

# 광산(저탄장) 지역의 비점오염부하 유출특성

## Runoff Characteristics of Pollutants Unit Loading in the Coal mining

서지연\*·신민환\*\*·최용훈\*\*\*·신현준\*\*\*\*·원철희\*\*\*\*\*·최종대\*\*\*\*\*

Jiyeon Seo-Minhwan Shin-Yonghun Choi  
Hyunjun Shin-Chulhee Won-Joongdae Choi

### 요 지

우리나라에서는 1980년대 초반부터 비점오염원 원단위를 산정하기 시작하였으나 모두 단일강우 또는 제한된 수의 실측자료만을 이용하였다. 각 토지이용에 따른 비점오염의 유출특성을 충분히 반영하지 못하였기 때문에 강우량의 변화가 큰 지역의 경우, 강우 특성에 따라 특정 기간에 과도하게 오염 부하가 산정될 수 있다. 최근 수질오염의 특징은 과거의 대량 발생원인 점오염에 의한 수질오염에서 도시 강우 유출수나 농경지 등으로부터 대량의 비점오염에 의한 수질오염으로 변화하고 있다. 그러나 비점오염은 점오염과 같이 일정한 출구를 통해 유출되지 않으므로 집중처리에 의한 조절 방법의 적용이 곤란한 형편이다.

본 연구에서는 광산(저탄장) 지역의 모니터링을 실시하여 계절별 비점오염부하 유출특성에 대하여 조사하였고, 오염부하와 EMC 농도를 산정하여 분석하였다. 본 연구는 장기적인 모니터링 과제에 향후 지속적인 모니터링을 실시하여 수질분석과 유량을 측정한다면 광산(저탄장) 지역의 비점오염부하 산정 시 유용한 자료로 활용될 것으로 판단된다.

**핵심용어: 비점오염, 저탄장, 오염부하, EMC, 유출특성**

### 1. 서론

최근 수질오염의 특징은 점오염에 의한 수질오염에서 도시 강우 유출수나 농경지 등으로부터 발생하는 비점오염에 의한 수질오염으로 변화해 가는 경향이다. 그러나 비점오염은 점오염과 같이 일정한 출구를 통해 유출되지 않으므로 하수처리장과 같은 처리방법에 의한 조절 방법의 적용이 매우 어렵다. 1990년대 정부는 비점오염원 부하의 심각성을 인식하고 1995년부터 한강, 낙동강, 금강 그리고 영산강등 이른바 4대강 유역에 대한 비점오염원의 조사 연구 사업을 실시하였다. 그러나 비점오염원의 경우 처리시설로 오염물질을 처리하는데 한계가 있다는 특징 때문에 도시지역과 비도시지역의 비점오염원을 관리하기 위한 대책 마련과 제도적 관리방안의 수립이 시급하다(한 등, 2007). 우리나라에서는 1980년대 초반부터 비점오염원 원단위를 산정하기 시작하였으나 단일강우 또는 적은수의 실측자료만을 이용하였다. 각 토지이용에 따른 비점오염 유출특성을 충분히 반영하지 못하였기 때문에 강우량

\* 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · E-mail : [tjwdus01@nate.com](mailto:tjwdus01@nate.com)  
\*\* 정회원 · 금강물환경연구소 · E-mail : [uv2000wind@korea.kr](mailto:uv2000wind@korea.kr)  
\*\*\* 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · E-mail : [tlemjin@nate.com](mailto:tlemjin@nate.com)  
\*\*\*\* 비회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · E-mail : [hj-yh@hanmail.net](mailto:hj-yh@hanmail.net)  
\*\*\*\*\* 비회원 · 강원대학교 환경연구소 · E-mail : [mildbeau@nate.com](mailto:mildbeau@nate.com)  
\*\*\*\*\* 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · E-mail : [jjdchoi@kangwon.ac.kr](mailto:jjdchoi@kangwon.ac.kr)

의 변화가 큰 지역의 경우, 강우 특성에 따라 과도하게 오염부하가 산정될 수 있다(서 등, 2008).

우리나라의 비점오염원에 관한 연구는 주로 도시지역과 농촌지역을 대상으로 수행되고 있으며, 광산지역의 토지단위나 지목별로 비점오염부하를 연구한 사례는 거의 없어 수질오염총량관리제에 활용할 수 있는 기초자료가 매우 부족하다. 본 연구에서는 장기간의 유량 및 수질 모니터링을 통하여 가행 광산지역의 강우시 배출되는 비점오염물질의 유출특성을 알아보기 위하여 통계적으로 파악하고 유역에서 발생하는 유출수의 오염부하를 산정하였다. 본 연구에서 수립된 자료와 분석결과는 가행 광산지역의 수질오염총량관리제의 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

## 2. 연구 방법

광산(저탄장) 지역은 강원도 태백시 장성동에 위치한 석탄광산 저탄소(TCM, Taeback coal mine)로 좌표는 북위(N) 37° 06′ 48″, 동경(E) 129° 02′ 05″이다. TCM은 석탄과 광재 그리고 정부의 비축탄을 저장하는 대규모 저탄시설이다. TCM지역은 강우시 유출수를 배제하기 위한 콘크리트 배수로가 잘 정비되어 있고 민간인의 출입이 통제되는 통제구역으로 고가의 모니터링 장비를 안전하게 유지하고 관리할 수 있는 장소이다. 모니터링은 배수로의 출구부분에서 수행되었으며 배수로 중간 중간에는 굵은 입자의 유사를 제거하기 위한 침사지가 설치되어 강우시 유출되는 부유물의 일부를 제거할 수 있다

정확한 강우량과 유량 측정 그리고 강우유출수의 효율적인 채수를 위해 유량계와 자기유량계 그리고 자동채수기를 설치하였다. 또한 수위와 유량의 기계적인 오차를 줄이기 위해서, 수위와 유량을 측정하여 기계 수위와 유량을 비교하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 유출특성

TCM은 비축탄이 두꺼운 비닐커버로 덮여있고, 배수로가 콘크리트 수로로 잘 정비되어 있다. 태백저탄소의 배수로는 강우시에만 유출이 발생하기 때문에 저탄소의 유출특성을 파악할 수 있었다. TCM의 2007년 3 번의 강우사상 동안 총 강우량은 165 mm, 총 유출량 4,161.22 m<sup>3</sup>, 평균 강우강도 3.1 mm/h로 나타났으며, 2008년 9 번의 강우사상동안 총 강우량은 585.3 mm, 총 유출량은 18,680.1 m<sup>3</sup>, 평균 강우강도는 3.7 mm/h로 조사되었다.

표 1. Characteristics of the rainfall by the event

Mine	Event	Date	Rainfall (mm)	Antecedent dry day (day)	Runoff (m <sup>3</sup> )	Rainfall intensity (mm/hr)	Rainfall duration (hr)	Runoff Coefficient
TCM	1st	2007.09.14 ~ 15	87.0	7.30	2,952.6	5.10	17	0.29
	2nd	2007.09.16 ~ 17	63.0	0.90	1,208.6	2.40	26	0.16
	3rd	2007.09.22	15.0	4.83	95.2	1.70	9	0.05
	4th	2008.03.23 ~ 24	34.6	3.50	1,612.3	1.33	24	0.34
	5th	2008.04.09 ~ 10	41.8	2.41	1,711.3	1.74	27	0.29
	6th	2008.05.18 ~ 19	24.8	3.10	1,819.1	4.13	9	0.40
	7th	2008.05.28	8.8	9.21	212.9	1.26	4	0.17
	8th	2008.06.18	57.0	8.90	1,481.9	2.85	17	0.19
	9th	2008.06.28 ~ 29	28.0	0.70	859.7	1.33	21	0.22
	10th	2008.07.19	78.4	2.08	2,486.6	5.23	17	0.23
	11th	2008.07.24 ~ 25	248.4	3.87	7,023.3	13.07	26	0.20
	12th	2008.08.22 ~ 23	63.5	3.87	1,473.0	2.25	4	0.17

### 3.2 오염부하

그림 1은 TCM의 오염부하를 나타내었다. TCM의 오염부하는 SS 0.4 ~ 905.6 kg/day, BOD 0.92 ~ 92.43 kg/day, COD<sub>Mn</sub> 6.78 ~ 194.29 kg/day, COD<sub>Cr</sub> 6.02 ~ 480.15 kg/day, T-N 0.12 ~ 10.03 kg/day, T-P 0.020 ~ 10.269 kg/day 그리고 TOC 0.28 ~ 36.04 kg/day로 나타났다.

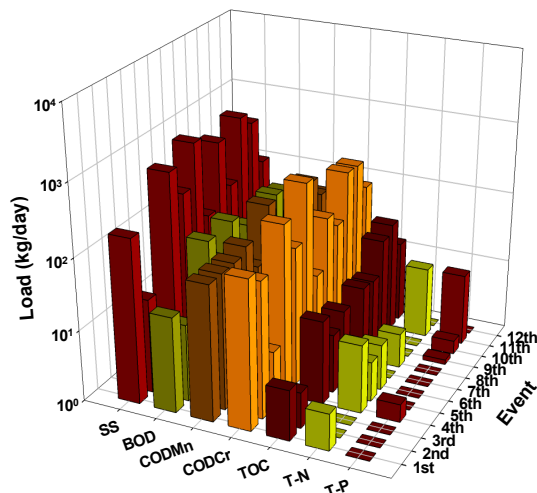


그림 1. TCM Pollutant Loads

### 3.3 EMC

연구기간동안 발생한 강우사상의 유출량과 수질농도를 이용하여 TCM의 EMC를 산정하였다. TCM의 EMC는 SS 16.5 ~ 497.8 mg/L, BOD 7.40 ~ 56.00 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 9.43 ~ 106.80 mg/L, COD<sub>Cr</sub> 29.98 ~ 263.94 mg/L, T-N 0.15 ~ 5.60 mg/L, T-P 0.101 ~ 1.462 mg/L 그리고 TOC 1.70 ~ 11.67 mg/L로 나타났다.

### 3.4 상관관계

Table 1에는 통계용 전산 프로그램인 SAS 9.1을 이용하여 분석한 광산(저탄장) 지역의 유량과 수질 농도들 사이의 상관관계를 제시하였다. 분석결과 COD<sub>Mn</sub>은 COD<sub>Cr</sub>과 상관계수 0.9343으로 유의수준 0.01에서 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 SS, COD<sub>Cr</sub>, COD<sub>Mn</sub> 그리고 BOD 사이에는 유의수준 0.05에서 높은 상관관계가 있었다. 그리고 광산(저탄장) 지역의 일오염부하량과 일유량의 상관관계는 T-N, T-P, 그리고 TOC 농도가 유의수준 0.01에서 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

표 2. Correlation analysis result flow and water quality

		Flow	SS	BOD	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	T-N	T-P	TOC
T	Flow	1	-0.088	-0.197	-0.166	-0.070	-0.088	<b>0.376*</b>	-0.214
	SS		1	<b>0.617**</b>	<b>0.658**</b>	<b>0.718**</b>	<b>0.498**</b>	0.100	0.247
	BOD			1	<b>0.581**</b>	<b>0.653**</b>	<b>0.845**</b>	0.122	<b>0.427**</b>
C	COD <sub>Mn</sub>				1	<b>0.934**</b>	<b>0.389**</b>	-0.055	0.235
	COD <sub>Cr</sub>					1	<b>0.488**</b>	0.065	0.213
M	T-N						1	0.216	0.234
	T-P							1	0.111
	TOC								1

\*and\*\* are statistically significant at  $p < 0.01$  and italics at  $p < 0.05$ (\*), respectively

### 4. 결론

강우사상에 따른 가행광산 지역의 비점오염원 모니터링을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) TCM의 유량-농도의 상관관계는 유출초기에 오염물질이 대부분 제거되어 유량과 큰 상관관계가 없는 것으로 판단된다. 그러나 일오염부하량과 일유량의 상관관계는 T-N, T-P, 그리고 TOC 농도가 유의수준 0.01에서 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.
- (2) TCM의 일 오염부하는 SS 0.4 ~ 905.6 kg/day, BOD 0.92 ~ 92.43 kg/day, COD<sub>Mn</sub> 6.78 ~ 194.29 kg/day, COD<sub>Cr</sub> 6.02 ~ 480.15 kg/day, T-N 0.12 ~ 10.03 kg/day, T-P 0.020 ~ 10.269 kg/day 그리고 TOC 0.28 ~ 36.04 kg/day로 나타났다.
- (3) TCM의 EMC는 SS 16.5 ~ 497.8 mg/L, BOD 7.40 ~ 56.00 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 9.43 ~ 106.80 mg/L, COD<sub>Cr</sub> 29.98 ~ 263.94 mg/L, T-N 0.15 ~ 5.60 mg/L, T-P 0.101 ~ 1.462 mg/L 그리고 TOC 1.70 ~ 11.67 mg/L로 나타났다. 산정된 수질항목들은 환경부에서 제시하는 배출허용기준에 이내로 배출되었다.
- (4) 본 연구는 2007년부터 2008년까지의 강우유출사상을 측정된 자료로써 평균적인 결과값으로 활용하기는 어렵다. 그러나 장기적인 모니터링을 실시함으로써 수질분석과 유량을 측정한다면 가행광산 지역의 비점오염부하 산정 시 유용한 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 감 사 의 글

본 연구는 2008년 한강수계관리위원회에서 시행한 환경기초조사사업의 지원을 받아 수행하였습니다.

## 참 고 문 헌

1. 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진(2002). 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사. *대한환경공학회지*, 24(11), pp. 2019-2027.
2. 서지연, 신민환, 최용훈, 김기철, 강종천, 임경재, 최종대, 2008, 소양강 유역의 원단위 오염부하량과 실측유량과 수질자료를 이용한 오염부하량 비교 분석 연구, 한국물환경학회
3. 신민환, 신용철, 허성구, 임경재, 최종대(2007). 농업 및 산림유역의 강우유출수 유량가중평균농도 분석, *한국농공학회논문집*, 49(6), pp. 3-9.
4. 최종대, 이찬만, 최예환(1999). 토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향, *한국수자원학회논문집* pp. 501-510.
5. 환경부(2007). 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구, 2007년차 최종보고서