

PE5) 토지이용에 따른 강우의 유출특성 연구

윤영삼*, 신석호, 유재정, 신찬기

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

1. 서 론

지표상의 물은 일반적으로 세 가지 경로를 따라 이동하게 된다. 대기중으로의 증발, 지표면을 따라 하천을 향해 흐르는 지표면유출, 또 땅속으로의 침투로 구분된다. 침투과정은 중력과 모세관흡인력에 의해 토양 속으로 물이 이동되는 것으로 토양으로의 물의 유입, 토양 집단 내에서의 물의 저류 및 지하수대까지 지속적으로 물이 이동하는 침투로 구분된다. 이와 같은 과정 중 어떠한 요소라도 제한을 받게 되면 지표면에서의 침투를 감소시키게 되어 지표면유출이 증가하게 된다.

한편 건조한 토양은 습한 토양보다 물 분자가 토양입자에 더 가까이 있기 때문에 강한 모세관력을 가지게 되며, 토양수분이 증가함에 따라 모세관력은 감소하게 되며 이는 추가된 물 분자가 토양입자와 먼 거리에서 결합하기 때문이다. 따라서 투수성 지역에서의 유출모니터링을 조사하는데 있어서는 반드시 선행강우의 영향을 고려하여야만 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있다.

강우에 의해 토지 이용별 특성에 따라 강우유출수가 발생되게 되며, 발생하는 유출에 의해 물의 이동과 함께 토지이용별 각기 다른 오염물질을 함유한 강우유출수의 이동이 시작된다. 단일지목에 의한 오염 및 유출영향만을 고려할 수 있도록 대상지점의 경계를 분명히 하여 모니터링을 하므로 대상지점에서 발생하는 오염물질은 지하 또는 지표면으로의 이동으로 구분한다. 대상지점은 단일지목이므로 대상지점에서의 수평이동은 고려하지 않는다.

강우에 의한 유출현상은 매우 불규칙하게 나타나며, 다양한 종류의 오염물질을 함유하고 있으며, 발생량과 부하량의 변동이 크며 강우초기에 오염물질 농도가 급격하게 증가하는 등의 특성을 가지고 있다. 또한 강우에 의한 유출특성은 유역면적, 토지이용형태, 강우강도, 강우지속시간, 불투수층 면적, 선행무강우일수, 강우량 등 다양한 요소에 의해 영향을 받는다. 같은 유역에서도 강우조건에 따라 크게 변동되고 영향인자가 많아 현재까지 다양한 연구가 수행되었음에도 불구하고 일정한 유출경향을 도출하기는 곤란한 실정이다.

이에 본 연구에서는 투수(과수원재배지, 기타재배지 등) 및 불투수(고속도로, 일반국도, 도심간선도로, 공업단지 등) 지역에 대한 유출 특성을 강우지속시간, 강우강도, 강우량 등의 변화조건에 대해 조사하였다.

2. 연구내용 및 방법

강우유출수의 투수 및 불투수 지역에서의 유출 특성을 파악하기 위해 강우 시 모니터링

대상지점에 실시간 강우강도계 및 유량계를 설치하여 1분 단위의 강우량 및 유출량 자료를 수집하였다. 조사 지점은 크게는 불투수 지역과 투수 지역으로 나눌 수 있으며, 세부적으로는 농경지 중 밭(포도밭, 고구마, 인삼 등) 재배 지역과, 교통지역(도심도로, 고속도로, 일반국도) 및 공업지역의 유출량에 대해 조사하였다. 사용된 유량계는 Flo-Tote III를 사용하였고, 강우강도계는 RG-20 모델을 사용하였는데 Flo-Tote III의 경우 최소 유출수의 수위가 3cm는 확보 되어야 연속 측정이 가능하여 컵식 유출량 측정을 병행하여 조사하였다.

농경지에서의 강우 유출수 모니터링은 밭 내부로의 유입을 차단 후 최종 유출구 부분에 유량계를 장착하여 실시간 농경지에서 외부로 유출되는 유출량을 모니터링하였고, 공업지역의 모니터링은 우수로를 통해 우기 시 빗물만 유출되는 지점을 선정하여 모니터링을 실시하였다. 교통지역의 유량측정은 강우 시 우수 관거를 통해 유출되는 우수량을 15분 간격으로 자동 연속 측정하였으며, 유출률의 경우 조사지점의 면적에 내린 총강우량과 유출량의 관계에서 산정하였다.

2.1. EMC 산정

유출되는 비점오염물질의 농도변화는 강우 및 유역의 특성에 영향을 크게 받기 때문에, 점오염물질과는 달리 평균농도 산정 시 유출수의 유량이 가중된 유량가중평균농도로써 조사대상 각 물질별 농도를 나타낸다. 유량가중평균농도는 비점오염물질 처리 시설 설치 시 유입부하량 및 유출부하량 산정에 있어서 중요한 인자이며, 삭감량 산정을 통한 처리 효율 산정 시에도 중요하게 고려된다.

적정한 EMCs를 산정하기 위해서는 모니터링 계획에 따라서 수집된 유량과 농도 자료를 이용하여 다음 식에 의해서 산정할 수 있다. EMCs는 전체 강우지속시간 동안 유출된 전체 누적 오염물질의 양을 전체 누적 유출량으로 나누어 계산할 수 있으며, 비점오염원에서의 평균 농도 산정 시 중요하게 이용되고 있다. 여기서 $C(t)$ 와 $Q_{TRu}(t)$ 는 강우 지속시간 t 에 대한 오염물질의 농도와 유출량을 의미한다.

$$EMC(\text{mg/L}) = \frac{\text{Discharged mass during an event}}{\text{Discharged volume}} = \frac{\int_0^T C(t) \cdot Q_{TRu}(t) dt}{\int_0^T Q_{TRu}(t) dt}$$

3. 결과 및 고찰

예비조사를 거쳐 투수 지역은 경주시의 과수원, 불투수 지역은 진주시의 교통지역과 김해시의 공업지역으로 조사대상지점을 선택하여 조사하였다. 예비조사 결과 조사지점의 배수면적은 투수 지역인 과수원의 경우, 2000 m²(event-1, 3, 5, 7) 및 1800 m²(event-2, 4, 6, 8)이었으며, 불투수 지역의 경우 교통지역을 조사한 event-A, B의 경우는 국도로 면적 1500 m², event-C는 고속도로이며, 면적은 2000 m²이었다. 공업지역의 경우 event-D~H에 해당되며 조사대상 면적은 5400 m²이었다.

Table 1~2에 투수 및 불투수 지역에 대해 다양한 강우 특성별로 조사된 유출량을 시간

의 변화에 대해 조사하여 수록하였으며, 이들 결과를 강우지속시간, 강우량, 선행무강우일수 등 다양한 조건변화에 대한 유출을 및 유출량 특성을 조사하여 Table 3~4에 수록하였다.

Table 1. A Rainfall-Runoff Characteristics for the Pervious

Pervious	Runoff(m ³)												
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Event-1 (2008.05.18)	0.050	0.040	0.040	0.080	0.010	0.020	0.020	0.060	-	-	-	-	-
Event-2 (2008.06.18)	0.010	0.010	0.040	0.060	0.060	0.040	0.030	0.010	0.010	0.010	-	-	-
Event-3 (2008.06.28)	0.060	0.060	0.050	0.100	0.130	0.080	0.080	0.080	0.060	0.060	0.010	0.010	-
Event-4 (2008.07.02)	0.040	0.010	0.060	0.070	0.050	0.010	0.010	-	-	-	-	-	-
Event-5 (2008.06.05)	0.020	0.030	0.040	0.030	0.020	0.010	0.030	0.040	0.030	0.010	0.060	0.020	0.010
Event-6 (2008.06.18)	0.030	0.020	0.020	0.020	0.060	0.050	0.030	0.030	0.030	0.010	-	-	-
Event-7 (2008.06.28)	0.090	0.050	0.020	0.060	0.110	0.050	0.030	0.050	0.090	0.130	0.010	0.010	-
Event-8 (2008.07.02)	0.030	0.020	0.020	0.050	0.060	0.030	0.020	0.010	-	-	-	-	-

Table 2. A Rainfall-Runoff Characteristics for the Impervious-Area

Impervious	Runoff(m ³)												
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Event-A (2007.09.15)	0.18	0.10	0.10	0.27	0.06	0.22	0.22	0.04	0.01	0.01	-	-	-
Event-B (2007.10.07)	0.02	0.17	0.02	0.07	0.45	0.07	0.06	0.48	-	-	-	-	-
Event-C (2007.10.07)	0.15	0.03	0.03	0.29	0.04	0.03	0.10	0.21	-	-	-	-	-
Event-D (2008.05.13)	0.22	0.53	0.56	0.56	0.68	0.73	0.88	0.64	0.09	0.03	-	-	-
Event-E (2008.06.03)	0.04	0.16	0.16	0.13	0.07	0.05	-	-	-	-	-	-	-
Event-F (2008.06.04)	0.02	0.10	0.29	0.29	0.29	0.42	0.33	0.03	1.79	1.04	0.03	-	-
Event-G (2008.06.17)	0.11	0.18	0.22	1.52	0.37	0.3	0.82	1.3	1.46	0.25	0.01	-	-
Event-H (2008.08.12)	0.6	0.97	1.58	3.36	1.27	0.67	0.53	1.41	1.11	0.01	-	-	-

Table 3에 수록된 투수지역에 대한 강우-유출 특성 조사결과 강우량이 많았던 Event-5와 Event-6에서 각각 유출을 43%와 38%로 가장 높게 나타났으며, 선행무강우일수가 길

고 강우량이 적었던 Event-3에서 유출율이 5%로 가장 낮게 조사되었다. Table 4에 수록된 불투수지역에 대한 강우-유출 특성 조사결과 강우량이 많았던 Event-G와 Event-H에서 각각 유출율 30%와 78%로 가장 높게 나타났으며, Event-C,D,E의 경우 유출율이 각각 10, 8, 9%로 낮게 조사되었으나 선행무강우일수, 강우량 등과 특별한 상관성을 나타내지는 않았다. 투수 및 불투수지역에 대한 강우에 따른 유출량의 특성을 명확히 구명하기 위해서는 보다 다양한 조건에 대해 장기간 정밀한 조사가 수반되어야만 신뢰성 있는 유출율에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 3. A Rainfall-Runoff Characteristics for the Pervious Area

Sites and Items		Event-1	Event-2	Event-3	Event-4	Event-5	Event-6	Event-7	Event-8
Pervious	Before non-rain days	3	8	6	2	6	8	6	2
	Rain duration time(min)	190	990	320	320	870	870	280	280
	Runoff duration time (min)	160	931	115	272	640	556	234	213
	Precipitation(mm)	26.3	33.8	27.8	27.8	48.67	48.66	35.7	35.7
	Total precipitation(m ³)	52	60.84	55.6	50.04	97.34	87.59	71.4	64.25
	Total runoff(m ³)	8.11	9.96	2.68	7.58	41.73	33.69	7.71	6.95
	Runoff rate	0.16	0.16	0.05	0.15	0.43	0.38	0.11	0.11

Table 4. A Rainfall-Runoff Characteristics for the Impervious-Area

Sites and Items		Event-A	Event-B	Event-C	Event-D	Event-E	Event-F	Event-G	Event-H
Impervious	Before non-rain days	1	7	7	2	6	1	7	3
	Rain duration time(min)	375	285	200	120	60	240	450	280
	Runoff duration time (min)	392	278	209	215	55	300	505	309
	Precipitation(mm)	4.2	6.6	4.3	15	1	12.5	20	33.5
	Total precipitation(m ³)	6.30	9.90	8.60	180	12	150	240	402
	Total runoff(m ³)	1.21	1.32	0.88	15.74	1.18	28.11	73.44	315.99
	Runoff rate	0.19	0.13	0.10	0.08	0.09	0.18	0.30	0.78

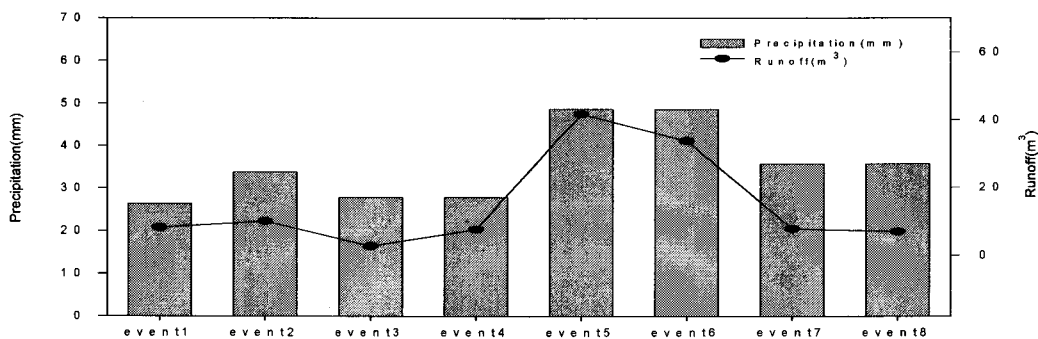


Fig. 1. The Amount of Total Discharge Changes of Rainfall-Runoff for the Pervious Area.

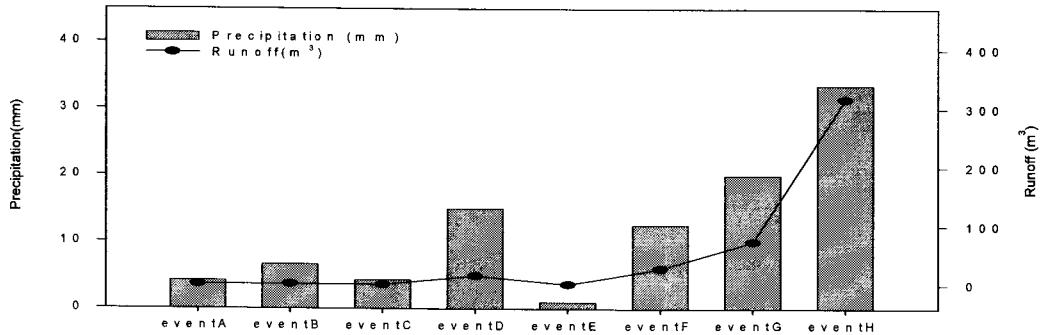


Fig. 2. The Amount of Total Discharge Changes of Rainfall-Runoff for the Impervious Area.

4. 결 론

투수 및 불투수지역에 대한 강우에 따른 유출특성 조사결과 강우량이 많을 수록 유출율이 비교적 높게 나타났으며, 선행무강우일수에 따른 유출율의 경우 특별한 경향을 보이지는 않았다. 따라서 투수 및 불투수지역에 대한 강우에 따른 유출량의 특성을 명확히 구명하기 위해서는 보다 다양한 조건에 대해 장기간 정밀한 조사가 수반되어야만 신뢰성 있는 유출율에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 방기웅, 이준호, 최종수, 2000, 강우시 산업단지에서의 오염물질 유출 특성, 대한환경학회지 제 22권 2호 pp 341-353.
- 방기웅, 이준호, 유명진, 1997, 도시소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지, Vol. 13, No. 1, pp. 79-99.
- 신은성 외, 2001, 토지용도와 유역특성을 고려한 비점오염물질 원단위 산정에 관한 연구, 한국물환경학회지, 제 17권 제 2호, pp.137-146.
- 이춘식 등, 2005, 고속도로 노면 비점오염원 배출특성에 관한 연구, 대한환경공학회 춘계 학술연구발표회, pp.1169-1176