

토지이용에 따른 강우-유출 특성 변화

Variations of Rainfall-Runoff Characteristics with Landuse

임 상 준* · 서 춘 석 · 박 승 우(서울대)

Im, Sang Jun · Seo, Chun Suk · Park, Seung Woo

. Abstract

The purposes of this study were to monitor rainfall and runoff data from paddy blocks and forest areas at the Balan Experimental Watershed, and to investigate the variations of runoff characteristics with different land use. Field data showed that the total runoff from paddies and forest areas are not significantly different in volume. The peak discharge from forest areas was less than that from paddies for lighter storms, but became greater for heavier storms. The results demonstrate that paddies play an important role to reduce peak discharge from heavy storms as compared to forest.

I. 서론

강우가 발생하면 지면에 도달한 강우중의 일부는 산림지 등의 토양속에 침투되어 저장되고, 밭 등의 농경지의 토양수분을 보충하며, 관개논에서는 논둑과 물꼬에 의해 우선적으로 저장되고, 이들 저류능을 초과하게 되면 배수로나 하천을 통해 유출된다(早瀬吉雄, 1994). 우리나라의 경우 관개논은 대부분 유역의 하류에 위치하고 있으므로, 홍수시에는 관개논에 의한 저류 및 담수효과 뿐만아니라, 유역으로부터 유출된 유량이 관개논 지대의 논둑이나 물꼬에 의해 지체되는 지체효과도 발생한다.

외국의 경우, 농촌유역에서 토지이용에 따른 강우-유출 특성에 대한 연구는 최근에 이르러 많이 이루어졌다. 佐藤晃一(1996)는 일본의 산림유역에서 산지와 테라스 관개논의 유출량을 비교하였다. 佐藤晃一에 의하면 강우-유출 특성은 관개논 지구가 산림지보다 더 빠르게 반응하며, 침투유량도 크게 발생하는 데, 이는 관개논의 낮은 침투율과 담수등에 의한 저류능이 감소되었기 때문이다. Masumoto et al.(1994)는 테라스가 잘 발달되어 있는 관개논과 테라스가 갖추어져 있지 않는 관개논의 유출량을 비교한 결과, 테라스가 발달되어 있는 관개논 지구의 직접유출량 및 침투유량이 테라스가 없는 관개논 지구보다 감소하고 있음을 발견하였다. 早瀬吉雄(1994)는 관개논의 논둑을 30cm부터 5cm로 변화시키고, 물꼬높이를 6cm에서 1cm로 변화시켜 유출량을 비교한 결과, 논둑과 물꼬의 높이를 모두 낮춘 경우에 100년빈도 강우량에 대하여 침투 유량이 38% 정도 증가한다고 보고하였다. 中村好男 등(1994)은 도시화로 인하여 관개논이 감소하고 있는 지구에 대하여 배수펌프장의 배수량을 분석한 결과, 관개논의 감소로 인하여 배수량은 3~4배 증가하고 있으며, 배수장의 펌프 가동시간도 매년 증가하고 있다고 하였다.

우리나라에서는 최진규 등(1997)이 단일 필지를 대상으로 유출량을 조사하고, 배수량 산정 모형을 개발하여 물꼬를 통한 유출량을 계산하였으며, 김철겸 등(2000)은 관개논의 유출해석을 위해 TR-20모형을 수정하고, 이를 이용하여 농업유역의 수문곡선을 모의한 바 있다. 엄기철 등(1993)은 우리나라에서 논이 가지고 있는 홍수조절 능력은 매우 크다고 하였으며, 논에 의한 홍수피해 경감효과는 매년 약 1조 6천억원에 해당한다고 하였다.

본 연구는 산림소유역과 관개논 지구의 강우-유출량 자료를 수집 분석하여, 토지이용에 따른 수문곡선과 홍수유출량을 비교하고, 이로부터 관개논에 의한 홍수경감 및 저류 효과를 분석함으로써, 관개논의 홍수저감효과를 계량화하는 데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

2.1 대상지구

토지이용에 따른 유출특성 변화를 분석하기 위하여 그림 1과 같이 서로 인접한 산림유역과 관개논 포장을 선정하였다. 본 연구에서 선정된 유역은 경기도 화성군 발안면에 위치한 곳으로, 두 개의 유역출구점의 직선거리는 300 m 이내로 매우 인접하게 위치하고 있으며, 이에 따라 동일한 기상조건을 적용할 수 있다.

산림소유역의 유역면적은 28.7ha이며, 유역경사는 %이고, 상수리나무와 리기테다 소나무(박승우, 1996)가 주종을 이루고 있다. 관개논 포장의 전체 면적은 2.7ha이고, 상류에 위치하고 있는 기천저수지의 용수간선으로부터 관개량을 공급받고 있으며, 포장에서 배출되는 배수량은 중앙에 위치하고 있는 배수로를 통하여 하천으로 유출된다.

표 1. 대상지구의 특성 및 수위-유량 관계식

토지이용	유역명	유역면적	수위-유량 관계식
관개논	HP#8	28.7 ha	$Q = 72.558 H^{3.6595}$ ($R^2=0.979$)
산림	HP#9	2.7 ha	$Q = 0.762 H^{1.6879}$ ($R^2=0.994$)

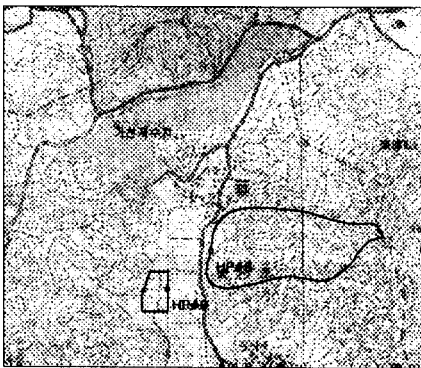


그림 1. 대상지구의 개요

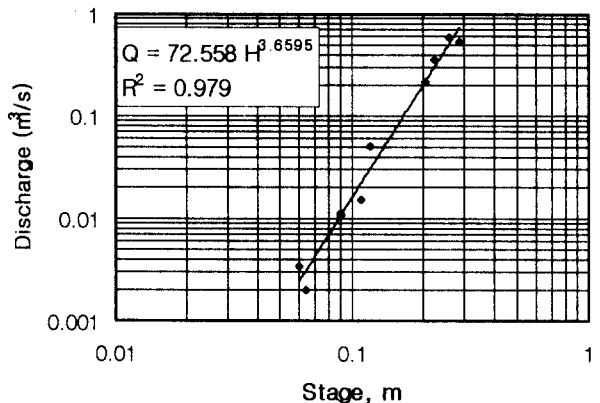


그림 2. 산림유역(HP#8)의 수위-유량 관계

2.2 수문 자료

대상지구의 강우량 자료는 유역으로부터 약 2.5 km 남쪽에 위치한 자기강우계의 시간별 강우량 자료를 이용하였다. 자기강우계는 팔탄면 사무소에 설치되어 있으며, bucketing type으로 0.2mm 단위의 강우량을 측정하여 기록한다.

산림소유역의 유역말단부와 관개논의 배수로에는 그림 1과 같이 압력식 수위계(WL 14 Global water level logger)를 각각 설치하여 20분 간격의 수위자료를 수집하였으며, Table 1과 같이 현장의 유속 측정에 의한 수위-유량 관계식을 이용하여 시간별 유출량을 조사하였다. Fig. 2는 HP#8의 수위-유량 관계식을 보여주고 있다.

2.3 기저유량 분리

기저유량의 분리는 경사급변접법을 사용하였다. 경사급변접법은 Barnes(1939)에 의해 제안된 방법으로, 수문곡선의 감수부에서 유량을 반대수지에 나타내면 3개의 직선으로 구성되게 되는 데, 첫 번째 직선이 지표면 유출을 나타내고, 두 번째 직선이 중간유출을 의미한다. 따라서, 직선에 의해 구분되는 두 번째 변곡점까지의 유량이 직접유출량에 해당하게 된다. 이러한 분리 방법은 분석자에 따라 변이가 높지만 홍수수문곡선을 분리하는 데 유용한 방법이다(Anderson and Burt, 1980).

III. 조사내용 및 결과

3.1 직접유출량 비교

토지이용에 따른 유출특성의 비교를 위하여 표 2와 같이 S990709부터 S990909까지 8개의 강우-유출량 자료를 선정하였다. 선정된 강우는 21.8~190.2 mm의 범위를 보였으며, 각 강우에 대한 산림유역과 관개논의 직접유출량과 SCS의 유출곡선번호(Curver Number, CN)를 계산하여 비교하였다.

산림유역과 관개논의 직접유출량은 선행강우조건이나 논·담수심, 물꼬높이 등의 물관리 특성에 따라 서로 상이한 결과를 보이고 있으나, 강우량이 적고 선행강우가 없는 경우에는 산림유역에서 침투에 의한 손실이 많이 발생하여 관개논의 유출량이 산림유역보다 크게 나타났다. 그러나, 많은 강우량이나 선행강우에 의해 토양수분이 포화되어 침투 등에 의한 손실이 상대적으로 적은 경우에는 산림유역의 유출량이 크게 나타났다. 조사대상인 8개의 강우유출 자료를 비교한 결과, 산림유역과 관개논의 직접유출량의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

강우와 유출의 관계를 비교하기 위하여 유출곡선번호를 계산한 결과, 관개논의 경우는 67~96의 범위로 평균 82이었으며, 산림유역의 경우에는 67~90의 범위로 평균값은 79를 보였다. 이에 따라 직접유출량에 대해서는 산림유역보다 관개논이 더 크게 나타났는데, 이는 관개논의 경우, 우리나라에서는 대부분 담수재배를 실시하고 있으며, 침투 등에 의한 초기손실량이 산림유역보다 상대적으로 적게 발생하기 때문이다.

그림 3은 강우량의 크기에 따른 유출량의 변화를 비교한 것으로, 산림유역과 관개논이 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 4는 산림유역과 관개논의 유출량을 1:1 직선을 이용하여 비교한 것으로 산림유역과 관개논의 유출량이 거의 일치하고 있음을 볼 수 있다.

표 2. 산림유역과 관개논의 직접유출량 비교

구분	날짜	강우량 (mm)	5일 선행 강우량(mm)	직접유출량(mm)		유출곡선번호	
				관개논	산림	관개논	산림
S990709	7/9/99	49.0	13.4	8.12	4.08	74	67
S990722	7/22/99	24.2	31.0	3.72	2.49	85	82
S990728	7/28/99	88.3	1.2	37.65	53.46	78	86
S990801	8/1/99	49.8	131.4	10.71	23.88	77	88
S990802	8/2/99	190.2	58.6	94.24	97.49	67	68
S990803	8/3/99	61.2	250.8	49.41	36.52	96	90
S990905	9/5/99	49.4	0.0	24.96	6.22	89	71
S990909	9/9/99	21.8	4.8	6.21	1.09	90	80

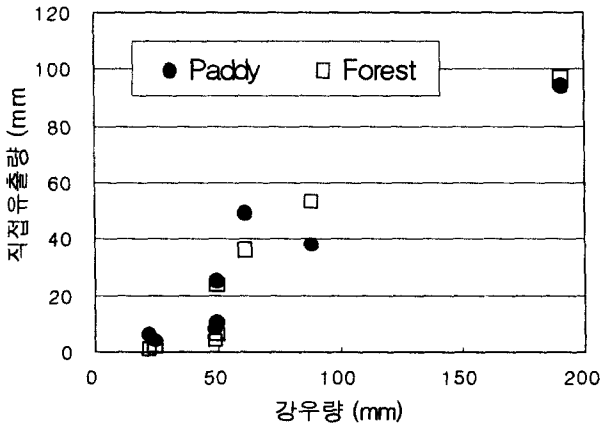


그림 3. 강우량에 따른 유출량 비교

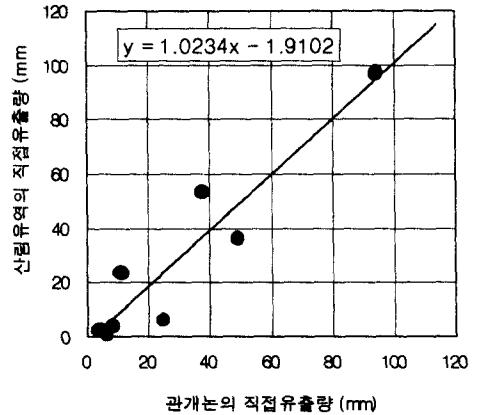


그림 4. 산림유역과 관개논의 직접유출량 비교

3.2 침투유출량 비교

선정된 8개의 강우-유출 자료에 대한 침투유출량과 침투시간을 비교한 결과는 표 3과 같다. 표 3에 의하면 단위면적당 침투유출량의 경우, 50 mm이하의 강우에 대해서는 관개논의 침투유출량이 크게 나타나고 있으나, 강우량이 증가할수록 산림유역의 침투유출량이 매우 크게 나타난다. 이는 홍수시에 관개논의 저류효과를 나타내는 것으로, 관개논의 물꼬 등이 홍수유출량을 일시 저류시켜 침투유출량을 경감시키는 결과를 나타내기 때문이다. 침투유출시간에 대해서는 대부분의 강우에 대하여 산림유역과 관개논이 서로 일치하고 있음을 알 수 있었다. 그림 5는 S990801의 강우-유출 자료에 대한 수문곡선을 도시한 것으로, 산림유역과 관개논에 대해서 침투유출량과 침투유출시간의 변화를 잘 나타내고 있다.

표 3. 산림유역과 관개논의 침투유출량 비교

구분	날짜	강우량 (mm)	5일 선행 강우량(mm)	침투유량 (m ³ /s/m ²)		침투유출시간(hr)	
				관개논	산림	관개논	산림
S990709	7/9/99	49.0	13.4	0.0004	0.0004	17:40	17:40
S990722	7/22/99	24.2	31.0	0.0005	0.0004	1:00	1:40
S990728	7/28/99	88.3	1.2	0.0014	0.0019	7:00	10:40
S990801	8/1/99	49.8	131.4	0.0005	0.0010	00	00
S990802	8/2/99	190.2	58.6	0.0023	0.0040	00	00
S990803	8/3/99	61.2	250.8	0.0016	0.0019	00	00
S990905	9/5/99	49.4	0.0	0.0014	0.0004	5:40	5:40
S990909	9/9/99	21.8	4.8	0.0002	0.0001	15:20	9:20

한편, 그림 6은 토지이용에 따른 침투유량의 변화를 산포도를 이용하여 비교한 것으로, 선정된 강우-유출 자료에 의하면 산림유역의 침투유량이 관개논의 경우보다 약 50% 정도 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 관개논의 홍수저감효과를 계량화하여 나타낸 것으로, 관개논이 가지는 홍수경감효과를 정확하게 분석하기 위해서는 지속적인 수문모니터링을 통한 장기간의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

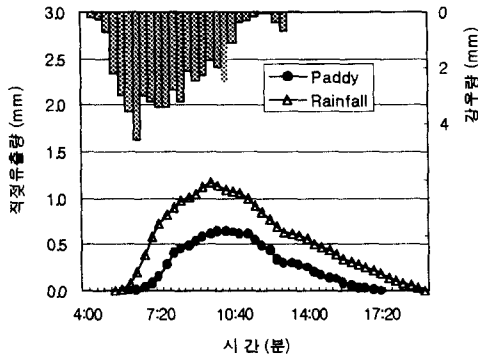


그림 5. 수문곡선 비교(S990801)

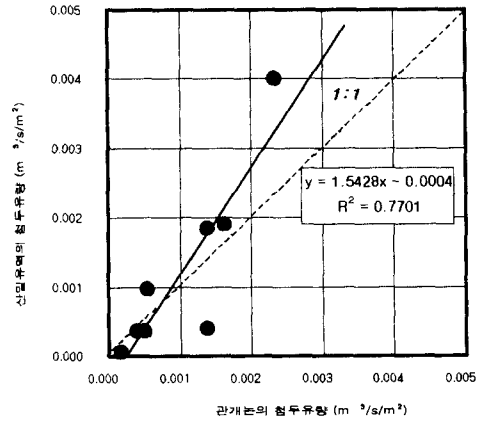


그림 6. 산림유역과 관개논의 침투유량

IV. 요약 및 결론

농업유역에서 토지이용에 따른 홍수유출의 변화를 조사하기 위하여 산림소유역과 관개논 포장에 대하여 시간별 강우량과 유출량을 측정하였으며, 강우-유출량 자료로부터 직접유출량과 침투유량의 변화를 분석하였다.

산림소유역과 관개논 포장의 직접유출량은 선행강우조건과 담수심과 같은 초장의 물관리 조

건에 따라 차이를 보이고 있으나, 전체적으로 유사한 경향을 나타내었다. 이는 논외 물꼬에 의해 저류되는 수량이 일반적인 유역에서의 침투량과 같은 손실량의 역할을 하기 때문으로 판단된다. 그러나, 홍수유출량의 중요한 요소인 침투유량은 강우량이 적을 경우에는 관개논 포장이크게 나타났으며, 강우량이 크질수록 산림유역이 더 크게 나타나, 전체적으로 산림유역이 관개논에 비하여 약 50% 정도 증가되는 경향을 나타내었다.

본 연구의 결과, 관개논에 의한 홍수유출량의 저감효과가 매우 큰 것으로 나타났으며, 지속적인 수문모니터링을 통하여 관개논이 가지는 홍수저감효과를 계량화할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 최진규, 김현영, 손재권, 1997. 논외 배수물꼬의 유량에 관한 기초연구, 한국농공학회지, 제39권 2호, pp. 134-142.
2. 김철겸, 박승우, 임상준, 2000.
3. 엄기철, 윤성호, 황선용, 윤순강, 김동수, 1993. 논외의 공익 기능, 한국토양비료학회지, 제26권 4호, pp. 314-333.
4. 佐藤晃一, 1996. 中山間地域における過疎の進行と資源管理機能の低下, 農業土木學會論文集, 182, pp. 57-64.
5. 早瀬吉雄, 1994. 水田地帯の洪水防止・軽減機能の評価と機能向上事業の提案, 農業土木學會誌, 62(10), pp. 943-947.