

## 주성분분석을 이용한 환경영향평가와 사후환경조사의 비교 및 평가에 관한 사례연구

조일형 · 김용섭\* · 조경덕†

서울대학교 보건대학원 환경보건학과, \*경기지방공사

## A Case Study on the Comparison and Assessment between Environmental Impact Assessment and Post-Environmental Investigation Using Principal Component Analysis

Il-Hyoung Cho · Yong-Sup Kim\* · Kyung-Duk Zoh†

Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University

\*New Town Development Division, Gyeonggi Innovation Corporation, Korea

(Received March 6, 2005; Accepted April 4, 2005)

### ABSTRACT

Environmental monitoring system has been adopted and supplemented as inspection measures for the quantitative and qualitative changes of environmental impact assessment (EIA). This study compares the results of environmental impact assessment with the results of post-environmental investigation using a correction and principal component analysis (PCA) in the housing development project. Correlation analysis showed that most of air quality variables including TSP, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO were linearly correlated with each other in the environmental impact assessment and the post-environmental investigation. In the water quality, pH and BOD were well correlated with the DO and SS, respectively. As a result of correlation analysis in the noise and vibration, noise in day and night and vibration in day and night were related to each other between EIA and the post-environmental investigation. From the results of analysis of soil, Cu with Cd, Cu with Pb, and Cd with Pb were related to each other in EIA. Principal component analysis (PCA) showed a powerful pattern recognition that had attempted to explain the variance of a large dataset of inter-correlated variable with a smaller set of independent variables (principal components). Principal component (PC1) and principal component (PC2) were obtained with eigenvalues > 1 summing almost 90% of the total variance in the all of the items(air, water, noise, vibration and soil) in EIA and post-environmental investigation

**Keywords:** environmental impact assessment (EIA), post-environmental investigation, correlation analysis, principal component analysis (PCA)

### I. 서 론

사후환경영향조사는 크게 사후관리, 감독(Post-EIS Project Monitoring) 분야와 예측된 영향의 정확성의 검증(EIA-Audits) 분야로 구분할 수 있다. 사후관리감독(Post-EIS Project Monitoring)의 목적은 사업의 시행으로 인한 지역 환경의 변화와 나쁜 영향을 사전에 대처하고 예측하지 못하였던 새로운 환경영향을 파악하는

것이다. 또한 사업시행으로 인한 환경현황을 조사하여 기초 자료를 확보하고 및 환경영향에 대한 책임소재를 명확하게 함으로써 환경영향평가서에 제시된 저감방안의 시행여부 및 환경오염 저감효과를 확인하기 위한 것이다.

이와 같이 사후환경영향조사와 관련하여 환경영향평가(사전환경성검토)란 개발사업 시행 전 미리 환경보전 측면에서 충분한 배려가 이루어지도록 함으로써 환경오염을 사전 예방하는데 그 의의가 있고, 사후관리는 환경영향평가 협의내용의 이행과 사후환경영향조사를 포괄하는 개념으로서 외국에서는 Monitoring 또는 Follow up, Auditing 등으로 Fig. 1처럼 표현하기도 한

†Corresponding author : Department of Environmental Health,  
School of Public Health, Seoul National University  
Tel: 82-2-740-8891, Fax: 82-2-745-9104  
E-mail : zohkd@snu.ac.kr

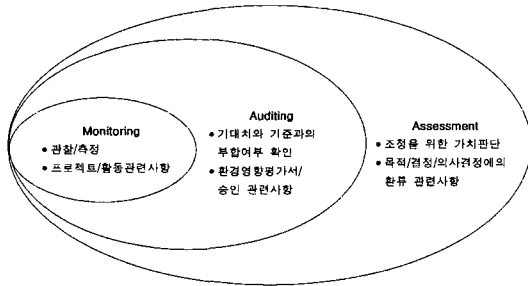


Fig. 1. The elements of post-environmental investigation and relationship.

다.<sup>1,2)</sup> 이와 같이 환경영향평가 내용을 토대로 한 사후 환경조사가 이루어지며 그 내용은 앞서 설명했듯이 Fig. 1의 내용을 포함하게 된다. 모니터링은 근본적으로 예상된 영향이 발생된 것을 찾아낼 목적으로 그리고 영향의 정도를 예측할 목적으로 한 자료의 집합이다. 감사는 실행이 예상 또는 기준에 적합한지에 대한 독립적·객관적 조사를 의미한다. 평가 또는 더 정확히 사전·사후평가는 정보를 모으고, 구조화하며 분석하고 평가하는 일반적 과정을 뜻하며 모니터링과 감사가 결합된다.

그러나, 현재까지 사후환경영향조사는 환경영향평가 과정의 연장선상에서 사업시행에 따라 예측하지 못한 영향의 발생, 예측된 영향의 양적, 질적 변화에 대한인지와 검증의 수단으로서 지금까지 오랜 기간 동안 많은 사업장에서 수행되었고, 수행방법에 대한 보완이 있어 왔지만, 환경영향평가와의 연계가 미흡하고, 환경영향에 대한 사전예방, 저감 등의 실질적인 데이터를 효과적으로 분석하기 보다는 형식적인 요식절차의 이행 수준을 벗어나지 못하고 있다는 지적이 있었다.

따라서 다양한 자연적 그리고 인위적 현상에 의해 좌우되는 택지개발사업에서 수많은 요인들은 복합적으로 작용하기 때문에, 현상 파악을 위한 수단으로 관련된 요인들을 개별적으로 대입시켜 현상을 환경영향평가와 사후환경조사를 연계해서 해석하고자 하는 데는 한계성을 나타내게 되며, 가능한 관련되는 요인들을 동시에 대입시켜 해석할 수 있다면 보다 보편성 있는 결과를 도출할 수 있을 것이다. 이와 같이 자연현상에 대하여 관련되는 요인들을 가능한 동시에 대입시켜 보다 객관성 있는 해석을 유도하고자 하는 것이 다변량 해석(multi-variate data analysis) 기법이다. 다변량해석법에도 매우 다양한 방법이 있으나, 근년 택지개발에서 발생하는 현상에 관련되면서도 인과관계의 정도가 확실치 않은 요인들을 종합적으로 대입시켜, 그들 요인으로부터 몇 개의 종합적인 특성치를 도출하는 주성분분석

법(principal component analysis)이 많은 연구자들에 의해 환경해석이나 생태계 현상 파악 등에 유효한 방법으로서 폭 넓게 활용되어지고 있다.<sup>3,6)</sup>

따라서 본 연구는 택지개발에 있어 사전 및 사후환경 조사에서 발생하는 복잡한 환경영향요인들을 포괄적으로 고려한 종합적인 환경영향조사 연구를 수행하였으며 또한 주성분분석법에 의해 택지개발지역의 환경 특성 및 주요 변동요인을 해석하여 효율적인 환경영향조사를 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

## II. 연구방법

### 1. 측정지점 선정과 측정방법

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 택지개발사업지역을 선정하였고 조사지점은 사업부지 북측 N-2, N-3, N-5, N-10, A-1, A-2, 사업부지 동측에는 N-8, W-1, A-4에는 4차선 도로에서 나누어지는 삼거리를 지나 우측으로 P 아파트의 N-7, W-2, 그 주변의 하천지역 W-1, W-2로 구성되어 있다. 사업부지 남측 H 마을의 W-3, W-4, A-3, 사업부지 서측 좌우측의 W-6 위 지점은 체육시설물이 위치하고 있으며, 사업 부지를 기준으로 하천 중점부가 위치해 있다. 이런 위치지점을 토대로 조

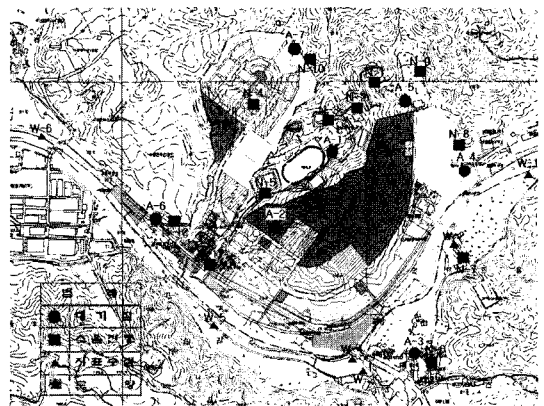


Fig. 2. Investigation area and location based on the building site project.

Table 1. Contents of post-environmental investigation

Items	Sampling point	Analytical parameters
Air	7	TSP, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, PM-10
Water	6	pH SS, BOD, DO
Soil	3	TS(%), VS(%), Pb, Cu, Cd, CN
Noise & Vibration	10	Noise levels equivalent(Leq(A)) Vibration levels (L <sub>10</sub> dB(V))

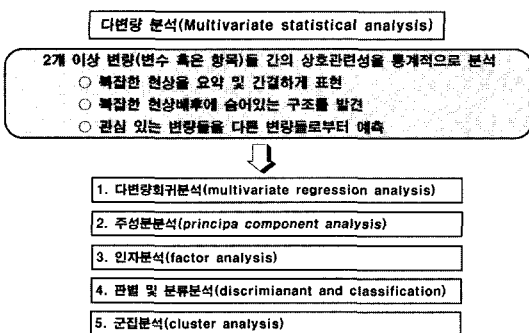
**Table 2.** Measurement and analysis method

Items	Analytical parameters	Analytical method
Air	TSP	High Volume Air Sampler Method
	PM-10	β-Ray Method
	SO <sub>2</sub>	Pulse U.V. Fluorescence Method
	NO <sub>2</sub>	Chemiluminescent Method
	CO	Non-Dispersive Infrared Method
Water	pH	Direct measurement with pH meter
	SS	Gravimetric method
	BOD	Winkler's Method
	DO	Direct measurement with Membrane Electrode
Soil	TS(%), VS(%)	Weighing method
	CN	Colorimetric Method
	Pb, Cu, Cd	Atomic Absorption Spectrophotometer
Noise & Leq(A)		Noise level measurement
Vibration L <sub>10</sub> dB(V)		Vibration level measurement

사 측정항목 및 횟수는 Table 1에 나타났고 측정방법은 환경오염공정 시험법에 준하여 Table 2에 나타난 대기질, 수질, 소음·진동 및 토양 내 중금속 등을 분석하였다. 환경영향평가는 1년 동안 항목별로 각각 4회에 걸쳐 시료를 채취하여 분석하였고 사후환경조사는 4년 동안 각 항목별로 따라 대기질(TSP, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO)는 월 1회, 수질(pH, SS, BOD, DO) 및 토양은 분기 1회씩 시료를 채취하여 분석하였고, 소음·진동은 분기 1회 측정하였다.

**2. 다변량 분석과 주성분 분석**

Fig. 3은 다변량 분석의 목적, 목표 그리고 다변량의 종류를 설명하고 있다. 대부분 오염물질의 환경변동을 설명하기 위해 하나의 측정변수에 의해 결과를 관찰하였으나, 여러 개의 개체와 변수들로 측정된 환경영향변량 자료에 대한 분석 기법은 기존 환경영향조사 및



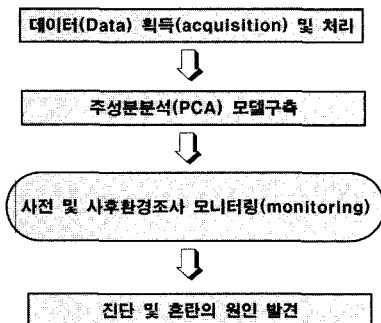
**Fig. 3.** The objective, goal, and class in multivariate statistical analysis.

데이터 처리에서 충분히 제공되지 않은 채 결과를 도출하였다. 주성분분석(principal component analysis)은 차원축소를 통하여 저차원에서 변수의 관계를 규명하는 다변량 자료분석기법이다. 주성분분석은 다변량기법에서 가장 오래되었고 폭넓게 사용되는 기법으로 다변량자료에서 변동을 변수들의 선형결합들로 이루어진 새로운 변수에 의해서 나타내려는 것이다.

그리고 가급적 적은(2~3개) 새로운 변수(주성분)로 전체의 변동을 설명하려는 점은 이 기법이 지니는 차원축소의 주된 개념이다. 먼저  $x = (x_1, \dots, x_p)$ 를 평균  $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_p)$ 와 공분산행렬  $\Sigma$ 를 갖는 p-차원의 확률벡터라 하고 이들 p개의 변수의 선형결합으로 이루어지는 새로운 변수인 주성분(principal component)를 찾는다.

$$y_j = a_{1j}x_1 + a_{2j}x_2 + \dots + a_{pj}x_p, \quad j = 1, \dots, p \quad (1)$$

여기서  $a_j = (a_{1j}, \dots, a_{pj})'$ 는  $a_i' a_j = 1$ 과  $a_j' a_i = 0$  ( $i < j$ )을 만족하며 이 조건은  $y_i$ 의 분산이 최대가 되게 하는 계수이다. 특히 이들 계수는 일반적으로 확률벡터  $x$ 에 의해서 측정된 표본 분산-공분산행렬  $S$ 의 고유값(eigenvalue)과 이에 대응하는 고유벡터(eigenvector)를 구하는 문제와 연관된다. 이 고유벡터가 표본에서의 주성분계수를 제공하며 이를 표본주성분계수라하고 이들과 주어진 p개의 변수에 의한 선형결합이 제공하는 새로운 변수를 표본주성분(sample principal component)이라 한다. Fig. 4는 주성분분석을 이용한 대상지역의 모니터링 절차를 나타내고 있다. 일단 조사지점 및 대상 선정을 한 후 시료채취 및 자료를 수집하고 이런 자료를 이용하여 주성분 모델을 구축하여 택지개발지역을 모니터링하게 된다. 주성분분석은 이 기법이 지니는 고유기능(다변량자료의 탐색적조사, 차원축소를 통



**Fig. 4.** The monitoring procedure for environmental impact assessment(EIA) using principal component analysis (PCA).

한 자료의 단순화 등) 외에도 여러 분석기법에도 순차적으로 응용될 수 있다. 즉 이 기법에서 찾아낸 새로운 변수인 주성분은 중회귀분석이나 군집분석의 입력 자료를 제공하기도 하고 특히 인자분석에서는 인자를 제공하는 방법으로 이용되기도 한다. 따라서 본 연구는 상관관계 등 다변량분석을 이용하여 각 항목별 변수들의 상호관계를 해석하고 자료의 특성을 파악하기 위해 통계프로그램인 Minitab 14 korea for window<sup>7)</sup>와 SPSS for window 11.0<sup>8)</sup>을 이용하여 통계분석을 실시하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 실측치에 의한 택지개발지역의 환경 특성

본 개발지역의 사전 및 사후환경영향 조사에 대한 각 측정지점에 대한 세부적인 분석항목의 최소, 최대, 평균, 최대값 및 표준편차에 대한 결과는 Table 3에 나타내었다. 대기 측정항목으로는 황산화물(SO<sub>2</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 일산화탄소(CO), 먼지(TSP), 미세먼지(PM<sub>10</sub>)에 대하여 환경영향평가시부터 사후영향조사시까지 변화추이를 조사하였다. 총먼지(TSP)는 전 지점에

**Table 3.** The value of minimum, mean, maximum, and standard deviation on analytical parameters between Environmental Impact Assessment (Before) and Post-Environmental Investigation (Post)

Air		Descriptive Statistics					Sampling sites						
Items		Unit	min	mean	max	SD	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
TSP	Before	µg/m <sup>3</sup>	80.20	91.59	116	12.90	83.1	80.2	83.3	96.5	83.8	98.3	116
	Post	µg/m <sup>3</sup>	86.10	51.87	110.3	8.95	90.5	110.3	88.7	95.8	86.1	104.6	91.7
PM <sub>10</sub>	Before	µg/m <sup>3</sup>	41.60	48.16	59.80	6.65	44.6	41.6	42.3	49.4	45.6	53.8	59.8
	Post	µg/m <sup>3</sup>	45.40	51.87	55.90	3.47	52.6	55.9	50.9	54.8	45.4	53.2	50.3
NO <sub>2</sub>	Before	ppm	0.015	0.0196	0.026	0.004	0.021	0.018	0.022	0.026	0.018	0.017	0.015
	Post	ppm	0.018	0.019	0.021	0.001	0.019	0.020	0.018	0.020	0.019	0.021	0.018
SO <sub>2</sub>	Before	ppm	0.014	0.0826	0.25	0.111	0.017	0.014	0.019	0.023	0.240	0.250	0.015
	Post	ppm	-	-	-	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
CO	Before	ppm	1.53	1.647	1.76	0.084	1.68	1.68	1.66	1.76	1.55	1.67	1.53
	Post	ppm	0.450	0.559	0.720	0.088	0.57	0.60	0.50	0.57	0.50	0.72	0.45
Water		Descriptive Statistics					Sampling sites						
Items		Unit	min	mean	max	SD	W1	W2	W3	W4	W5	W6	
pH	Before	-	6.92	7.11	7.24	0.11	7.18	7.12	7.24	7.14	7.06	6.92	
	Post	-	7.15	7.30	7.45	0.13	7.17	7.15	7.44	7.31	7.32	7.45	
DO	Before	mg/l	5.50	6.53	7.70	0.86	7.2	6.9	7.7	6.0	5.9	5.5	
	Post	mg/l	7.0	7.40	7.80	0.344	7.6	7.0	7.6	7.2	7.0	7.8	
BOD	Before	mg/l	4.50	10.4	19.9	6.14	4.5	5.8	5.6	12.6	14.2	18.9	
	Post	mg/l	4.50	5.75	7.0	0.94	4.5	5.0	7.0	6.2	6.4	5.4	
SS	Before	mg/l	5.60	10.42	17.9	4.41	5.6	7.9	7.9	10.5	12.7	17.9	
	Post	mg/l	12.7	38.40	65.3	21.44	65.3	30.9	12.7	17.7	57.8	45.7	
Noise and Vibration		Descriptive Statistics					Sampling sites						
Items		Unit	min	mean	max	SD	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
Noise (day)	Before	dB(A)	45.60	50.45	57.40	3.59	52	47.4	45.6	49.5	49.3	46.8	50.1
	Post	dB(A)	51.30	55.22	62.30	3.71	54	52.1	52.5	58.1	51.4	54.2	57.6
Noise (night)	Before	dB(A)	42.50	46.36	53.40	3.77	43.4	42.7	45.4	49.7	45.4	42.5	47.4
	Post	dB(A)	46.30	50.32	59.30	4.50	46.5	47.1	47.3	54.2	46.7	48.5	54.5
Vibration (day)	Before	dB(A)	19.00	26.71	35.40	4.78	22.4	19.0	24.5	27.5	28.4	20.2	30.2
	Post	dB(A)	24.60	30.42	38.40	4.75	27.1	24.9	27.1	32.6	34.2	24.6	33.3
Vibration (night)	Before	dB(A)	16.4	23.18	30.3	4.57	20.9	17.0	20.3	27.6	29.2	16.4	25.6
	Post	dB(A)	21.90	26.01	32.50	3.76	24.5	22.6	22.8	29.3	30.7	21.9	29.3

Table 3. Continued

Noise and Vibration							Sampling sites				
Items							N8	N9	N10	N11	N12
Noise (day)	Before						49.3	52.2	49.3	56.5	57.4
	Post						53.8	54.2	51.3	61.1	62.3
Noise (night)	Before						43.4	47.5	43.2	52.3	53.4
	Post						46.9	50.6	46.3	55.9	59.3
Vibration (day)	Before						27.5	25.6	27.4	32.4	35.4
	Post						29.8	26.2	29.2	38.4	37.6
Vibration (night)	Before						24.3	20.1	21.1	30.3	25.4
	Post						25	23	22.3	32.5	28.2

Soil		Descriptive Statistics					Sampling sites		
Items		Unit	min	mean	max	SD	S1	S2	S3
TS	Before	mg/l§	77.10	80.73	87.5	5.87	87.5	77.6	77.1
	Post	mg/l§	89.8	91.57	94.1	2.25	90.8	94.1	89.8
VS	Before	mg/l§	3.02	5.71	7.20	2.33	3.02	7.20	6.90
	Post	mg/l§	2.37	3.53	5.06	1.384	5.06	2.37	3.15
CN	Before	mg/l§	-	-	-	-	ND	ND	ND
	Post	mg/l§	-	-	-	-	ND	ND	ND
Cu	Before	mg/l§	0.180	1.993	2.93	1.571	0.180	2.870	2.930
	Post	mg/l§	1.08	1.69	2.08	0.533	1.903	2.077	1.079
Cd	Before	mg/l§	0.043	0.394	0.580	0.304	0.043	0.560	0.580
	Post	mg/l§	0.037	0.06	0.077	0.02	0.037	0.077	0.064
Pb	Before	mg/l§	0.038	0.049	0.06	0.011	0.038	0.050	0.060
	Post	mg/l§	0.777	0.864	0.99	0.11	0.828	0.777	0.987

서 환경영향평가시 보다 택지개발 후 증가한 것으로 조사되었는데, 이렇게 총먼지가 증가된 것은 택지의 부지공사(주변 토지정리 및 기초공사 등에서 배출되는 먼지와 공사 차량시 발생하는 먼지로 인한 증가로 판단된다. 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 역시 총먼지와 유사한 경향을 나타내었다. 질소산화물(NO<sub>x</sub>)에 대한 환경영향평가시와 사후환경조사시의 추이는 모두 환경기준에 미달하는 것으로 나타났다. 특히 SO<sub>2</sub>의 추세는 택지개발전의 SO<sub>2</sub>의 농도측정결과 0.014~0.023 mg/l로 나타났으나, 택지개발시의 SO<sub>2</sub>의 농도는 0.01 mg/l 이하로 택지개발전보다 감소한 것으로 조사되어 환경기준을 밑도는 양호한 상태를 나타내는 것으로 조사되었다. 이는 본 개발지역 중 남동쪽에 위치한 연간 200 ton의 석유 연료를 사용하는 H 산업(주) 및 H 판지공업(5종 사업장)이 택지개발이 시작하기 전 이주됨에 따라 이들 점오염원의 발생량 저감 등으로 환경조사시 현저히 감소된 것으로 판단된다. CO 농도는 1.66~1.68 mg/l로 나타났으며, 택지개발이후의 전체적인 CO농도는 0.4~1.0 mg/l로 택지개발전보다 개발 후의 농도가 감소한 것으로 조사되었

다. 이는 앞서 SO<sub>2</sub>의 경우를 설명된 것처럼 공장 철거 및 이전에 따라 배출오염의 양이 감소되어 환경기준을 밑도는 양호한 상태를 나타내는 것으로 조사되었다. 수질의 조사지점은 총 6지점으로 환경영향평가시의 측정지점과 사후환경조사의 측정지점은 동일지점에서 측정하였으며, 측정항목으로는 수소이온농도(pH), 용존산소농도(DO), 생물학적산소요구량(BOD)와 부유물질(SS) 총 4항목을 측정하였다. pH의 경우 택지개발 전·후 모두 pH 6.73~7.45로 수질환경기준 1등급의 안정적인 수질을 보이고 있어, 택지개발로 인한 pH의 증가나 감소는 없는 것으로 조사되었다. DO의 경우 환경영향평가시에는 W-3 지점은 1등급, 그 외 지점에서는 모두 2등급의 수질환경을 보였으며, 택지개발 후의 DO의 농도는 W-3과 W-4 지점에서는 2등급, 그 외 지점에서는 1등급의 안정적인 수질을 나타내었다. 택지개발 이후에 DO의 농도는 환경영향평가시와 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 생물학적산소요구량(BOD)의 경우 환경영향평가시 상류지점인 W-1, W-2, W-3 지역은 3등급의 수질환경을 보였으나, 하류지점인 W-4, W-5, W-6

지역은 BOD 10 mg/l 이상의 5등급의 수질환경으로 조사되었다. 이는 초기 사전환경조사시 하류지점에 남쪽 하천 주변의 축사지역에서 폐수의 방출로 인한 BOD 등급의 감소로 판단된다. 이 후 사후환경조사의 결과를 살펴보면 환경영향평가지 보다 하류지점인 W-4, W-5, W-6 지역에서 BOD의 농도가 현저히 감소하여 환경기준 3, 4등급의 수질환경을 유지하였다. 이는 택지개발 사업으로 인한 축사마을(W-3, W-4, A-3)의 이전에 따라 환경기준이 호전된 것으로 판단된다. SS의 경우 환경영향 평가지 보다 택지개발 이후 농도가 증가한 것으로 조사되었다. 특히, 2003년에는 SS의 농도가 급격히 증가하는 것으로 조사되었는데 이는 사업부지 동측(N-8, W-1, A-4)의 하천 정비사업으로 인한 토사 유출에 의한 것으로 판단된다.

소음 및 진동은 12 지점에서 소음과 진동을 측정하여 택지개발 전·후의 조사결과를 비교하여 조사하였다. 조사 시기는 주간과 야간으로 나누어 측정하였다. 대체적으로 사후환경조사가 환경영향조사 보다 소음 및 진동이 높게 유지되었다. 사후영향조사 결과 주간에는 공사장규제기준 70 dB(A) 이하로 나타났으며, 공사를 이행하지 않는 야간에서도 전 지역에서 환경기준 45 dB(A) 이상으로 나타났다. 이는 공사에 의한 소음보다는 공사장 주변에 이동 하는 차량에 의한 소음으로 판단된다. 이 결과로부터 사후환경조사에서 공사 이행 유무에 따라 약 25 dB(A)의 차가 발생하는 것을 확인할 수 있었고 특히 야간 공사가 진행된다면 주변 지역에 상당한 소음 문제를 발생시킬 것으로 판단된다. 또한 도로변 지역 생활 환경기준인 65 dB(A)를 근거로 도로변 주변 지역 N-4, N-11 및 N-12는 다른 지역과 비교했을 때 약 10 dB(A) 이상 높게 측정되었다. 또한 이 지역은 도로변 환경기준에 65 dB(A)에 상향 근접 및 초과하여 차후 이 주거지역 설립 시 방음벽 같은 소음 대책이 필수적이라 판단된다. 진동은 환경영향평가지와 사후환경조사 결과 주간과 야간 모두 생활진동 규제기준(주간 65 dB(V), 야간 60 dB(V)) 이내인 것으로 나타나 택지개발에 따른 문제점은 없는 것으로 조사되었다. 토양내 중금속 농도 변화를 알아보기 위하여 중금속(Cu, Cd, Pb) 농도를 환경영향평가와 사후환경영향조사 시 각각 3지점을 조사하여 택지개발에 따른 토양의 중금속 오염 여부를 조사하였다. 토양내 중금속 농도를 살펴보면 환경영향평가지 Cu의 농도는 약 3 mg/kg으로 조사되었으나, 사후환경조사시 0.18~2.08 mg/kg으로 나타나 환경영향평가지 보다 토양내의 Cu의 함량이 적은 것으로 조사되었으며, Cd 역시 Cu와 같이 환경영향평가지 보다 사후환경조사시의 농도가 낮게 나

타났다. Pb의 경우 환경영향평가지 보다 사후환경조사 시 토양내 Pb의 농도가 증가한 것으로 조사되었으나, 모든 환경질 측정항목에서 토양오염 우려기준을 하회하는 것으로 조사되어 택지개발에 따른 토양내의 중금속오염은 일어나지 않는 것으로 조사되었다.

**2. 상관분석(correction analysis)에 의한 택지개발지역의 환경 특성평가**

특정한 변수의 분산이 나머지 변수의 분산보다 월등히 클 경우와 변수들의 측정단위(units)가 다른 경우에 이용되거나 개체 공간(R-space)에서 변수들 간에 상관관계를 통하여 유사한 변수를 찾기 위해서 상관분석을 다음 Table 4와 같이 수행하였다. 대기질의 경우 환경영향평가지 총먼지(TSP)와 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 상관계수는 0.976으로 나머지 항목에 비해 상대적으로 높은 상관관계를 보였으며 자동차 배출원에 의해 연관성을 보일 것으로 판단되는 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 일산화탄소(CO)도 0.776으로 상당히 상관성이 있음을 확인할 수 있었다. 사후환경조사에는 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 일산화탄소

**Table 4.** Correlation matrix on the analytical parameters between Environmental Impact Assessment and Post-Environmental Investigation

		Air quality			
		Environmental Impact Assessment			
		TSP(X <sub>1</sub> )	PM <sub>10</sub> (X <sub>2</sub> )	NO <sub>2</sub> (X <sub>3</sub> )	SO <sub>2</sub> (X <sub>4</sub> )
PM <sub>10</sub> (X <sub>2</sub> )		0.976			
NO <sub>2</sub> (X <sub>3</sub> )		-0.349	-0.440		
SO <sub>2</sub> (X <sub>4</sub> )		-0.020	0.166	-0.363	
CO(X <sub>5</sub> )		-0.347	-0.391	0.776	-0.290
		Post-Environmental Investigation			
		TSP(X <sub>1</sub> )	PM <sub>10</sub> (X <sub>2</sub> )	NO <sub>2</sub> (X <sub>3</sub> )	
PM <sub>10</sub> (X <sub>2</sub> )		0.765			
NO <sub>2</sub> (X <sub>3</sub> )		0.746	0.524		
CO(X <sub>5</sub> )		0.720	0.560	0.922	
		Water quality			
		Environmental Impact Assessment			
		pH(X <sub>1</sub> )	DO(X <sub>2</sub> )	BOD(X <sub>3</sub> )	
DO(X <sub>2</sub> )		0.869			
BOD(X <sub>3</sub> )		-0.885	-0.933		
SS(X <sub>4</sub> )		-0.910	-0.860	0.976	
		Post-Environmental Investigation			
		pH(X <sub>1</sub> )	DO(X <sub>2</sub> )	BOD(X <sub>3</sub> )	
DO(X <sub>2</sub> )		0.515			
BOD(X <sub>3</sub> )		0.689	-0.117		
SS(X <sub>4</sub> )		-0.342	0.069	-0.588	

Table 4. Continued

Noise and vibration				
Environmental Impact Assessment				
	N(day)(X <sub>1</sub> )	N(night)(X <sub>2</sub> )	V(day)(X <sub>3</sub> )	
N(night)(X <sub>2</sub> )	0.786			
V(day)(X <sub>3</sub> )	0.735	0.819		
V(night)(X <sub>4</sub> )	0.534	0.673	0.802	
Post-Environmental Investigation				
	N(day)(X <sub>1</sub> )	N(night)(X <sub>2</sub> )	V(day)(X <sub>3</sub> )	
N(night)(X <sub>2</sub> )	0.961			
V(day)(X <sub>3</sub> )	0.735	0.734		
V(night)(X <sub>4</sub> )	0.636	0.628	0.906	
Soil				
Environmental Impact Assessment				
	TS(X <sub>1</sub> )	VS(X <sub>2</sub> )	Cu(X <sub>3</sub> )	Cd(X <sub>4</sub> )
VS(X <sub>2</sub> )	-0.994			
Cu(X <sub>3</sub> )	-1.000	0.997		
Cd(X <sub>4</sub> )	-1.000	0.995	1.000	
Pb(X <sub>5</sub> )	-0.910	0.860	0.900	0.905
Post-Environmental Investigation				
	TS(X <sub>1</sub> )	VS(X <sub>2</sub> )	Cu(X <sub>3</sub> )	Cd(X <sub>4</sub> )
VS(X <sub>2</sub> )	-0.552			
Cu(X <sub>3</sub> )	-0.790	0.074		
Cd(X <sub>4</sub> )	0.584	-0.999	-0.035	
Pb(X <sub>5</sub> )	-0.832	-0.003	-0.997	-0.036

(CO)가 0.992를 보였고, 총먼지(TSP)를 기준으로 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 질소산화물(NO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO) 등이 각각 0.765, 0.746, 0.720 등으로 상관관계를 보였다. 대기질의 경우는 대부분 도로변 주변에서 시료를 채취한 결과로 총 먼지(TSP)과 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 질소산화물(NO<sub>2</sub>)과 일산화탄소(CO)의 상관성이 두드러지게 나타났다. 수질의 경우는 환경영향평가시 pH와 용존산소(DO)가 0.869, BOD와 SS가 0.976의 높은 상관관계를 보였다. 특히 용존산소(DO)와 BOD가 -0.933으로 높은 음의 상관관계를 나타냈는데 이는 산소가 고갈됨에 따라 BOD 농도가 증가됨을 확인할 수 있었다. 사후환경조사에서는 하천정비공사로 인한 하천의 수질 변동이 현저히 크게 나타나 이로 인한 각 변수들 사이에 상관관계가 현저 낮은 것을 확인할 수 있었다. 소음과 진동에서 환경영향평가시 소음(낮)과 소음(밤), 진동(낮)과 진동(밤)의 변수들 간에 서로 밀접한 관련성을 보였다. 사후환경조사에는 소음(낮)과 소음(밤), 진동(낮)과 진동(밤) 등이 각각 0.961, 0.906로 높은 상관관계를 나타냈다. 이는 사후환경조사시 차량 이동과 공사로 인한 영

향이 환경영향평가시 보다 상당한 소음 및 진동의 효과가 가중된 것으로 판단된다. 토양 환경에서는 환경영향평가시 총 고형물(TS)과 휘발성 고형물(VS)은 높은 음의 상관관계를 보였고, 중금속 Cu, Cd, Pb 등은 서로 높은 양의 상관관계를 보였다. 하지만 사후환경조사에는 수질환경 중 사후환경조사와 마찬가지로 총 고형물(TS)과 휘발성 고형물(VS), 중금속 들 간에 연관성을 찾아 볼 수 없었는데 이는 토양환경 주변의 조성공사로 인한 변수들 간에 상호 혼란성이 가중된 것으로 판단된다. 상관관계를 이용한 환경영향평가시와 사후환경조사시의 결과를 바탕으로 볼 때 택지개발로 인한 사전적 환경영향평가는 자연적인 연관성에 주로 관련성을 갖는 것으로 나타났지만 사후환경조사에는 택지개발로 인한 차량 이동시, 공사 시 및 하천 정비사업 등의 인위적인 환경에 상당히 지배되어 두 가지 사전 및 사후 평가 결과가 뚜렷하게 다른 양상을 나타내었다.

3. 주성분분석에 의한 대기질의 환경변동요인 해석

대기질에 대한 각 변수들의 상관행렬에 대한 고유값(Eigenvalue), 설명비율(Proportion) 및 누적(Cumulative)

Table 5. Assessment of air quality on the principal component analysis(PCA) in the Environmental Impact Assessment and Post-Environmental Investigation

EIA(Environmental Impact Assessment)					
Principal component					
	Eigenvalue	1.3069	0.7336	0.2195	0.0054
Proportion	0.547	0.261	0.147	0.044	0.001
Cumulative	0.547	0.808	0.955	0.999	1.000
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
TSP(X <sub>1</sub> )	-0.480	-0.522	0.123	0.064	0.691
PM <sub>10</sub> (X <sub>2</sub> )	-0.519	-0.403	0.259	-0.029	-0.708
NO <sub>2</sub> (X <sub>3</sub> )	0.483	-0.361	0.319	0.728	-0.062
SO <sub>2</sub> (X <sub>4</sub> )	-0.223	-0.564	0.779	0.096	0.123
CO(X <sub>5</sub> )	0.466	-0.341	0.457	-0.675	0.047
PEI(Post-Environmental Investigation)					
Principal component					
	Eigenvalue	0.611	0.191	0.071	
Proportion	0.782	0.153	0.048	0.018	
Cumulative	0.782	0.935	0.982	1.000	
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	
TSP(X <sub>1</sub> )	-0.517	-0.267	0.791	0.190	
PM <sub>10</sub> (X <sub>2</sub> )	-0.449	-0.725	-0.502	-0.145	
NO <sub>2</sub> (X <sub>3</sub> )	-0.515	0.467	-0.006	-0.719	
CO(X <sub>5</sub> )	-0.516	0.431	-0.349	0.653	

설명비율 등의 주성분분석은 다음 Table 5에 나타났다. Table 5에서 대기질 환경영향평가의 경우 첫 번째 고유값(eigenvalue)이 2.7346으로 전체 고유값의 합이 54.59%를 차지하고 있다. 이는 첫 번째 주성분이 전체 분산을 설명하는 비율로서 처음 두 개의 주성분이 전체 분산을 설명하려는 누적비율은 80.73%로 대단히 높게 유지하였다. 이들 2개의 주성분은 변수 5개와 7개의 관찰 자료로 축약할 수 있고 정보를 대신할 수 있는데 즉 1보다 큰 고유값은 2개이며, 처음 두 개 고유값에 의해 전체변동의 80.73%가 설명되었다. 주성분 분석 식 (2)에 의해 각 주성분의 원 변수를 해석한다면 TSP(X<sub>1</sub>), PM<sub>10</sub>(X<sub>2</sub>), SO<sub>2</sub>(X<sub>4</sub>)는 음(-) 값을 갖고 나머지 변수 NO<sub>2</sub>(X<sub>3</sub>)와 CO(X<sub>5</sub>)는 양(+) 값을 갖는다. 따라서 TSP(X<sub>1</sub>), PM<sub>10</sub>(X<sub>2</sub>), SO<sub>2</sub>(X<sub>4</sub>)이 나머지 변수(변수 NO<sub>2</sub>(X<sub>3</sub>)와 CO(X<sub>5</sub>))들과는 다소 이질적인 성질을 나타냈다.

$$\begin{aligned}
 PC1(\text{before}) = & -0.480TSP(X_1) - 0.519PM_{10}(X_2) \\
 & + 0.519NO_2(X_3) - 0.223SO_2(X_4) \\
 & + 0.466CO(X_5)
 \end{aligned} \quad (2)$$

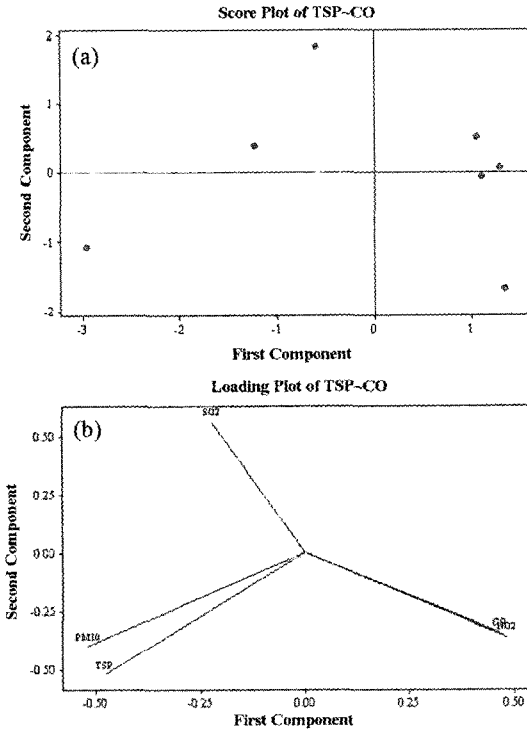


Fig. 5. Distributions of score (a) and loading value (b) by PCA in the Environmental Impact Assessment (air quality: TSP, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO).

$$\begin{aligned}
 PC1(\text{post}) = & -0.517TSP(X_1) - 0.449PM_{10}(X_2) \\
 & - 0.515NO_2(X_3) - 0.516CO(X_5)
 \end{aligned} \quad (3)$$

Fig. 5(a)는 스코어(score) plot는 처음 두개 주성분에 대한 주성분점수의 산점도를 나타내는 것으로 7개 지역에 대한 5개 변수의 측정값들은 2개 주성분점수로 대신할 수 있으며 이러한 주성분점수의 산점도를 이용하면 자료의 정규성이나 이상값을 찾는 데 유용하다.<sup>9,10)</sup> 주성분 그래프에서 왼쪽 하단 코너와 오른쪽 하단 코너에 위치한 2개 관찰값을 빼면 나머지 점들은 비교적 타원형에 가까운 형태를 보여주고 있으므로 정규성의 가정을 대체로 만족하고 있었다. 또한 Fig. 5(b)에서 공통인자에 의해 설명되는 누적(loadings) 설명비율을 설명하고 있는데 TSP(X<sub>1</sub>)와 PM<sub>10</sub>(X<sub>2</sub>), 그리고 NO<sub>2</sub>(X<sub>3</sub>)와 CO(X<sub>5</sub>)가 공통인자로 인한 누적 요인으로 설명될 수 있었다. 즉, TSP(X<sub>1</sub>)와 PM<sub>10</sub>(X<sub>2</sub>)는 입자상 물질로 대기중에 부유한 총 먼지와 공기역학적 직경이 10 μm 이하의 먼지로 구별되며 NO<sub>2</sub>(X<sub>3</sub>)와 CO(X<sub>5</sub>)는 자동차 등 이동배출원 및 이 지역의 난방연료로 사용되는 가스상 오염원으로 분류될 수 있다고 판단된다.

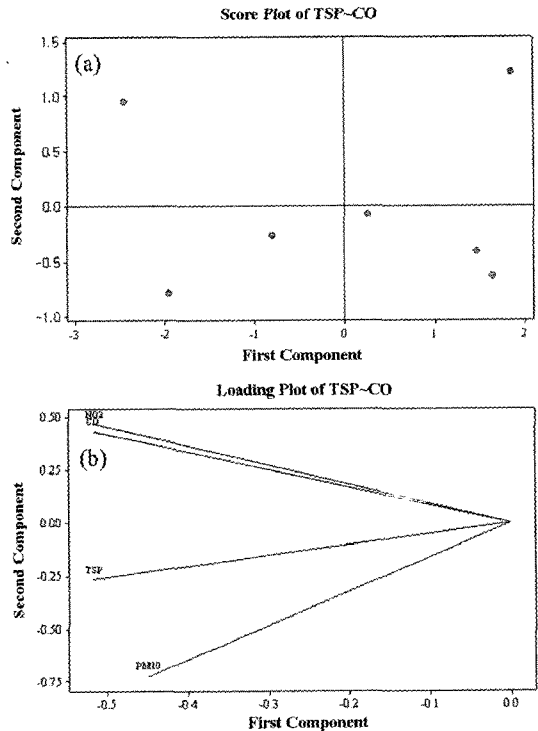


Fig. 6. Distributions of score (a) and loading value (b) by PCA in the Post-Environmental Investigation (air quality: TSP, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO).



사후환경조사는 첫 번째 고유값이 전체 고유값에서 78.2%이고 처음 두 개(PC1, PC2)의 주성분이 전체분산에 93.5%로 변수 4개와 7개의 관찰 자료를 대신할 수 있었다. 이 때 Table 3에서 사후환경조사시 SO<sub>2</sub>는 모든 관측지점에서 동일한 농도로 존재하고 그 중요도가 낮아 관측 자료를 삭제하여 분석하였다. Fig 6(a)는 7개 관측지점의 주성분점수의 제1주성분과 제2주성분의 득점만을 이용한 산점도는 대체적으로 타원형에 가까운 정규성의 가정을 대체적으로 만족하고 있으며 Fig. 6(b)에서 NO<sub>2</sub>(X<sub>3</sub>)와 CO(X<sub>3</sub>)가 공통 누적성분으로 확인할 수 있었고 식 (3)에서 모든 변수들이 음(-) 값으로 같은 성질을 나타냈다.

**4. 주성분분석에 의한 수질의 환경변동요인 해석**

수질 환경영향평가의 경우 처음 두 개의 주성분이 96.74%로 변수 4개와 6개의 전체 관찰 자료를 대신할 수 있을 정도로 높게 유지되었으며 식 (4)에서 pH(X<sub>1</sub>)와 DO(X<sub>2</sub>)는 양(+) 값을 갖고 나머지 BOD(X<sub>3</sub>)와 SS(X<sub>4</sub>)는 음(-) 값을 나타냈다. 수질의 사후환경조사의

경우는 처음 두 개의 주성분이 전체분산에 85.3%로 변수 4개와 6개의 전체 관찰 자료를 대신할 수 있고 식 (5)에서 SS(X<sub>4</sub>)의 양(+) 값을 제외한 모든 변수(pH(X<sub>1</sub>), DO(X<sub>2</sub>), BOD(X<sub>3</sub>))는 음(-) 값을 갖는다. 이는 하천정비공사시 흙 파기 등 굴착공사가 상류부터 이루어짐에 따라 상당한 SS가 유출됨을 Table 3에서 환경평가시보다 높은 농도를 확인하였고 이로 인한 다른 변수 간 이질성이 나타난 것으로 판단된다.

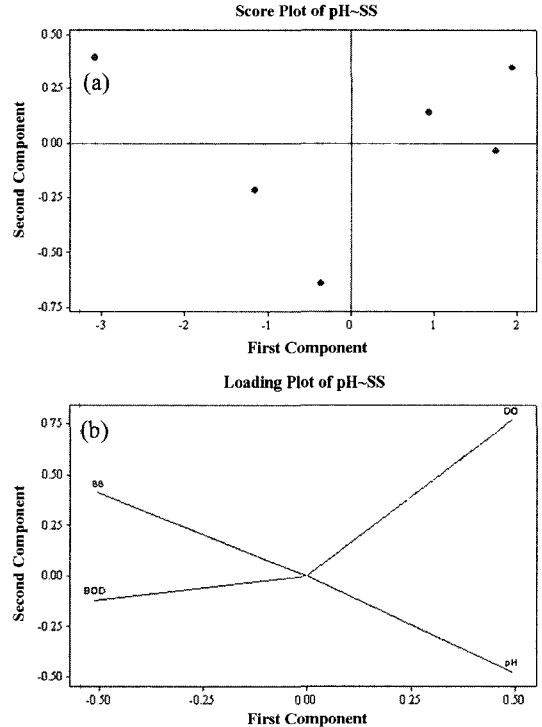
$$PC1(\text{before}) = 0.493pH(X_1) + 0.492DO(X_2) - 0.510BOD(X_3) - 0.504SS(X_4) \quad (4)$$

$$PC1(\text{after}) = -0.602pH(X_1) - 0.183DO(X_2) - 0.605BOD(X_3) + 0.488SS(X_4) \quad (5)$$

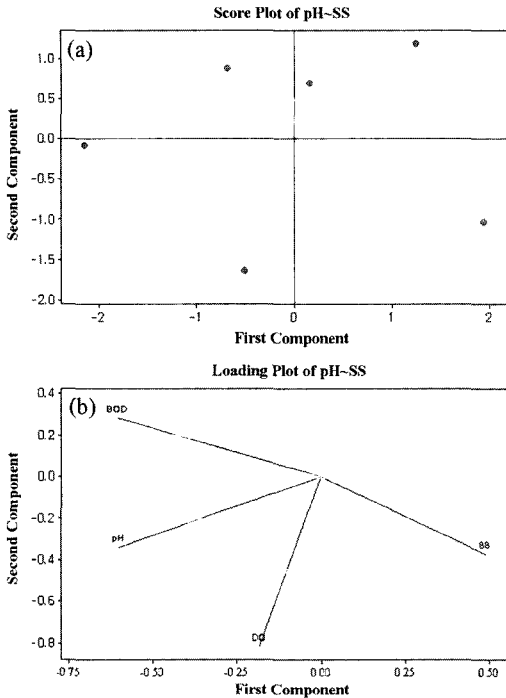
Fig. 7(a) 및 8(a)은 수질환경에서 6개 측정지점에 대한 처음 두 개의 주성분이 96.74, 85.3%로 대표한 산포도를 나타내고 있다. 환경영향평가시와 사후환경조사 모두 비교적 타원형에 가까운 형태를 보여주고 있으므로 정규성의 가정을 대체로 만족할 수 있었다. Fig.

**Table 6.** Assessment of water quality on the principal component analysis (PCA) in the Environmental Impact Assessment and Post-Environmental Investigation

EIA(Environmental Impact Assessment)				
Principal component				
Eigenvalue	3.718	0.1517	0.1271	0.0031
Proportion	0.930	0.038	0.032	0.001
Cumulative	0.930	0.967	0.999	1.000
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
pH(X <sub>1</sub> )	0.493	-0.476	0.705	-0.185
DO(X <sub>2</sub> )	0.492	0.769	0.258	0.315
BOD(X <sub>3</sub> )	-0.510	-0.121	0.463	0.714
SS(X <sub>4</sub> )	-0.504	0.409	0.472	-0.596
PEI(Post-Environmental Investigation)				
Principal component				
Eigenvalue	2.1257	1.2859	0.5155	0.0729
Proportion	0.531	0.321	0.129	0.018
Cumulative	0.531	0.853	0.982	1.000
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
pH(X <sub>1</sub> )	-0.602	-0.339	0.312	0.652
DO(X <sub>2</sub> )	-0.183	-0.816	-0.340	-0.431
BOD(X <sub>3</sub> )	-0.605	0.283	0.422	-0.613
SS(X <sub>4</sub> )	0.488	-0.373	0.781	-0.116



**Fig. 7.** Distributions of score (a) and loading value (b) by PCA in the Environmental Impact Assessment (water quality: pH, DO, BOD, SS).



**Fig. 8.** Distributions of score (a) and loading value (b) by PCA in the Post-Environmental Investigation (water quality: pH, DO, BOD, SS).

7(b) 및 8(b)은 6개 측정지점의 4개 변수에 대한 두 개의 1, 2 주성분의 누적분포를 나타내고 있었다. 이때 환경영향평가기 전체분산에 가장 기여도가 큰 제 1 주성분(PC1) 좌표에서 pH(X<sub>1</sub>)와 DO(X<sub>2</sub>)는 양(+) 값을 갖고 나머지 BOD(X<sub>3</sub>)와 SS(X<sub>4</sub>)는 음(-) 값을 나타냈다. 또한 누적성분이 램덤하게 1, 2, 3, 그리고 4분변 좌표에 분포되었다. 수질의 사후환경조사의 경우는 처음 두 개의 주성분에 대한 2차원 좌표에서 변수 4개와 6개의 전체 관찰 자료의 누적분포를 나타내고 있는데 제 1 주성분(PC1)의 누적 분포는 SS(X<sub>4</sub>)의 양(+) 값을 제외한 모든 변수(pH(X<sub>1</sub>), DO(X<sub>2</sub>), BOD(X<sub>3</sub>))는 음(-) 값을 가지고 고르게 분포하고 있었다. 수질환경에서 환경영향평가와 사후환경조사의 결과로부터 모든 관찰지점의 변수들은 상당히 독립적으로 분포됨을 확인할 수 있었는데 이는 하천의 상류부터 하류까지 광범위한 모니터링 면적에 포함되어 있기 때문으로 판단된다.

**5. 주성분분석에 의한 소음·진동 환경변동요인 해석**

Table 7에서 소음 및 진동환경에서 환경영향평가는 처음 두 개(PC1, PC2)의 주성분이 91.9%로 변수 4개와 12개의 관찰 자료를 대신할 수 있을 정도로 높게

**Table 7.** Assessment of noise and vibration on the principal component analysis (PCA) in the Environmental Impact Assessment and Post-Environmental Investigation

EIA(Environmental Impact Assessment)			
Principal component			
Eigenvalue	3.1812	0.4940	0.1870
Proportion	0.795	0.1230	0.0470
Cumulative	0.795	0.9190	0.9660
Variable	PC1	PC2	PC3
N(day)(X <sub>1</sub> )	-0.480	0.638	0.575
N(night)(X <sub>2</sub> )	-0.517	0.232	-0.775
V(day)(X <sub>3</sub> )	-0.529	-0.167	0.003
V(night)(X <sub>4</sub> )	-0.472	-0.715	0.261
PEI(Post-Environmental Investigation)			
Principal component			
Eigenvalue	3.302	0.5775	0.0818
Proportion	0.826	0.144	0.020
Cumulative	0.826	0.970	0.990
Variable	PC1	PC2	PC3
N(day)(X <sub>1</sub> )	-0.506	-0.483	0.128
N(night)(X <sub>2</sub> )	-0.504	-0.492	0.040
V(day)(X <sub>3</sub> )	-0.511	0.398	-0.761
V(night)(X <sub>4</sub> )	-0.478	0.605	0.635

유지되어 표본변동을 매우 잘 설명하고 있으며 이 때 식 (6)에서 모든 변수는 음(-) 값으로 밀접한 관계를 유지하였다. 사후환경조사에서 처음 두 개(PC1, PC2)의 주성분만을 사용하더라도 자료의 변동 중 97% 이상을 설명하며 나머지 2개(PC3, PC4) 주성분에 의해서는 3% 밖에 설명하지 못함을 알 수 있다. 결과적으로 처음 두 개 주성분은 표본변동을 매우 잘 설명하고 있으며 변수 4개와 12개 관찰치로 구성된 자료를 2개 주성분에 대한 12개 관찰 자료로 축약할 수 있게 된다. 식 (6) 및 (7)의 환경영향평가기와 사후환경조사 모든 변수들이 상호 관련성을 보였다.

$$PC1(\text{before}) = -0.480N(\text{day}(X_1)) - 0.517N(\text{night}(X_2)) - 0.529V(\text{day}(X_3)) - 0.472V(\text{night}(X_4)) \tag{6}$$

$$PC1(\text{post}) = -0.480N(\text{day}(X_1)) - 0.517N(\text{night}(X_2)) - 0.529V(\text{day}(X_3)) - 0.472V(\text{night}(X_4)) \tag{7}$$

Fig. 9(a) 및 10(a)은 소음·진동에서 12개 측정지점에 대한 처음 두 개의 주성분의 기여도에 대한 산포도

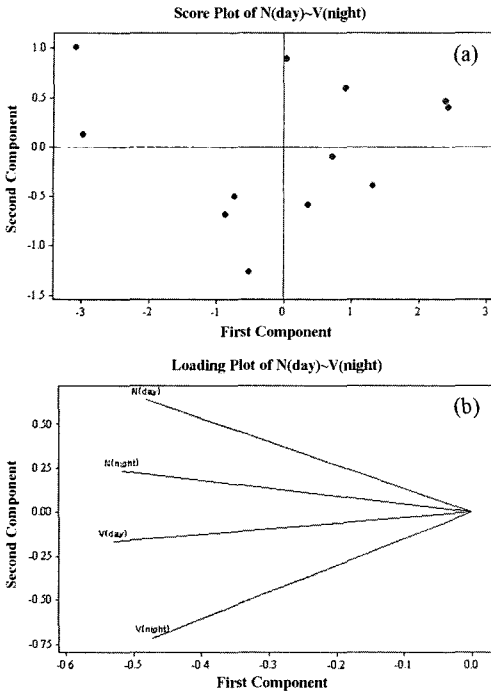


Fig. 9. Distributions of score (a) and loading value (b) by PCA in the Environmental Impact Assessment (Noise (day, night) and vibration (day, night)).

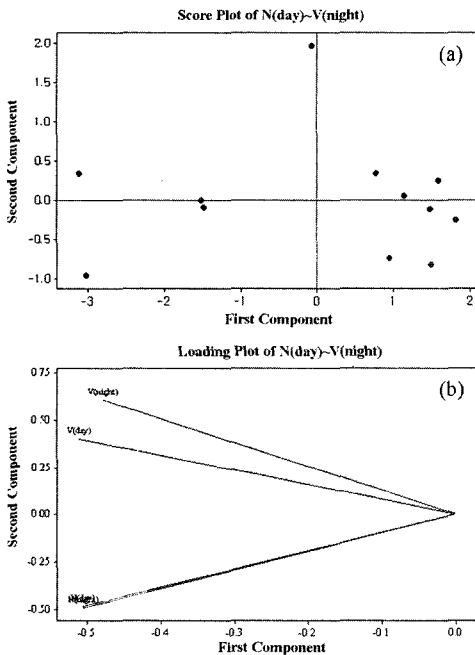


Fig. 10. Distributions of score (a) and loading value (b) by PCA in the Post-Environmental Investigation (Noise (day, night) and vibration (day, night)).

를 나타내고 있다. 환경영향평가시와 사후환경조사 모두 비교적 타원형에 가까운 형태를 보여주고 있으므로 정규성의 가정을 대체로 만족할 수 있었고 특히 Fig. 9(a)가 Fig. 10(a)보다 제 1 주성분(PC1)이 중심에 분포하고 있다. Fig. 9(b) 및 10(b)은 12개 측정지점의 4개 변수에 대한 두 개의 1, 2 주성분의 누적분포를 나타내고 있다. 이 때 환경영향평가시와 사후환경조사의 전체분산에 가장 기여도가 큰 제 1 주성분(PC1) 좌표에서 모든 변수들이 음(-)의 값을 나타내 변수들 사이에 연관성이 나타났으며 환경영향평가에서 누적분포는 상당히 음(-) 값에서 독립적으로 분포되었지만 사후환경조사시 소음의 낮과 밤의 경우는 공통 누적분포가 동일한 지점에 위치하고 있었다. 이는 사후환경조사시 이동시 및 공사시 발생하는 공사장 소음과 도로교통소음이 주변 환경에 영향을 준 것으로 판단된다.

6. 주성분분석에 의한 토양 환경변동요인 해석

토양 환경에서 환경영향평가에 대한 주성분분석에 대

Table 8. Assessment of soil on the principal component analysis (PCA) in the Environmental Impact Assessment and Post-Environmental Investigation

EIA(Environmental Impact Assessment)					
Principal component					
Eigenvalue	4.8275	0.1725	0.000	0.000	0.000
Proportion	0.966	0.034	0.000	0.000	0.000
Cumulative	0.966	1.000	1.000	1.000	1.000
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
TS(X <sub>1</sub> )	0.455	-0.124	0.744	0.447	-0.159
VS(X <sub>2</sub> )	-0.449	0.380	-0.108	0.790	0.133
Cu(X <sub>3</sub> )	-0.454	0.180	0.236	-0.174	-0.822
Cd(X <sub>4</sub> )	-0.454	0.147	0.616	-0.333	0.531
Pb(X <sub>5</sub> )	-0.423	-0.887	0.000	0.185	0.000
PEI(Post-Environmental Investigation)					
Principal component					
Eigenvalue	2.9634	2.0366	0.000	0.000	0.000
Proportion	0.593	0.407	0.000	0.000	0.000
Cumulative	0.593	1.000	1.000	1.000	1.000
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
TS(X <sub>1</sub> )	-0.581	0.008	0.027	0.156	-0.799
VS(X <sub>2</sub> )	0.315	-0.589	-0.491	0.540	-0.147
Cu(X <sub>3</sub> )	-0.463	-0.422	-0.484	-0.575	0.204
Cd(X <sub>4</sub> )	-0.334	0.574	-0.541	0.413	0.311
Pb(X <sub>5</sub> )	0.487	0.382	-0.481	-0.428	-0.450

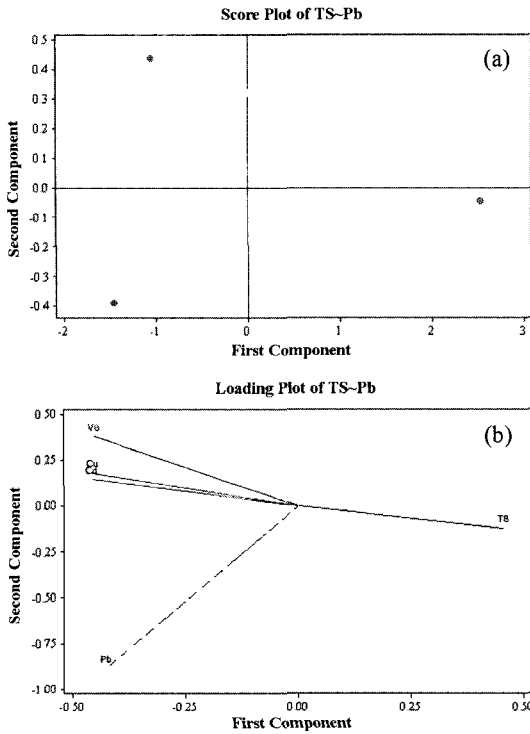


Fig. 11. Distributions of score (a) and loading value (b) by PCA in the Environmental Impact Assessment (TS, VS, Cu, Cd, Pb).

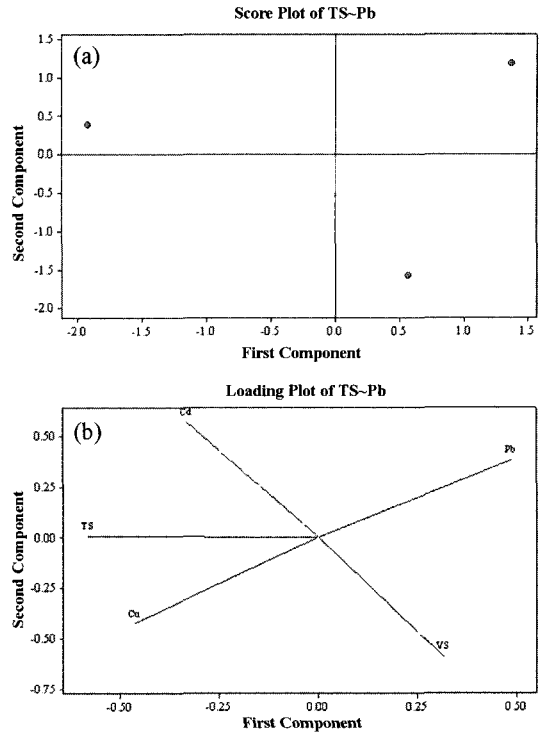


Fig. 12. Distributions of score (a) and loading value (b) by PCA in the Post-Environmental Investigation (TS, VS, Cu, Cd, Pb).

한 해석을 보면 처음 두 개의 주성분이 100%로 변수 5개와 3개의 관찰 자료를 대신할 수 있을 정도로 상당한 높은 표본변동을 설명하고 있으며 식 (8)에서 TS(X<sub>1</sub>)을 제외한 나머지 변수(VS(X<sub>2</sub>), Cu(X<sub>3</sub>), Cd(X<sub>4</sub>), Pb(X<sub>5</sub>))들 간에 밀접한 관계를 나타내고 있다. 사후환경조사에서 처음 두 개의 주성분이 100%로 역시 환경영향평가처럼 상당한 높은 표본변동을 나타내 변수 5개와 3개의 관찰 자료를 대신할 수 있었고 식 (9)에서 VS(X<sub>2</sub>)와 Pb(X<sub>5</sub>)는 양의 값인 반면 TS(X<sub>1</sub>), Cu(X<sub>3</sub>), Cd(X<sub>4</sub>)는 음수이므로 변수 집합 간의 대비(contrast)를 나타낸다고 볼 수 있었다.

Fig. 11(a) 및 12(a)는 토양환경에서 3개 측정지점에 대한 처음 두 개의 주성분의 기여도에 대한 산포도를 나타내고 있는데, 환경영향평가시와 사후환경조사 모두 비교적 타원형에 가까운 형태를 보여주고 있으므로 정규성의 가정을 대체로 만족할 수 있었고 Fig. 11(b) 및 12(b)는 3개 측정지점의 5개 변수에 대한 두 개의 1, 2 주성분의 누적분포를 나타내고 있었다. Fig. 11(b)의 공통 누적분포를 보면 Cu(X<sub>3</sub>)와 Cd(X<sub>4</sub>)는 상호 공통된 누적분포를 보였다. 그리고 Fig. 12(b)이 변수들은 제

1 주성분(PC1)과 제 2 주성분(PC2) 좌표에 독립적으로 분포되었다.

$$\begin{aligned}
 PC1(\text{before}) &= 0.455TS(X_1) - 0.449VS(X_2) \\
 &\quad - 0.454Cu(X_3) - 0.454Cd(X_4) \\
 &\quad - 0.423Pb(X_5)
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 PC1(\text{post}) &= -0.581TS(X_1) + 0.315VS(X_2) \\
 &\quad - 0.463Cu(X_3) - 0.334Cd(X_4) \\
 &\quad + 0.487Pb(X_5)
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

#### IV. 결 론

1. 상관관계분석 결과 환경영향평가시 대기질은 총부유먼지(TSP)와 PM<sub>10</sub>, 수질에서는 BOD와 SS, 소음 및 진동에서는 소음(낮)과 소음(밤) 그리고 진동(낮)과 진동(밤), 토양에서는 Cu와 Cd, Cu와 Pb 및 Cd와 Pb 사이에 매우 높은 상관관계를 나타냈다. 사후환경조사시 대기질은 NO<sub>2</sub>와 CO, 수질에서는 pH와 BOD, 소음 및 진동에서는 소음(낮)과 소음(밤) 그리고 진동(낮)

과 진동(밤) 등 항목이 매우 높은 상관관계를 나타냈지만 토양에서는 항목 간 낮은 상관관계가 나타났다.

2. 환경영향평가와 사후환경조사에 대한 환경변동 특징을 비교해 보면 대기질의 경우 환경영향평가기에는 주로 개발지역의 내·외부적 환경에서 유입된 미세 먼지를 포함한 부유성 먼지의 이송 및 확산작용에 의해 TSP와 PM<sub>10</sub>은 매우 높은 상관관계를 나타냈지만 사후 환경조사는 사업진행 과정에서 공사 및 차량 이동에 따른 자동차 배출가스 물질의 1, 2차 오염물질인 NO<sub>2</sub>와 CO 항목사이에 매우 높은 상관관계를 나타냈다. 수질의 경우 환경영향평가기 항목 간 상관 및 역상관계를 보였지만 사후환경조사이시 하천의 상류부터 하류까지 하천정비공사로 인한 토사유출 등 환경변동이 심해 낮은 상관관계를 보였다. 소음 및 진동의 사·후 평가 비교는 서로 유사한 패턴을 보였다. 하지만 토양의 경우는 환경영향평가기 중급속간 매우 높은 상관관계를 나타냈지만 사후환경조사는 공사시행으로 인한 외적인 요인(토사유출, 토양운반 등) 등으로 매우 낮은 상관관계가 나타났다.

3. 주성자 분석 결과 대기질, 수질, 소음 및 진동 그리고 토양 환경의 측정항목은 상관관계분석 결과와 매우 유사하였고 각 항목별 변수에 대한 관측수를 대상으로 분석한 결과 모든 항목의 처음 두 개(PC1, PC2)의 주성분이 전체 관찰 자료를 대신할 수 있을 정도로 높게 유지되었으며 저차원 공간을 고려한 제2축 그래프(score plot)의 산점도 분포는 비교적 타원형에 가까운 형태로 정규성의 가정을 대체로 만족하였다.

4. 공간상 두 개(PC1, PC2)의 주성분을 대상으로 관측수의 공통분포를 표시하는 누적 그래프(loadng plot)는 앞서 설명한 상관관계와 정확하게 일치하지 않지만 대기질 중 총부유먼지(TSP)와 PM<sub>10</sub>은 NO<sub>2</sub>와 CO가 제 1주성분 및 제 2성분에서 같은 부류에 연관되어 누적분포 되어 있었고 사후환경조사는 NO<sub>2</sub>와 CO만 공통으로 분포되고 있다. 수질의 경우는 환경영향평가 및 사후환경조사 모두 독립적으로 누적 분포되어 있었다.

소음진동의 경우 환경영향평가 및 사후환경조사 모두 제 1 주성분에 대하여 음(-) 값에 분포되어있고 제 2 주성분에 대하여 환경영향평가는 양(+) 값 및 음(-) 값에 독립적으로 분포되었지만 사후환경조사에서는 제 1 및 2 성분에 소음(낮)과 소음(밤) 및 진동(낮)과 진동(밤)에 공통적으로 누적 분포되었다. 토양의 경우 환경영향평가에서 제 1 및 2 주성분에 대하여 Cu와 Cd이 공통적으로 누적 분포되어 있지만 사후환경조사에서는 모든 변수항목들이 독립적으로 분포되는 것을 확인 할 수 있었다.

## 참고문헌

1. 한상욱, 최재용, 이춘원, 김임순, 전숙진, 한정희 : 환경영향평가 협의내용의 사후관리 합리화방안 연구. 환경영향평가학회, 9(2), 119-126, 2001.
2. 김임순 외 : 최신환경영향평가. 도서출판 동화기술, 2003.
3. 서영화, 조순행 : 칩출수 분석 항목간의 상관관계분석과 주성분분석. 대한환경공학회, 20(12), 1705-1715, 1998.
4. 유효식 : 한강수질에 영향을 끼치는 요인들의 통계분석. 대한환경공학회, 24(12), 2139-2150, 2002.
5. 김복현, 이재형, 이수환, 윤조희 : 주성분분석에 의한 A<sub>2</sub>O 공법의 처리성 평가. 한국보건환경학회지, 18(2), 67-74, 1992.
6. 오광중, 박진, 정덕영, 손건태 : 부산지역의 대기오염물질농도와 기상인자간의 통계분석(광안리 지역을 중심으로). 대한환경공학회지, 20(9), 1235-1245, 1998.
7. 최용석, 정광모 : 실무자를 위한 Minitab 다변량 분석. 이레테크, 2001.
8. 허명희, 양경숙 : SPSS 다변량자료분석. SPSS 아카데미, 2004.
9. 신성교, 박정길, 송교욱 : 주성분 분석법을 이용한 낙동강 하구 해역의 수질평가. 한국환경과학회지, 7(2), 171-176, 1998.
10. 정용, 박성은, 양지연, 김미경, 신동천 : 주성분 분석을 이용한 우리나라 6개 대도시 지역의 PM<sub>10</sub>중 무기물질의 발생원 평가. 한국대기환경학회 춘계학술대회, 5, 14-15, 1999.