

강우가 석산개발 지역 주변 하천의 오염에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on Effects of Rainfall on Contamination at Stream Around the Developed Quarry

이양규¹, 한중근², 홍기권^{3*}

Yang-Kyu Lee¹, Jung-Geun Han², Kikwon Hong^{3*}

¹Non-Member, Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Daelim University College, 29, Imgoklo, Dongan-gu Anyang-si, Gyeonggi-do, 431-715, Republic of Korea

²Member, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

³Member, Research Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

ABSTRACT

This paper describes the influence of rainfall on contamination at stream around the developed quarry. The investigation results are analyzed to evaluate the relationship rainfall and heavy metals (or water pollution). In the relationship rainfall and heavy metals, the result showed that the heavy metal contaminations are caused by boulder stone, waste residue and stone sludge, which is reacted with the direct contamination source, in the burried layer. It also found that the water flow change of stream according to the rainfall increase affected the large effect to a contamination level of heavy metal. The water pollution was increased by time changed from the rainy season to the dry season. That is, a lot of suspended solids had been discharge from the developed quarry due to rainfall increase, and then pollution level of water increases as the undercurrent of suspended solids is generated in stream due to rainfall decrease. Therefore, it analyzed that continuous causes of heavy metal contamination and water pollution in stream are materials in the burried layer and a discharge of pollution source from the developed quarry due to rainfall.

요 지

본 연구에서는 강우가 석산개발 주변에 위치한 하천의 오염도에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 강우량과 중금속 오염도의 관계 및 강우량과 수질 오염도의 관계를 분석하였다. 석산개발 부지 인근의 하천에 대한 중금속 오염도 조사 결과, 매립부지에 사용된 전석, 잔사 및 석분이 직접적인 오염원으로 작용한 것으로 분석되었다. 또한 강우량 증가에 따른 하천 내 유수량이 중금속 오염도에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 수질오염도는 우기철에서 건기철로 변화되는 시기에 증가하였으며, 강우량이 증가하면서 과거 석산개발 부지로부터 많은 부유물질이 배출된 후, 강우가 감소함에 따라 하천에 저류되어 오염도가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 S하천에서 지속적인 중금속 오염 및 수질오염이 발생하고 있는 원인으로는 과거 석산개발 완료 후, 매립층에 사용된 재료 및 석산개발 부지에서 오염원이 강우에 의해 배출되는 것으로 판단되었다.

Keywords : Heavy metal contaminations, Water pollution, Developed quarry, Rainfall effect

1. 서 론

골재는 건설공사에 있어서 필수적인 재료로서, 최근까지 사회간접자본 및 주택건설의 확대에 인하여 그 수요가 지속적으로 증가하고 있다(Han et al., 2010). 이와 같은

Received 8 Feb. 2014, Revised 19 Mar. 2014, Accepted 21 Mar. 2014

*Corresponding author

Tel: +82-2-813-5345; Fax: +82-2-813-5346

E-mail address: kkhong@cau.ac.kr (K. Hong)

골재의 수요증가에 맞추어 그 동안 국내에서는 자갈 및 모래 등과 같은 천연골재를 주로 사용하였지만, 최근에 와서 그 가용성이 크게 감소함에 따라 재생골재 및 순환골재와 같은 골재의 재활용뿐만 아니라 석산개발을 통한 골재 수급이 증가하는 추세이다. 그러나 석산의 무분별한 개발에 따른 주변지역의 다양한 환경 피해가 발생하고 있다(Han et al., 2010; Lee et al., 2010). 이에 석산개발에 따른 채석장의 오염물 정화 및 환경복원이 사회적 문제로 대두되고 있는 실정이다(Han et al., 2001; Lee & Woo, 2004; Han et al., 2010).

석산개발은 산의 일부를 절개하여 채석하는 방법으로 많은 양의 쇄석골재를 얻기 위하여 절벽에 가까운 사면을 형성하게 되는 것이 특징이다. 이와 같이, 급경사로 이루어진 사면은 안전상 문제뿐만 아니라 복원에도 많은 어려움이 발생하게 된다. 또한 채석과정에서 발생하는 미세석분, 침출수 등에 기인한 다양한 오염원 및 유해물질은 주변 지역에 오염을 야기한다. 특히, 다량의 중금속이 함유된 미세석분의 강우에 의한 하천유입은 토양 및 수계에 서식하는 동·식물의 중금속 중독을 야기하며, 자연기능을 저하시키는 주요원인이라 할 수 있다(Han et al., 2010). 이는 주변지역에 거주하는 인간에게까지 악영향을 미칠 수 있기 때문에, 주변 하천의 오염방지를 위한 대책방안 및 지속적인 유지관리가 필요하다. 이와 관련하여, 최근 석산개발이 완료된 부지의 활용사례를 살펴보면, 환경적 복구가 불가능한 폐석산의 사면에 벽화를 이용하여 조각 타운을 조성하고, 환경적으로 훼손된 암반에 토양기반을 조성하여 자연을 복원한 사례도 있으며, 석산 개발지에 교육시설, 생태공원, 운동시설 등을 유치하여 적극적으로 활용하는 사례가 늘어나고 있다. 특히, 암반의 수리적 특성이 우수할 경우에는 석산 개발 후 매립지로의 활용도 제안되고 있다(Korea Environment Institute, 2004). 한편, 최근 국내에서는 예측이 불가능한 집중강우가 빈번하게 발생하기 때문에 산사태 등과 같은 자연재해가 증가하고 있다. 또한 강우에 의한 지반 내 지하수위 상승 및 유출에 의해 지중에 존재하고 있는 다양한 오염원들이 지표로 유출되어 주변지역의 오염도에 영향을 미치고 있다.

따라서 본 연구에서는 지속적인 중금속 오염원이 발생되고 있는 경기도의 석산개발완료 부지 인근의 지방하천을 연구대상 현장으로 선정하여, 강우가 하천 오염에 미치는 영향을 분석하였다. 이에 연구대상 지역 주변 하천에 총 5개 지역을 선정하여, 강우량이 중금속 오염에 미치는

영향을 평가하였으며, 최근 5년간의 수질오염 분석결과를 이용하여 강우량과의 상관관계를 분석하였다. 이를 바탕으로 석산개발 주변 지역에 위치한 주변 하천의 오염저감 방안 마련에 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 연구대상 지역 특성

2.1 석산개발 부지의 현장특성

석산개발 부지는 경기도 일대에 위치하고 있으며, 면적은 약 220,000m², 깎기 비탈면 높이는 최대 약 140m이고 연장은 약 300m 정도이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 현장 동측으로는 S하천(지방하천)이 위치하고 있으며, 이 하천의 하류는 서측에서부터 이어지는 A하천(국가하천)에 합류한다. 석산개발은 1970년대 중반부터 1990년대 초반까지 약 15년간 동안 이루어졌으며, 개발완료 후에는 약 3년 동안의 정리복구 사업이 진행되었고, 현재는 교육시설로 활용되고 있다. 석산개발 부지의 정리복구사업 시에는 전석, 잔사 및 석분이 매립에 사용된 것으로 확인된 바 있다(Anyang-si, 2004). 한편, 석산개발 과정에서부터 정리복구 완료 이후까지, 주변에 위치한 A하천 및 S하천에서 지속적인 중금속 오염물이 검출되었다. 이를 해결하고자, 과거에 A하천의 수질오염 정화시설이 시공되었음에도 불구하고, 현재까지 중금속 오염물이 지속적으로 발생하고 있는 실정이다.



Fig. 1. Map of research site

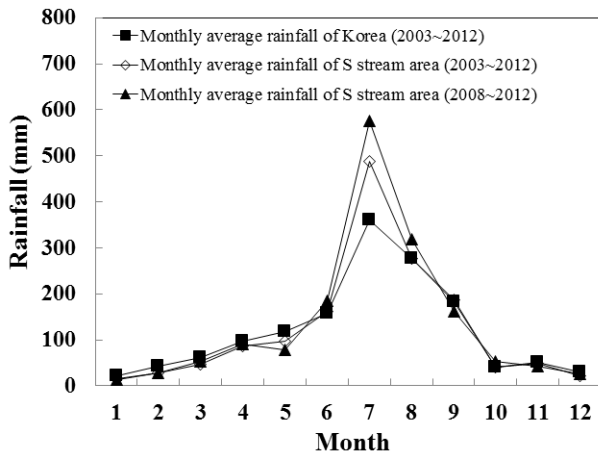


Fig. 2. Monthly average rainfall of Korea and research site for the past ten years[2003~2012] (after Lee et al., 2013)

2.2 주변 하천의 지리적 특성

본 연구에서는 S하천의 중금속 및 수질 오염도 측정결과를 활용하여 강우와의 상관성 분석을 실시하였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이, S하천은 A하천의 중류측으로 합류되며, 유역면적 및 유로연장이 각각 5.39km²와 4.63km인 지방하천이다. 평균고도는 약 184m로서 비교적 높이 위치하고 있으며, 하도경사는 하류부가 1/120, 중상류부가 1/10~1/50 정도의 급경사로 형성되어 있다. 이와 같이, 급경사로 이루어진 S하천에서 중금속 오염이 발생하는 경우에는 하류에서 연결되는 국가하천인 A하천에 큰 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석된 바 있다(Kim, 2008).

2.3 강우 특성

전술한 바와 같이, 강우가 하천의 오염상태에 영향을 미치는 점을 고려하여, S하천 지역의 강우량을 바탕으로 중금속 오염 및 수질오염과의 상관관계를 분석하기 위해 국내 및 S하천 지역에 대한 최근 10년간(2003년~2012년) 및 최근 5년간(2008년~2012년)의 월평균 및 연평균 강우량을 파악하였다. 먼저, S하천 지역의 우기철(6월~9월) 강우 집중률은 총 강우량에 대비하여 약 74%이며, 국내의 경우에는 약 68%인 것으로 확인되었다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이, 국내와 S하천 지역의 월평균 강우량을 비교한 결과, 최근 10년간 S하천의 월평균 강우량이 국내 전체에 비하여 유사하거나 다소 작은 것으로 나타났다. 그러나 7월 평균 강우량에 있어서는 S하천 지역(488mm)이 국내 전체(약 360mm)의 경우에 비하여 약 35% 정도 많이 발생한 것으로 확인되었다. 또한 최근 5년

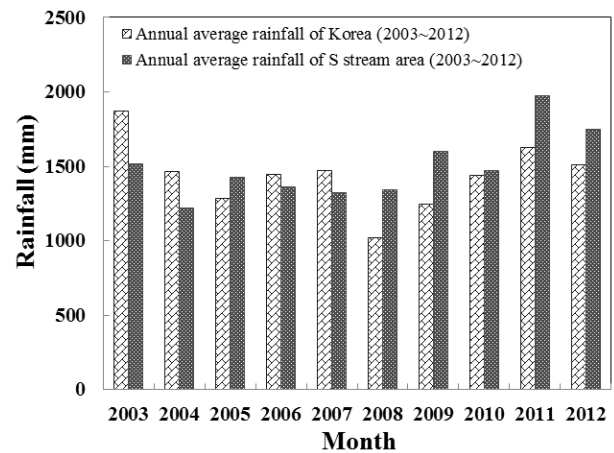


Fig. 3. Annual average rainfall of Korea and research site for the past ten years[2003~2012] (after Lee et al., 2013)

간의 7월 평균 강우량의 경우에는 10년간의 경우보다 약 50% 정도 더 증가하는 것으로 평가되었다. 이는 우기철의 강우집중률이 국내 전체보다 크게 나타난 결과의 원인인 것으로 나타났다. Fig. 3은 최근 10년간의 국내 및 S하천 지역의 연평균 강우량을 나타낸 것으로서, 2008년 이후부터는 S하천 지역에서 발생한 연평균 강우량이 국내 전체에 비하여 최소 약 2%에서 최대 약 31%까지 많이 발생한 것으로 분석되었다. 즉, 최근 2000년대 중반 이후부터 우기철에 자주 발생되고 있는 국지성 집중강우가 지역에 따른 강우 특성에 큰 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있으며(Han et al., 2004), 이는 본 연구대상 지역에서 발생되고 있는 오염도 분석 시, 고려해야 할 요소라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 S하천 지역의 연평균 강우량이 국내보다 증가하게 되는 2008년도부터 5년 동안의 강우자료를 활용하였다.

3. 하천의 오염도 조사 결과

Fig. 4에 나타난 바와 같이, 연구대상 지역의 중금속 오염도를 분석하기 위하여 과거 석산개발 지역(현재 교육시설)과 인접한 총 5개 지점(S하천 상류, 교육시설 내 지하수 및 연못, 연못의 율류와 S하천의 합류 지점, S하천 중류)에서 세 차례에 걸쳐 수질시료가 채수되었다. 각 지점에서의 1차 시료는 강우량이 전혀 없는 경우에 채수되었으며, 2차는 채수 전 약 5mm/hr의 강우가 발생한 후에 실시되었다. 그리고 3차 시료는 약 30mm/hr의 집중강우가 발행한 후에 채수되었으며, 시료 채수는 최근 시점인 2012년도에 실시된 결과를 활용하였다. 따라서 본 연구에서는

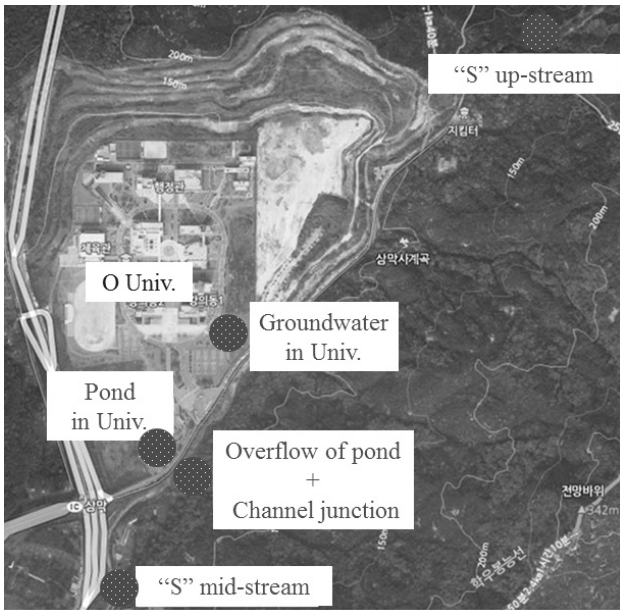


Fig. 4. Point of contamination investigation

2012년도 강우자료와 각 채수시료의 알루미늄, 크롬, 망간, 철, 구리, 아연, 비소, 셀레늄, 카드뮴, 수은 및 납에 대한 중금속 오염도 분석결과를 이용하여 중금속 오염도 상관관계를 분석하였다. 또한 수질 오염도의 경우에는 최근 5년(2008년~2012년)동안의 각 연도에 해당하는 월평균 강우량과 BOD(생화학적 산소요구량), COD(화학적 산소요구량), SS(부유물질 농도) 및 pH(수소이온 농도)와의 관계를 이용하여 분석하였다.

3.1 중금속 오염도

Table 1에 나타난 바와 같이, 각 지점에 대한 중금속 오염도를 확인한 결과, 모든 지점에서 크롬, 구리, 비소 및

수은은 검출되지 않는 것으로 확인되었으며, 철의 경우에도 기준치 미만의 오염도가 나타났다. 또한 S하천 상류에서는 알루미늄 이외의 중금속은 없는 것으로 확인되었으며, 오염도도 기준치 미만인 것으로 나타났기 때문에, 본 연구에서는 상기에서 언급된 중금속을 제외한 오염물(6개 항목)을 4개 지점에 대해서만 표시하였다.

S하천 상류를 제외한 모든 지점에서 다량의 중금속이 기준치를 초과하는 것으로 확인되었다.

먼저, 알루미늄, 망간 및 아연은 기준치에 비하여 각각 최대 약 123배, 85배 및 6배가 초과하는 것으로 확인되었다. 이는 교육시설 내에서 주로 발생된 것으로서, 교육시설과 인접한 지점에서도 기준치를 초과하였다. 셀레늄, 카드뮴 및 납의 경우에도 교육시설 내 지하수에서 각각 약 16.5배, 12배 및 32배의 최대치가 검출되었다. 즉, 석산개발 후, 매립부지에 위치하게 된 교육시설에서 많은 양의 중금속 오염물이 존재하는 것을 고려하면, 매립에 사용된 전석, 잔사 및 석분이 중금속 오염원의 직접적인 원인으로 작용하였을 것으로 판단된다. 또한 교육시설 내 연못의 월류와 S하천의 합류 지점에서도 기준치를 초과하는 높은 농도의 다양한 중금속이 존재하는 것으로 나타났으며, 상대적으로 낮은 농도를 보였던 S하천 중류의 경우에는 집중강우가 발생하지 않은 경우에는 기준치를 초과하였다.

3.2 수질 오염도

Table 2에서 보는 바와 같이, 총 5개의 수질오염 평가항목에 대하여 최근 5년 동안의 월별 측정결과를 정리하였다. 먼저, BOD, COD 및 SS는 매년 6월에서 10월 사이에 가장 높게 나타나는 경향으로 확인되었으며, pH의 경우에

Table 1. Analysis results of contamination level on heavy metals

Classification of heavy metal	Groundwater in Univ.			Pond in Univ.			Overflow of pond + channel junction			"S" mid-stream		
	Rainfall (mm/hr)											
	0	5	30	0	5	30	0	5	30	0	5	30
Al	17.56	10.21	9.715	0.109	4.948	4.324	6.151	3.977	0.282	3.331	2.79	0.451
Mn	34.41	30.98	27.49	32.48	37.37	24.88	34.1	28.32	1.38	25.01	25.94	3.538
Zn	16.84	13.34	10.28	12.81	15.4	8.828	13.49	11.6	0.518	9.9	10.48	1.256
selenium	0.165	0.13	0.105	0.109	0.106	0.065	0.101	0.073		0.069	0.057	
Cd	0.061	0.062	0.049	0.049	0.049	0.031	0.04	0.035		0.032	0.03	0.003
lead	0.28	0.04	0.317		0.112	0.071	0.055	0.056				

※ Water quality criteria

- Al: below 0.2mg/L, Mn: below 0.3mg/L, Zn: below 3mg/L, selenium: below 0.01mg/L

Cd: below 0.005mg/L, lead: below 0.01mg/L

Table 2. Analysis results of water pollutants

Classification	year	Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BOD	2008			0,65	0,25		0,65	0,55	0,20	0,20		0,70	
	2009			0,80	0,20	0,15	0,30	0,90	0,65	0,10	0,20	0,80	1,40
	2010	2,25	1,00	1,00		0,40	0,40	0,50		3,80	0,80		
	2011			1,40	0,70	0,20	0,10		0,25	3,00	0,70		0,70
	2012			1,80	0,35		3,90	0,50	0,80	1,25	2,90	1,35	1,70
COD	2008			2,15	2,30		4,25	2,3	1,80	1,95		3,00	
	2009			3,25	11,10	4,10	1,70	1,50	5,35	3,40	5,40	3,20	2,30
	2010	3,25	2,30	1,40		0,70	1,30	1,50		7,60	3,15		
	2011			2,30	1,70	1,60	0,10		2,35	6,50	2,10		3,30
	2012			4,20	1,45		15,40	2,00	2,00	1,75	3,65	1,75	1,25
SS	2008			0,80	2,80		2,35	4,60	7,20	5,40		9,20	
	2009			1,60	9,80	1,40	10,60	6,00	26,40	3,20	2,40	3,60	8,50
	2010	7,00	1,00	1,00		3,50	1,20	0,40		2,00	1,20		
	2011			0,80	1,20	1,20	2,40		1,80	8,70	1,60		4,70
	2012			6,20	0,90		4,40	1,60	3,40	3,00	3,40	2,40	0,40
pH	2008			7,98	8,42		7,32	6,82	7,37	7,18		7,86	
	2009			8,30	7,81	8,00	8,62	5,91	6,94	7,37	6,95	6,84	7,28
	2010	7,48	7,67	7,76		7,49	8,44			6,31	6,34		
	2011			6,92	6,92	6,69			6,48	7,12	7,41		6,84
	2012			8,11	8,11			5,66	7,58	6,76	6,79	8,16	6,52

※ River water quality criteria (based on normal level)

- BOD: below 5mg/L, COD: below 7mg/L, SS: below 25mg/L, pH: 6,5~8,5

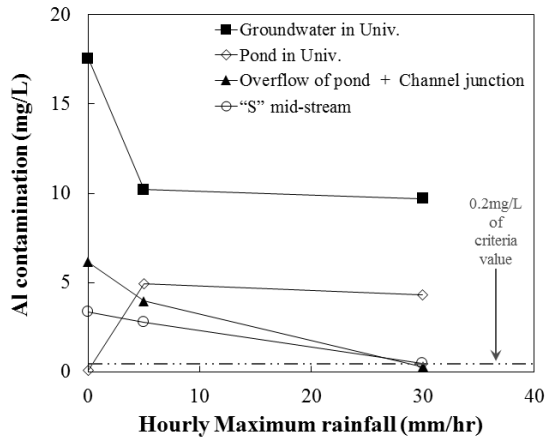
는 매년 3월~5월 사이에 최대값을 보였다. 그러나 이와 같은 결과들을 하천의 수질기준과 비교한 결과, 종합적으로 3등급(보통 상태) 정도의 결과를 나타냈다. 즉, 기존 연구 결과(Lee & Kim, 2000; Anyang-si, 2004; Han et al., 2005)들과 비교하면 과거에 비하여 수질이 높아진 것을 확인할 수 있으며, 이는 인근 지역에서 수행된 수질 복원 사업의 영향이라 할 수 있다. 그러나 3.1절의 결과와 같이, 중금속 오염이 지속적으로 나타나고 있으며, BOD, COD 및 SS가 우기철에서 건기철로 변화되는 시기에 증가하는 경향으로 확인되었기 때문에, 본 연구에서는 향후 연구대상 지역의 오염저감방안 마련을 위하여 강우와의 관계를 분석하였다.

4. 강우와 오염도의 상관성 분석

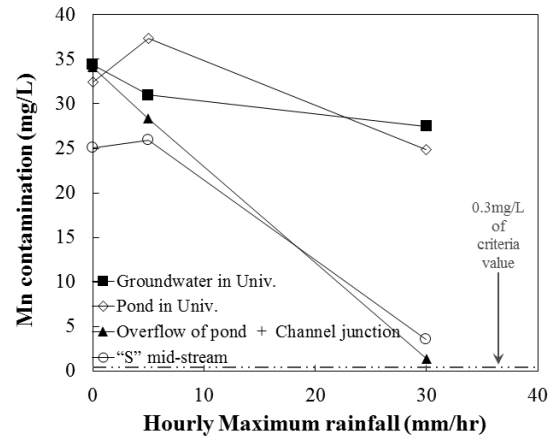
4.1 중금속 오염도에 미치는 영향

Fig. 5는 시료의 채수시기, 즉, 강우발생량에 따른 중금속 오염도를 나타낸 것이다. 먼저, 다소 불규칙적이기는

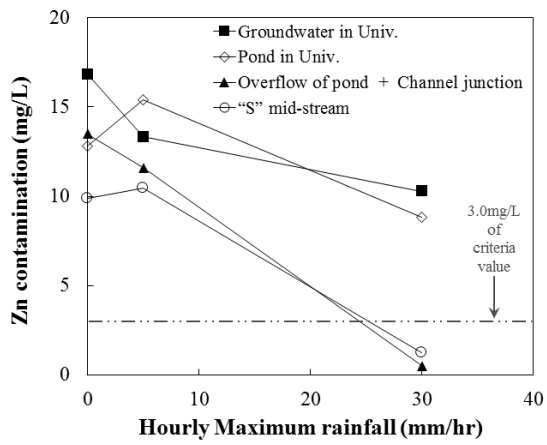
하지만, 대부분의 중금속 오염도는 강우발생 전에 최대값을 나타냈으며, 집중강우가 발생한 후에는 감소하는 경향으로 확인되었다. 이는 강우량의 증가함에 따라 하천의 중금속에 대한 최대 용해량이 증가함으로써, 희석에 의한 결과로 분석되었다. 그리고 교육시설 내 지점에서 최대값을 나타낸 중금속 오염도는 중류지점으로 갈수록 감소하는 특징을 보였다. 즉, 앞서 언급한 바와 같이, 강우에 의한 우수가 전석, 잔사 및 석분으로 매립된 교육시설 내 매립층으로 침투하여 지층에 함유된 중금속을 용해시켜 오염을 발생시킨 것으로 추정되며, 침투수가 연못으로 용출되어 이들 지점에 대한 오염도가 크게 나타난 것으로 판단된다. 또한 합류 지점에서부터 중류까지는 강우량 증가에 따른 하천 내 유수가 증가하여 오염물이 희석되어 크게 감소하는 것으로 판단된다. 그러나 대부분의 중금속 오염도는 기준치를 초과하고 있기 때문에, 연구대상 지역에 대한 오염저감방안 마련이 필요한 것으로 나타났다. 한편, 본 절에서 적용한 강우량은 2012년의 임의의 시점에서 최대시간강우량을 기준으로 측정한 것으로서, 당시의 연간 평균 강우량은 국내 전체에 비하여 높았으며, 과거 10년 동안의



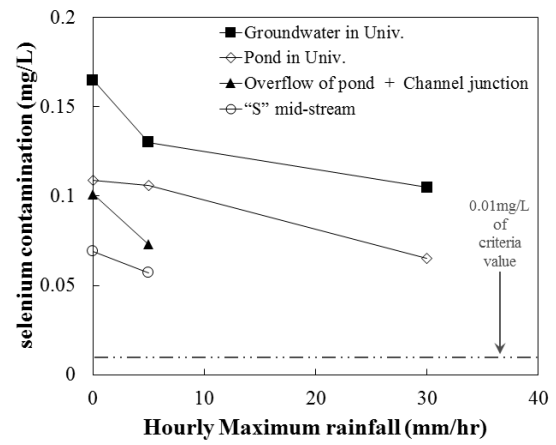
(a) Al



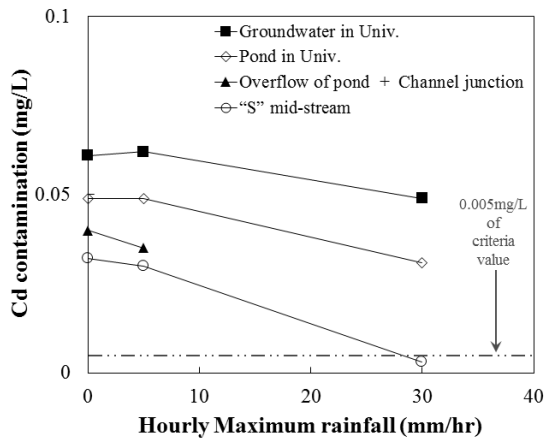
(b) Mn



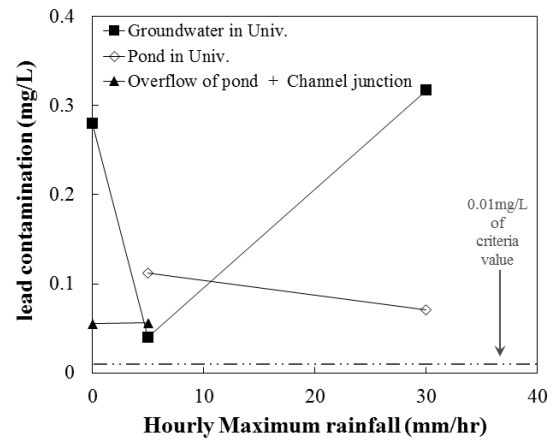
(c) Zn



(d) selenium



(e) Cd



(f) lead

Fig. 5. Relationship between Hourly Maximum rainfall and heavy metals

연간 평균강우량에 비해 두 번째로 많이 발생한 경우였다. 즉, 하천 내 유수량이 교육시설을 포함한 S하천 내 중금속 오염도에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

4.2 수질 오염도에 미치는 영향

전술한 바와 같이, 강우가 수질 오염도에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 연구대상 지역의 연평균 강우량이 국내

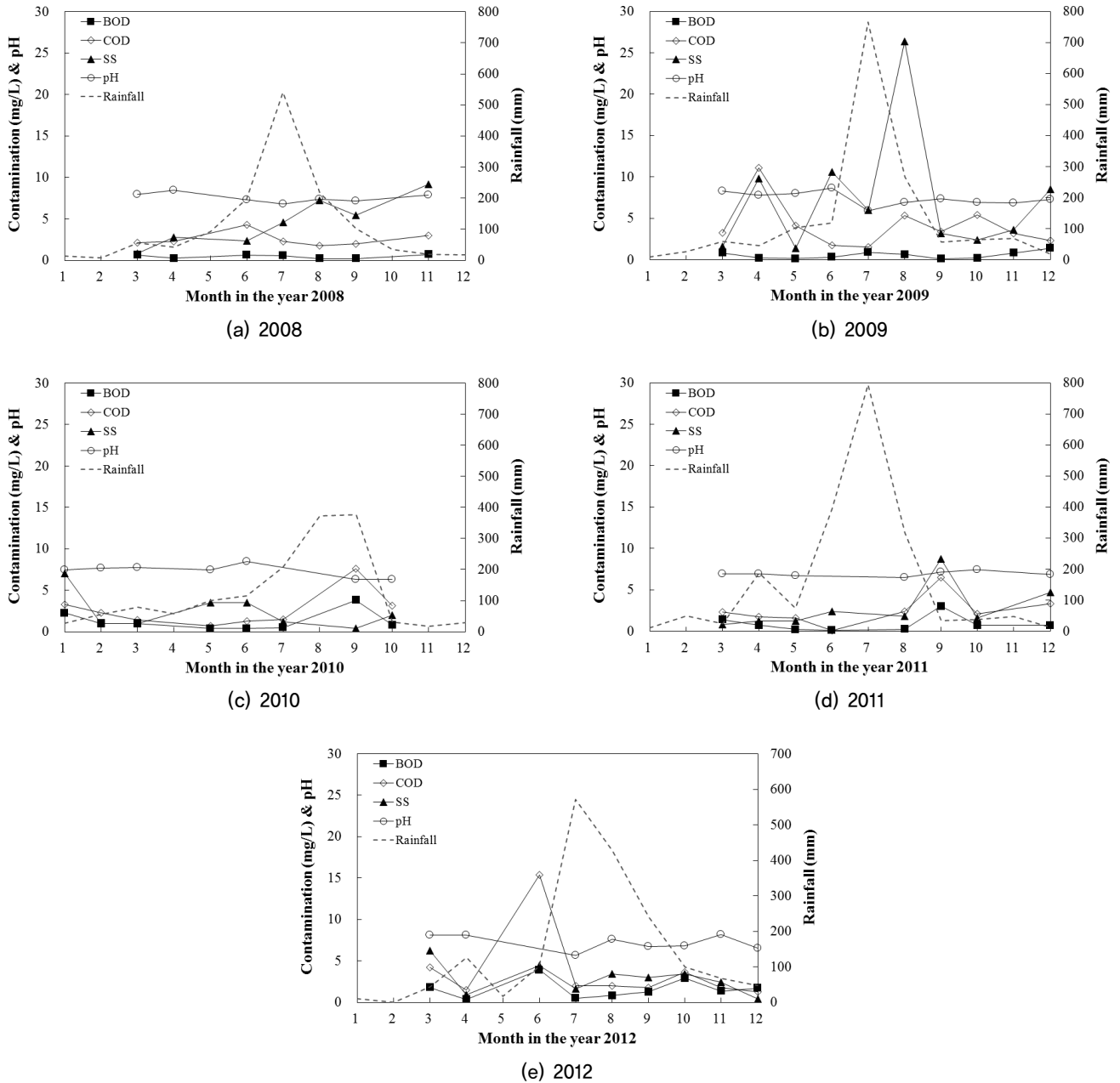


Fig. 6. Relationship between monthly average rainfall and water pollutants of research site for the past ten years

연평균 강우량보다 높게 발생한 최근 5년(2008년~2012년)동안에 대한 각 연도의 월평균 강우량 대비 4개 항목의 수질 오염도 관계를 Fig. 6에 나타내었다.

BOD의 경우, 강우량이 감소하는 시기인 9월부터 겨울철인 12월 또는 1월 사이에 가장 많이 발생하는 것으로 확인되었으며, 상대적으로 연평균 강우량이 증가한 시기(2009년, 2011년 및 2012년)에 높게 나타나는 것으로 파악되었다. COD의 경우에는 9월~11월 또는 3월~5월 사이에 많은 양이 발생하였지만, 다소 불규칙한 경향으로서 강우량과의 큰 연관성은 없는 것으로 분석되었다. SS는 강

우량이 감소하는 시기부터 증가하는 경향으로 파악되었으며, 연평균 강우량이 크게 발생한 해당 연도에서 강우가 감소하는 시기에 가장 높은 오염도를 나타내었다. 이는 강우량이 증가하면서 과거 석산개발 부지에서 많은 부유물질이 배출되어 강우가 감소함에 따라 하천에 저류되어 나타나는 현상으로 판단된다. pH는 강우와 관계없이 거의 일정하게 유지되고 있는 것으로 나타났다. 이를 종합해보면, pH를 제외한 수질 오염도는 건기시에 높은 경향을 보이며, 우기시에 낮아지는 특징을 나타내었다.

5. 결론

본 연구에서는 지속적인 중금속 오염원이 발생되고 있는 경기도의 석산개발완료 부지 인근의 지방하천을 대상으로 강우가 하천의 오염에 미치는 영향을 평가하고자, 강우량과 중금속 및 수질 오염도의 상관관계를 분석하였으며, 이를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 석산개발 후, 매립부지에 사용된 전석, 잔사 및 석분이 중금속 오염원의 직접적인 원인으로 작용함으로써 부지 내 또는 인접한 지역에서의 중금속 오염도가 높게 나타난 것으로 분석되었다. 또한 상기에 언급한 지역에서부터는 강우량 증가에 따라 하천 내 유수가 증가하여 오염물이 희석되어 오염도가 크게 감소하는 것을 고려하면, 하천 내 유수량이 오염도에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다.
- (2) 수질오염도의 경우에는 우기철에서 건기철로 변화되는 시기에 증가하는 경향으로 파악되었다. 즉, 강우량이 증가하면서 과거 석산개발 부지로부터 많은 부유물질이 배출되어 강우가 감소함에 따라 하천에 저류되어 나타나는 현상으로 판단되었다.
- (3) S하천에서 지속적인 중금속 오염 및 수질오염이 발생하고 있는 원인으로는 과거 석산개발완료 후, 매립층에 사용된 재료 및 석산개발 부지에서 오염원이 배출되는 것으로 추정된다. 특히, 중금속 오염의 경우에는 강우의 영향에 기인하여 기준치를 크게 초과하고 있기 때문에, 연구대상 지역에 대한 현장원위치에서의 오염저감방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.

상기의 결론을 바탕으로, 본 연구결과는 향후 석산개발 지역 주변 하천의 오염저감방안 마련을 위한 기초분석 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education(Grant No. 2013R1A1A2013432).

References

1. Anyang-si (2004), *Ecological environment investigation of comprehensive plan on environmental conservation in Anyang-si*, (in Korean)
2. Han, C. G., Shin, B. C., Kim, G. C and Lee, S. T. (2001), "Strength and Absorption Properties of Cement Mortar Produced with Various Content of Sludge Powder at Mines", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.13, No.6, pp.561-567. (in Korean with English summary)
3. Han, J. G., Lee, Y. K., Kim, T. H. and Hwang, E. J. (2005), "Analysis of seasonal water pollution based on rainfall feature at Anyang river basin in Korea", *Environmental Geology*, Vol.48, Issue 4-5, pp.599-608.
4. Han, J. G., Lee, Y. K. and Nam, J. M. (2004), "Analyses of Seasonal Water Quality of The Anyang Stream", *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, Vol.7, No.4, pp.52-60. (in Korean with English summary)
5. Han, J. G., Yoon, W. I., Lee, Y. K., Lee, J. Y. and Hong, K. K. (2010), "A Study on Countermeasure and Contamination Analysis for Heavy Metal Pollution of Nearby Area using Stony Mountain Field Case", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.9, No.4, pp.57-66. (in Korean with English summary)
6. Kim, C. W (2008), *Watershed Characteristics Affecting Water Quality in Urban Streams*, Ph.D. thesis, University of Seoul.
7. Korea Environment Institute (2004), *Environmental Impacts and Mitigation of Rock Quarry Exploitation - Stream Sediment and Benthic Macroinvertebrate Community Structure in Lotic Systems*, Research report. (in Korean)
8. Lee, Y. K. and Kim, K. J. (2000), "Aspect Analysis of Ecological Water Pollution in Anyang Stream", *Journal of the Korea Society of Civil Engineers*, Vol.20, No.3, pp.447-459. (in Korean with English summary)
9. Lee, B. S. and Woo, N. C. (2004), "Water contamination by acid rock drainage(ARD) and geochemical behavior of Al and Fe in the contaminated water", *Journal of the Geological Society of Korea*, Vol.40, No. 2, pp.255-277. (in Korean with English summary)
10. Lee, P. K., Youm, S. J. and Kang, M. J. (2010), "Environmental Contamination and Best Management of Stone-dust from Quarry Mine", *Economic and Environmental Geology*, Vol.43, No.4, pp.315-332. (in Korean with English summary)
11. Lee, Y. K., Han, J. G. and Hong, K. (2013), "Analysis of water pollution at stream around the developed quarry", *KSCE 2013 CONVENTION - 2013 Civil Expo & Conference*, pp.1998-2001.