

규사광산의 유출특성 및 EMC산정

Calculate of EMC and Runoff Characteristic of Silica Mine

최용훈* 원철희** 신민환*** 양희정**** 최종대*****

Yong Hun Choi, Chul Hee Won, Min Hwan Shin, Hee Jung Yang, Jung Dae Choi

요 지

강원도 홍천군 북방면 능평리에 위치한 규사광산을 2008년 3월부터 12월까지 발생한 강우사상에 대하여 모니터링을 실시하였다. 모니터링 지점은 채광작업과 가공작업이 이루어지는 계곡의 하류로 평시 500m³/day의 유량이 흐르는 작은 소하천이다. 관측된 13회의 총 강우량은 712.6 mm가 발생하였다. 강우강도는 0.5 ~ 4.7 mm/hr, 선행무강우일수는 1.2 ~ 9.8일로 나타났다. 유출률은 28.0 ~ 98.0 %로 나타났으며, 유출율 98.0 %는 168.0 mm의 많은 양의 강우가 발생한 7월 24일부터 25일까지의 강우사상에서 발생하였다. 채석과 가공작업등의 영향으로 인하여 강우시 다른 오염 물질보다 SS 농도와 EMC가 매우 높고, 범위가 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 SS는 강우량과 건기일수에 민감한 영향이 있는 것으로 나타났다. 따라서 규사광산지역은 다른 오염 물질보다 SS를 저감 시킬 수 있는 비점오염저감시설이 필요할 것으로 사료된다. 기상조건에 따른 오염부하와 EMC의 정확한 산정하기 위해서는 장기간의 모니터링을 통한 많은 자료의 수집이 동반되어야 할 필요가 있다. 본 연구에서 조사된 자료와 분석된 결과는 토지이용별 비점오염부하의 산정과 저감기술의 개발에 활용할 수 있으며, 수질오염총량제의 신뢰성을 향상시킬 것으로 판단된다.

핵심용어 : NPS, Rainfall, Pollutant load, Monitoring, Silica mine, EMC

1. 서론

우리나라에서 실시한 비점오염원의 조사연구는 환경부에서 주관하는 4대강 수계 환경기초조사 사업으로 유역모니터링을 중심으로 수행되어 왔다. 유역모니터링은 유역에서 발생하는 오염부하의 총체적인 규모를 평가하는 데는 유용하게 활용할 수 있다. 하지만 개별토지이용에서 발생하는 비점오염부하를 정량화하는 데는 활용할 수 없거나 활용이 매우 어렵다. 또한 수계오염총량관리기술 지침에서 토지계 비점오염 발생부하량 등을 산정하는데 가장 기본적으로 요구되는 원단위의 산정에도 효과적으로 활용할 수 없다. 미국에서 개발된 범용토양유실공식(USLE)은 10,000점 이상의 실측자료를 사용하여 유도된 공식이다(Renard et al., 1997). 지목별 비점오염원 원단위 산정을 위해서는 기존의 환경기초조사 사업에서 수행하던 유역모니터링 사업과는 별도로 단일 토지이용별

* 정회원 • 강원대학교 지역기반공학과 석사과정 • E-mail : tlemjin@nate.com
** 준회원 • 강원대학교 환경연구소 • E-mail : mildbeau@nate.com
*** 정회원 • 국립환경과학원 금강물환경연구소 • E-mail : uv2000wind@nate.com
**** 준회원 • 국립환경과학원 한강물환경연구소 • E-mail : goool@korea.kr
***** 정회원 • 강원대학교 지역기반공학과 교수 • E-mail : jdchoi@kangwon.ac.kr

로 구분하여 비점오염원 유출 장기모니터링이 수행되어야 할 필요가 있다.

신동석(2007)과 김성수 등(2002)는 비점오염배출의 종류와 양은 강우강도와 강우지속시간, 토지이용 형태, 선행무강우일수, 불법적인 오염물질 투입상태 등에 따라 변화하고, 각 지역의 지형, 수리 수문 조건에 따라 배출 특성이 매우 다양하기 때문에 비점오염원의 모니터링은 대상지역별로 구분한 개별적인 연구가 필요하다고 하였다. 따라서 본 연구는 환경부에서 제시한 토지이용형태 중에서 채광지역(기타 광물질)을 모니터링하여 유출과 수질농도 그리고 오염부하의 특징을 조사하였다. 조사된 자료와 분석된 결과는 토지이용별 비점오염부하의 산정과 저감기술의 개발에 활용할 수 있으며, 수질오염총량제의 신뢰성을 향상시킬 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역

그림 1에는 규사광산의 위치와 유역형상을 나타냈다. 강원도 홍천군 북방면 능평리에 위치한 규사광산으로 유역 면적은 46.0 ha이다. 모니터링 시설이 설치된 곳은 채광작업과 규사 가공작업이 이루어지는 계곡의 하류로 평시에 약 500 m³/day의 유량이 흐르는 작은 소하천이다.

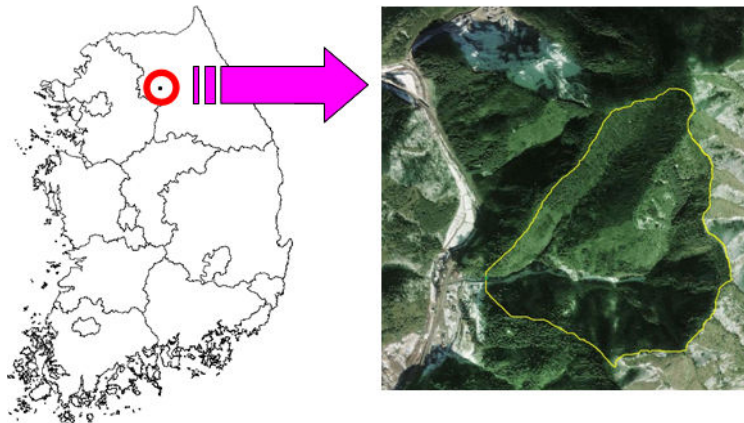


그림 1. 연구지역의 위치와 유역형상

2.2 비점오염 조사

규사광산지역은 2008년 3월부터 12월까지 총 13회의 강우사상에 대하여 관측하였다. 강우량은 모니터링 지점에 설치된 자기우량계의 자료를 사용하였다. 평시 유출이 작기 때문에 정확한 유량을 측정하기 위하여 작은 웨어를 설치하여 유량측정을 용이하게 하였다. 유량 측정은 수위와 유속을 동시에 측정 할 수 있는 유량계를 설치하여 15분 간격으로 설치하였다. 수위와 유속을 동시에 측정 할 수 있지만 기기의 오작동 및 오차를 최소화하기 위하여 수위와 유량을 측정하여 수위-유량 곡선을 유도하여, 유량으로 환산하여 비교하였다. 수질시료 채취는 강우 시작전 1회와 강우 종료후 1회 그리고 강우시 30분 혹은 1시간 간격으로 채취하였다. 채취한 수질 시료의 SS, BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, TOC, TN, TP를 분석하였다. 13회의 강우사상에 대한 오염부하를 계산하고, Event Mean Concentration(EMC)을 산출하였다.

3. 결과

3.1 강우사상별 분석

표 1은 관측한 13회의 강우사상에 대한 수문분석이다. 관측된 13회의 총 강우량은 712.6 mm가 발생하였다. 총 유출심이 476.1 mm로 총 유출률은 0.67로 매우 크게 나타났다. 총 유출률이 0.67로 높은 것은 3회 발생한 100 mm이상의 강우사상에 대한 유출률이 0.77 % ~ 0.98 %로 매우 높았기 때문인 것으로 판단된다. 약 33 mm의 강우가 4회 측정되었지만 건기일수와 강우강도에 의한 영향은 크지 않은 것으로 분석되었다. 이러한 영향은 채석과 가공 등의 작업과 채석장 주변 환경 조건이 수시로 변화하기 때문인 것으로 판단된다. 현장의 조건이 수시로 바뀌는 지역의 정확한 유출특성을 파악하기 위해서는 장기간의 연구가 필요할 것이다.

표 1. 규사광산 지역의 수문분석

강우사상	일시	강우량 (mm)	건기일수 (day)	강우강도 (mm/hr)	유출심 (mm)	유출률
1차	08.03.22 ~ 24	44.0	7.5	1.5	13.5	0.30
2차	08.04.09 ~ 10	6.5	2.8	0.5	2.2	0.34
3차	08.05.18 ~ 19	33.0	5.2	2.5	19.0	0.58
4차	08.06.02 ~ 03	12.2	2.8	0.7	4.0	0.29
5차	08.06.18 ~ 20	33.0	5.3	3.7	22.5	0.68
6차	08.06.28 ~ 29	33.4	6.4	1.8	11.0	0.34
7차	08.07.02 ~ 03	19.2	3.2	1.7	10.0	0.52
8차	08.07.16 ~ 17	13.4	1.3	1.2	6.6	0.49
9차	08.07.19 ~ 21	149.0	2.5	3.3	116.8	0.78
10차	08.07.24 ~ 25	141.9	2.3	4.7	139.1	0.98
11차	08.08.02 ~ 03	33.0	2.5	3.7	9.3	0.28
12차	08.08.22 ~ 24	139.0	2.8	3.0	107.1	0.77
13차	08.09.01 ~ 02	55.0	9.8	2.4	15.6	0.30
총 강우사상		712.6	-	2.4	476.1	0.67

3.2 수질 농도 분석

규사광산지역의 SS농도는 3.0 ~ 11248.0 mg/L, COD_{Cr} 6.4 ~ 87.4 mg/L, COD_{Mn} 1.6 ~ 68.4 mg/L, BOD 2.2 ~ 24.2 mg/L, TN 0.2 ~ 15.2 mg/L, TP 0.02 ~ 5.7 mg/L, TOC 1.7 ~ 13.9 mg/L의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 채석작업과 가공작업으로 인하여 토지이용이 산림에서 나지로 변화하였기 때문에 다른 오염물질농도보다 SS농도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

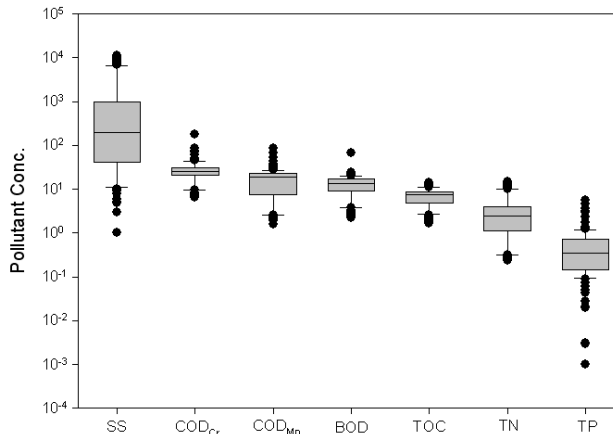


그림 2. 규사광산지역의 수질농도분포

3.3 강우사상에 따른 오염부하 분석

13회의 강우사상에 대한 총오염부하는 SS 17,901.5 kg/ha, COD_{Cr} 160.91kg/ha, COD_{Mn} 139.26kg/ha, BOD 79.68kg/ha, TN 13.81kg/ha, TP 3.502kg/ha, TOC 39.32kg/ha으로 나타났다. 10차 강우사상의 유출심이 9차 강우사상의 유출심에 비하여 1.2배 높은 것에 비하여 SS의 단위면적당 오염부하는 3.3배 높았다. 다른 오염부하는 큰 차이가 나타나지 않았다. 이것은 다른 오염물질에 비하여 SS농도가 선행강우에 의한 영향을 크게 받기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

표 2. 강우사상에 따른 단위면적당 오염부하 (단위 : kg/ha)

강우사상	SS	COD _{Cr}	COD _{Mn}	BOD ₅	TOC	T-N	T-P
1차	14.90	2.37	29.29	1.15	0.39	2.17	0.02
2차	0.27	0.19	0.07	0.09	0.07	0.21	0.002
3차	180.81	10.85	7.73	3.37	0.97	1.23	0.05
4차	16.78	0.87	0.11	0.47	0.24	0.02	0.04
5차	183.19	18.83	8.98	8.01	3.32	0.14	1.21
6차	5.11	3.03	2.60	1.80	1.26	0.19	0.02
7차	8.28	2.43	2.10	1.50	0.81	0.22	0.04
8차	20.17	1.71	1.44	0.89	0.3	0.14	0.04
9차	3,822.74	34.92	23.91	16.28	9.16	5.14	0.36
10차	12,480.10	47.92	34.39	23.12	10.37	0.76	1.18
11차	24.47	2.86	2.05	1.44	0.91	0.13	0.03
12차	867.53	31.74	24.30	19.99	10.18	2.33	0.43
13차	277.21	3.19	2.29	1.57	1.11	1.13	0.08
평균	1,377.04	12.38	10.71	6.13	3.02	1.06	0.27
합계	17,901.50	160.91	139.26	79.68	39.32	13.81	3.502

3.4 강우사상에 따른 EMC 분석

강우사상별 EMC는 SS 8967.71 ~ 11.90 mg/L, COD_{Cr} 61.71 ~ 8.54 mg/L, COD_{Mn} 43.93 ~ 2.98 mg/L, BOD 19.14 ~ 3.89 mg/L, TOC 11.10 ~ 2.28 mg/L, TN 15.59 ~ 0.30 mg/L, TP 2.693 ~ 0.089 mg/L의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 13회의 강우사상에 대한 EMC는 SS 3760.0 mg/L, COD_{Cr} 33.80 mg/L, COD_{Mn} 29.25 mg/L, BOD 16.74 mg/L, TOC 8.26 mg/L, TN 2.90 mg/L, TP 0.736 mg/L으로 산출되었다. SS는 다른 오염물질보다 범위와 EMC가 크게 나타났다. 따라서 규사광산지역은 다른 오염 물질보다 SS를 저감 시킬 수 있는 비점오염저감시설이 필요할 것으로 사료된다.

강우사상	SS	COD _{Cr}	COD _{Mn}	BOD	TOC	TN	TP
1차	104.0	17.03	9.12	8.27	2.78	15.59	0.179
2차	11.9	8.54	2.98	3.89	3.06	9.39	0.089
3차	1027.9	61.71	43.93	19.14	5.53	7.02	0.260
4차	470.6	24.28	3.08	13.13	6.83	0.53	1.260
5차	406.9	41.82	19.94	17.79	7.38	0.30	2.693
6차	45.1	26.72	22.95	15.83	11.10	1.69	0.145
7차	83.1	24.37	21.11	15.05	8.17	2.21	0.363
8차	305.2	25.90	21.84	13.46	8.03	2.19	0.550
9차	3273.5	29.90	20.48	13.94	7.84	4.40	0.309
10차	8967.7	34.22	24.71	16.61	7.45	0.55	0.847
11차	263.3	30.82	22.07	15.49	9.79	1.42	0.372
12차	810.1	29.63	22.69	18.67	9.50	2.18	0.401
13차	1782.1	20.52	14.70	10.11	7.14	7.26	0.543
총 강우사상	3760.0	33.80	29.25	16.74	8.26	2.90	0.736

4. 요약 및 결론

규사광산지역을 2008년 3월부터 9월까지 총 13회의 강우사상을 관측하였다. 규사광산지역의 수질농도와 오염부하 그리고 EMC의 분석을 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 규석광산지역의 채석과 가공작업등으로 채석장 주변 환경의 변화가 심하기 때문에 강우량, 건기일수, 강우강도 등과 같은 기상인자들의 영향을 정확하게 파악하기 위해서는 장기간의 관측과 분석이 필요하다.

2. 채석과 가공작업등의 영향으로 인하여 강우시 다른 오염물질보다 SS 농도와 EMC가 매우 높고, 범위가 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 SS는 강우량과 건기일수에 민감한 영향이 있는 것으로 나타났다. 따라서 규사광산지역은 다른 오염 물질보다 SS를 저감 시킬 수 있는 비점오염저감 시설이 필요할 것으로 사료된다.

3. 기상조건에 따른 오염부하와 EMC의 정확한 산정하기 위해서는 장기간의 모니터링을 통한 많은 자료의 수집이 동반되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 조사된 자료와 분석된 결과는 토지이용별 비점오염부하의 산정과 저감기술의 개발에 활용할 수 있으며, 수질오염총량제의 신뢰성을 향상시킬 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한강수계관리위원회·국립환경과학원 한강물환경연구소에서 시행한 환경기초조사사업의 연구의 지원으로 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

1. 신동석(2007). 비점오염원 원단위 개정을 위한 조사연구 방향, 한국물환경학회지, 23(4), pp. 429-433.
2. 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진(2002). 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사, 대한환경공학회지, 24(11) pp. 2019-2027.
3. Renard KG, GR Foster, GA Weesies, DK McCool, DC Yoder(1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE), Agriculture Handbook Number 703, USDA.