

Research Paper

# 선형사업에 대한 환경영향평가 시 대기질 예측치와 실측치의 정합성 분석

– PM<sub>10</sub>과 NO<sub>2</sub>를 중심으로 –

임노을\* · 성현찬\* · 김순정\*\* · 김지영\*\* · 전성우\*  
고려대학교\*, (주)유신\*\*

## Consistency Analysis between Predicted and Measured PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> Air Quality During Environmental Impact Assessment of Linear Construction Projects

No OI Lim\* · Hyun Chan Sung\* · Sun Jeong Kim\*\* · Ji Young Kim\*\* · Seong Woo Jeon\*

Korea University\*  
Yooshin Engineering Corporation\*\*

**요약:** 대기오염이 국제적으로 해결해야 하는 공통과제가 되었으며 국내에서는 지나친 대기오염을 예방하기 위해 개발 사업 이전에 환경영향평가를 통해 대기질 영향을 예측하고 사업 진행 이후에는 사후환경영향 조사를 통해 대기질을 관리하고 있다. 해당 데이터를 확인하고 정합성을 분석하여 조사과정과 영향 예측 기준 등에 대한 개선 방향을 제시하고자 하였다. 운영 시 측정까지 완료된 2017년에서 2019년 사이의 환경영향평가 대상 사업 중 선형사업의 공사 시 농도를 대상으로 연구를 진행하였다. 분석 결과는 크게 데이터를 비교하여 환경영향평가 예측치의 대기오염 기준 하향, 5년 이상 장기사업은 오염물질 배출 기준 등을 강화, 현황조사 시 농도가 높게 실측되는 1분기와 2분기를 포함하는 개선방안과 정합성 분석을 통해 대기질의 과대 추정을 방지하기 위해 투입되는 건설장비의 종류나 사업 조건들을 설정하여 상황에 맞는 적합한 최대 배출농도를 예측하는 방향을 제시하였다. 본 연구는 데이터를 활용하여 환경영향평가 과정의 현황을 파악하고 그로부터 대기질 유지를 위한 규정이나 조사 방법 등 개선이 필요한 요소들을 파악하여 개선방안을 제안했다는 데 의의가 있다.

**주요어:** 환경영향평가 예측, 사후환경영향조사, 대기환경 관리, 개선 방향

**Abstract:** Since air pollution has become a global issue to be managed, the Republic of Korea (ROC) is protecting air quality by predicting the air condition before a construction project starts through

First Author: No OI Lim, Tel: +82-2-3290-3543, E-mail: limnori96@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7960-3178

Corresponding Author: Seong Woo Jeon, Tel: +82-2-3290-3043, E-mail: eepps\_korea@korea.ac.kr, ORCID: 0000-0001-5928-8510

Co-Authors: Hyun Chan Sung, Tel: +82-2-3290-3543, E-mail: wona2015@korea.ac.kr, ORCID: 0000-0003-4862-7980

Sun Jeong Kim, Tel: +82-2-6202-0683, E-mail: sunjeong7@naver.com, ORCID: 0000-0001-5596-1456

Ji Young Kim, Tel: +82-2-6202-0689, E-mail: ysjlove1027@hanmail.net, ORCID: 0000-0002-7068-4132

Received: 22 September, 2022. Revised: 21 December, 2022. Accepted: 22 December, 2022.

Environmental Impact Assessment (EIA) and measuring the air condition afterwards the construction project ends through Post-environmental Impact Assessment (PEIA). The aim of this study consists on verifying the predicted and measured concentration data and analyzing their consistency in order to deduce improvement directions. Linear EIA projects which the investigation during operation period have been concluded between years 2017 and 2019 were used. As a result, the following improvement directions were suggested: reduction of EIA air quality standards, strengthen the management of projects with construction duration longer than 5 years, incorporation of first or second quarter (winter or spring) into the investigation period, consideration of construction equipment or conditions for better prediction. The strength of this study is that we arranged and utilized EIA predicted and PEIA measured data to understand the present EIA procedure and made meaningful suggestions through the consistency analysis contributing to air quality maintenance and investigation methodology enhancement.

**Keywords:** Environmental Impact Assessment prediction, Post-environmental Impact Assessment, Air quality management, Improvement directions

## I. 서론

최근 산업화로 인해 개발 사업에 가속도가 붙고 있으며 다양한 개발은 심한 대기오염으로 이어지고 있다. 여러 선행연구는 이런 대기오염이 여러 질병을 발생시키고(Koenig 1999; Qureshi et al. 2014) 조기 출산을 유발하거나 태아의 출생 무게나 머리둘레를 감소시키는 등(Han et al. 2018; Bergstra et al. 2021) 인체에 직접적인 악영향을 미친다고 연구되고 있다. 뿐만 아니라 대기오염은 농업피해로 인한 식량문제(Rai 2011) 등으로도 이어질 수 있어 대기오염물질의 관리는 전세계적으로 중요한 과제가 되었다. 따라서 우리나라에서는 8개 항목(SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, Pb, 벤젠)을 관리대상으로 설정하고 대기환경 기준으로 설정하여 대기오염에 대응하고 있다.

국내 환경영향평가는 1981년부터 본격적으로 진행되었으며 1993년 단일법으로서 환경영향평가법이 제정되어 총 16개 분야에 적용되었고 2016년 개정을 마지막으로 현재 17개 분야를 대상으로 적용되고 있다. 이 중 대기환경 항목 내 대기질 평가를 위해서는 사업으로 인한 변화를 예측하고 그 영향을 최소화하기 위한 대책을 수립하도록 대기질 항목을 구성하고 있다(Ministry of Environment 2009). 주요 검토사항은 영향을 받을 것으로 예상되는 민감 지역의 선정, 사

업지구의 대기질 현황을 대표할 수 있는 현황조사, 사업 시행으로 인한 대기오염물질 발생량 산정, 사업지구에 적용 가능한 적절한 모델 적용을 통한 영향 예측, 영향 예측 결과의 분석과 이를 통한 적절한 저감 시설 설치 여부 등이 있다. 환경영향평가 조사를 통해 예측된 대기질 오염물질 농도를 바탕으로 수립된 저감 대책이 제대로 적용되고 있는지 확인하기 위해 국내에서는 사후환경영향조사를 통해 그 결과 및 조치에 대한 검토가 본격적으로 진행되었다. 사후환경영향조사는 개발 사업으로 인한 환경변화를 모니터링하고, 환경영향평가 예측 결과와 운영 시 실측된 농도를 비교 및 평가하여 환경성을 유지하기 위한 제도이다. 여러 국가에서 사후 모니터링을 위한 적절한 시기와 과정, 사후환경영향조사의 효과와 중요성, 네트워크 다이어그램을 활용한 사후환경영향조사 방법 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있어 사후환경영향조사는 국제적으로 그 중요성이 커지고 있다(Tetteh I. et al. 2006; Zhao et al. 2012; Bremer 2017). 하지만 국내에서는 실제 사후환경영향조사 결과를 활용하여 환경영향평가에서 예측된 데이터를 검토한 연구는 미미한 실정이다.

모델을 통한 예측은 대부분 불확실성을 내포하고 있으므로 비교 가능한 실제 데이터가 있다면 두 데이터 간 일치 여부 확인을 통해 신뢰성을 얻을 수 있다.

실제로 국내에서는 항공기 소음평가모델로 시뮬레이션 된 소음도 예측 결과를 실제로 측정된 소음도와 비교하여 정합성을 확인한 연구나 운전 자세를 추정하여 실제 운전 자세와의 정합성 분석을 통해 추정 방법을 개선하는 연구 등 실측과 예측 데이터 간 정합성을 통계적으로 검토하는 연구가 활발히 이루어지고 있다 (Jung 2007; Kim 2010; Park et al. 2010; Yim et al. 2011). 그러나 환경영향평가와 사후환경영향조사 간의 정합성을 비교 분석한 논문은 미미하므로, 본 연구에서는 환경영향평가와 사후환경영향조사 농도 데이터 간 정합성을 통계적으로 분석하였다. 이에 더해 두 수치 간의 차이와 경향성을 파악하여 조사과정과 영향 예측 기준 등에 대한 문제점과 정책적 개선 방향을 제시하여 대기질 관리를 강화하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 데이터 수집 및 정제

본 연구에서는 환경영향평가 대상 사업 중 선형사업인 하천, 철도, 도로, 풍력 4가지의 사업을 대상으로 대기오염물질의 예측치와 실측치 간 정합성을 분석하였다. 예측치로는 환경영향평가 과정을 통해 예측된 농도를 사용하고 실측치로는 사후환경영향조사를 통해 측정된 실제 오염물질 농도를 사용하였다. 데이터 수집 대상은 2020년을 기준으로 최근 3년(2017

년~2019년) 동안 최종 사후환경영향조사가 운영 시 대기질 측정까지 완료된 선형사업(하천사업 8건, 철도사업 3건, 도로사업 5건, 풍력사업 2건) 총 18건을 도출하였으며, 각 사업의 조사항목, 조사시기, 조사지점을 검토하였다. 대상사업 종류로는 생태하천 조성사업, 하천개수공사, 생태하천 복원사업, 하천 정비사업, 도시철도 건설사업, 도로건설공사, 도로 민간투자사업, 도로 확포장공사, 고속도로 건설사업, 풍력발전단지 조성사업 등이 포함되었다.

조사항목의 경우, 환경영향평가는 국내 대기질 환경기준 8개 항목(SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, Pb, 벤젠)을 대상으로 조사를 진행한 사업이 많았지만, 대상 사업의 경우 대부분 PM<sub>10</sub>과 NO<sub>2</sub>에 대한 조사 위주로 진행되어 데이터 접근이 가능한 두 오염물질을 대상으로 연구를 진행하였다. 또한, 두 오염물질 모두에 대해서 조사가 이뤄지지 않은 사업이나 아예 대기질 조사를 시행하지 않은 사업은 제외하여 최종적으로 총 15건의 선형사업을 대상으로 활용할 농도 데이터를 도출하였다. 사업별로 조사지점은 최소 3개에서 최대 14개 지점이 있었고 조사 시기는 연평균이나 분기별 조사에 따라 횟수가 달라져 PM<sub>10</sub>과 NO<sub>2</sub> 각각 총 893개의 서로 다른 농도 데이터를 활용하여 각 오염물질의 정합성 분석을 진행하였다. Table 1에서는 사업별 공사 시 및 운영 시의 수행 기간과 모든 조사지점 및 시기의 최소 및 최대 농도를

Table 1. Measured and predicted PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> 24-hour mean concentration of each construction project

Type	Project Code	Period	Year		N	PM10 (µg/m3)		NO <sub>2</sub> (ppm)	
			Predicted	Measured		Predicted	Measured	Predicted	Measured
River	A	Construction	2009	2010-2017	24	40.6~56.2	31.0~48.0	0.010~0.021	0.007~0.020
		Operation		-		No data	No data		
	B	Construction	2012	2012-2014	54	42.7~52.1	35.8~49.8	0.012~0.021	0.008~0.019
		Operation		-		No data	No data		
	C	Construction	2009-2010	2014	8	46.4~58.5	41.3~42.9	0.011~0.024	0.015~0.016
		Operation		-		No data	No data		
	D	Construction	2011	2012-2017	60	42.3~60.2	25~63	0.007~0.018	0.004~0.027
		Operation		-		No data	No data		
	E	Construction	2011-2013	2016-2019	49	45.2~46.3	38.3~56.3	0.012~0.016	0.011~0.025
		Operation		-		No data	No data		
	F	Construction	2009-2010	2009-2014	8	46.4~57.4	30~69	0.011~0.024	0.009~0.030
		Operation		2014-2017		-	25~48	-	0.013~0.027

Table 1. Continued

Type	Project Code	Period	Year		N	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )		NO <sub>2</sub> (ppm)	
			Predicted	Measured		Predicted	Measured	Predicted	Measured
River	G	Construction	2009	2016-2018	14	44.0~49.5	27.8~35.8	0.019~0.020	0.007~0.008
		Operation		-		No data		No data	
	H	Construction	2009	2011-2013	16	35.2~48.1	20.2~54.1	0.015~0.020	0.005~0.020
		Operation		-		No data		No data	
Rail	I	Construction	2005	2009-2015	80	51.3~66.6	30.0~66.6	0.009~0.040	0.012~0.029
		Operation		2015-2018		-	27~56	-	0.008~0.027
Road	J	Construction	2009-2011	2012-2016	56	62.9~73.2	44.2~51.9	0.025~0.034	0.012~0.021
		Operation		2017-2019		49.8~56.7	-	0.020~0.039	0.014~0.038
	K	Construction	2008	2012-2016	119	46.8~54.4	33~58	0.044~0.052	0.007~0.020
		Operation		2017-2019		-	39.9~51	0.044~0.052	0.009~0.017
	L	Construction	2008-2009	2012-2020	105	38.7~51.1	39.9~60.0	0.014~0.023	0.008~0.019
		Operation		-		No data		No data	
	M	Construction	2006-2007	2010-2016	144	80.9~87.5	29~59	0.021~0.028	0.010~0.024
		Operation		2017-2019		40.1~44.0	25.2~119.8	0.018~0.024	0.004~0.024
	N	Construction	2007-2008	2010-2018	112	62~95	31~47	0.019~0.024	0.007~0.018
		Operation		2019		36.0~42.1	28~31	0.011~0.017	0.011~0.015
Wind	O	Construction	2014-2015	2017-2019	40	41~52	34~41	0.014~0.015	0.012~0.013
		Operation		2019-2020		-	23~27	-	0.014~0.015

\*개인정보 보호 차원에서 사업명을 미기입하였으므로 필요 시 주저자를 통해 제공

표시하였다.

국내 사후환경영향조사 조사 시기는 착공하여 완공까지의 기간을 포함한 ‘공사 시’와 완공 이후 해당 사업이 운영되는 기간동안 조사하는 ‘운영 시’로 나뉜다. 선형사업은 완공 이후 최소 3년간 운영 시 대기질을 측정하는 것이 기본적인 원칙이나 협의의견에 따라 대기질에 큰 영향이 없을 것으로 판단되는 경우 운영 시 모니터링에서 제외할 수 있다. 본 연구에서는 공사 시와 운영 시 모두에 대한 정합성 분석을 진행하려 하였으나 협의의견에 의해 완공 이후 운영 시 대기질을 측정한 사업이 적어서 시기는 공사 시만을 대상으로 예측치와 실측치를 비교하여 분석하였다.

## 2. 정합성 분석

환경영향평가 예측치와 사후환경영향조사 실측치의 정합성 분석을 위해 각 사업별 평균 예측치 및 실측치를 도출하고 두 수치 간 차이를 분석하였다. 정합성에 있어 통계적 유의성을 파악하기 위해 paired t-test ( $\alpha=0.05$ )를 수행하였다. 또한, 두 데이터 간

편차 범위 판단과 시각적인 비교를 위해 예측치의 최소와 최댓값을 기준 범위로 설정하고 실측치의 데이터 분포를 확인하였으며, 통계적으로 두 데이터 간 유의한 차이가 있다고 판단된 사업을 중점으로 분석하고 그 원인을 파악하였다(Jung 2007; Kim 2010; Park et al. 2010; Yim et al. 2011).

## III. 결과 및 고찰

### 1. 수집 데이터 분석

PM<sub>10</sub>의 전체 예측 데이터 중 최소 농도는 35.2 µg/m<sup>3</sup>, 최대 농도는 95.0µg/m<sup>3</sup>로 나타났고 NO<sub>2</sub>의 전체 예측 데이터 중 최소 농도는 0.006ppm, 최대 농도는 0.04ppm로 나타났다. 두 조사항목의 예측농도는 하천 사업(Code:A~H)이나 풍력사업(Code:O)에 비해 철도사업(Code:I)과 도로사업(Code:J~N)에서 훨씬 높은 수치로 예측되었다(Figure 1). 국내 대기환경기준에 따르면 PM<sub>10</sub>은 연간평균치 50µg/m<sup>3</sup> 이하, 24시간 평균치 100µg/m<sup>3</sup> 이하를 기준으로 하

며 NO<sub>2</sub>는 연간평균치 0.03ppm 이하, 24시간 평균치 0.06ppm 이하, 1시간 평균치 0.10ppm 이하를 기준으로 한다. 환경영향평가 및 사후환경영향조사는 24시간 평균치를 기준으로 PM<sub>10</sub> 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 NO<sub>2</sub> 0.06ppm 이하 농도 유지를 원칙으로 하고 있다 (Korea Environment Institute 2017). 본 연구 대상 사업 중 하천, 철도, 풍력 사업들은 타 사업에 비해 운영시 대기오염물질 배출이 적거나 없어 기준을 초과한 건수가 없이 대부분 양호한 상태라 운영 시의 실측 데이터가 제외된 사업이 많은 것으로 판단된다.

세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서 발표한 대기질 가이드라인(World Health Organization 2021)에서는 PM<sub>10</sub>의 연간 평균치 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하, 24시간 평균치 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하를 기준

으로 하며 NO<sub>2</sub>는 연간 평균치 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (약 0.004 ppm), 24시간 평균치 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (약 0.012ppm) 이하, 1시간 평균치 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (약 0.1ppm) 이하를 기준으로 한다. 국내 대기오염 기준은 세계보건기구나 다른 나라들과 비교했을 때 굉장히 높은 농도로 설정되어 있어 개발사업 전에 환경영향평가 시에는 양호한 대기질로 판명됐음에도 불구하고 대기오염에 대한 민원 문제가(Choi 2021; Joo 2022) 꾸준히 발생하는 원인 중 하나로 작용할 수 있다. 따라서 환경영향평가 및 사후환경영향조사의 기준이 상대적으로 높은 것을 감안하여 24시간 평균치와 연간 평균치 기준을 현재보다 더 엄격하게 강화하여 관리할 필요가 있다. 24시간 평균치의 절반 수치로 기준을 변경하여 대상 사업들을 평가할 경우, NO<sub>2</sub>의 예측 최소치와 최대치는 각

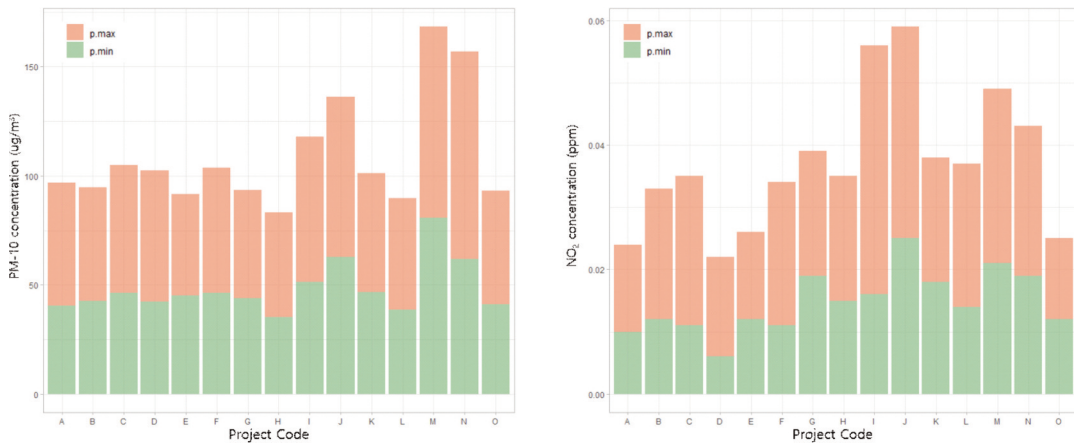


Figure 1. Minimum and maximum predicted PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> concentration of linear construction projects

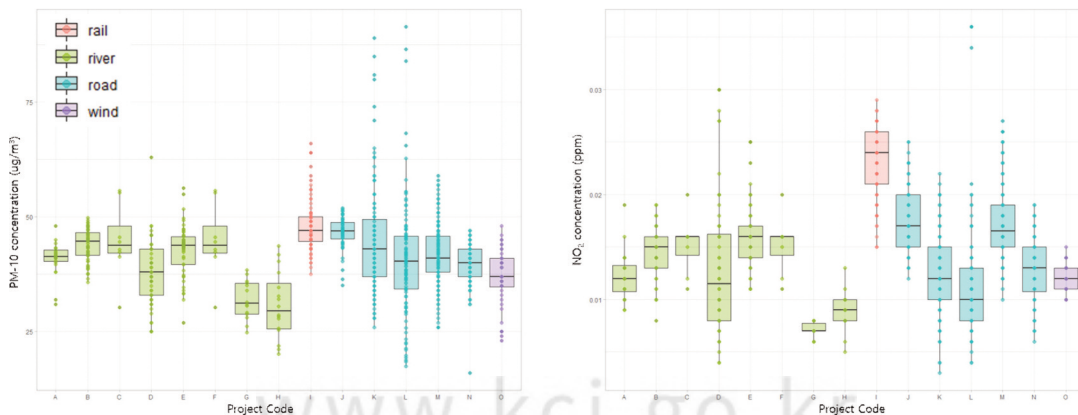


Figure 2. Measured PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> concentration distribution Box plot by linear construction projects

각 100%와 87%가 기준 이내 수치인 반면, PM<sub>10</sub>의 예측 최소치와 최대치는 73%와 20%가 기준 이내여서 상대적으로 높은 농도를 보여 특히 PM<sub>10</sub>에 대한 조치가 시급한 것으로 보인다.

PM<sub>10</sub>의 실측 데이터를 살펴본 결과(Figure 2), 최소 16.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 최대 91.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 보였으며 특히 도로 사업이 중앙값을 기준으로 상하위 25% 범위가 다른 사업들에 비해 크게 나타나 농도 간 편차도 굉장히 넓게 나타났다. NO<sub>2</sub> 실측 데이터도 마찬가지로 도로 사업이 최소 0.004ppm과 최대 0.036ppm으로 가장 넓은 농도 분포를 보였지만, PM<sub>10</sub>과 달리 철도사업의 중앙값이 도로 사업보다 높게 측정되고 (Code: I) 하천 사업의 범위가 넓게 나타나는 경우 (Code:D)도 있어서 NO<sub>2</sub>는 사업별 특성보다 공사 기간이나 조사 시점의 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다. 실제로 두 오염물질 모두에서 비교적 낮게 실측된 사업들은(Code: G, H, O) 공사 기간이 3~4년 사이로 확인되었으나 농도 간 편차가 크게 실측된 사업들은(Code: D, K, L, M) 5년에서 9년 이상 진행된 사업들이었다. 이런 부정합에는 여러 원인이 존재하지만 사업 기간을 중심으로 분석하였을 때, 장기사업 일수록 대기오염 농도에 영향을 미칠 수 있는 변수 발생 가능성이 높기 때문인 것으로 판단된다. 환경영향평가에서 대기오염 농도를 예측할 때는 사업지 주변에 추진이 확정된 사업과 같이 주변 토지이용이나 환경이 변할 가능성을 감안하여 누적적인 대기오염을 예측한다. 하지만 사업의 공사 시간이 길어질수록 사업지 주변에는 예측 시에는 알 수 없었던 공간적 변수가 발생할 가능성이 훨씬 높아지므로 5년 이상의 장

기사업들은 사업지 주변의 변화를 파악하여 다시 예측이 필요한지 여부를 파악하고 변수가 발생한 경우 이를 감안한 저감방안 강화 등이 필요한 것으로 판단된다.

또한, 실측 데이터의 경우 PM<sub>10</sub>과 NO<sub>2</sub>에서 공통적으로 넓은 편차를 보인 사업의 조사 시기를 확인해본 결과, PM<sub>10</sub>에서 가장 높은 농도인 91.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 조사된 시기는 2분기였으며 NO<sub>2</sub>에서 가장 높은 농도인 0.036ppm이 조사된 시기는 1분기로 확인되었다. 본 연구에서는 사후환경영향조사서 내 조사 시행 날짜를 확인하여 1분기는 1월~3월, 2분기는 4월~6월, 3분기는 7월~9월, 4분기는 10월~12월에 시행된 조사 결과가 해당되도록 재정리하여 Figure 3과 같이 분기별 오염물질의 농도 간 분포를 계절별로 확인하였으며 연간평균 조사 결과만 기재된 경우에는 '5'로 따로 구분하였다. 분기별 분포에서 두 오염물질 모두 최솟값은 비슷한 경향을 보였으나 최댓값은 1분기와 2분기에 이상치가 많이 발생하고, 특히 NO<sub>2</sub>보다 PM<sub>10</sub>의 농도가 1분기와 2분기에 훨씬 넓은 편차를 보이며 높게 측정된 값들이 많은 것으로 확인되었다. 이는 3~4분기인 여름과 가을보다 1~2분기인 겨울과 봄에 더 많은 오염물질의 발생과 확산을 초래한다는 여러 선행연구(Guttikunda et al, 2012; Liu et al, 2018; Ravindra et al, 2020; Lim et al, 2022) 결과와 비슷한 경향을 보이고 있다.

현재 환경영향평가 대기질 매뉴얼 (Korea Environment Institute 2017)에서 현황조사는 최소 1~2 계절(사업에 따라 3계절 이상)에 대한 조사가 필수이며 영향 예측 시에는 현황조사 기간 내 측정된 자

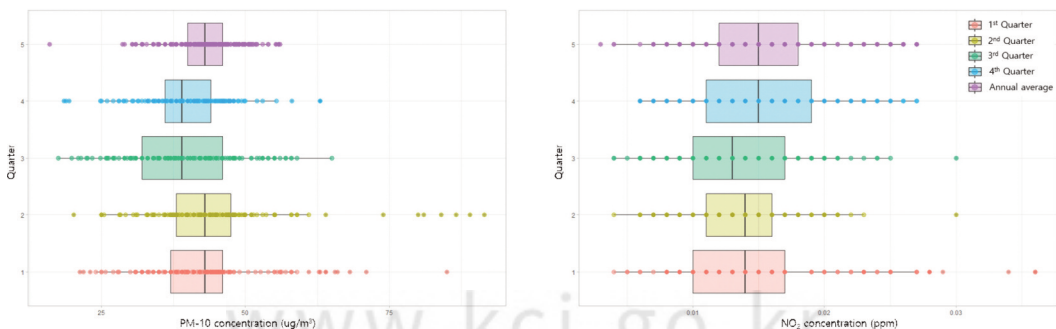


Figure 3. Measured PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> concentration distribution Box plot by quarter

료 중 최댓값을 사용하도록 언급하여 대기질을 관리하고 있다. 다만, 현황조사의 시기를 구체적으로 설정하지 않아 오염물질이 가장 높게 측정되는 1분기와 2분기(겨울~봄철)가 아닌 3분기나 4분기(여름~가을철)에 현황조사가 진행된다면 이를 활용한 예측 또한 과소 평가될 위험이 있다고 판단된다. 따라서 향후 환경영향평가 현황조사 시에는 단순히 2 계절 이상을 포함한 분기별 조사가 아닌 겨울 혹은 봄철인 1분기나 2분기에 대한 조사를 포함하여 개발 사업 이후에도 대기질이 유지될 수 있도록 조사 시기를 조정할 필요가 있다.

## 2. 정합성 분석

Table 2와 같이 PM<sub>10</sub>의 경우 모든 사업이 예측치와 실측치 간 유의미한 차이가 있다고 나타났으며 NO<sub>2</sub>의 경우 사업 A, C, F를 제외한 나머지 사업들은 유의미한 차이가 있다고 나타났다. 다시 말해 NO<sub>2</sub>에서는 사업 A, C, F가 가장 높은 정합성을 보였으며 전체적으로 NO<sub>2</sub>보다 PM<sub>10</sub>에 대한 예측이 실측에 비해 과소 혹은 과대 추정되고 있다는 것을 의미한다.

대부분의 사업 정합성이 통계적으로 낮게 나타났으므로 두 오염물질의 예측치와 실측치 간 일치하는 범위를 확률적으로 분석해본 결과, 전체 데이터 중

PM<sub>10</sub>은 평균 18.8%, NO<sub>2</sub>는 평균 32.9%의 정합성을 보여 PM<sub>10</sub>보다 NO<sub>2</sub>가 정합성이 더 높게 나타났다 (Figure 4). PM<sub>10</sub> 중 데이터 간 정합성이 가장 높았던 사업유형은 하천 사업으로 33.5%의 정합성을 보였으며 풍력(27.5%), 철도(18.8%), 도로(11.8%) 순으로 나타나 사업유형별 정합성이 11.8~33.5%로 그 범위가 넓지 않고 모든 사업유형이 50% 미만의 정합성을 보였다. 반면 NO<sub>2</sub>의 경우 철도사업이 97.5%로 굉장히 높은 정합성을 보였으며 하천(59.2%), 풍력(55.0%), 도로(10.5%) 순으로 나타나 정합성이 10.5~97.5%로 그 범위가 굉장히 넓고 도로 사업을 제외한 모든 사업유형이 50% 이상의 정합성을 보여 PM<sub>10</sub>보다 월등히 높은 정합성을 보였다.

두 오염물질 모두 전체적으로 예측치와 실측치 간의 차이가 커서 정합성이 낮게 나타났는데, 이는 사업 시행 전인 환경영향평가 단계에서 구체적인 공사 조건을 알 수 없기 때문에 모든 장비가 동시에 가동되는 등 최악의 상황을 가정하도록 되어있는 것이 일부 원인인 것으로 판단된다. 장비 종류에 따라 가동 가능한 면적이 다르고 투입되는 순서도 다르기 때문에 과도한 예측을 예방하기 위해서는 장비별 가동 면적 기준을 수립하고 사업 대상지 면적 대비 동시 투입이

Table 2. Statistical analysis between measured and predicted PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> concentration of each construction project

Project Code	Pollutant	Average difference	Statistical values		Pollutant	Average difference	Statistical values	
			t-value	p-value			t-value	p-value
A	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	7.39	10.035	0.000	NO <sub>2</sub> (ppm)	-0.0003	-0.535	0.598
B		3.45	7.179	0.000		0.0019	5.588	0.000
C		7.67	2.667	0.032		0.0023	2.302	0.055
D		13.50	14.731	0.000		-0.0036	-2.127	0.038
E		2.89	3.560	0.001		-0.0031	-6.830	0.000
F		7.12	2.476	0.042		0.0018	1.790	0.117
G		14.84	12.978	0.000		0.0124	63.699	0.000
H		10.84	5.899	0.000		0.0086	18.225	0.000
I		10.87	17.064	0.000		0.0047	12.970	0.000
J		21.44	45.711	0.000		0.0110	10.338	0.000
K		5.57	5.084	0.000		0.0066	18.881	0.000
L		3.98	3.168	0.002		0.0072	13.395	0.000
M		42.48	76.996	0.000		0.0073	25.042	0.000
N		38.84	93.632	0.000		0.0089	31.853	0.000
O		9.58	9.710	0.000		0.0004	2.046	0.047

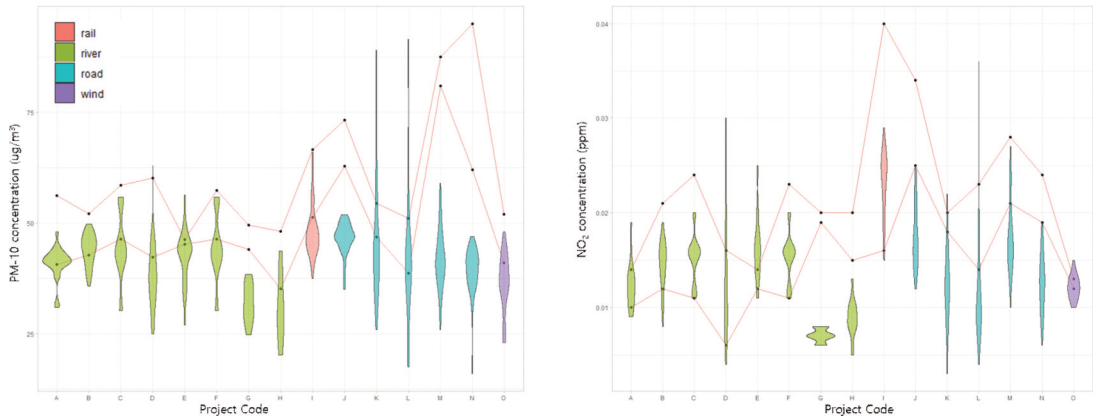


Figure 4. Consistency analysis between predicted and measured PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> concentration distribution by linear construction projects

가능한 장비를 한정지어 영향을 예측하거나 장비의 순차적 사용을 반영한 예측이 필요할 것으로 보인다.

예측 범위에서 크게 벗어나서 정합성이 0%인 사업들은 모두 현황조사지점과 사후환경영향조사 조사지점이 서로 일치하지 않은 사례들이었다. 해당 사업들은 모두 1) 현황조사지점 일부가 제외되거나 현황조사 시에는 고려하지 않았던 조사지점이 추가되어 현황조사지점과 사후환경영향조사 지점의 일부만 일치하고 개수와 위치가 서로 다른 경우, 2) 사후환경영향조사 지점이 전부 신규 지점이라 아예 겹치지 않는 경우, 3) 사후환경영향조사 시 현황조사지점을 그대로 사용하지 않고 유사한 다른 지점을 선택한 경우에 해당되었다. 반면, 사후환경영향조사를 진행할 때 현황조사지점에서의 측정이 불가하여 최대한 인접한 지점이나 현황조사지점에서 최대 3km 떨어진 지점을 선택하여 사후 대기질을 측정할 경우에는 정합성이 양호한 것으로 나타나 현황조사지점과 사후환경영향조사 지점의 일치 여부와 정도에 따라 데이터 간 정합성이 큰 영향을 받음을 의미한다. 따라서 현황조사와 사후 조사의 조사지점은 서로 일치하되 영향이 명백하거나 우려되는 등 불가피한 상황의 경우 일부 조사지점을 추가하는 것이 합리적하므로, 초기 지점에서 사후 실측을 하지 않는 경우에는 조사지점과 인접한 '인접 거리'의 기준을 수립하거나, 실측치에 영향을 미치지 않는 '최대 거리'의 기준을 사전에 협의하여 실측하도록 관리할 필요가 있다.

#### IV. 결론

본 연구는 환경영향평가 시 예측치와 사후환경영향조사 시 실측치 간 정합성을 통계적으로 분석하여 데이터의 특징과 정합성이 낮은 사업들의 특성을 파악하고 이를 개선하기 위한 방향성을 제시하였다. 첫 번째로 두 데이터를 비교해 본 결과, 1) 예측된 농도의 심각성 여부를 판단하는 국내 대기오염 기준은 국제적인 기준에 비해 높게 설정되어 환경영향평가나 사후환경영향조사를 진행할 때의 환경기준을 더욱 엄격하게 조정하여 대기질 오염관리를 강화하여야 할 것이다. 2) 실측된 농도의 분포범위를 봤을 때 그 편차가 큰 사업들은 대부분 장기 사업이었으므로 공사가 5년 이상 진행되는 사업들은 오염물질의 배출 기준을 더욱 엄격히 하거나 저감방안을 강화하여야 할 것이다. 3) 환경영향평가 현황조사 시 2계절 이상 조사를 수행하거나 문헌자료를 통해 4계절 조사 결과를 수록하는 경우도 존재하지만 환경영향평가 대기질 매뉴얼에는 단순히 2계절 이상을 포함한 분기별 조사로 언급하고 있으므로 강제성이 부재한 점을 고려해 겨울 혹은 봄철(1분기 혹은 2분기)을 포함하여 조사하는 방향으로 개선할 필요성이 제시되었다. 또한 겨울이나 봄철에는 황사 등 외부요인으로 인한 배경농도 자체가 높게 측정될 수 있으므로 이에 사업의 영향까지 더해졌을 경우 가장 위험한 시기이다. 따라서 해당 분기에는 사업으로 인한 영향을 조절하여 지나친

대기질 악화를 예방할 필요가 있다. 두 번째로 예측과 실측 간 정합성을 확인해본 결과, 대부분의 사업들이 낮은 정합성을 보였으며, 이는 환경영향평가 단계에서는 사업에 사용되는 공사장비의 구체적인 조건들을 파악하기 어려워 최악의 상황을 기준으로 예측하기 때문에 과대 추정되는 것으로 판단되었다. 따라서 대기질 예측 시에 사용할 수 있는 투입 장비별 가동 가능한 면적 기준이나 장비 투입 순서 등을 사업 유형과 장비별로 사전에 수립한다면 대상 사업의 면적 대비 투입 가능한 장비 개수나 순차적으로 투입되었을 때 수용 가능한 장비별 횟수 등을 고려하여 상황에 따라 적합한 최대 배출농도를 예측할 수 있을 것이다.

해당 연구 결과는 데이터 분석을 통해 환경영향평가 과정의 현황을 파악하였고 그로부터 개선이 필요한 요소들을 제안했다는 데 의의가 있다. 한편, 데이터의 한계로 인해 예측치와 실측치의 분포 밀도 특성을 통계적으로 평가하지 못한 점과 대상 사업의 수가 상대적으로 적고 선형사업만을 대상으로 연구를 진행했다는 한계가 있어 향후 연구에는 이런 한계점들을 보완할 필요가 있다.

## 사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ICT기반 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020002990009).

## References

- Bergstra AD, Brunekreef B, Burdorf A. 2021. The influence of industry-related air pollution on birth outcomes in an industrialized area. *Environmental Pollution*, 269.
- Bremer N. 2017. Post-environmental impact assessment monitoring of measures or activities with significant transboundary impact: an assessment of customary international law. *Reciel* 26(1): 80-90.
- Choi YY, Cho HJ, Hwang JH, Kim YJ, Lim NO, Lee JY, Lee JH, Sung MJ, Jeon SW, Sung HC. 2021. Complaint-based data demands for advancement of environmental Impact Assessment, *J. Korean Env. Res. Tech.* 24(6): 49-65.
- Guttikunda SK, Gurjar BR. 2012. Role of meteorology in seasonality of air pollution in megacity Delhi, India. *Environ Monit Assess* 184: 3199-3211.
- Han Y, Jiang P, Dong T, Ding X, Chen T, Villanger GD, Aase H, Huang L, Xia Y. 2018. Maternal air pollution exposure and preterm birth in Wuxi, China: Effect modification by maternal age. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 157: 457-462.
- Joo YJ, Sagong H. 2022. A study on the improvement of the consultations on amendment in Environmental Impact Assessment of industrial complex development. *J. Environ. Impact Assess* 31(3): 129-140.
- Jung CH, Cho YS, Hwang SM, Jung YG, Ryu JC, Shin DS. 2007. Analysis of measurement error for PM<sub>10</sub> mass concentration by inter-comparison study. *J. KOSAE* 23(6): 689-698.
- Kim D, Bae Y, Kim S. 2022. A study on atmospheric dispersion modeling methodology for traffic-related air pollutions in Korea. *J. Korean Soc. Transp.* 40(3): 380-399.
- Kim SC. 2010. A review of temperature measurement of fire driven flow using thermocouple-measurement bias. *J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.* 24(6): 98-103. [Korean Literature]
- Koening JQ. 1999. Air pollution and asthma. *J. Allergy Clin Immunol.* 104: 717-22.
- Korea Environment Institute. 2017. Environmental

- Impact Assessment Guideline Series A Ver 2.0. p. 52. [Korean Literature]
- Lim NO, Hwang J, Lee S, Yoo Y, Choi Y, Jeon S. 2022. Spatialization and prediction of seasonal NO<sub>2</sub> pollution due to climate change in the Korean capital area through land use regression modeling. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19: 5111.
- Liu Y, Wu J, Yu D, Ma Q. 2018. The relationship between urban form and air pollution depends on seasonality and city size. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 15554-15567
- Ministry of Environment. 2009. Guidelines for composition of Environmental Impact Assessment report by project types. p. 9. [Korean Literature]
- Park J, Jung K, Chang J, Kwon J, You H. 2010. Evaluation of predicted driving postures in RAMSIS digital human model simulation. *IE Interfaces* 23(2): 100-107. [Korean Literature]
- Qureshi MI, Rasli AM, Awan U, Ma J, Ali G, Faridullah, Alam A, Sajjad F, Zaman K. 2015. Environment and air pollution: health services bequeath to grotesque menace. *Environ Sci Pollut Res.* 22: 3467-3476
- Rai R, Rajput M, Agrawal M, Agrawal SB. 2011. Gaseous air pollutants: a review on current and future trends of emissions and impact on agriculture. *Journal of Scientific Research* 55: 77-102.
- Ravindra K, Singh T, Pandey V, Mor S. 2020. Air pollution trend in Chandigarh city situated in Indo-Gangetic Plains: understanding seasonality and impact of mitigation strategies. *Science of the Total Environment* 729(2020): 138717.
- Tetteh IK, Awuah E, Frempong E. 2006. Post-project analysis: the use of a network diagram for environmental evaluation of the Barekese Dam, Kumasi, Ghana. *Environmental Modeling and Assessment* 11(2006): 235-242.
- World Health Organization. 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- Yim B, Kim J, Lee K, Hong H, Kim S. 2011. Noise contour map designed from validation study of model for predicting aircraft noise. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(6). 893-901. [Korean Literature]
- Zhao HZ, Ma AJ, Liang XG, Shi PL, Meng FS. 2012. *Procedia Environmental Sciences* 13(2012): 1754-1759.