 수 없으며 물꼬높이 이상의 양은 전량 배수된다. 즉

$$D_t = D_t \text{ if } W_t \leq H_t \quad (10)$$

$$D_t = D_t + (W_t - H_t) \text{ if } W_t > H_t \quad (11)$$

$$W_t = H_t \text{ if } W_t > H_t \quad (12)$$

여기서 H=물고높이이다.



<그림-5> Water balance components in a paddy field

식 (9)~(12)을 이용하여 논 의 일별 담수심 및 배수량을 구할 수 있는 물수지 모형을 개발하였으며 식 (8)의 증발산량 ET는 Penman식을 적용하여 일별 기상

자료를 이용, 잠재증발산량을 구하고 논벼의 생육기간별 작물계수를 곱하여 추정하였다.

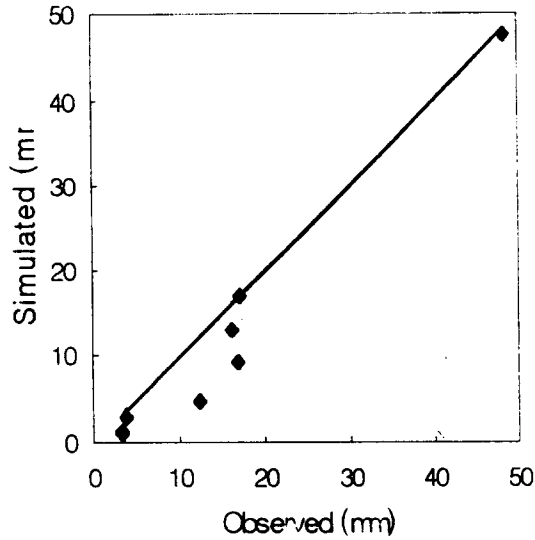
물수지 모형을 이용하여 일별 배수량을 추정하고 그 결과를 측정치와 비교하여 <표-2>를 얻었으며 이를 도식적으로 표시하면 <그림-6>과 같다. <표-2>에서 보는바와 같이 모형의 추정결과는 물꼬높이에 따라 정확도가 좌우되는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과에도 불구하고 추정치와 실측치의 상관계수는 0.982로 잘 일치하였다.

<표-2> Comparison of observed runoff with simulated runoff

Date	Rainfall (mm)	Ridge Height(mm)	Ponding Depth(mm)	Runoff (mm)	
				Obs.	Sim.
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

#### 4.2 담수심

물수지 모형을 이용하여 모형의 입력변수에 따른 배수량의 변화 등을 검토한 결과, 배수량은 물꼬높이, 초기 담수심 등에 따라 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 물꼬높이는 인위적인 조작에 따라 좌우되는 변수이고 관행 영농방법에서는 생육시기에 따라 담수심을 조절하는 것이 관행이므로 현장자료를 적용해야 한다.

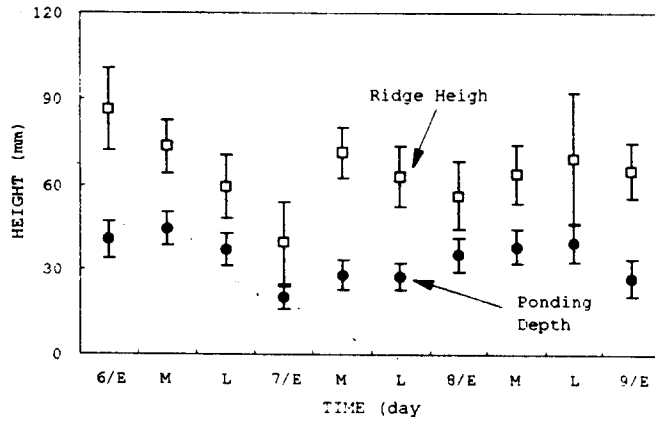


<그림-6> Observed and simulated runoff for paddy field in Banweol

담수심 자료는 <표-3>과 같이 반월, 이천 및 발안 3개지구의 실측 담수심 자료를 이용하였다. 순별 평균담수심은 연도별, 지구별로 차이를 보였으나 <표-3>에서와 같이 이양직후 활착기와 8월 중·하순의 출수기 등에서는 비교적 큰 담수심을 유지하였고 중간낙수기인 7월 상순 및 그 전후는 상대적으로 작은 값을 보였다. <그림-7>은 순별 평균담수심 및 물꼬높이 변화를 도시한 것이다. <그림-7>에서 중앙점은 순별 평균값을 나타내고 있으며 막대의 양 끝점은 표준편차를 이용하여 표시하였다.

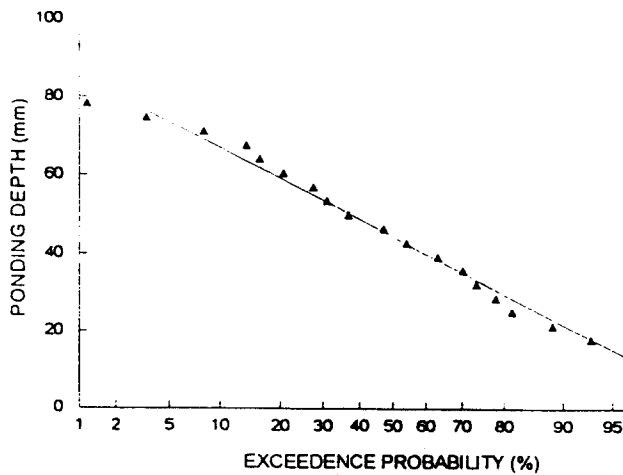
<표-3> 10-days averaged ponding depth (unit : mm)

District	Year	June			July			August			Sept. E
		E	M	L	E	M	L	E	M	L	
Banweol	1986~88	38.4	43.1	36.3	19.9	27.0	26.6	34.4	38.3	38.6	27.3
Icheon	1995	37.8	47.7	48.0	25.4	-	21.9	33.7	26.9	29.8	3.4
Balhan	1996	71.5	63.2	40.9	14.1	47.5	49.8	54.3	48.4	66.4	34.6
Average		49.2	53.0	41.7	19.8	37.3	32.7	40.8	37.9	44.9	21.8



<그림-7> Ponding depth and ridge height for paddy field.

앞에서 살펴본 바와 같이 논외의 경우에는 선행강우조건에 따른 최대저류량 S 를 이용하여 CN값을 결정하기에는 어려움이 따른다. 논외의 배수량은 선행강우뿐만 아니라 물꼬높이와 초기담수심에 따라 변화하며 최대저류량도 물꼬높이와 담수심에 의해서 결정되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 최대저류량의 경우와 같이 담수심의 확률분포함수를 이용하여 폭우사상에 따른 CN I, II, III를 추정하였다



<그림-8> Normal frequency distribution of ponding depth for paddy field (Middle on June)

<표-3>의 일별 담수심 자료를 이용하여 순별 평균담수심의 확률분포함수를 분석한 결과 시기별, 지구별로 차이를 보였으나  $\chi^2$  검정 결과 <그림-8>의 6월 중순의 예와 같이 정규분포함수가 적절한 것으로 나타났다. 이로 부터 생육시기별 초과확률에 해당하는 담수심을 추정할 수 있으며, 그 결과는 <표-4>와 같았다. 여기서, 정규확률분포함수의 10, 50, 90% 확률에 해당하는 담수심을 논의 AMC I, II, III의 경우로 적용할 수 있을 것으로 생각되었다.

<표-4> Summary of ponding depth in statistical values (unit : mm)

% of prob.	June			July			August			Sept.
	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E
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

### 4.3 물꼬높이

물꼬높이는 생육시기 및 영농방식에 따라 변화하는 것으로 논의 물수지에 있어 중요한 인자이다. 논의 구역별 물꼬높이 자료를 얻기 위하여 발안저수지 및 기천저수지의 몽리구역내에 5개의 시험포장 (70필지)을 선정하였다. <그림-9>는 실험실에서 제작한 물꼬높이 측정기를 이용하여 물꼬높이를 측정하는 광경을 보여주고 있다.



<그림-9> Ridge height measuring in paddy field



시기별 물꼬높이 변화는 <표-5>와 같이 필지내 담수를 위하여 대체적으로 높게 유지하고 있으며 이앙 직후에 80.9 mm로 상대적으로 높고 중간낙수기인 7월 상순에 34.6mm로 낮게 나타났다.

<표-5> 10-days averaged ridge height at Balhan (unit : mm)

District	June			July			August			Sept. E
	E	M	L	E	M	L	E	M	L	
Balhan A	79.3	75.5	52.3	24.7	73.5	72.9	60.6	66.1	44.7	63.1
Balhan B	67.4	73.8	55.7	29.6	76.4	75.2	58.1	56.5	84.9	71.3
Kicheon A	106.3	85.5	55.0	43.4	68.5	55.1	72.5	70.4	78.0	63.3
Kicheon B	91.4	72.4	78.9	62.0	80.1	59.5	48.6	75.9	93.4	76.6
Danghagyo	86.9	59.0	53.7	37.4	57.3	52.3	41.6	50.6	44.0	50.9
Avg.	80.9	74.0	57.3	34.6	72.9	67.2	57.7	63.4	67.2	66.1

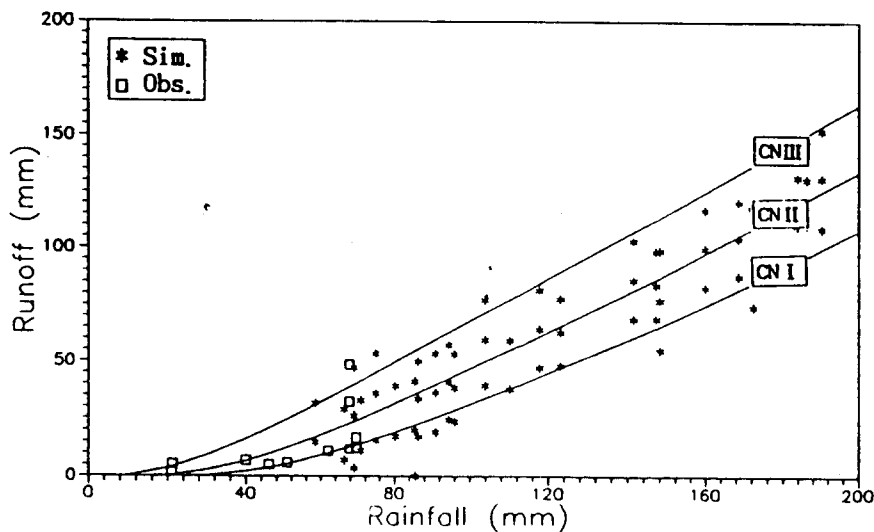
#### 5. 논지 유출곡선번호 결정

논지 물수지 모형을 통하여 수원지방의 1964~87년의 기상자료를 적용하여 시범구역에 대한 일별 배수량을 구하고 유출량을 추정하였다. 모형에서 적용된 차단량은 3.2mm며 배수량 중 일부는 논지 저지대 및 배수구 등에 저류되거나 침투손실 등을 감안하여 손실율을 15%로 정하였고  $P/S \geq 0.46$ 인 큰 강우만을 대상으로 하였다. <표-6>은 논지의 생육단계별 유출곡선번호의 추정 값을 제시하고 있다. CN I의 경우는 64~77의 범위로 평균 70으로 나타났고 CN II는 72~84의 범위로서 그 평균은 79, CN III는 83~94의 범위로서 평균 89로 나타났다. 생육시기별로 CN값의 변화는 앞에서 고찰한 바와 같이 초기담수심과 물꼬높이 등에 따라 그 영향을 많이 받으며 현장에서 수집된 일별 자료에 근거한 것으로 그 적용성이 있을 것으로 생각되었다. 다만 본 연구의 결과는 관행적인 영농 방식을 전제로 추정한 결과이므로 극단적인 경우 즉 초기 담수심이 전혀 없는 상태의 논이나 물꼬높이를 휴반 높이로 하여 설계 유출량을 정할 필요가 있는 경우에는 적용할 수 없을 것이다.

<표-6> Runoff curve numbers for paddy rice with water balance model

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

추정된 평균 CN값을 이용하여 논외의 강우-유출관계를 나타내면 <그림-10>과 같으며 유출량 자료와 실측 유출량 자료도 함께 나타내었다.



<그림-10> Observed and simulated runoff for paddy rice with runoff curve numbers computed by water balance model

한편 이상의 시험 논 의 배수량 자료 및 물수지 계산 결과에 의한 유출곡선번호의 값을 비교하면 <표-7>과 같다. <표-7>에서는 실측 강우-유출량 자료에 의한 CN값과 물수지 모형의 계산결과에서 1965~87년의 전기간 자료, P/S의 비가 0.46이상의 경우, 그리고 연 강수량 계열 자료 등을 구분하여 제시하였다. <표-7>에서 보는바와 같이 CN값은 각 방법에 따라 정도의 차이를 다음과 같이 나타내고 있다.

1) 논 의 CN I 값은 63~70까지 나타났고 실측 포장자료에서 63, 물수지 결과에서는 70의 범위였다. 물수지 결과가 약간 큰 값을 보이는 것은 강우량과 유출량과의 관계가 정량화되었기 때문으로 사료된다.

2) 논 의 CN II 의 값은 추정 방법 및 가정에 따라 75~82의 범위를 보였으나 실측 포장의 경우는 78, 장기 강우자료를 적용한 경우 79로 나타났다.

3) 논 의 CN III 의 값은 86~89의 범위로 실측포장에서는 88, 물수지 모형에서는 89로 나타났다.

한편 NEH-4의 경우, 수문학적 토양군 A,B,C,D에 따른 CN값의 변화는 논 의 경우 적용하기 어려움을 알 수 있었다. 연 강수량은 보통 논벼의 생육시기인 7~9월 중에 발생되며 이 기간중 논에서는 담수심을 유지하는 상태임을 감안하여야 하고 비록 토양통 등의 분류상 투수성에 차이가 있는 경우도 장기간의 담수재배로 인하여 침투량이 감소되는 토양 특성을 갖고 있으며 영농관리상 사양토와 같이 배수가 잘되는 논 의 경우는 객토 등을 통해서 개답을 하거나 그 밖의 토양개량 등을 적용하여 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 II 의 값인 79와 등고선 테라스의 경우인 74와 유사한 값이다. 그러나 NEH-4의 AMC I, III등의 값은 79일 때 62 및 92, 74일때 55, 88 등의 값으로 본 연구에서 제안한 70, 89 등보다 약간 큰

변위를 가지고 있음을 알 수 있었다.

<표-7> Summary of Runoff curve numbers for paddy field

Method	CN			Description
	I	II	III	
Rainfall-Runoff Data	63	78	88	P/S $\geq$ 0.46
Water Balance Model	66	76	88	All data
	70	79	89	P/S $\geq$ 0.46
	70	77	86	Annual series

## 6. 요약 및 결론

소유역의 홍수량 계산에 널리 이용되고 있는 SCS방법의 유출곡선번호법 적용을 위하여 논 CN값의 결정을 목적으로 실제 논 필지를 대상으로 시범구역의 물수지 요소를 측정하였으며 강우-배수량 관계로부터 선행토양함수조건에 해당하는 CN I, CNII, CNIII 값을 산정하였다. 또 CN값 조정을 위하여 장기간의 기상자료등을 이용한 물수지모형을 구성하고 실제 포장자료와 비교, 검증하였으며 포장자료를 기초로 한 모형을 이용하여 CN값을 추정, 비교하였다.

따라서 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 실험 논 구역의 배수량자료를 이용하여 유출곡선번호를 추정한 결과, CN I 은 63, CNII는 78, CNIII는 88로 나타났다.
- 2) 논외 물수지모형을 구축하여 실측자료와 검증하고 논외 배수량에 영향을 주는 주요 인자를 분석한 결과 물꼬높이와 초기 담수심이 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다.
- 3) 논벼 생육시기별, 필지별 물꼬높이와 초기 담수심에 따른 확률분포함수를 결정하고 초과확률 10%, 50%, 90%의 값을 구하여 AMC I, II, III의 조건을 적용하였다.

4) 생육시기별 물꼬높이와 초기 담수심 등을 고려하여 수원지방의 1964~87년간의 기상자료를 물수지모형에 적용, 비의 생육시기별 물꼬높이 및 초기담수심등을 고려하여 CN값을 추정한 결과 시범지구에서 실측된 결과와 거의 유사한 값으로 나타났다.

5) 이상의 결과에서 실험지구 논외 CN값은 초기 담수심 조건을 고려하여 CN I, II, III의 값으로 각각 70, 79, 89로 결정되었다.

6) SCS공식의 CN값을 산정하고 논외 유출량을 추정할 경우 불합리한 점들을 실험을 통하여 규명하였다. CNII 조건만을 고려할 경우, 줄파작물의 등고선 경작법에서 수문학적 불량조건과 수문학적 토양 B군의 CN값이 실험치와 비교할 때 근사치였으나 선행강우조건은 논에서 그 적용이 어려운 점 등을 고찰하였다.

## 참 고 문 헌

1. Cronshey, R. G., 1983. Discussion of "Antecedent moisture condition probabilities." by D. D. Gray et al, J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 109(2), pp.296-298.
2. FAO. 1978. Effective rainfall, Irrigation and Drainage Paper 25.
3. Gray, D. D., P. G. Katz, S. M. deMonsabert and N. P. Cogo, 1982. Antecedent moisture condition probabilities, J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 108(2), pp.107-114.
4. Gray, D. D. and S. M. deMonsabert, 1983. Closure to "Antecedent moisture condition probabilities." by D. D. Gray et al, J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 109(2), pp. 305-307.
5. Hauser, V. L. and O. R. Jones, 1991. Runoff curve numbers for the southern high plains, Trans., ASAE, 34(1), pp.142-148
6. Hawkins, R. H., 1979. Runoff curve numbers from partial area watersheds., J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 105(4), pp.375-389.
7. Hawkins, R. H., 1983. Discussion of "Antecedent moisture condition probabilities." by D. D. Gray et al, J.Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 109(2), pp.298-299.
8. Hawkins, R. H., A. T. Hjelmfelt and A. W. Zevenbergen, 1985. Runoff probability, storm depth, and curve numbers, J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 111(4), pp.330-340.
9. Hjelmfelt, A. T., 1980. Empirical investigation of curve number technique, J. Hydr. Div. ASCE, 106(9), pp.1471-1476.
10. Hjelmfelt, A. T., L. A. Kramer and R. E. Burwell, 1982. Curve numbers as random variables, rainfall-runoff relationship, WRP, Littleton, Colo.,

pp.365-370.

11. Hjelmfelt, A. T. and L. A. Kramer, 1983. Discussion of "Antecedent moisture condition probabilities." by D. D. Gray et al, J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 109(2), p.300.
12. Hjelmfelt, A. T., 1991. Investigation of curve number procedure, J. Hydr. Div. ASCE, 117(6), pp.725-737
13. McCuen, R. H., 1983. Discussion of "Antecedent moisture condition probabilities." by D. D. Gray et al, J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 109(2), pp.300-302.
14. National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, U. S. Department of agriculture, U. S. Government Printing Office, Washington, DC, 1972.
15. Rallison, R. E. and R. G. Cronshey, 1979. Discussion of "Runoff curve numbers with varying site moisture." by R. H. Hawkins, J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 105(4), pp.439-441.
16. Rallison, R. E. and N. Miller, 1982. Past, present and future SCS runoff procedure, rainfall-runoff relationship, WRP, Littleton, Colo., pp.353-364.
17. Rawls, W. J., C. A. Onstad and H. H. Richardson, 1980. Residue and tillage effects oc SCS runoff curve numbers, Trans., ASAE, 23(2), pp.357-361
18. Rawls, W. J. and H. H. Richardson, 1983. Runoff curve numbers for conservation tillage, J. Soil and Water Cons., 38(6), pp.494-496.
19. Ritter, J. B and T. W. Gardner, 1991. Runoff curve numbers for reclaimed surface mines in Pennsylvania, J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, 117(5), pp.656-666.
20. Steichen, J. M., 1983. Field verification of runoff curve numbers for

fallow rotations, *J. Soil and Water Cons.*, 38(6), pp.496-499.

21. Yoo, K. H. and E. W. Rochester, 1989. Variation of runoff characteristics under conservation tillage systems, *Trans., ASAE*, 32(5), pp.1625-1630.

22. Yoo, K. H., K. S. Yoon and J. M. Soileau, 1993. Runoff curve numbers determined by three methods under conventional and conservation tillages, *Trans., ASAE* 36(1), pp.57-63.

23. 김성준, 1987. 수원지방 답의 유효수량산정을 위한 전산모형개발 및 이용성 검토, 서울대학교 석사학위논문.

24. 선우중호, 심순보, 윤용남, 이순탁, 1977. 정밀계측된 소유역의 강우 및 유출 특성, *한국수문학회지*, 10(1), pp.53-70.

25. 윤태훈, 1991. 유효수량 산정을 위한 유출곡선번호방법의 적용성, *한국수문학회지*, 24(2), pp.97-108.

26. 정하우, 박승우, 1985-1988, 저수지 물관리 연구(I)-(IV), 농림수산부, 농업진흥공사. 서울대학교 농과대학 부속 농업개발연구소.