

광양만권 환경변화 및 투자 분석 연구

백병천[†] · 김철규 · 주치훈

전남대학교 건설 · 환경공학부

A Study on Analysis of the Environment Quality and Investment in Gwangyang Bay

Byeong-Cheon Paik[†], Cheol-Kyu Kim, and Chee-Hoon Ju

Department of Civil and Environmental Engineering, Chonnam National University

ABSTRACT

The average concentration range of SO₂, NO₂, O₃, CO, and PM-10 from 1998 to 2007 in Gwangyang Bay atmospheric environment were 0.007~0.014ppm, 0.015~0.021ppm, 0.023~0.031 ppm, 0.444~0.776 ppm, 35.9~50.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The average concentration range of pH, DO, COD, and T-N from 1992 to 2006 in ocean quality environment were 7.9~8.4, 8.2~10.8 mg/l, 1.4~2.5 mg/l, and 0.107~0.635 mg/l, respectively, and T-P from 2001 to 2006 was 0.053~0.077 mg/l. Enterprises investment to decrease environment pollution from 1980 to 2008 in Gwangyang Bay increased continuously, total investment cost from 22 enterprises was 333.4 billion won. The results of ARIMA model simulation of SPSS showed no significant in the effects of investment on environment quality.

Key words : Petrochemical Wastewater, Treatment Efficiency, Model, Simulation

1. 서론

우리나라의 남해안에 위치한 광양만권은 광양만을 중심으로 전라남도 광양시, 순천시, 여수시와 경상남도 하동군, 남해군으로 둘러싸여 있으며, 서울로부터는 남쪽으로 약 320 km 떨어진 남단에 위치하고 있다.¹⁾

광양만권은 1960~1970년대 이후 개발과 성장에 중점을 둔 국가경제 성장정책과 더불어 해역이용 증가요구에 의해 대규모 간척·매립 사업과 같은 연안지역의 개발이 행하여져 왔으며, 북쪽에는 광양제철소 및 광양연관단지가 조성되어 있으며, 서쪽에는 율촌 공업단지가 조성중이고, 남쪽에는 중화학 공업기지인 여수 국가산업단지가 건설되어 있다.²⁾ 지금까지 광양만권은 우리나라의 대표적인 중·화학공업 지역으로 발전해 왔으며, 앞으로의 발전 잠재력이 무한한 권역이다. 또한, '살아있는 바다 숨쉬는 연안'이라는 주제로 열리는 2012년 여수해양엑스포 개최가 열리는 대상지역이기도 한 광양만권은 환경보전의 가치가 그 어느 때보다 중요한 시점이다.³⁾

하지만, 광양만권은 지금까지 개발과 성장에 중점을 둔 국가경제 성장정책으로 인하여 환경보전보다는 경제성장과 국토개발이 우선적으로 추진되어 왔다. 그 결과 산업단지의 제품생산활동에 의한 배기가스의 배출과 주변 주민의 건강에 악영향, 건설공사 시 발생하는 폐수 및 공장폐수 등의 오염물질 유입으로 인한 적조현상발생과 퇴적층 오염도 축적을 야기시키고 있다.⁴⁾ 특히, 광양만의 연안은 해류의 움직임이 거의 없어 유입된 오염물질은 장시간 연안에 머물러 있으면서 수중 및 퇴적층을 오염시키고 있다.⁵⁾

따라서, 광양만권을 친환경적인 산업벨트로 바꾸어 나가가기 위한 노력의 일환으로 오염물질 저감방안을 연구하고, 지속적인 현장 정밀조사와 환경모니터링을 실시하고 있다. 본 연구에서는 광양만권의 환경변화를 세부적으로 조사하고, 환경변화추이와 기업의 환경투자현황을 분석함으로써 광양만권의 환경보전 및 오염저감을 위한 종합적인 대책마련을 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상지역

연구대상지역인 광양만권은 Fig 1과 같이 행정구역상으로 전라남도의 여수시, 순천시, 광양시와 경상남도 하동군, 남해군으로 총 2개 도, 3개 시, 2개 군으로, 해역은 폐쇄적 특성을 가진 광양만과 섬진강이 유입되는 섬진강 하구, 남해안에서 해수가 유입되는 여수연안으로 크게 3개의 해역으로 구분할 수 있다.

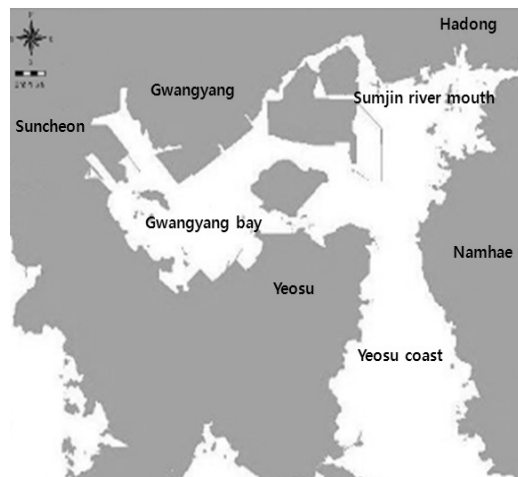


Fig 1. Classification of study area

2.2 환경변화 조사

광양만권의 환경변화는 크게 대기환경, 해양수질로 구분하여 1990년대, 2000년대 별로 조사하였다.

대기환경은 연구대상지역내에 운영되고 있는 대기측정망 11 개의 측정지점을 선정하여 대기환경기준에 해당하는 SO₂, CO, NO₂, PM-10, O₃에 대하여 조사하였으며, 해양수질은 국립수산물학원, 국립해양조사원, 한국해양연구원, 해양경찰청 등의 국가해양측정망 14개 측정지점에 대하여 해역수질기준에 해당하는 pH, COD, DO, T-N, T-P와 NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N에 대하여 조사하였다.

대기환경과 해양수질 측정자료의 보존년도가 상이하여 대기환경의 경우 2007년, 해양수질의 경우 2006년까지의 자료에 대해 조사하였다.

3. 기업투자 조사 및 분석

기업투자는 여수국가산업단지 등의 광양만권에 입주한 기업들의 주변 환경오염방지 및

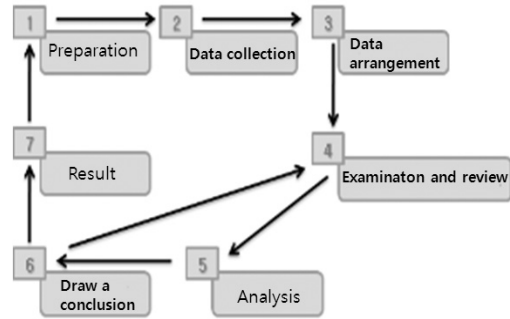


Fig 2. Analysis mechanism of SPSS.

저감을 위한 대기 및 수질 오염물질 저감시설 설치, 오염물질 저발생 연료 사용 등의 환경에 대한 기업의 투자현황을 1980·1990·2000년대별로 조사하였다. 기업투자 분석은 Fig 2와 같이 SPSS 통계프로그램을 이용하여 대기환경, 해양수질환경 시계열 자료정리를 통해 과거 광양만권의 환경변화추이를 분석하고, 각 환경별 주요 영향인자 분석과 상호간의 관계성을 정의하였다.⁶⁾⁷⁾⁸⁾

그리고 환경변화와 기업의 환경투자간의 상호 연관성 및 영향도를 분석하였다.

Table 1. Concentration of atmospheric quality in 1998 to 2007

Type (ppm)		Year									
		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
SO ₂	Avg	0.014	0.011	0.010	0.008	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008	0.008
	Max	0.032	0.029	0.028	0.023	0.019	0.026	0.021	0.021	0.025	0.021
	Min	0.005	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002
NO ₂	Avg	0.018	0.020	0.018	0.021	0.018	0.015	0.018	0.015	0.016	0.016
	Max	0.050	0.037	0.042	0.041	0.036	0.027	0.027	0.030	0.028	0.029
	Min	0.003	0.009	0.006	0.008	0.006	0.007	0.009	0.004	0.005	0.006
O ₃	Avg	0.025	0.024	0.026	0.028	0.026	0.031	0.030	0.026	0.023	0.029
	Max	0.045	0.050	0.044	0.049	0.039	0.048	0.056	0.050	0.043	0.057
	Min	0.011	0.013	0.015	0.015	0.016	0.016	0.016	0.011	0.009	0.013
CO	Avg	0.776	0.734	0.664	0.505	0.541	0.583	0.598	0.508	0.552	0.444
	Max	1.500	2.400	1.749	1.100	1.100	1.300	1.400	1.200	1.500	1.000
	Min	0.300	0.165	0.216	0.200	0.200	0.200	0.300	0.100	0.200	0.200
PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Avg	-	41.4	48.3	47.4	50.8	42.4	45.2	39.6	35.9	43.7
	Max	-	58.0	113.0	101.0	153.0	64.0	81.0	65.0	70.0	90.0
	Min	-	25.0	15.0	17.0	17.0	24.0	18.0	21.0	17.0	26.0

3. 연구결과 및 고찰

3.1 대기환경 조사

광양만권의 대기 측정망 선정지점의 연도별 측정소 오염농도에 대한 조사결과는 Table 1과 같다.

광양만권의 SO₂ 농도는 1998년~2007년도까지 평균 0.007~0.014 ppm의 범위를 나타냈으며, 국내 대기환경기준인 연간평균 기준농도 0.020 ppm 이하인 것으로 조사되었다. SO₂ 농도는 최대값을 나타낸 1998년도 이후로 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. NO₂ 농도는 1998년~2007년도까지 평균 0.015~0.021 ppm의 범위를 나타냈으며, 대기환경기준인 연간평균 농도 0.030 ppm 이하인 것으로 조사되었다.

광양만권의 O₃ 농도는 1998년~2007년도까지 평균 0.023~0.031 ppm의 범위를 나타냈으며, 대기환경기준인 8시간평균 농도 0.06ppm 초과없이 이하인 것으로 조사되었다. CO 농도는 1998년~2007년도까지 평균 0.444~0.776 ppm의 범위를 나타냈으며, 대기환경기준인 8시간평균 농도 0.06 ppm 초과없이 기준 이하인 것으로 조사되었다. CO 농도는 최대값을 나타낸 1998년도 이후로 점차적으로 감소하는 경향을 보였다.

광양만권의 PM-10 농도는 1999년~2007년도까지 평균 35.9~50.8 µg/m³의 범위를 나타냈으며, 최대값을 나타낸 2002년도를 제외하고는 대기환경기준인 연간평균 기준농도 50 µg/m³ 이하의 범위를 나타냈다.

Table 2. Concentration of ocean water quality in 1992 to 2006

Type(mg/ℓ)		Year														
		1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
pH ([H ⁺])	Avg	7.9	7.9	8.3	8.0	8.2	8.1	8.2	8.2	8.3	8.1	8.1	8.0	7.9	8.1	8.4
	Max	8.2	8.3	8.4	8.2	8.3	8.4	8.5	8.3	9.0	8.7	8.4	8.3	12.4	11.3	11.9
	Min	7.6	7.6	7.9	7.8	8.0	7.8	7.9	8.1	7.9	7.4	7.8	7.6	6.0	6.9	7.3
DO	Avg	9.0	8.6	9.6	8.9	8.9	8.3	9.7	9.4	8.2	8.9	8.8	10.8	8.7	8.5	10.7
	Max	11.2	13.1	12.1	11.2	12.8	12.0	12.8	11.9	11.0	15.0	11.5	14.4	12.6	11.3	14.3
	Min	7.3	5.9	7.3	7.1	5.9	5.4	6.1	6.0	6.8	5.8	6.0	7.1	5.5	6.4	8.5
COD	Avg	2.1	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	2.0	2.4	1.7	2.0	1.9	2.5	1.5	1.4	1.7
	Max	2.9	2.7	2.2	2.3	2.3	5.7	6.9	4.8	3.8	3.8	4.3	4.0	3.0	3.4	3.3
	Min	1.5	0.4	1.1	1.0	1.2	0.1	0.2	0.9	0.2	0.7	0.7	1.1	0.5	0.7	0.5
TN	Avg	0.272	0.241	0.238	0.366	0.134	0.135	0.124	0.139	0.107	0.221	0.405	0.279	0.418	0.623	0.626
	Max	0.340	0.350	0.290	0.870	0.310	0.320	0.420	0.990	0.390	0.490	1.400	0.820	1.010	1.980	1.450
	Min	0.180	0.050	0.190	0.110	0.010	0.010	0.040	0.020	0.010	0.090	0.180	0.060	0.170	0.150	0.240
NH ₃	Avg	0.161	0.106	0.132	0.288	0.081	0.053	0.029	0.023	0.031	0.048	0.057	0.022	0.034	0.031	0.019
	Max	0.200	0.180	0.190	0.750	0.160	0.150	0.080	0.080	0.100	0.130	0.150	0.070	0.240	0.290	0.050
	Min	0.100	0.020	0.090	0.010	0.010	0.010	0.000	0.010	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.010
NO ₂	Avg	0.013	0.012	0.007	0.036	0.010	0.015	0.024	0.024	0.012	0.016	0.007	0.008	0.018	0.007	0.008
	Max	0.030	0.030	0.020	0.150	0.060	0.040	0.270	0.230	0.050	0.050	0.020	0.030	0.140	0.030	0.030
	Min	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NO ₃	Avg	0.098	0.123	0.099	0.043	0.044	0.066	0.072	0.092	0.064	0.062	0.148	0.059	0.071	0.111	0.188
	Max	0.130	0.200	0.160	0.300	0.140	0.210	0.180	0.860	0.290	0.170	0.500	0.180	0.290	0.760	0.770
	Min	0.070	0.030	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.030
TP	Avg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.177	0.077	0.053	0.070	0.058	0.059
	Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.100	0.210	0.150	0.190	0.210	0.490
	Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.040	0.010	0.020	0.010	0.010	0.030

3.2 해양수질 조사

광양만권의 해양수질 측정망 선정지점의 연도별 오염농도에 대한 조사결과는 Table 2와 같다.

광양만권의 pH 농도는 1992년~2006년도까지 평균 7.9~8.4의 범위를 나타냈으며, 해역기준 II등급 6.5~8.5을 만족하였다. 그리고 2004, 2005, 2006년도에는 최대값이 해역등급 III 등급 8.5를 초과한 수치를 나타냈다. DO 농도는 1992년~2006년도까지 평균 8.2~10.8 mg/ℓ의 범위를 나타냈으며, I등급에 해당하는 7.5 mg/ℓ 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 최대값을 나타낸 2006년도까지 점차적으로 DO 평균농도가 증가하는 것을 나타냈다.

광양만권의 COD 농도는 1992년~2006년도까지 평균 1.4~2.5 mg/ℓ의 범위를 나타냈으며, 해역기준 II등급(2 mg/ℓ 이하)과 III등급(4 mg/ℓ 이하)을 상회하는 것으로 나타났다. T-N 농도는 1992~2006년도까지 평균 0.107~0.635 mg/ℓ의 범위를 나타냈으며, 측정방법 변경 전인 2003년도까지 I등급(0.300 mg/ℓ 이하)을 만족하였고, 이후에는 II등급(0.600 mg/ℓ 이하)과 III등급(1.000 mg/ℓ 이하)을 상회하는 것으로 조사되었다. 그리고 T-P 농도는 2001년~2006년도까지 평균 0.053~0.177 mg/ℓ의 범위를 나타냈으며, 최대값을 보인 2001년도를 제외한 나머지 연도에서는 III등급(0.09 mg/ℓ 이하)을 나타냈다.

광양만권의 NH₃-N 농도는 1992년~2006년도까지 평균 0.019~0.288 mg/ℓ의 범위를, NO₂-N 농도는 1992년~2006년도까지 평균 0.005~0.036 mg/ℓ의 범위를, NO₃-N 농도는 1992년~2006년도까지 평균 0.064~0.188 mg/ℓ의 범위를 나타냈다.

Table 3. Company investment for environment

Type (billion won)	Year									
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
	0.7	69.9	69.9	76.0	85.5	69.9	70.2	70.1	70.1	70.3
	Year									
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
	70.0	82.5	54.2	53.4	49.4	157.6	89.9	70.0	134.9	
	Year									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
	125.9	70.7	149.2	149.8	172.3	147.5	110.4	509.5	484.3	

Table 4. Correlation Analysis

	Type	investment	ocean water quality	atmospheric quality
investment	Pearson correlation	1	-.145	-.249
	p-value		.710	.518
	N	9	9	9
ocean water quality	Pearson correlation	-.145	1	.420
	p-value	.710		.261
	N	9	9	9
atmospheric quality	Pearson correlation	-.249	.420	1
	p-value	.518	.261	
	N	9	9	9

3.3 기업투자조사

여수국가산업단지 등의 광양만권에 입주한 기업 중 총 생산규모가 큰 기업순으로 22개 기업들의 주변 환경오염방지를 위한 대기 및 수질 오염물질 저감시설 설치, 오염물질 저발생 연료 사용 등의 저감시설 및 환경투자현황을 1980·1990·2000년대별로 조사하였다.

기업 환경투자사업 중 41%가 대기관련 투자, 38%가 수질관련 투자, 나머지 21%가 기타관련에 투자한 것으로 나타났으며, 총 1981년부터 2009년까지 총 투자액은 약 3,334억원으로 1980년대(1981~1989)에는 약 582억원, 1990년대(1990~1999)에는 약 832억원, 2000년대(2000~2008)에는 약 1,919억원을 투자하였다. 연도별 투자액은 Table 3과 같다.

3.4 투자분석

SPSS를 통해 ARIMA 모형을 구축하여 기업 환경투자와 대기환경, 해양수질에 관해 분석을 하였으며, 분석한 결과는 다음과 같다.

ARIMA 모형 구축에 앞서 단순상관분석을 실시하였으며, 결과는 Table 4와 같다. 투자와 해양수질, 대기질의 관계는 음의 관계를 나타내는 것으로 분석되었으며, 해양수질과 대기질의 관계는 양의 관계를 나타내는 것으로 분석되었다.

환경과 투자의 음의 관계를 좀 더 수치적으로 분석하기 위해 ARIMA 모형 구축하였으며, 이에 앞서 투자에 대한 변수(대기환경, 해양수질)에 관한 시계열도표는 Fig 3~4와 같다. Fig 3~4에서 나타나듯이 대기환경과 해양수질의 경우 특정한 주기를 보이지 않는 것으로 나타났으므로 ARIMA 모형 구축시 차분 설정값을 0으로 설정하여 구축하였다.

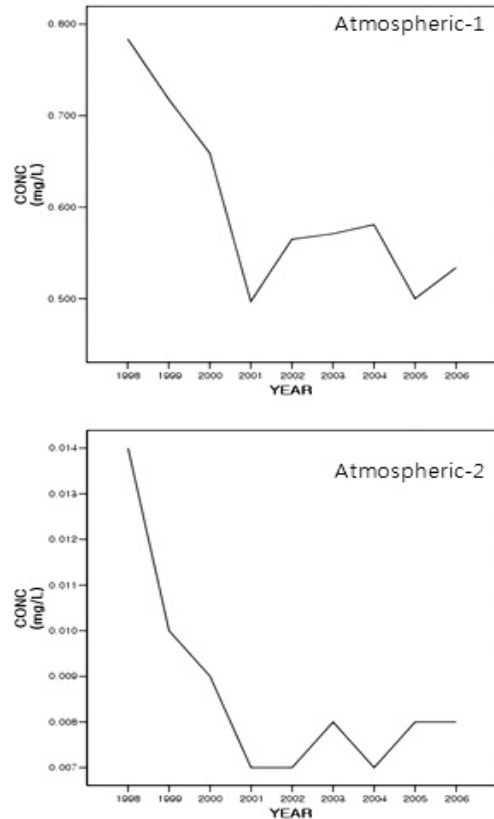


Fig 3. Time series graph of atmospheric quality

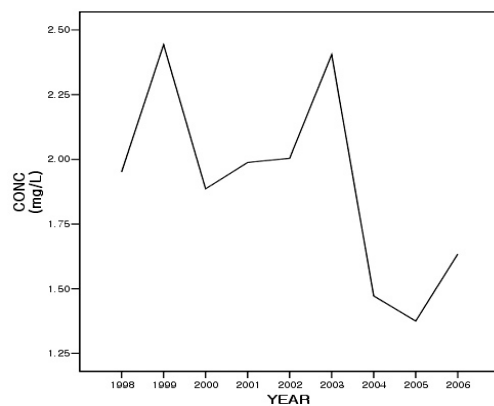


Fig 4. Time series graph of ocean quality

ARIMA 모형을 통해 투자에 따른 대기질, 해양수질에 관한 영향도 출력 matrix는 다음과 같다.

투자와 대기질-1에 관한 matrix는 아래와 같으며, 아래에서 보듯이 투자의 효과는 -0.00005696이다. 이는 대기질-1에 대한 기업의 투자가 개입함으로서 약 0.006%P가 감소한 것으로 분석되었다.

variables in the model :				
	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB
MA1	-.45984728	.39665438	-1.1593148	.29037537
투자	-.00005696	.00096414	-.0590763	.95480977
CONSTANT	.61416092	.12666688	4.8486383	.00285560

투자와 대기질-2에 관한 matrix는 아래와 같으며, 아래에서 보듯이 투자의 효과는 0.00000170이다. 이는 대기질-2에 대한 기업의 투자가 개입함으로서 약 0.0001%P가 증가한 것으로 분석되었다.

variables in the model :				
	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB
MA1	-.99999556	1.835713288	-.0005447	.99958302
투자	.00000170	.0000046	.3723626	.72242116
CONSTANT	.00725596	.0013580	5.3432343	.00175587

투자와 해양수질에 관한 matrix는 아래와 같으며, 아래에서 보듯이 투자의 효과는 -0.0011302이다. 이는 해양수질에 대한 기업의 투자가 개입함으로서 약 0.11302 %P가 감소한 것으로 분석되었다.

variables in the model :

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB
MA1	-.2149116	.40598682	-.5294300	.61551457
투자	-.0011302	.00411283	-.2717904	.79269411
CONSTANT	.20406083	.53556129	3.8102255	.00886125

IV. 결 론

본 연구에서 광양만권의 환경변화 연구와 환경변화추이·기업 투자 분석에 대한 연구결과는 다음과 같다.

1. 광양만권 대기환경 1998년~2007년도까지의 SO₂ 농도는 평균 0.007~0.014 ppm의 범위를, NO₂는 평균 0.015~0.021 ppm의 범위를, O₃ 농도는 평균 0.023~0.031 ppm의 범위를, CO 농도는 평균 0.444~0.776 ppm의 범위를, PM-10 농도는 평균 35.9~50.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 나타냈다.

2. 광양만권 해양수질 1992년~2006년도까지의 pH 농도는 평균 7.9~8.4의 범위를, DO 농도는 평균 8.2~10.8 mg/l 의 범위를, COD 농도는 평균 1.4~2.5 mg/l 의 범위를, T-N 농도는 평균 0.107~ 0.635 mg/l 의 범위를 나타냈다. 그리고 NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N 농도는 각각 평균 0.019~0.288 mg/l , 0.005~0.036 mg/l , 0.064~ 0.188 mg/l 의 범위를 나타냈다.

3. 광양만권의 기업 투자현황을 1980·1990·2000년대별로 조사한 결과 총 사업 중 41%가 대기관련 투자, 38 %가 수질관련 투자, 나머지 21%가 기타관련에 투자한 것으로 나타났다. 그리고 총 1981년부터 2009년까지 총 투자액은 약 3,334억원이었다.

4. SPSS의 ARIMA 모형을 통해 투자에 따른

대기질-1,2의 투자 효과는 각각 -5.696×10^5 , 1.700×10^6 이며, 대기질에 대한 기업의 투자가 개입함으로서 대기질-1은 약 0.006 %P가 감소한 것으로, 대기질-2는 약 0.0001 %P가 증가한 것으로 분석되었다. 그리고 투자에 따른 해양수질의 투자 효과는 -1.1302×10^3 이며, 이는 해양수질에 대한 기업의 투자가 개입함으로서 약 1.130×10^3 %P가 감소한 것으로 분석되었다.

사사

본 연구는 환경부지정 전남지역환경기술개발센터의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 여수대학교 환경문제연구소, 광양만 환경실태 및 보전대책, 여수대학교 환경문제연구소, pp.191~410(1997).
2. 국립수산물과학원 남해수산연구소, 광양만 및 가막만에서의 유기오염 기작 탐색, 국립수산물과학원(2007).
3. 전남지역환경기술개발센터, 광양만권 해양환경조사, 최종보고서, 전남지역환경기술개발센터(2008).
4. 여수대학교 수산과학연구소, 여천공단 환경오염대책을 위한 정밀조사 사업, 여수대학교 수산과학연구소(1997).
5. 이종화 편저, 해양오염, 초판, 신광문화사, pp.196~201(1998).
6. 정영해, 조지현, 황현식, 정은진, 통계자료분석(SPSS 14.0), 2008, 한국사회조사연구소.
7. 허명희, SPSS 시계열분석, 초판, SPSS Korea, pp.35~76(2009).
8. SPSS Korea 컨설팅팀, SPSS 기술통계와 상관분석, 초판, SPSS Korea, pp.88~99(2006).