도계 석탄광산 지역의 강우계급특성

Rainfall Classification from a Dogye Coal Mining Area

서지연*, 최용훈**, 신현준***, 원철희****,최중대*****

Jiyeon Seo · Yonghun Choi · Hyunjun Shin · Chulhee Won · Joongdae Choi

요 지

국내의 석탄자원은 1989년부터 비경제 탄광은 폐광시키고 경제성 있는 탄광을 육성하는 석탄산업 합리화시책을 실시하여, 전국 343개의 탄광이 폐광되어 현재는 5개의 탄광만이 가행되고 있다. 이들 가행광산중 강원도 삼척시 도계읍에 위치한 채탄작업을 위한 갱구 입구의 작업지역(DCM, Dogye coal mine)을 선정하여 강우 유출수 모니터링을 시행하였다.

DCM지역의 수문분석 결과 연강우량의 83%는 일 강우 80 mm 이하에서 발생하였다. 또한 연강우량의 50% 이상이 40 mm 이하의 강우계급에서 발생하고 있는 것으로 나타났다. 연간 강우횟수는 약 90회 정도 발생하고 있으며, 평균적으로 4일에 1회의 강우가 발생하였다. 또한 100 mm 이상의 강우도 연평균 강수량의 13.78%를 차지하고 있어 집중호우가 총 강우량에 미치는 영향이 작지 않음을 나타냈다. 비점오염의 배출은 강우량에 의해 영향을 많이 받기 때문에 기상이변으로 게릴라성 집중호우가 많이 발생하는 요즘 큰 강우사상에 대하여 많은 대비를 해야 할 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 비점오염원, 광산, 강우계급

1. 서론

우리나라의 경제수준이 발전하고, 하수종말처리장이나 산업 폐수처리장 등의 점오염원 처리의 효율이 향상되면서 강우시 발생하는 비점오염원에 대한 관심이 커지고 있다(최중대, 1999). 비점오염원(Non-Point source pollution)이라 함은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원을 의미하고 지역의 토질 및 토성, 문화, 주거형태 등 많은 인자들에 의해 영향을 받기 때문에 지역 특성에 맞는 관측 자료의 수집과 분석이 필요하다(신민환 등, 2007).

* 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 박사과정 · E-mail : tjwldus01@nate.com
** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 박사과정 · E-mail : tlemjin@nate.com
*** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 석사과정 · E-mail : hj-yh@hanmail.net
**** 비회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · E-mail : mildbeau@nate.com
****** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 교수 · E-mail : jjdchoi@kangwon.ac.kr

이를 위하여 토지이용에 대한 장기 모니터링을 시행하여 유역에서의 비점오염 유출을 평가하고, 토지이용에 따른 비점오염부하 원단위와 EMC (Event mean concentration)를 산정하여 비점오염원 저감방법을 제시할 필요가 있다.

국내의 비점오염원 연구 대상은 주로 도시지역과 교량, 산림, 그리고 농촌지역의 농경지 유역을 중심으로 시행되고 있으며(최용훈, 2009; 원철희, 2009), 가행 광산지역의 토지단위나 지목별로 비점오염부하를 연구한 사례는 거의 없다. 현재 우리나라 강우특성에 맞는 토지특성별 비점오염원에 대한 정확한 원단위가 없는 실정으로 비점오염 부하량 산정에 있어서도 많은 불확실성을 내포할 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 정부의 토지피복분류의 세분류에 속하는 가행광산 지점을 대상으로 갱내수가 일정한 패턴으로 유출이 지속적으로 발생하고 있는 배수로에서 갱내수와 냉각수를 분리하였으며, 강우시 유량과 수질을 모니터링 하였다. 본 논문의 목적은 석탄광산 지역의 유량과 수질 모니터링 자료로 석탄광산에서 발생하는 비점오염물질의 유출특성을 분석하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구는 우리나라에서 가행되고 있는 6개의 석탄광산중 강원도 삼척시 도계읍에 위치한 채탄작업을 위한 갱구 입구의 작업지역(DCM, Dogye coal mine)을 선정하여 2008년 3월부터 2009년 9월까지 모니터링을 실시하였다. DCM 지점의 배수로에는 부자식 자동수위계(Thalimedes, OTT, 독일)를 이용하여 5분 간격으로 수위를 측정하였고, 실측을 통하여 보정작업을 한 뒤 수위-유량곡선을 작성하여 수위별 유량을 산정하였다. 또한 비강우시에도 일정한 유량이 흐르고 있어 이를 측정하기 위하여 초음파수위계를 설치하여 비강우시의 유량을 산정하였다. DCM의 유역지목은 주로 산림이 분포하며, 배수구역의 면적은 0.15 Km^2 이고, 좌표는 북위(N) 37° 13′ 30″, 동경(E) 129° 02′ 38″ 이다.

2.1 모니터링 장비 및 분석방법

강우사상별로 산정된 유량가중평균농도는 강우로 인해 발생되는 유출수의 수질을 직접 평가할 수 있다는 측면에서 매우 유용하게 사용되고 있다(정동환 등, 2007). 따라서 강우시 유량이 오염부하량에 미치는 영향을 파악하기 위해서, 유량과 오염부하량의 관계를 분석하였으며, 유출수의 비점오염물질 배출 특성을 파악하기 위한 강우사상별 오염부하를 산정 후 (Eq. 1) 유량가중평균농도(Event Mean Concentration)를 구했다.

$$Load = \sum_{i=1}^{n} c_i q_i t_i \qquad \text{(eq. 1)}$$

여기에서 c_i는 i번째 샘플의 농도이고 q_i는 i번째 유량이다. 그리고 t_i는 i번째 샘플로서 표현되는 시간 구간으로 $\frac{1}{2}(t_{i+1} - t_{i-1})$이다. 여기에서 t_i는 반드시 모든 샘플별로 똑같을 필요는 없다. 이러한 오염부하는 시간에 따라 매우 급변하는 특성을 가지고 있으며 강우사상 오염부하는 건기시 오염부하의 몇 배 이상 되는 경우가 많다. 본 연구에서 사용한 오염부하식은 Numeric Integration(NI) 방법을 이용하여 오염부하를 산정하였다. EMC는 강우에 의해 유출되는 오염물질의 농도를 표현하는 대표적인 방법이다(Eq. 2).

$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^{n} c_i q_i t_i}{\sum_{t=1}^{T} q(t)} \qquad \text{(eq. 2)}$$

q(t)는 시간 t(hr)에서 단위 시간당 유입되거나 유출되는 강우량(m^3/d), T는 강우지속시간(min)이다.

3. 수문분석 및 강우특성

DCM 지역의 강우자료는 모니터링 시설의 위치와 200 m 거리에 떨어 있는 마을 공동화장실 옥상 설치한 자기우량계(Aerodynamic Rain Gauge)의 강우자료를 사용하였다. 동절기의 경우 본 연구에 사용된 자기우량계의 동파 우려 때문에 태백기상대의 강우자료를 활용하였다. 본 연구지점의 모니터링은 기상청의 예보에 따라 강우계급별로 수행하였으며, 10 mm 미만의 강우가 예보되었을 경우에는 모니터링을 수행하지 않았다. 또한 기상청의 예보가 10 mm 미만의 강우를 예보 하였지만 실제로 집중 호우 등 강우량이 20 mm 이상 내렸을 경우에는 본 연구기관과 모니터링 지점의 거리차로 인해 시행할 수가 없었다. DCM 지역의 강우계급을 10 mm로 구분하여 강우출현횟수를 분석하였다. 일강우량을 10 mm 계급으로 구분하여 강우출현횟수를 분석한 자료는 Table 1에 나타냈다. DCM의 수문분석은 태백시에 위치한 건설교통부와 한국 수자원공사에서 운영하는 12년 동안의 WAMIS 강우자료를 이용하여 분석하였다. 이는 DCM지역에 기상관측소가 없고 태백과 30분 거리에 있기 때문에 태백지역의 수문분석과 같다고 가정하였다(Table 2). 수문분석 결과 연강우량의 83%는 일 강우 80 mm 이하에서 발생하였다. 또한 연강우량의 50% 이상이 40 mm 이하의 강우계급에서 발생하고 있는 것으로 나타났다. 연간 강우횟수는 약 90회 정도 발생하고 있으며, 평균적으로 4일에 1회의 강우가 내리는 것으로 나타났다. 또한 100 mm 이상의 강우도 연평균 강수량의 13.78%를 차지하고 있어 집중호우가 총강우량에 미치는 영향이 작지 않음을 나타냈다.

Table 1. Occurrance and number of monitoring with respect to 10 mm daily rainfall classification

Year	Rainfall class	Occurrance	# of monitoring	Rainfall class	Occurrance	# of monitoring
2008	10 mm 이하	51	5	60 ~ 70 mm	1	1
	10 ~ 20 mm	7	2	70 ~ 80 mm	0	0
	20 ~ 30 mm	7	3	80 ~ 90 mm	0	0
	30 ~ 40 mm	3	2	90 ~ 100mm	1	1
	40 ~ 50 mm	1	1	100 mm 이상	0	0
	50 ~ 60 mm	2	1	Total	73	16
2009	10 mm 이하	44	4	60 ~ 70 mm	0	0
	10 ~ 20 mm	11	4	70 ~ 80 mm	0	0
	20 ~ 30 mm	6	4	80 ~ 90 mm	1	1
	30 ~ 40 mm	2	0	90 ~ 100mm	0	0
	40 ~ 50 mm	2	2	100 mm 이상	1	1
	50 ~ 60 mm	1	1	Total	68	17

Table 2. Daily rainfall class analysis of the DCM

Daily rainfall class (mm)	Frequency (%)	Yeraly mean rainfall (mm)	Event rainfall (mm)	Cumulative rainfall (mm)	Rainfall percentage(%)	Cumulative percentage(%)
0~10	58.08	185.66	3.19	185.66	14.66	14.66
10~20	12.83	179.75	13.90	365.41	14.20	28.86
20~30	6.50	158.67	24.36	524.08	12.53	41.39
30~40	3.82	120.00	31.22	644.08	9.48	50.87
40~50	3.00	134.83	45.17	778.91	10.65	61.52
50~60	2.00	108.58	54.31	887.49	8.58	70.10
60~70	1.08	43.50	38.05	930.99	3.44	73.53
70~80	1.17	123.33	74.05	1,054.33	9.74	83.8
80~90	0.17	14.25	85.50	1,068.58	1.13	84.40
90~100	0.25	23.08	92.33	1,091.66	1.82	86.22
100~110	0.00	0.00	0.00	1,091.66	0.00	86.22
110~120	0.25	28.75	115.00	1,120.41	2.27	88.49
120~130	0.33	41.33	124.00	1,161.74	3.26	91.76
130~140	0.00	0.00	0.00	1,161.74	0.00	91.76
140~150	0.08	12.00	144.00	1,173.74	0.95	92.71
150~160	0.00	0.00	0.00	1,173.74	0.00	92.71
160~170	0.00	0.00	0.00	1,173.74	0.00	92.71
170~180	0.00	0.00	0.00	1,173.74	0.00	92.71
180~190	0.00	0.00	0.00	1,173.74	0.00	92.71
190~200	0.08	15.92	191.00	1,189.66	1.26	93.96
200~210	0.00	0.00	0.00	1,189.66	0.00	93.96
210~220	0.08	17.75	213.00	1,207.41	1.40	95.37
220~230	0.18	37.42	224.50	1,244.83	2.96	98.32
230~240	0.00	0.00	0.00	1,244.83	0.00	98.32
240~250	0.08	21.25	255.00	1,266.08	1.68	100.00
Total	89.98	1,266.07			100.00	

4. 결과

1. DCM의 강우시 모니터링은 2008년 3월부터 2009년 9월까지 19개월 동안 총 21회의 강우사상에 대하여 수행하였다.

2. 수문분석결과 연강우량의 83 %는 일 강우 80 mm 이하에서 발생하였고, 연강우량의 50 % 이상이 40mm 이하의 강우계급에서 발생하였다. 또한 100 mm 이상의 강우사상에 대하여 연평균 13.78 %를 차지하고 있어 집중호우가 총강우량에 미치는 영향이 작지 않음을 나타냈다. 비점오염의 배출은 강우량에 의해 영향을 많이 받기 때문에 기상이변으로 게릴라성 집중호우가 많이 발생하는 요즘 큰 강우사상에 대하여 많은 대비를 해야 할 것으로 판단되었다.

3. 본 연구는 2008년부터 2009년까지의 유출사상을 측정한 자료로써 석탄광산의 비점오염관리를 위한 평균적인 결과 값으로 활용하기는 어렵다. 그러나 장기적인 모니터링을 실시하여, 석탄광산 지역의 비점오염관리를 위한 자료 제공 및 기초자료로 활용함으로써 향후 비점오염을 포함한 유역관리에 이용 될 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 한강수계관리위원회, 국립환경과학원 한강물환경연구소에서 시행한 환경기초조사사업의 연구의 지원으로 수행된 연구결과입니다. 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 광해방지사업단. www.kmrc.or.kr.
2. 신민환, 신용철, 허성구, 임경재, 최중대(2007). 농업 및 산림유역의 강우유출수 유량가중 평균농도 분석. 한국농공학회논문집, 49(6), pp. 3-9.
3. 원철희, 최용훈, 서지연, 김기철, 신민환, 최중대(2009). 산림과 밭 지역 강우 유출수의 EMC 및 원단위 산정. 수질보전 한국물환경학회지, 25(4), pp. 615-623.
4. 정동환, 신동석, 류덕희, 정동일(2007). 도시지역 강우유출수에서 비점원 오염물질 EMC 분석. 추계학술연구발표회 논문집, 대한환경공학회 2007 , pp. 318~320.
5. 최용훈, 원철희, 서지연, 신민환, 양희정, 임경재, 최중대(2009). 평지밭과 고랭지밭의 비점오염에 대한 분석과 비교. 수질보전 한국물환경학회지, 25(5), pp. 682-688.
6. 최중대 (1999). 토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향. 한국수자원학회논문, 32(4), pp. 501-510.
7. 한강수계관리위원회(2008). 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구.
8. 환경부. www.me.go.kr.