

# 영산강 · 섬진강 수계의 논 유출곡선지수(SCS-Curve Number)산정

## Estimating SCS-Curve Numbers of Paddy Fields in Yeongsan and Seomjin River Basins

정재운\*, 윤광식\*\*, 최우정\*\*\*, 최우영\*\*\*\*, 최진규\*\*\*\*\*, 김영주\*\*\*\*\*, 이수형\*\*\*\*\*

Jae Woon Jung, Kwang-Sik Yoon, Woo-Jung Choi, Woo Young Choi, Jin-Kyu Choi, Young-Ju Kim, Soo Hyung Lee

### 요 지

유출곡선지수(SCS-CN)를 사용하는 유역수문모형의 정확도를 향상시키기 위해서는 토지이용별 유출곡선지수가 잘 정의되어야 한다. 하지만 논 의 경우에는 유출곡선지수가 잘 정의되어 있지 않다. 현재까지 연구된 논 CN number로는 경기지역의 조건을 반영한다.

본 연구에서는 영산강 수계와 섬진강 수계에 대한 논 의 CN값을 추정하기 위해 수문모니터링을 실시하였다. 시험지구는 영산강 수계 내에 위치한 전라남도 함평군 엽다면 화양리 학야지구와 섬진강 수계 내에 위치한 전라북도 순창군 적성면 고원리 적성지구로 2004년부터 2007년 영농기(5월~9월)동안 모니터링을 실시하였다. 두 시험지구에서 각각 강우량과 유출량을 조사하여 강우-유출 관계식을 유도하여 CN값을 산정하였다. 그 결과 CN-I, CN-II, CN-III 값은 학야지구에서 각각 65, 85, 94로 나타났고, 적성지구에서 각각 69, 89, 97로 나타났다. 이는 기존의 연구와 비교하여 CN-II 값이 더 높은 것으로 나타났다.

**핵심용어 :** 논, 유출곡선지수, CN, AMC, 물관리

\* 정회원 · 전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 : E-mail : [jjw77725@naver.com](mailto:jjw77725@naver.com)  
\*\* 정회원 · 전남대학교 생물산업공학과 교수: E-mail : [ksyoon@chonnam.ac.kr](mailto:ksyoon@chonnam.ac.kr)  
\*\*\* 정회원 · 전남대학교 생물산업공학과 조교수: E-mail : [wjchoi@chonnam.ac.kr](mailto:wjchoi@chonnam.ac.kr)  
\*\*\*\* 정회원 · 전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 : E-mail : [younga0579@naver.com](mailto:younga0579@naver.com)  
\*\*\*\*\* 정회원 · 전북대학교 생물자원시스템공학과 교수 : E-mail : [choijk@chonbuk.ac.kr](mailto:choijk@chonbuk.ac.kr)  
\*\*\*\*\* 정회원 · 전북대학교 농업과학기술연구소 E-mail : [swcejoo@hanmail.net](mailto:swcejoo@hanmail.net)  
\*\*\*\*\* 정회원 · 국립환경과학원 ·영산강물환경연구소 : E-mail : [lshnier@me.go.kr](mailto:lshnier@me.go.kr)

## 1. 서론

최근 유역수문해석에 SWAT, AnnAGNPS 등의 모형이 많이 사용되고 있다(Francisco et al, 2006). 상기의 모형들의 수문모형에 가장 중요한 매개변수는 CN이다. SCS(Soil Conservation Service)는 유출량과 토양의 관련자료를 광범위하게 수집·분석하고 강우와 유출의 관계식을 유도하여 소유역에 대한 유출량 산정방법을 제시하였다. SCS방법에 의하면 밭, 초지, 경사지 등의 토지이용상태에 대한 CN은 주어지 있으나, 논이나 산림의 경우에는 적절한 값이 주어지지 않다. 흔히, 논은 CN으로 줄과 또는 곡류 작물 등의 값을 사용하나, 논은 수문학적 특성과는 상이한 것이 사실이다(임상준 외, 1997).

현재까지 논은 경우 적절한 CN값에 대한 연구는 부족한 편이다. 기존의 연구로는 임상준(1997) 등이 경기도 안산시 반월지구의 논은 CN값은 각각 63, 78, 88로 제시한 것과 경기도 화성시 발안지구에서 CN-I, CN-II, CN-III 값을 각각 67, 82, 91로 제시한 것 등이 전부이다. 또한 논은 경우 지역마다 물관리 관행의 차이가 있어 CN값이 상이 할 것으로 판단되나 이에 대한 연구가 부족하다.

본 연구에서는 수문해석에 필요한 모형에 적용에 필요한 논은 CN값을 선정하기 위하여 영산강 수계와 섬진강 수계에 대한 논은 CN값을 추정하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시험지구

영산강·섬진강 수계의 논 CN값을 결정하기 위하여 전라남도 함평군 엄다면 화양리의 논 지구(이하 학야지구, 1102-1~1104-5 번지)와 전라북도 순창군 적성면 고원리의 논 지구(이하 적성지구)를 대상으로 조사하였다. 본 시험지구는 기상 및 수문자료 취득 및 관측이 용이하며 용·배수로가 구분되어있으며 배수로의 외수 유입이 없는 유역특성을 가지고 있다. 학야지구의 경우 13.7ha의 면적을 가지고 있으며 표토(0~10cm)의 토성은 미사질양토(모래 11.7%, 실트 61.4%, 점토 26.9%)였다. 그리고 적성지구의 경우 8.06ha의 면적을 가지고 있으며 표토의 특성은 사질양토(모래 56.6%, 실트 42.3%, 점토 1.1%)였다. 그림 1과 그림 2는 각각 학야지구와 적성지구의 수문계측망이다.

### 2.2 SCS-CN법의 개요

설계 강우량에 대한 유역의 직접 유출량이나 유효우량의 결정을 위한 유출곡선번호법 또는 CN법은 1954년 USDA의 SCS에 의해 개발되었다. 유출곡선번호법에 의한 직접유출량은 아래의 식으로부터 계산된다.

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

여기서, P는 누가강우량, S는 차단, 지면저류, 침투 등에 의한 최대 잠재저류량, Q는 누가 유출량이다.

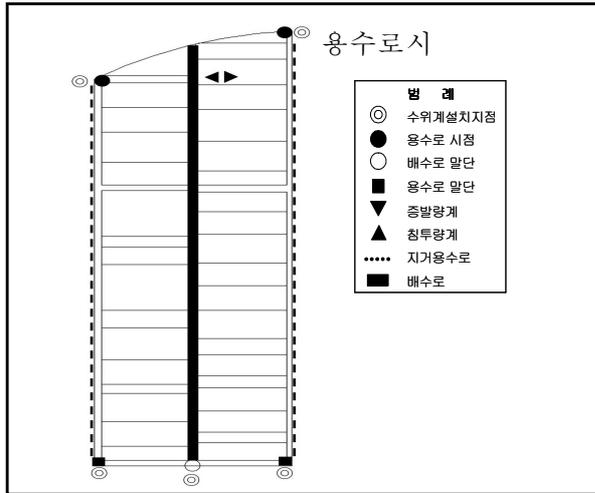


그림 1. 학야지구의 수문계측망

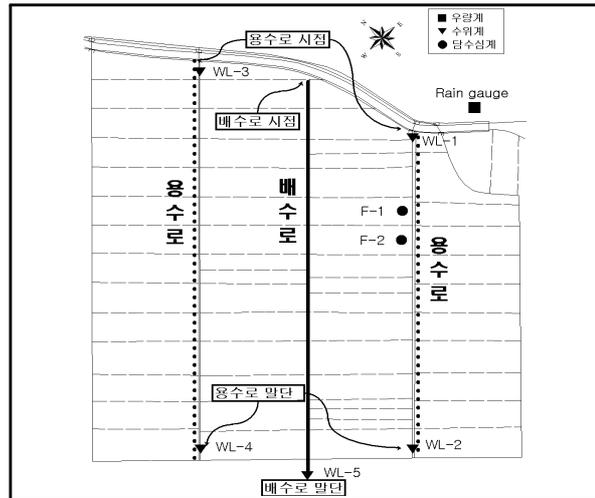


그림 2. 적성지구의 수문계측망

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

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

식(2)에서 최대 잠재저류량, S는 mm로 나타내어 진다. 일반적으로 CN이 결정되면, 식 (2)로부터 최대잠재저류량 S를 구하여, 식 (1)로부터 직접유출량 Q를 결정할 수 있다. 따라서, CN의 정확한 추정이 유역의 유출량 계산에 있어서 중요한 요소임을 알 수 있다.

CN은 다음의 두 가지 방법으로 적용하여 결정할 수 있다. 즉, ①수문학적 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-유출 자료로부터 CN을 추정하는 방법 등이 있다. 또한 강우-유출 자료에 의한 CN의 결정방법은 대상 유역의 규모나 자료 구득 방법 등에 따라 ① 강우 침투계에 의한 방법, ② 유출시험포의 자료에 의한 방법 (Yoo 등, 1993), ③ 유역의 강우-유출 자료에 의한 방법 (Hjelmfelt 등, 1982) 등으로 구분할 수 있다(임상준, 1997).

강우-유출 자료에 의한 방법은 최대 잠재저류량, S를 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. 년 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 S의 분포는 대수정규확률 분포를 보인다고 하였다. 따라서, 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-유출 자료로부터 구한 S의 P/S를 계산하고, P/S의 값이 0.46보다 큰 강우에 대하여 유역의 CN을 결정하는 방법을 제안하고 있다(Hawkins 등, 1985).

### 3. 결과 및 고찰

학야지구와 적성지구의 2004~2007년의 이벤트별 강우량과 유출량의 측정자료 중 P/S가 0.46 이상의 강우에 대한 CN의 계산 결과를 표 1에서 보여주고 있다. 논의 CN을 결정하기 위하여 대상기간 중 강우량과 유출량 자료로부터 식 (3)을 이용하여 최대 잠재저류량을 계산하였으며, 이로부터 CN을 추정하였다. 계산된 최대 잠재저류량은 학야지구의 경우 강우량은 11~281mm의 범위를 보였고, 유출량은 1.8~160.3mm의 범위를 보였다. CN의 최소값과 최대값은 각각 62, 98로 나타났고 평균은 82로 나타났다. 적성지구의 경우 강우량은 10~433mm를 나타냈고 유출량은 1.6~315.8mm를 나타냈다. CN은 최소값은 63, 최대값은 99로 나타나고 평균은 86으로 나타났다.

표 1. 강우-유출량 자료에 의한 논의 CN계산결과

(a) 학야지구						(b) 적성지구							
기간	P(mm)	Q(mm)	S	P/S	CN	기간	P(mm)	Q(mm)	S	P/S	CN		
04년	6/21	148.5	72.8	98.9	1.50	72	04년	5/12~13	12.8	2.4	21.4	0.60	92
	6/24	11.0	1.8	19.8	0.56	93		5/27~31	25.8	8.2	28.8	0.90	90
	7/3~5	103.5	30.8	123.2	0.84	67		7/7~8	33.4	12.7	31.2	1.07	89
	7/7	70.0	20.9	83.1	0.84	75		7/14~17	111.8	61.5	61.4	1.82	81
	7/14~15	148.5	59.9	128.9	1.15	66		8/10~11	23.4	14.5	10.1	2.31	96
	8/18~23	257.5	134.7	154.6	1.67	62		8/18~26	433.0	315.8	120.5	3.59	68
	9/10~13	137.5	66.5	93.5	1.47	73		9/10~13	104.0	73.9	31.5	3.31	89
	9/18	17.5	3.7	27.5	0.64	90		9/15~18	70.0	44.9	27.9	2.51	90
05년	6/1~2	63.0	51.2	11.4	5.54	96	9/20~21	33.0	21.3	13.0	2.55	95	
	6/10	44.0	18.9	35.3	1.25	88	5/17~18	71.0	29.8	58.7	1.21	81	
	6/28	16.0	6.3	14.2	1.12	95	6/1~2	47.8	33.3	15.3	3.11	94	
	7/1~5	69.0	17.4	94.2	0.73	73	6/10~11	44.6	27.8	19.1	2.34	93	
	7/8~11	56.5	10.3	97.0	0.58	72	6/26~7/6	193.0	115.0	90.9	2.12	74	
	7/31~8/3	81.0	54.6	28.6	2.83	90	7/8~11	84.0	32.4	76.7	1.09	77	
	8/21~24	102.0	97.1	4.3	23.90	98	7/13	10.0	8.0	2.0	5.10	99	
06년	5/6~7	68.0	15.5	100.4	0.68	72	7/28~29	61.4	28.2	45.0	1.37	85	
	5/9~10	36.2	4.8	73.9	0.49	77	8/6~11	36.2	30.8	5.0	7.27	98	
	5/18~19	57.2	26.9	40.4	1.41	86	5/18~19	67.8	20.3	80.1	0.85	76	
	6/14~15	46.0	16.7	44.9	1.03	85	5/26~28	13.2	1.6	28.2	0.47	90	
	6/22	69.2	32.9	48.3	1.43	84	6/14~15	40.2	10.1	55.3	0.73	82	
	6/25	93.8	57.5	41.6	2.25	86	6/29~7/2	39.6	5.6	78.3	0.51	76	
	6/29~7/2	49.6	19.5	44.3	1.12	85	7/4~13	234.8	117.3	151.8	1.55	63	
	7/4~6	45.8	20.7	34.3	1.34	88	7/15~21	175.6	82.9	123.6	1.42	67	
	7/8~12	118.0	84.5	34.9	3.38	88	7/25~29	68.6	37.4	38.3	1.79	87	
	7/16~21	56.4	15.1	73.6	0.77	78	8/5~6	27.4	10.1	26.2	1.05	91	
	7/25~26	66.2	37.0	35.4	1.87	88	8/11~12	13.2	2.2	23.9	0.55	91	
	8/25	81.6	39.9	54.6	1.49	82	8/16~17	27.0	12.1	20.5	1.32	93	
	8/28~30	70.6	16.7	101.2	0.70	72	8/29~30	10.6	7.4	3.4	3.13	99	
07년	6/21~25	27.5	3.8	55.1	0.50	82	9/15~18	21.6	9.3	17.2	1.25	94	
	6/29~7/6	138.0	117.3	19.2	7.18	93	5/24~25	20.8	10.2	13.9	1.50	95	
	7/9	27.5	4.8	48.2	0.57	84	6/21~25	61.8	32.4	37.0	1.67	87	
	7/19	42.5	12.1	52.7	0.81	83	6/28~7/4	114.0	77.3	39.6	2.88	87	
	8/5~7	84.5	60.2	25.4	3.33	91	7/9~10	35.0	10.3	41.9	0.84	86	
	8/12~15	91.5	81.0	9.5	9.62	96	7/19~21	47.2	20.2	38.1	1.24	87	
	8/25~26	15.0	2.1	30.0	0.50	89	8/4~10	123.4	49.5	107.6	1.15	70	
	8/29~9/6	281.0	160.3	144.5	1.94	64	8/12~15	99.8	36.8	96.0	1.04	73	
	9/14~17	169.5	108.8	67.6	2.51	79	8/02~22	21.0	8.1	19.3	1.09	93	
							9/14~17	191.2	156.9	32.6	5.86	89	
						9/22~24	81.8	44.9	45.2	1.81	85		

논의 강우-유출 자료에 의한 CN을 결정하기 위하여 최대 잠재저류량의 확률분포함수를 결정하였다. 최대 잠재저류량 S는 각 확률분포함수에 대하여 상당한 변화를 나타냈으나,  $\chi^2$ 검정 결과, 대수정규분포함수에 대하여 5% 유의수준에서 적합성이 인정되었다. 그림 3은 대수정규분포함수에 대한 최대 잠재저류량 S의 확률분포를 보여주고 있다. 논외 최대 잠재저류량 변화도 유역의 경우와 마찬가지로 대수정규분포함수를 적용할 수 있음을 의미한다.

확률분포함수로부터 10, 50, 90% 확률에 해당하는 최대 잠재저류량을 구하였으며, 그 값은 학야지구의 경우 135.3, 45.8, 15.5mm로 나타났고, 적성지구의 경우는 113.4, 31.9, 9.0mm로 나타났다. 이상의 결과를 식 (2)에 대입하여 10, 50, 90% 확률, 혹은 AMC-I, II, III의 경우에 대한 논외 CN은 학야지구의 경우 65, 85, 94로 추정되었고 적성지구의 경우는 각각 69, 89, 97로 추정되었다.

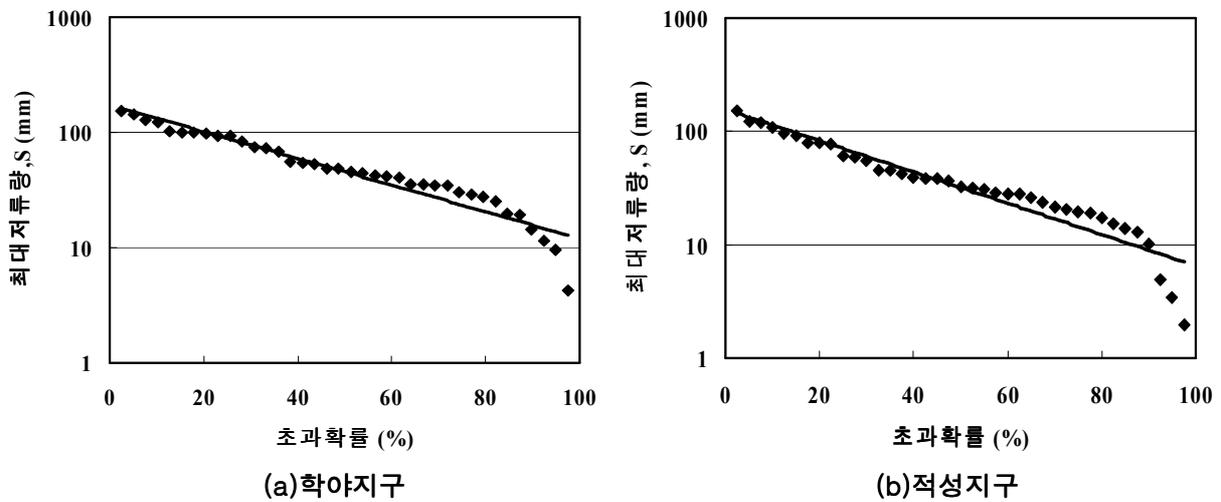


그림 3. 최대 잠재저류량, S의 대수정규분포함수

#### 4. 결론

소유역의 홍수유출 계산에 널리 이용되고 있는 유출곡선번호법의 적용에 필요한 영산강-섬진강유역의 논 CN을 결정하기 위하여 학야지구와 적성지구에 대하여 논외의 물수지 요소를 측정하였으며, 강우-유출량의 관계로부터 선형함수조건에 해당하는 CN-I, CN-II, CN-III 등을 정의하였다. 영산강 수계의 경우 CN-I, II, III의 경우 각각 65, 85, 94로 추정되었고, 섬진강 수계의 CN-I, II, III는 각각 69, 89, 97로 추정되었다. 기존의 연구 CN-II의 값 78, 82을 비교해보면 더 큰 값을 보여주고 있다. 이는 지역별 물관리 관행의 차이 때문인 것으로 판단된다. 또한 정확한 CN 값을 찾기 위하여 지역별 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 영산강·섬진강수계 환경기초조사사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

1. 임상준, 박승우(1997). 논외 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회논문집, 제30권 제4호, pp.

379-387

2. Francisco Olivera, Milver Valenzuela, R. Srinivasan, Janghwoan Choi, Hiudae Cho, Srikanth Koka, and Ashish Agrawal(2006). ARCGIS-SWAT: A GEODATA MODEL AND GIS INTERFACE FOR SWAT, JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION, pp. 295-309
3. Hawkins, R.H., Hjelmfelt, A.T. and Zevenbergen, A.W.(1985). Runoff probability, storm depth, and curve cumbers. J. Irrg. and Drain. Engrg., ASCE, Vol. 111, No.4, pp. 330-340.
4. 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.
5. 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.
6. SCS(1972), National /Engineering Handbook. Section 4, Hydrology, U. S. Department of agriculture, U. S. Goverment Printing Office, Washinton, DC.
7. 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.