

Research Paper

## 개발 사업에 의한 수질영향조사 및 사후환경영향조사 수질결과에 대한 비교·분석

-토석채취사업 및 체육시설 조성사업을 중심으로-

이세용 · 노영희 · 조한나 · 맹준호

한국환경정책·평가연구원

### Effects on Water Quality in the Development and the Comparative Analysis of Water Quality Results in Post-environmental Impact Investigation

- Focused on a Quarry Mine and Sports Facilities -

Seyong Lee · Younghee Roh · Hanna Cho · Junho Maeng

Korea Environment Institute

**요약** : 사후환경영향조사 결과의 신뢰도 제고에 대한 문제가 대두되어 왔으나 조사결과에 대한 객관적인 검증을 수행한 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 개발 사업에 의한 수질영향을 조사하였고 그 결과를 바탕으로 사후환경영향조사 시 수질분야에 결과와 비교·분석을 수행하였다. 토석채취사업장 내 오수처리시설 최종방류수에 Biochemical oxygen demand(BOD), Suspended solid(SS), Total nitrogen(T-N), Total phosphorus(T-P) 농도가 높게 나타났다. 사후환경영향조사 결과와 비교한 결과, 오수처리시설 최종방류수의 BOD, SS, T-N, T-P 농도가 사후환경영향조사 시 분기별 농도의 사분범위(Interquartile range, IQR)와 최소값과 최대값의 농도범위보다 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 체육시설(훈련원) 조성사업의 경우에는 오수처리시설 최종방류수에 BOD, SS, T-N, T-P가 높은 농도로 검출되었고 BOD와 SS 농도는 협의기준을 초과하였다. BOD와 SS 농도는 사후환경영향조사 시 오수처리시설 최종방류수의 농도와 유의한 차이를 나타냈다( $p < 0.05$ ). 이러한 연구결과, 개발 사업 시 오수처리시설 최종방류수에 대한 체계적인 수질 모니터링과 적절한 수질관리가 수행되어야 할 것이다. 또한 사후환경영향조사 결과의 신뢰도 제고를 위한 방안이 모색되어야 할 것이다.

**주요어**: 사후환경영향조사, 수질 모니터링, 수질결과 비교, 오수처리시설 최종방류수

First Author: Seyong Lee, Environmental assessment group, Korea Environment Institute, 370 Sicheong-daero, Sejong, 30147, Republic of Korea, Tel: +82-44-415-7911, E-mail: leesy@kei.re.kr

Corresponding Author: Jun-Ho Maeng, Environmental assessment group, Korea Environment Institute, 370 Sicheong-daero, Sejong, 30147, Republic of Korea, Tel: +82-44-415-7653, E-mail: jhmaeng@kei.re.kr

Co-Authors: Younghee Roh, Future Environmental Strategy Research Group, Korea Environment Institute, 370 Sicheong-daero, Sejong, 30147, Republic of Korea, Tel: +82-44-415-7426, E-mail: yhroh@kei.re.kr

Hana Cho, Environmental assessment group, Korea Environment Institute, 370 Sicheong-daero, Sejong, 30147, Republic of Korea, Tel: +82-44-415-7774, E-mail: hncho@kei.re.kr

Received: 11 October, 2017. Revised: 19 December, 2017. Accepted: 22 December, 2017.

**Abstract :** Post-Environmental impact investigation(Post-EII) plays an important role in investigating and reducing the environmental impacts of construction operations in South Korea. To date, it has been estimated that the results for Post-EII showed the low reliability; however, understanding those reliability has rarely been studied. We investigated the effect on water qualities by construction operations of the quarry mine, training center, and golf club in South Korea. In addition, the results of water quality analysis in this study were compared and analyzed with those in Post-EII. Treated wastewater in a quarry mine showed high concentrations of biochemical oxygen demand(BOD), suspended solid(SS), total nitrogen(T-N), and total phosphorus(T-P). Compared with the water quality results between this study and Post-EII, the concentrations of BOD, SS, T-N, and T-P in the treated wastewater were higher than the interquartile range(IQR) as well as the range of the results from minimum to maximum in Post-EII( $p < 0.05$ ). The concentrations of BOD, SS, T-N, and T-P in treated wastewater were high under constructions in a training center. The concentrations of BOD and SS exceeded the consultation standard for the treated wastewater. These concentrations showed the significant difference with the IQR and the range from minimum to maximum of the water quality results in Post-EII( $p < 0.05$ ). Therefore, the management and monitoring for water quality should be conducted in the treated wastewater by of construction operations. In addition, the alternative to enhance the reliability for the water quality results should be sought in Post-EII.

**Keywords:** Post-Environmental impact investigation(Post-EII), Water quality monitoring, Comparison of water quality results, Treated wastewater

## I. 서론

우리나라의 환경영향평가는 개발 사업이 환경에 미치는 영향을 사전에 조사, 예측, 평가함으로써 사업으로 인한 환경 피해를 제거 또는 감소시키는데 그 목적이 있다(Environmental impact assessment act article 2). 환경영향평가 사후관리는 1990년 환경정책기본법 제정 시 협의내용 이행 관리를 목적으로 도입되었다. 사후관리는 우리나라 법령에 정의가 되어 있지는 않지만, 협의내용 이행 및 관리와 사후환경영향조사로 구분된다. 협의내용의 이행 및 관리는 사업자가 사업계획 등에 반영된 협의내용을 이행하고 기록하여 승인기관과 환경부에 관리와 감독을 받는 것을 의미한다(Environmental impact assessment act article 35 and 39). 사후환경영향조사는 사업자가 사업 착공 후 사업이 주변 환경에 미치는 영향을 조사하는 것으로 1993년에 환경영향평가법에 추가되었다(Environmental impact assessment act article 36). 「환경영향평가서 등 작성에 관한 규정」 제2조에서는 사후환경영향조사를 ‘사업 착공 시부터 발생될

수 있는 환경피해를 방지하고, 환경영향평가가 적절하게 수행되었는지 확인하기 위해 사업자가 행하는 주변 환경에 대한 조사·분석 및 평가 행위’ 라고 명시하였다.

국외의 사후관리에 대한 정의를 살펴보면, 미국은 사업자가 환경영향평가 사후관리에 대한 협의사항의 준수여부 확인(Implementation monitoring), 저감대책의 효과 검증(Effectiveness monitoring), 예측모델의 정확도 검증(Validation monitoring)을 수행하게 한다(U.S. Environmental Protection Agency 1998). 캐나다는 규제사항 및 저감대책에 대한 이행 여부 조사(Compliance monitoring), 예측값과 측정값의 비교를 통한 예측의 정확성과 저감대책의 효과 검증(Follow-up) 절차를 이행하도록 한다(Canadian Environmental Assessment Agency 2011). 일본에서는 사업에 의한 환경영향조사와 환경영향평가 시 예측값의 정확성 및 평가와 저감대책의 적정성에 대한 검증을 실시한다(Ministry of Environment 2012). 국외에서는 사업에 의한 환경영향에 대한 조

사뿐만 아니라 환경영향평가 시 예측값과 저감대책에 대한 검증을 적극적으로 수행하고 있다. 사후환경영향조사 시 사업 착공과 운영과정의 일부기간 동안 실측한 결과를 분석하고 검증하는 과정은 환경영향평가 시 예측값과 저감대책에 대한 정확도와 신뢰도를 향상시키는데 기여할 수 있기 때문에 결과에 대한 검증이 사후관리에 중요한 요소가 된다(Marshall et al. 2005; Choi & Park 2015).

현재 우리나라 사후환경영향조사 시 조사결과 및 분석의 질적 수준이 아직까지 미흡한 실정이다(Maeng et al. 2006; Choi et al. 2011). 사후환경영향조사 수환경 분야에는 조사결과 및 분석을 위해 조사결과를 제시하고 수질환경기준에 대한 초과 여부를 제시하고 있다(Choi et al. 2004; Maeng & Joo 2008). 사업에 의한 수질영향에 대해 원인규명을 객관적이고 논리적으로 분석하지 못하고 있는 상황이다. 예를 들면, 수질결과가 환경영향평가 시 결과보다 증가하거나 수질환경기준을 초과한 경우에 결과만 제시하거나 사업에 의한 영향이 아니라 주변 환경에 의한 영향이라고 작성되어 있고 이를 뒷받침할 객관적인 자료를 제시하지 못하고 있다. 이러한 원인은 사업자와 환경조사자 간의 종속적 계약관계, 사후환경영향 조사비용의 부적절한 산정, 협의기관 및 검토기관의 업무 부담으로 인한 미흡한 점검과 검토가 제기되었다(Ministry of Environment 2000). 그 결과 사후환경영향조사 수질결과에 대한 정확도와 신뢰도가 낮다고 평가되어 왔다. 이러한 상황에도 불구하고 사후환경영향조사 수질결과에 대한 비교, 분석을 통한 검증을 수행한 연구가 매우 미흡한 실정이다(Ministry of Environment 2000). 또, 사업에 의해 발생하는 오염물질을 감소시키는 저감시설의

설치, 운영, 관리가 적절하게 수행되고 있지 않다고 문제를 제기해 왔다(Maeng et al. 2006; Choi et al. 2011). 본 연구는 개발 사업으로 인해 수환경에 영향을 미치는 대표적인 사업으로 토석채취사업 및 체육시설 조성사업을 대상으로 현장조사와 사업부지 내·외의 수질을 분석하여 사업이 수질에 미치는 영향을 파악하였다. 또한 분석한 수질결과와 사후환경영향조사 시 수질결과를 비교·분석하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상사업 및 시료채취지점 선정

본 연구에서는 개발 사업이 주변 수질에 미치는 영향을 조사하기 위해 토석·모래·자갈·광물 등의 채취사업(토석채취사업)과 체육시설의 조성사업(훈련원과 골프장 조성사업)을 연구대상사업으로 선정하였다. 토석채취사업은 규모가 211,677m<sup>2</sup>로 1993년에 개발 사업을 시작으로 현재에도 활발하게 채석을 하고 있으며 이 지역 암석은 선캄브리아기 흑운모편암으로 구성되어 있다(Lee et al. 2010). 훈련원 조성사업은 면적 1,594,870m<sup>2</sup>로 2015년 2월에 착공하여 2016년 9월 조사 당시 공사 중이었다. 골프장 조성사업은 사업면적 1,009,660.6m<sup>2</sup>에 체육시설을 조성하는 사업으로, 2010년 7월 공사가 착공되어 2013년 10월 공사가 완료된 사업으로 현장 조사 시 운영 중이었다. 연구방법은 문헌조사, 현장조사, 시료채취, 수질분석, 사후환경영향조사 시 수질결과와의 비교, 분석을 통하여 연구를 수행하였다(Figure 1).

시료채취지점은 수질오염 공정시험기준을 참고하여 연구목적에 맞도록 조사지점을 구분하여 선정하였다. 사업이 수질에 미치는 영향을 조사하기 위해 사업

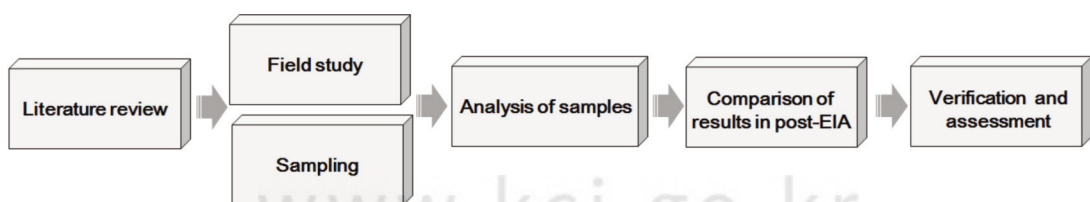


Figure 1. Flow chart for a research process

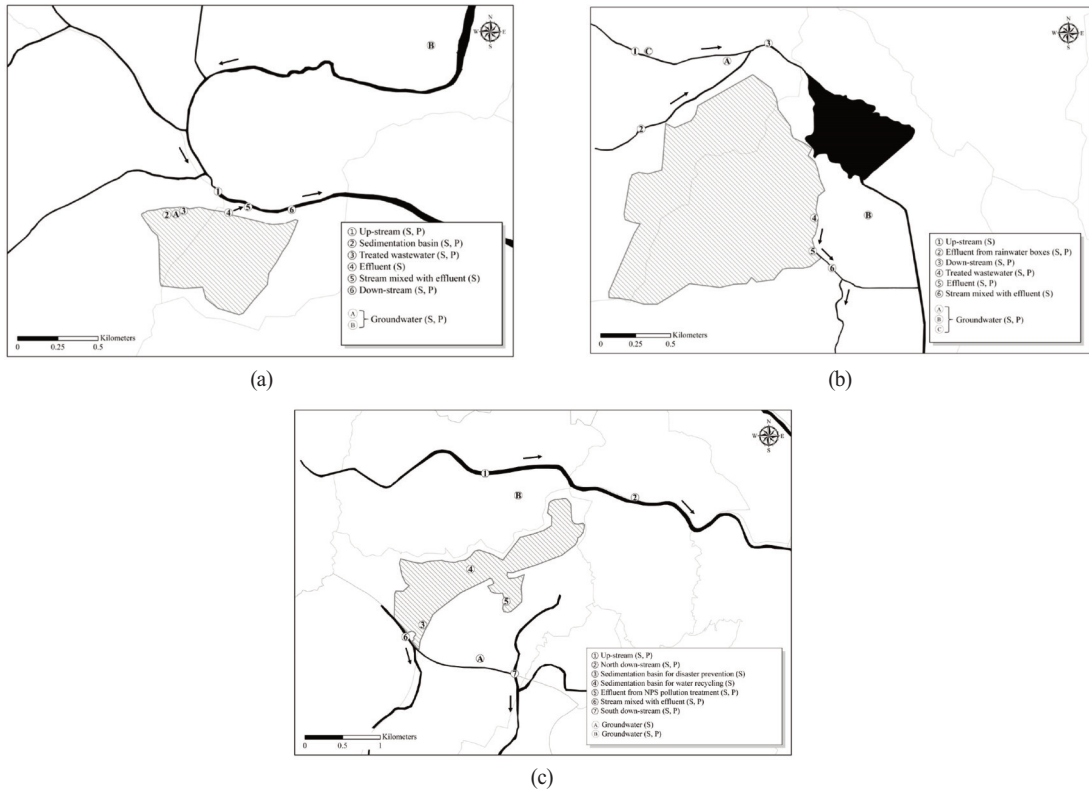


Figure 2. Sampling sites for (a)Quarry mine; (b)Training center; and (c)Golf club. S and P in sampling sites indicate the abbreviation for this study and Post-EII, respectively.

수질 미영향지점(배경지점, No effective site)과 사업에 의한 수질 영향지점(Effective site)에 대해 구분하여 조사지점을 선정하였다. 배경지점은 사업이 수질에 미치는 영향 여부를 판단하기 위한 대조군으로서 사업에 의해 영향을 받지 않는 지점으로 선정되었다. 또, 사업에 의한 수질영향지점은 사업이 수질에 미치는 영향을 조사하기 위해 사업장 내부와 외부 지점이 선정되었다. 사업장 내부지점은 사업장 내 취수를 하는 지점 또는 오염원이 외부로 유출되거나 유출 가능성이 있는 지점을 의미한다. 사업장 외부지점은 사업장 외부에 위치한 지점으로 사업장에서 외부로 유출되어 수질에 영향을 미칠 수 있는 지점을 의미한다.

상기 제시한 조사지점 선정방법을 기준으로 연구대상사업인 토석채취사업, 훈련원 조성사업, 골프장 조성사업에 조사지점을 각각 선정하여 현장측정 및 시료채취를 수행하였다(Figure 2). 현장조사는 2016년

9월 20일과 23일에 토석채취사업, 9월 22일과 29일에 훈련원 조성사업, 9월 26일과 30일에 골프장 조성사업을 대상으로 사업장과 주변 수계를 파악하고 시료채취지점을 선정하기 위해 사전에 실시하였다. 현장조사 후 9월 23일(토석채취사업), 9월 29일(훈련원 조성사업), 9월 30일(골프장 조성사업)에 시료채취 및 일부 수질분석항목은 현장에서 즉시 측정하였다.

## 2. 수질분석항목 및 조사방법

연구대상사업 조사지점에 물 시료의 수온(Temperature), pH, 용존산소(Dissolved Oxygen, DO), 전기전도도(Electrical Conductivity, EC)를 현장에서 즉시 측정하였고 다른 수질분석항목은 수질오염공정시험기준 “환경부 고시 제2017-4호”에 준하여 시료채취 및 분석을 수행하였다(Table 1). 토석채취사업은 채석하는 과정에서 발생될 수 있는 석분과 토사유출,

중금속 오염, 우수처리시설 최종방류수에 부유물질을 주요 대상오염물질로 선정하여 조사를 수행하였다. 훈련원과 골프장 조성사업은 사후환경영향조사 시 조사하는 수질분석항목을 대상으로 선정하였고 골프장 조성사업의 경우에는 농약류(28종)에 대한 조사를 수행하였다. 시료의 수질분석은 수질오염공정시험기준을 적용하였고 시료마다 이중(Duplicate)으로 분석하여 결과의 신뢰도를 높였다.

현장조사를 통해 조사지점에 수질을 분석한 결과와 사후환경영향조사결과 통보서의 결과를 비교, 분석하였다. 사후환경영향조사결과는 최근 분기별 조사결과를 적용하였다. 토석채취사업의 경우에는 2012년 1분기부터 2016년 4분기 각 조사지점에 수질결과를 이용하였다(Post-EII report for developing the quarry mine 2012~2017). 침사지(Sedimentation basin)의 조사결과는 2013년 3분기부터 2015년 4분기까지의 결과를 사용하였고 우수처리시설 최종방류수

(Treated wastewater)의 조사결과는 2013년 3분기부터 2016년 4분기까지의 결과를 이용하였다. 훈련원 조성사업은 2015년 1분기부터 2016년 4분기까지 조사결과를 적용하였다(Post-EII report for developing the training center 2015~2016). 골프장 조성사업은 2012년 1분기부터 2015년 2분기까지 결과를 이용하였다(Post-EII report for developing the golf club 2012~2015).

### III. 연구결과 및 토의

#### 1. 사업별 수질결과 분석

##### (1) 토석채취사업

토석채취사업이 수질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 사업부지 내·외로 시료를 채취하여 분석한 결과를 제시하였다(Table 2). 사업장 내 우수처리시설 최종방류수의 BOD, SS, T-N, T-P 농도가 각각 18.3,

Table 1. Water quality parameters in sites

Sites		Water quality parameter
Quarry mine	Out quarry	Up-stream
	In quarry	Sedimentation basin
		Treated wastewater
	Out quarry	Effluent
		Stream mixed with effluent
	Down-stream	
Training center	Out center	Up-stream
		Effluent from rainwater boxes
	In center	Down-stream
		Treated wastewater
		Effluent
Out center	Stream mixed with effluent	
Golf club	Out club	Up-stream
		North down-stream
	In club	Effluent from Non-point source(NPS) pollution
		Sedimentation basin for disaster prevention
		Sedimentation basin for water recycling
	Out club	Stream mixed with effluent
South down-stream		

1) Dichlofluanid, Tolyfluanid, and Tralomethrin

2) Fipronil, Dichlorovos, Phorate, Dimethoate, Edifenphos, Fosthiazate, and Carbaryl

3) Azoxystrobin, Carbendazim, Chlorpyrifos, Diazinon, Dichlobenil, Fenitrothion, Flutolanil, Iprodione, Pyrimethanil, Tebuconazole, Thifluzamide, Thiophanate-methyl, Trifloxystrobin, Triflumizole, Cadusafos, Diniconazol, Propamocarb-hydrochloride, and Acephate

21.6, 28.0, 4.5 mg L<sup>-1</sup>로 검출되었다(Table 2). SS 농도는 하수도법 제7조 제1항, 하수도법 시행규칙 제3조 제1항 제3호(별표 3)에 의거하여 개인하수처리시설(50 m<sup>3</sup> 미만 1 day<sup>-1</sup>) 방류수의 SS 수질기준 20 mg L<sup>-1</sup>를 초과하였다. 사업장 내부에 오수처리시설 최종 방류수가 수로를 통해 외부로 이동하는 유출수를 분석한 결과, BOD, SS, T-N, T-P 농도가 3.8, 23.0, 18.9, 1.2 mg L<sup>-1</sup>로, BOD 농도는 최종방류수가 수로를 지나면서 크게 감소하였다. 이것은 최종방류수 내 유기물이 미생물막(Biofilm)을 형성하여 유기물의 흡착과정(Adsorption)을 겪으면서 유기물의 농도가 일시적으로 감소하는 경향을 나타낸 것으로 판단된다(Rodgers 1999; Semmens et al, 2003; Shahot et al, 2014). BOD 농도의 감소에 비하여 SS, T-N, T-P 농도는 크게 감소하지 않았다(Semmens et al,

2003). 특히, SS는 수로를 이동하는 과정에서 쉽게 제거되지 않는다고 판단된다. 또한 SS 내 존재하는 입자상 유기물질(Particulate organic matter)은 질산화(nitrification)를 저해함으로써 미생물막에 의한 질소의 제거율을 감소시킨다고 보고되었다(Figueroa & Silverstein 1992). 최종방류수가 외부로 유출되는 과정에서 SS는 감소되지 않았으며 인근 하천(병천천)과 합류되었다. 합류된 유출수는 하류로 이동하면서 SS 농도가 감소되었는데, 이것은 하천에 침전, 여과, 분해 과정을 통해 SS농도가 감소된 것으로 판단된다.

토석채취개발에서 발생될 수 있는 중금속의 오염을 조사하기 위해 사업부지 내·외 조사지점에 물시료 내 카드뮴(Cd), 비소(As), 수은(Hg), 크롬 6가(Cr(VI)), 아연(Zn), 구리(Cu), 니켈(Ni), 철(Fe) 농도를 분석하였다(Table 3). 시료 채취한 모든 지점에

Table 2. Water quality of effluents and streams from a variety of sites

Sites		T(°C)	DO (mg L <sup>-1</sup> )	pH	EC (µs cm <sup>-1</sup> )	BOD (mg L <sup>-1</sup> )	COD (mg L <sup>-1</sup> )	SS (mg L <sup>-1</sup> )	T-N (mg L <sup>-1</sup> )	T-P (mg L <sup>-1</sup> )
Quarry mine	Up-stream	20.5	8.1	6.9	365	0.8	3.8	15.8	1.5	0.03
	Sedimentation basin	22.9	5.4	7.6	503	0.5	1.8	2.8	2.4	0.05
	Treated wastewater	24.4	2.3	7.4	567	18.3	19.0	21.6	28.0	4.54
	Effluent	23.2	4.8	8.0	846	3.8	11.3	23.0	19.0	1.19
	Stream mixed with effluent	24.0	8.9	7.3	369	2.6	5.0	27.0	1.5	0.06
	Down-stream	24.7	9.1	7.5	371	1.2	3.2	4.9	1.4	0.08
Training center	Up-stream	21.1	8.1	7.0	145	1.3	2.5	1.3	1.9	0.05
	Effluent from rainwater boxes	17.5	8.4	7.0	248	3.5	1.0	8.3	1.4	1.40
	Down-stream	19.8	8.5	7.7	264	4.5	2.4	12.4	1.4	1.78
	Treated wastewater	24.0	2.0	7.8	758	21.5	35.6	75.0	76.0	14.53
	Effluent	18.6	8.1	7.5	344	0.9	1.8	16.2	4.1	0.24
Stream mixed with effluent	17.8	5.7	6.5	294	3.8	7.3	12.1	1.8	0.02	
Golf club	Up-stream	20.5	9.8	8.0	284	2.4	5.7	1.1	2.0	0.05
	North down-stream	21.0	7.8	6.8	302	2.0	5.3	1.0	1.6	0.06
	Effluent from NPS pollution treatment	22.3	2.2	7.1	188	3.2	8.1	4.6	1.6	0.31
	Sedimentation basin for disaster prevention	22.6	5.8	7.8	250	2.2	13.7	6.2	2.4	0.64
	Sedimentation basin for water recycling	22.8	5.7	8.6	143	1.5	3.5	2.2	1.3	0.06
	Stream mixed with effluent	19.3	8.5	7.9	511	1.8	5.1	1.3	1.9	0.02
	South down-stream	21.7	7.8	7.8	510	3.1	7.5	14.7	3.3	0.05
Water quality criteria about treated wastewater - In the case of treated capacity below 50m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup>		-	-	-	-	20.0	-	20.0	-	-

Table 3. Concentrations of heavy metals in water samples (Units: mg L<sup>-1</sup>)

Sites		Cd	As	Hg	Pb	Cr(VI)	Zn	Cu	Ni	Fe
Quarry mine	Up-stream	0	0	0	0	0	0.023	0	0	0.209
	Sedimentation basin	0	0	0	0	0	0.041	0	0	0.052
	Treated wastewater	0	0	0	0	0	0.096	0.011	0	0.406
	Effluent	0	0	0	0	0	0.058	0	0	0.308
	Stream mixed with effluent	0	0	0	0	0	0.057	0	0	0.048
	Down-stream	0	0	0	0	0	0.155	0	0	0.303

지표수에서는 Cd, As, Hg, Cr(VI), Ni은 검출되지 않았다. 이 결과는 이전에 토석채취개발지점에서 중금속을 분석한 결과와 유사한 수준을 보였다(Lee et al., 2010, 2014). 반면에 Zn 농도는 이전 연구에서는 검출되지 않았으나 본 연구에서 Zn와 Fe이 모든 지점에서 검출되었다. 조사지점별로 Zn와 Fe의 농도를 살펴보면, 사업부지 외부에 있는 배경지점인 병천천 상류, 사업부지 내 침사지, 유출수가 병천천과 합류되는 지점에서 Zn와 Fe의 농도가 상대적으로 낮게 나타났다. 하지만 사업부지 내 우수처리시설 최종 방류수와 병천천 하류에서 Zn와 Fe의 농도가 각각 96  $\mu\text{g L}^{-1}$ 와 406  $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 비교적 높은 편이었다. Cu는

우수처리시설 최종방류수에서만 11  $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 농도로 검출되었고 다른 조사지점에서는 검출되지 않았다. 지하수 수질을 분석한 결과, 사업부지 내·외 조사지점에서 중금속이 검출되지 않았다(Table 4). 수중에 존재하는 중금속 농도가 크게 우려할 수준이 아니므로 토석채취사업에 의한 중금속 오염은 심각하지 않다고 판단된다. 다만 중금속마다 고유한 특성을 고려할 때, 중금속은 유기물, 토양, Fe, Mn 등과 흡착(Adsorption) 또는 복합화(Complexation)를 통해 자연유기물(Natural organic matter), 퇴적토, 암석 등에 존재할 수 있기 때문에 물뿐만 아니라 퇴적물, 토양, 생물체 내 중금속 농도를 조사할 필요가 있다

Table 4. Water quality of groundwater in the sites

Parameter	Units	Quarry mine		center			Golf club	
		Ⓐ	Ⓑ	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	Ⓐ	Ⓑ
T(°C)	°C	16.9	20.7	14.4	17.8	21	21.8	15.5
DO	mg L <sup>-1</sup>	1.8	5.8	5.7	6.0	5.0	6.2	7.2
pH	-	6.5	6.7	7.1	6.8	7.2	7.4	7.5
EC	$\mu\text{S cm}^{-1}$	310.5	155.8	188.3	167.5	75.2	296.9	164.1
BOD	mg L <sup>-1</sup>	0.1	0.7	0.7	1	0.8	0.5	0.9
SS	mg L <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	0	0
T-N	mg L <sup>-1</sup>	2.5	3.5	5.3	2.7	0.7	0.7	7.3
T-P	mg L <sup>-1</sup>	0.11	0.07	0.02	0.02	0.01	0.02	0.04
Total coliform	MPN 100mL <sup>-1</sup>	-	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
NO <sub>3</sub> -N	mg L <sup>-1</sup>	-	-	4.7	2.6	0.8	1.0	7.6
Fecal	MPN 100mL <sup>-1</sup>	-	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cd	mg L <sup>-1</sup>	n.d.	n.d.	-	-	-	-	-
As	mg L <sup>-1</sup>	n.d.	n.d.	-	-	-	-	-
Hg	mg L <sup>-1</sup>	n.d.	n.d.	-	-	-	-	-
Pb	mg L <sup>-1</sup>	n.d.	n.d.	-	-	-	-	-
Cr(VI)	mg L <sup>-1</sup>	n.d.	n.d.	-	-	-	-	-

Ⓐ and Ⓑ in a quarry mine and a golf club and Ⓐ, Ⓑ, and Ⓒ in a training center indicate the sampling sites for groundwater monitoring.  
\*n.d. : not detected.

(Ravichandran 2004).

## (2) 혼련원 조성사업

혼련원 조성을 위해 공사하는 과정에서 수질에 미치는 영향을 조사하기 위해 사업장 외부에 위치한 배경지점, 사업장 내부에 오수처리시설 최종방류수, 외부로 유출되는 지점, 하천과 합류되는 지점에 수질 분석한 결과를 제시하였다(Table 2). 현장측정항목에 오수처리시설 최종방류수의 용존산소(Dissolved oxygen, DO)농도가  $2.0 \text{ mg L}^{-1}$ 로 낮았으며, 전기전도도 수치는  $758 \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 일반적인 수치보다 다소 높았다. 오수처리시설 최종방류수는 오수가 처리되는 과정에서 미생물에 의한 혐기성 소화로 DO 농도의 감소가 예상된다. 높은 전기전도도는 오수처리시설 최종방류수에 많은 이온들이 존재하고 있다는 것을 의미한다. 그리고 SS 농도는  $75 \text{ mg L}^{-1}$ 로 상당히 높은 농도를 보였다. 최종방류수에 높은 이온강도는 Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek (DLVO) theory에 의해 입자의 확산이중층(Diffuse double layer thickness)을 감소시켜 입자 간 플럭(Floc)을 생성시킨다(Zita & Hermansson 1994; Mesticou et al. 2014). 그 결과, 오수처리시설 최종방류수 내 SS 농도 증가를 촉진시킬 수 있을 것으로 사료된다.

오수처리시설 최종방류수의 T-N과 T-P의 농도는  $76.0 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $14.5 \text{ mg L}^{-1}$ 로 각각 검출되었다(Table 2). 이 수치는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 제26조 공공폐수처리시설의 방류수 수질기준인  $20 \text{ mg L}^{-1}$ (T-N)과  $2 \text{ mg L}^{-1}$ (T-P)를 초과하였다. 또한, BOD 농도 역시  $21.5 \text{ mg L}^{-1}$ 로 수질 기준인  $10 \text{ mg L}^{-1}$ 를 초과한 결과를 나타냈다. 오수처리 후 최종으로 유출되어 하수관거를 통해 사업장 밖으로 유출되는 지점(사업장 유출수)에서 시료를 채취한 결과, BOD, SS, T-N, T-P의 농도는 상당히 감소하였다. 최종방류수의 SS는 방류수에 포함되어 있는 다량의 이온과 결합하여 전극-중화 기작(charge neutralization mechanism)에 의해 바닥에 침전된 것으로 판단된다(Bukhari 2008; Cheng & Saiers 2010; Zhang et al. 2010). 오수처리시설 방류수의 T-N, T-P, BOD의 높은 농도는 수로를 지나가면서

유기물이 관수로에 부착되어 있는 미생물막에 흡착반응으로 저감되는 것으로 사료된다(Rodgers 1999; Semmens et al. 2003; Shahot et al. 2014). 현장조사 시 사업장 유출수의 조사지점에 흑갈색을 띠는 물질들이 수로에 부착되어 있는 것을 확인하였다. 미생물막은 일정한 용량에 도달하거나 외부 영향에 의해 탈착(Desorption)될 수 있어 하천을 오염시킬 수 있기 때문에 근본적으로 오수처리를 개선할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다(Semmens et al. 2003). 사업장에 설치된 오수처리시설이 오염물질을 효과적으로 처리하지 못하여 발생하는 문제는 최종방류수 내 BOD, SS, T-N, T-P의 높은 농도를 유발시키고 대장균수 역시 증가시킬 것이다. 최종적으로 오수를 처리한 후에 외부로 방류되는 최종방류수에서 총대장균은  $6300 \text{ CFU } 100 \text{ mL}^{-1}$ 의 높은 농도가 검출되었다. 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 26조 관련 폐수종말처리시설의 방류수 수질기준에 총대장균의 기준치인  $3000 \text{ CFU } 100 \text{ mL}^{-1}$ 를 초과하였다. 따라서 오수처리시설에 대한 운영 및 관리에 관한 방안 및 대책이 수립, 수행되어야 할 것이다.

## (3) 골프장 조성사업

골프장을 대상으로 사업장 외부에 배경지점, 사업장 내부에 비점오염처리시설, 재해용 및 재해용 저류지, 유출수의 합류지점, 하류지점을 조사지점으로 설정하여 사업부지 내 수질변화와 사업이 수질에 미치는 영향을 조사하였다(Table 2). 사업장 내부에서 채취한 시료에 전기전도도가 오히려 사업장 외부에 시료의 전기전도도보다 낮았다. 또한 분석한 대부분의 수질항목에 농도가 비교적 낮게 나타났다. 하지만 재해용수로 이용되고 있는 저류지에서 COD 농도가  $13.7 \text{ mg L}^{-1}$ 로 나타났고, T-P 농도는  $0.64 \text{ mg L}^{-1}$ 로 다소 높게 나타나 호소생활환경기준 매우 나쁨(VI 등급)에 해당되었다. BOD 농도는  $2.2 \text{ mg L}^{-1}$ 로 COD 농도와 큰 차이를 보였다. 따라서 재해용수에는 생물학으로 분해가 되지 않는 난분해성 유기물질이 다량 존재할 것으로 사료된다. 이것은 홍수기에 주변 산림과 잔디에서 유입된 낙엽, 동식물 사체 등의 난분해성 유기물이 재해용수용 저류지에 유입되

기 때문이다(Kim et al, 2006). 또 제초제나 살충제 역시 생물학적으로 분해가 되지 않는 난분해성 물질로 재해용 저류지에 함유되어 있을 가능성이 있으므로, 모든 조사지점에서 농약류 28종(고독성, 잔디 사용금지, 일반항목 농약류)을 분석하였다. 그 결과, 모든 저류지에서 농약류는 검출되지 않았다. 따라서 저류지에 비교적 높은 COD 농도는 산림에서 유입된 자연적 난분해성 물질일 가능성이 높다.

## 2. 사후환경영향조사 시 수질결과의 비교 및 분석

### (1) 토석채취사업

토석채취사업에 의한 수질영향을 조사하기 위해 현장조사를 통해 분석한 수질결과와 사후환경영향조사 시 결과를 비교, 분석하였다(Figure 3). 현장조사를 통한 오수처리시설 최종 방류수의 SS는  $21.6 \text{ mg L}^{-1}$ 의 농도로 검출되었다. 사후환경영향조사 시(2013년 3분기부터 2016년 4분기) 오수처리시설 최종방류수의 분기별 SS 농도 사분범위(Interquartile range, IQR)는  $1.5 \sim 5.1 \text{ mg L}^{-1}$ 이고 최소값과 최대값의 범위는  $1.0 \sim 9.3 \text{ mg L}^{-1}$ 를 나타냈다. 본 연구에서는 사후환경영향조사에 오수처리시설 최종방류수의 SS 농도 분기별 결과(표본수 14개)에 대하여 정규성 검정(Normality test)을 수행하였다. 그 결과, 사후환경영향조사결과 통보서 내 오수처리시설 최종방류수에 SS 농도를 분석한 결과들이 정규성을 만족하였다( $p > 0.05$ , Shapiro-Wilks test by SPSS statistics 17.0). 이 결과를 바탕으로 일표본 T검정(One sample t-test)을 수행하여 현장조사를 통해 분석한 수질결과와 사후환경영향조사 시 수질결과가 유의한 차이가 있다고 판단하였다( $p < 0.05$ ). 또 오수처리시설 최종방류수의 T-N 농도도 현장조사를 통한 분석결과와 사후환경영향조사결과가 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 현장조사를 통한 최종방류수 수질을 분석한 결과, T-N 농도는  $28.0 \text{ mg L}^{-1}$ 로 나타났다. 하지만 사후환경영향조사결과에서 T-N 농도의 최소값과 최대값의 범위는  $0.9 \sim 5.6 \text{ mg L}^{-1}$ (IQR  $1.4 \sim 3.3 \text{ mg L}^{-1}$ , 평균값  $2.32 \text{ mg L}^{-1}$ )로 분석되었고 정규성 검정을 만족하였다( $p > 0.05$ ). 반면에 침사

지와 주변하천 상류·하류에 BOD, SS, T-N, T-P 농도는 사후환경영향조사결과와 유의한 차이가 나타나지 않았다(Figure 3). 따라서 본 연구 결과와 사후환경영향조사 수질을 분석한 결과를 비교, 분석할 때, 오수처리시설에 대한 보다 객관적인 모니터링이 필요하며 적절한 관리가 수행될 수 있는 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

### (2) 훈련원 조성사업

훈련원 조성사업에 사후환경영향조사 수질결과를 살펴보면, 오수처리시설 최종방류수의 BOD 농도 IQR은  $2.9 \sim 8.9 \text{ mg L}^{-1}$ 를 보였고 최소값과 최대값의 범위는  $0.9 \sim 9.5 \text{ mg L}^{-1}$ 로 나타났다(Figure 4). 이 결과를 SPSS로 정규성 검정( $p > 0.05$ )을 수행한 후 현장조사를 통해 수질을 분석한 결과와 비교하였다. 현장조사결과, 오수처리시설 최종방류수의 BOD는  $21.5 \text{ mg L}^{-1}$ (Table 2)의 농도로 검출되어 사후환경영향조사결과와 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ ). 또한 SS 농도는 오수처리시설 최종방류수와 사후환경영향조사 수질 분석결과와는 상당한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 현장조사를 통해 분석한 수질결과에서 SS 농도는  $75 \text{ mg L}^{-1}$ 이지만 사후환경영향조사 시 SS 농도범위는 IQR이  $3.0 \sim 9.5 \text{ mg L}^{-1}$ 이었고 최소값과 최대값의 범위는  $0.9 \sim 9.8 \text{ mg L}^{-1}$ 로 나타났다. 사후환경영향조사 시 오수처리시설 최종방류수의 수질결과와 현장조사를 통해 분석한 수질결과의 유의한 차이는 사후환경영향조사의 수질결과에 대한 낮은 신뢰도를 보이게 한다. 또 이러한 차이는 오수처리시설 최종방류수의 수질이 협의기준을 만족 또는 초과라는 결과에도 영향을 주게 된다. 사후환경영향조사 결과에서 최종방류수의 BOD와 SS 농도 범위로 BOD, SS 농도 각각  $10 \text{ mg L}^{-1}$  이하의 협의기준(Post-EII report for developing the training center 2015)을 만족하지만, 현장조사를 통해 분석한 수질결과는 협의기준을 초과하기 때문이다. 현장조사를 통해 분석한 수질결과, 오수처리시설 최종방류수의 T-N와 T-P의 농도는  $76.0 \text{ mg L}^{-1}$ 와  $14.5 \text{ mg L}^{-1}$ 로 상당히 높은 수치를 나타냈다. 하지만 사후환경영향조사 시 T-N과 T-P를 조사하지 않아서

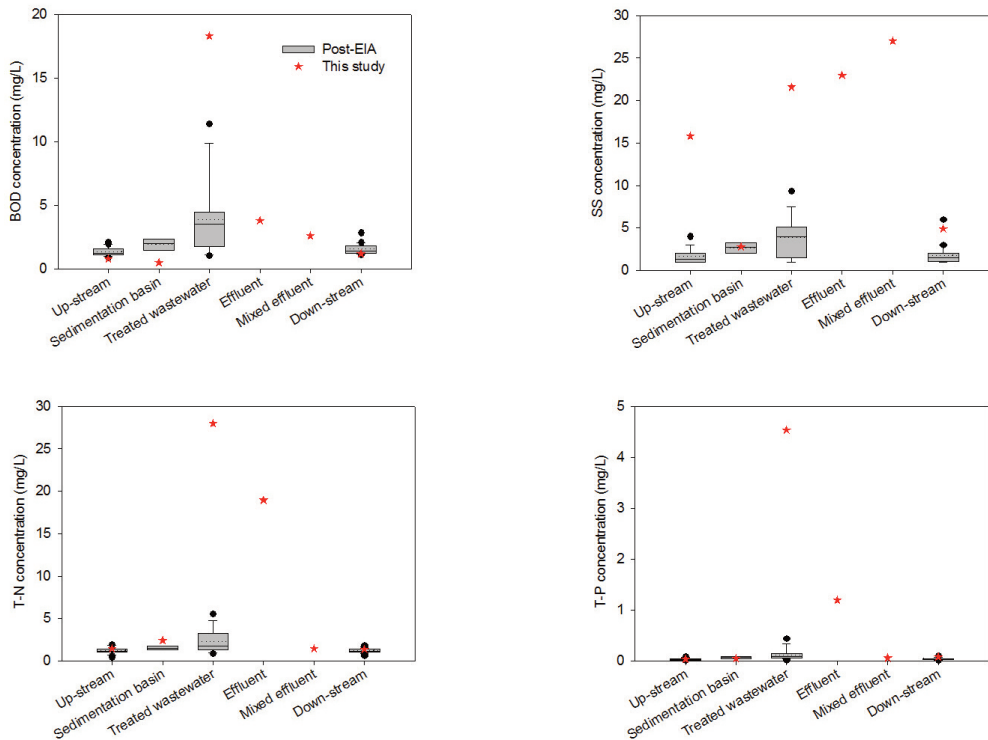


Figure 3. Comparison of the water quality results between Post-EII(Boxes) and this study(star symbol) under the construction of an quarry mine. Boxes show the 25th to 75th percentile and whiskers cover the 10th to 90th. Lines and dotted lines in the boxes indicate median and average, respectively.

본 연구에서는 비교할 수 없었다. 따라서 우수처리시설 최종방류수에 대한 적절한 수질관리가 필요하고 수질에 대한 조사항목을 설정 시 BOD와 SS 뿐만 아니라 T-N과 T-P을 조사항목으로 설정하여 수질에 대한 체계적인 모니터링을 수행할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

현장조사를 통해 분석한 지하수 수질결과와 사후환경영향조사 시 수질결과를 확인한 결과, 일부 지점에서 차이를 보였다. 현장조사를 통해 분석한 지하수 수질결과에서 지하수 영향지점(A지점)에 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )와 T-N 농도가 각각  $4.7 \text{ mg L}^{-1}$ 와  $5.3 \text{ mg L}^{-1}$ 로 나타났다(Table 4). 반면에 사후환경영향조사 시  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도는  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$ 로 제시되어 다소 차이를 보였다(Post-EII report for developing the training center 2015~2016). 또한, 사후환경영향조사결과에서 사업에 의한 영향지점인 A지점에  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 배경농도를 측정하기 위해 설정된 C지점의

$\text{NO}_3\text{-N}$  농도( $0.2 \text{ mg L}^{-1}$ )보다 낮은 수치를 보였다(Post-EII report for developing the training center 2015~2016). 현장조사 결과 A지점은 농경지가 조성되어 있어 지하수에  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도가 일반적으로 높게 나타나 배경농도보다 높게 되는 것이 일반적이다. 하지만 본 연구결과 사후환경영향조사 시 지하수의 수질결과가 과소평가된 것으로 사료된다.

### (3) 골프장 조성사업

골프장 조성사업 시 현장조사를 통해 분석한 BOD, SS, T-N, T-P 농도의 수질결과와 사후환경영향조사결과를 비교, 분석하였다(Figure 5). 현장조사를 통해 분석한 결과에서 사업장 내 비점오염처리 최종방류수의 BOD 농도는  $3.2 \text{ mg L}^{-1}$ (Table 2)로 사후환경영향조사에서 BOD 농도범위( $1.2\sim 2.3 \text{ mg L}^{-1}$ )보다 다소 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 그리고 T-P의 농도는  $0.31 \text{ mg L}^{-1}$ 로 사후환경영향조사 시

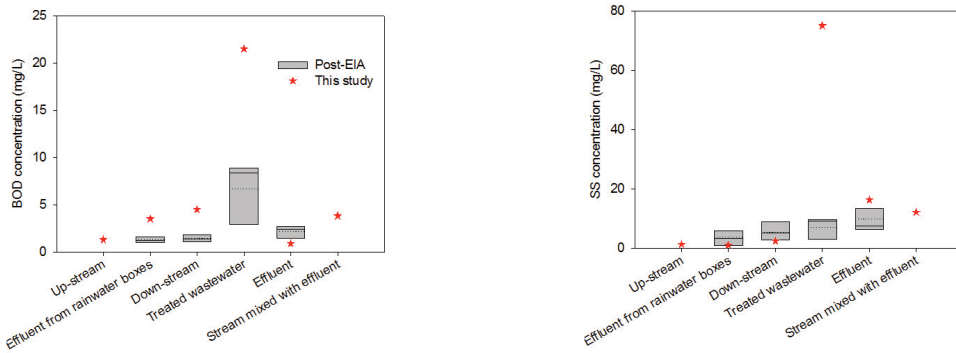


Figure 4. Comparison of the water quality results between Post-Eil(Boxes) and this study(star symbol) under the construction of a training center. Boxes show the 25th to 75th percentile and whiskers cover the 10th to 90th. Lines and dotted lines in the boxes indicate median and average, respectively.

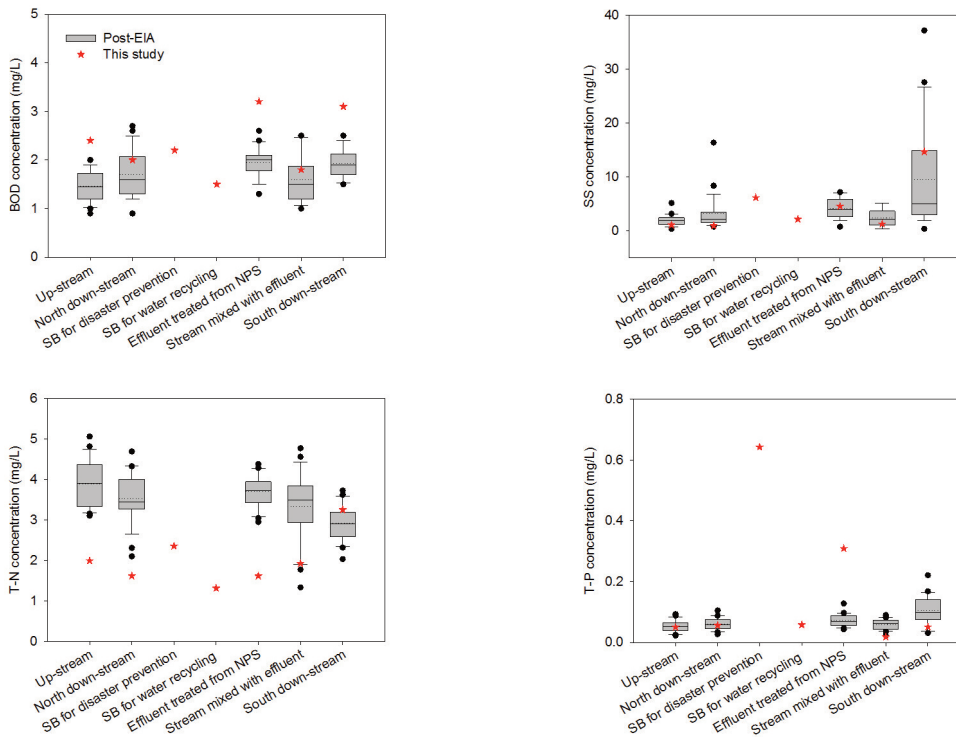


Figure 5. Comparison of the water quality results between Post-Eil(Boxes) and this study(star symbol) during operation of the golf club. Boxes show the 25th to 75th percentile and whiskers cover the 10th to 90th. Lines and dotted lines in the boxes indicate median and average, respectively.

T-P 농도범위인 0.03~0.13 mg L<sup>-1</sup>보다 높은 수치로 검출되었고 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 비점 오염처리시설 최종방류수를 제외한 조사지점에서 현장조사를 통해 분석한 수질결과와 사후환경영향조사 결과가 유의한 차이가 없었다. SS의 농도(4.6 mg L<sup>-1</sup>)

는 사후환경영향조사 시 SS 농도범위인 1~7 mg L<sup>-1</sup>에 포함되었다(p>0.05). 한편 T-N 농도는 사후환경영향조사결과가 현장조사를 통해 분석한 수질결과보다 높게 나타났다. 본 연구를 통해 분석한 결과, 골프장 조성사업 시 사후환경영향조사의 분석결과는 적

절하게 수행되었으며 수질결과에 신뢰도가 높다고 판단된다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 사후환경영향조사결과 통보서에 제시된 수질결과에 대한 검증에 의해 사업에 의한 수질영향을 조사하였고 사후환경영향조사결과 통보서의 수질결과와 비교, 분석을 수행하였다. 사업별 수질 분석한 결과, 토석채취사업장 내 오수처리시설 최종방류수에 BOD, SS, T-N, T-P 농도가 현저히 높게 나타나 오수처리시설이 효율적으로 운영 및 관리되지 않는 것으로 판단된다. BOD는 외부로 유출되는 과정에서 수로에 형성된 생물막에 의해 흡착되어 감소된 것으로 사료되나, SS, T-N, T-P는 높은 농도로 외부에 유출되고 있었다. 훈련원 조성사업 시 오수처리시설 최종방류수에 BOD, SS, T-N, T-P 농도가 상당히 높았으며 BOD와 SS 농도는 협의기준을 초과하였다. 골프장 조성사업 시 사업장 내·외 조사지점에 수질을 분석한 결과, 수질분석항목의 농도가 대체로 낮은 수치를 보였다. 본 연구결과, 사업장 내 오수처리시설에 대한 운영 및 관리가 적절하게 이뤄질 수 있는 방안과 대책이 필요할 것이다.

현장조사를 통해 분석한 수질결과와 사후환경영향조사 시 수질결과를 비교, 분석하였다. 토석채취사업에 오수처리시설 최종방류수의 BOD, SS, T-N, T-P의 농도가 사후환경영향조사 시 수질분석항목의 농도범위와 유의한 차이가 나타났다. 또, 훈련원 조성사업 시 오수처리시설 최종방류수의 BOD, SS의 농도가 사후환경영향조사 시 농도의 최소값과 최대값 범위와 유의한 차이를 보였다. 이러한 차이는 사후환경영향조사결과에 대한 신뢰도를 낮출 수 있으므로 오수처리시설 최종방류수에 대한 시료채취, 측정, 분석 등의 절차가 체계적으로 수행되어야 하고 오수처리시설에 대한 수질관리가 적절하게 이루어져야 할 것이다. 훈련원 조성사업 시 T-N과 T-P는 사후환경영향조사 시 조사가 수행되지 않아 본 연구결과와 비교할 수 없었다. 오수처리시설 최종방류수에 BOD, SS 뿐만 아니라 T-N과 T-P도 수질분석항목

으로 선정하여 수질결과를 제시하는 것이 오수처리시설의 수질관리 측면에서 바람직할 것이다.

일정한 조사기간 동안에 현장조사를 통해 분석한 수질결과와 사후환경영향조사 시 수질결과를 비교, 분석하는데 발생될 수 있는 오류를 줄이기 위해 사후환경영향조사 시 최근 분기별 수질결과와 농도범위를 적용하였다. 향후 사후환경영향조사 시 수질결과에 대한 정확도와 신뢰도를 보다 효과적으로 검증하기 위해 추가적인 연구가 필요하다. 현장조사를 통해 분석한 수질결과와 사후환경영향조사 시 수질결과와의 간극을 좁히기 위해서는 다음과 같은 대안이 제시될 수 있다. 첫째, 사후환경영향조사 시 오수처리시설에 대한 시료채취, 보관, 분석, 자료정리 등 일련의 절차를 현지조사자와 분석 담당자가 적절하게 준수할 수 있어야 한다. 둘째, 사업장 오수처리시설 관리의 중요성에 대한 인식을 강화할 수 있는 교육 프로그램이 필요하다. 더 나아가 사업자, 현지조사자, 분석 담당자가 정직하고 투명하게 수질결과를 제시할 수 있는 제도와 정책이 뒷받침되어야 할 것이다. 셋째, 사후환경영향조사 결과에 대한 검증과 평가에 관한 연구가 활발하게 수행될 필요가 있다. 이 때, 사후환경영향을 위한 조사시기와 동일한 시기에 조사 및 분석을 함으로써 조사 시기에서 발생될 수 있는 오차를 줄일 수 있게 된다. 이러한 연구를 통해 사후환경영향조사 결과의 신뢰도를 높일 수 있고 사후환경영향조사 체계가 환경영향평가분야에 안착될 수 있게 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 한국환경정책·평가연구원에서 수행하는 '환경평가 모니터링 사업'의 일환으로 수행하였습니다.

## References

- Bukhari AA. 2008. Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. *Bioresour. Technol.* 99: 914-921.

- Canadian Environmental Assessment Agency. 2011. Follow-up Programs under the Canadian Environmental Assessment Act.
- Cheng T, Saiers JE. 2010. Colloid-Facilitated Transport of Cesium in Vadose-Zone Sediments: The Importance of Flow Transients. *Environ. Sci. Technol.* 44(19): 7443-7449.
- Choi JG, Park JH. 2015. Practical Strategies for the Improvement of Environmental Impact Assessment Follow-up Korea Environment Institute(KEI). [Korean Literature]
- Choi SG, Kim TH, Song YI. 2011. Institutional discussions concerning agreements on effective implementation of environmental impact assessment(EIA). Korea Environment Institute(KEI). [Korean Literature]
- Choi SG, Song YI, Seo SC. 2004. Comprehensive study on the relationship between EIA and Post-EIA in the subject of water quality. Korea Environment Institute(KEI). [Korean Literature]
- Environmental impact assessment act article 2, 35, 36, and 39. Ministry of Government Legislation; [cited 2017 12 20]. Available from: <http://www.law.go.kr>
- Figueroa LA, Silverstein J. 1992. The effect of particulate organic matter on biofilm nitrification. *Water environment research*, 64(5), 728-733
- Kim JK, Shin MS, Jang CW, Jung SM, Kim BC. 2006. Comparison of TOC and DOC distribution and the oxidation efficiency of BOD and COD in several reservoirs and river in the Han River system. *J. Korean Society on Water quality*. 23: 72-80. [Korean Literature]
- Lee PK, Youm SJ, Kang MJ. 2010. Environmental contamination and best management of stone-just from quarry mine. *Eco. Environ. Geol.* [Korean Literature]
- Lee YK, Han JG, Hong KK. 2014. A study on effects of rainfall on contamination at stream around the developed quarry. *J. Korean Geosynthetics Society*. [Korean Literature]
- Maeng JH, Joo YJ. 2008. Studies on Establishing an Effective System for the Management after Construction in the EIA Process. [Korean Literature]
- Maeng JH, Joo YJ, Choi JG, Choi SG, Lee YS, Cho GW, Jung HR, Lee HW, Cho GJ. 2006. A study on Improvement of Management of Details of Consultation and Investigation of Environmental Impact After the Fact. Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Marshall R, Jos Arts, Morrison-Saunders A. 2005. International principles for best practice EIA follow-up. *Impact Assess Proj Apprais.*
- Mesticou Z, Kacem M, Dubujet P. 2014. Influence of Ionic Strength and Flow Rate on Silt Particle Deposition and Release in Saturated Porous Medium: Experiment and Modeling. *Transport Porous Med.* 103(1): 1-24.
- Ministry of Environment. 2000. A study on the introduction plan for the evaluation system of environmental impact assessment follow-up. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2012. Environmental Impact Assessment in Japan. Post-EII report for developing the quarry mine 2012~2017. Hoam engineering. [Korean Literature]

- Literature]
- Post-EII report for developing the training center 2015~2016. Public benefit technology. [Korean Literature]
- Post-EII report for developing the golf club 2012~2015. Injung consultant. [Korean Literature]
- Ravichandran M. 2004. Interactions between mercury and dissolved organic matter a review. *Chemosphere*. 55(3): 319-331
- Rodgers M. 1999. Organic carbon removal using a new biofilm reactor. *Water Res.* 33: 1495-1499.
- Semmens MJ, Dahm K, Shanahan J, Christianson A. 2003. COD and nitrogen removal by biofilms growing on gas permeable membranes. *Water Res.* 37: 4343-4350.
- Shahot K, Idris A, Omar R, Yusoff HM. 2014. Review on biofilm processes for wastewater treatment. *Life Sci J.* 11: 1-13.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1998. Student Text For Principles of Environmental Impact Assessment Review.
- Zhang J, Li Y, Zhang X, Yang B. 2010. Colloidal Self-Assembly Meets Nanofabrication: From Two-Dimensional Colloidal Crystals to Nanostructure Arrays. *Adv. Mater.* 22(38): 4249-4269.
- Zita A, Hermansson M. 1994. Effects of Ionic Strength on Bacterial Adhesion and Stability of Flocs in a Wastewater Activated Sludge System. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 3041-3048.