

## 한 도시 사업체 에너지 수급의 최적화 방안 연구 - 대기오염지수와 경제성 평가를 중심으로 -

권용식<sup>1)</sup> · 김용범 · 정 용

<sup>1)</sup>경기개발연구원 생활환경부

연세대학교 환경공해연구소

### A Study on the Pro-Environmental Energy Supply Program of Urban Enterprises on the concept of BAT(Best Available Technology): Application of Air Environmental Indices and Benefit-Cost Analysis Based

Yong-Sik Kwon<sup>1)</sup> · Yong-Bum Kim · Yong Chung

<sup>1)</sup>Dept. of Living Environment, Kyonggi Development Institute

Institute for Environmental Research, Yonsei University

### Abstract

The purpose of this study is to seek AEI(Air Environmental Indices), PSI(Pollutant Standard Index) and the urban air quality control goal(the best available alternative energy program) by assessing the best ratio of energy types used in urban enterprises , based on harmful health effect and air quality standard and costs.

This study is focused on an urban area(Puchun), where area sources are associated with heavy traffic, large population, and its industrial sources with large emissions. In the first step, air modeling, estimation of AEI and PSI, and benefit-cost analysis were carried out. In the second step, we assessed that 660 scenarios about the ratio of B-C oil, light oil and LNG used in urban enterprises with regard to air quality and cost. In the third step, the best available alternative

energy program was selected for the ratio of energy species(B-C oil, light oil and LNG) by using the lexicographic method.

From the emission analysis, main source of NO<sub>2</sub> is identified as industries and air quality is evaluated according to the ratio of B-C oil, light oil and LNG used in urban enterprise. The modeling data of TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, by ISC3 and PBM are respectively 118 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 0.027ppm, 0.025ppm, 2.0ppm, 0.55ppm in industrial area. That data are close to Environmental Air Quality Standard. By means of sensitivity analysis,

we obtained the difference in concentration between the areas(Nae-dong, Joong-dong) according to the ratio of B-C oil, light oil and LNG used in the industries.

From the result of alternatives assessment the lowest AEI value and cost, the ratio of B-C oil, light oil and LNG are 2.5%, 20%, 77.5%, respectively.

Key Word : environmental policy, emission coefficient, lexicographic method, air environmental indices, fuel consumption, benefit-cost analysis

## I. 서 론

일반적으로 환경오염을 해결하기 위한 대책 방안은 각종 오염방지기술과 같은 공학적인 측면과 제도의 개선 등과 같은 정책적인 측면으로 구분된다. 대기오염의 경우 우리나라는 공학적인 대책의 경우 선진국에 비해 기술수준이 낙후된 상태이다.<sup>24)</sup> 따라서 정책적 측면의 대책이 강조되어 1980년대 중반 이후 다양한 대기오염 저감정책을 시행하여 왔다. 고체연료 사용제한, 저유황연료 보급, 그리고 청정연료 사용 의무화, 배출허용기준설정 및 강화 등이 이러한 대기오염 저감을 위한 정책적 수단의 좋은 예라 할 수 있다.<sup>24)</sup>

고체연료 사용제한, 저유황연료 보급, 청정연료 사용 의무화는 주로 SO<sub>2</sub>와 총부유물질(Total Suspended Particulates, 이하 TSP)의 배출량 감축을 목적으로 시행되어 왔다. 이에 따라 SO<sub>2</sub> 및 TSP 배출량 감축에 상당한 기여를 하였는데, SO<sub>2</sub> 등 5개 오염물질의 배출량은 1991년에 비해 1995년의 경우 약 10.7%가 감소하였다. 배출량 변화

추이 뿐만 아니라 SO<sub>2</sub>, TSP 등 주요 오염물질의 오염도 변화추이를 보아도 이와 비슷한 양상을 발견할 수 있다. 서울시 SO<sub>2</sub> 농도가 1980년 0.094ppm에서 1995년 0.017ppm, 부산은 0.061ppm에서 0.023ppm, 그리고 울산은 0.057ppm에서 0.028ppm으로 감소되었다.<sup>23), 24)</sup>

그러나 대기중에서 광화학반응을 통하여 오존형성에 관여하는 물질인 이산화질소(Nitrogen Dioxide, 이하 NO<sub>2</sub>)는 동기간동안 1991년 기준으로 할 때 배출량이 약 31% 증가하였다.<sup>23)</sup> 특히 도시지역을 중심으로 최근 오존경보제의 실시 등 오존 농도가 기준을 초과하는 사례가 증가하고 있다. 이러한 현상은 특정 오염물질 중심의 관리와는 다른 오염물질에 의한 문제를 야기할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 앞으로 대기오염물질 관리의 모든 오염물질을 포괄하는 관리체계를 구축하는 것이 필요하다.

또한 대기오염 관리 정책이 직접규제수단으로 일률적으로 추진되어 생산비 부담을 가중시키는 단점을 가지고 있다.<sup>16), 1)</sup> 그러나 인간의 건강 영

향과 사회적 비용을 최소화하기 위해서는 대기질 개선은 필수적 요소이다.<sup>21), 18)</sup> 따라서 대기오염물질에 의한 국민의 건강 영향을 최소화 하고, 가능한 범위내에서 경제적 비용을 최소화할 수 있는 합리적인 정책을 세우는 것이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 특정 도시를 대상으로 하여 현재 우리 나라에서 운영되는 대기관리기술수준을 토대로 모든 대기오염물질을 종합적으로 고려하고 건강영향 측면과 경제적 측면이라는 두 가지 목Table를 적절히 조화하여 지역특성에 맞는 친환경적이고 경제적인 사업체 에너지 공급방안을 수립하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 대상지역 및 연구 추진과정

대상지역은 경인 교통축의 발달로 폭발적인 인구 및 통행량 증가를 나타내고 있고 몇 개의 공단 지역에 소규모의 업소들이 밀집해 있어 환경적으로 많은 부담을 가지고 있는 경기도 부천시이다 (Fig 1). 특히 지형적인 남쪽과 동쪽에 위치한 성주산과 원미산으로 인하여 주풍향(NNW)을 고려할 때 대기오염물질 정체가 일어날 수 있는 특성을 가지고 있다.

본 연구의 대상지역과 대기오염도 측정지점은 Fig 1과 같다. 그리고 연구 진행을 위한 연구 흐름은 Fig 2와 같다.

### 2. 배출량 조사

#### 가. 오염원 조사

본 연구에서는 사업체 경시변화, 업종별 현황을 조사하였으며, 대상지역을 1km×1km 격자로 분배하여 지역별 가구수, 종별 연료 사용량 그리고 1~5종 사업체를 대상으로 연료사용량 및 사업체의 지역적 분포를 조사하였다.<sup>10), 12), 13)</sup> 1종에서

3종은 점오염원으로 하였고 나머지는 면오염원으로 설정하였다. 이동오염원은 부천시내 도로폭 8m이상 도로별 자동차 통행량을 조사하였다.<sup>11)</sup>

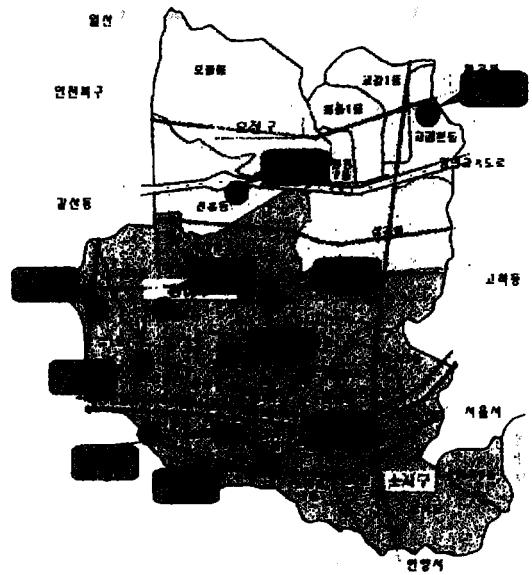


Fig. 1. Map of Bucheon and location of the air sampling sites

#### 나. 배출량 조사

##### 1) TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO

대기오염물질 배출업소에 의한 배출량 산정은 부천시 대기오염물질 배출업소 조사 자료(1996)와 환경부에서 제시하는 에너지 종별 배출계수(1997)를 이용하여 산정하였다.<sup>10), 12), 23)</sup> SO<sub>2</sub>의 경우 방지시설에 의한 제거비율은 90%를 적용하였다. 단, 조사되지 않은 사업체는 조사된 업체중 4, 5종 사업체당 평균 배출량을 이용해 보정하였다.

자동차에 의한 오염물질 배출량 산정은 부천시에서 도로폭 8 m 이상인 73개의 도로에 대하여 조사한 도로별 통행량과 차종별 배출계수를 근거로 배출량을 산정하였다.<sup>20), 23), 24)</sup>

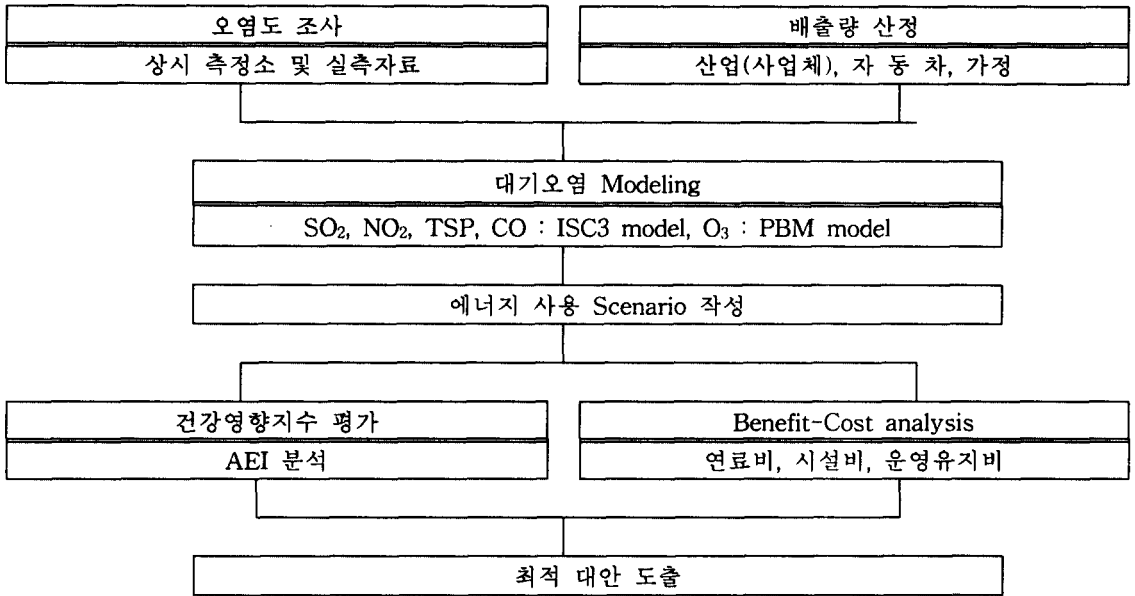


Fig. 2. The framework of study

대상지역은 신도시 지역에서 지역 난방을 실시하고 있기 때문에 가정에 의한 배출량은 난방과 취사로 구분하여 실시하였다. 구 도시지역의 난방에 의한 오염물질 배출량은 경기도 가구당 오염물질 배출량을 근거로 산정하였다. 신도시지역은 난방에 의한 대기오염물질 배출량은 제외하고, 취사에 의한 오염물질 배출량은 부천시 월별 가스사용량의 비를 이용하여 계산하였다.<sup>12)</sup> 이 때 7, 8월에 사용된 가스량을 취사에 의해 사용된 가스량으로 가정하여 월별 가스사용량의 비를 이용하여 각 월별 난방 연료량을 계산하였다.

2) VOCs(Volatile Organic Compounds)

본 연구에서 VOCs 배출량 산정은 “VOC 배출원별 배출량 산정 및 저감기술 연구(한국환경기술개발원, 1996)”의 방법을 주로 이용하였으며 이종범 등(1997), 한진석 등(1996)의 방법을 이용하여 전체 배출량에 기여하는 비중이 큰 것으로 예상되는 7가지 오염원, 즉 자동차(배기관과 증발), 도장산

업, 인쇄시설, 세탁시설, 아스팔트 도로포장, 유류 저장시설, 유류 수송과 판매시설, 그리고 자연 배출원에 대해서 각각의 배출량을 산정하였다.<sup>6), 17), 22)</sup>

3. 대기오염도 분석

부천시의 대기오염도 최근 변화를 파악하기 위하여 '91년부터 '96년까지 자동측정망의 1시간 측정자료를 이용하여 TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>의 연도별 변화를 조사하였다.<sup>25)</sup>

대기오염 모델링 결과의 정확도 및 정밀도를 평가하기 위하여 TSP, PM-10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>을 측정하였다. 봄(97년 3. 25~27)과 가을(96년 10. 15~17) 2회에 걸쳐 10개지점에서 대기오염도를 측정하였고, 측정지점은 Fig 1과 같다. TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO에 대하여 측정 및 분석은 24시간 연속 측정하였으며 분석방법은 대기오염 공정시험방법(환경부고시)을 따랐다.

#### 4. 대기오염 Modeling

비반응성 오염물질에는 ISC3 모델을 이용하였으며,<sup>32)</sup> 반응성 오염물질 중 O<sub>3</sub>의 농도를 파악하기 위하여 PBM을 이용하여 대상지역의 하계 O<sub>3</sub> 농도를 모사하였다.<sup>7), 31)</sup> 모델값과 정합도 및 모델의 정밀도 순위는 “대기오염 예측방법 해설”(1992, 환경영향평가학회)을 이용하여 분석하였다. 이 때 실측값의 평균과 예측값의 평균의 차를 배경 농도로 하였다.<sup>26)</sup>

#### 5. 대기오염지수 평가

##### 가. 시나리오 작성

먼저 1995년 부천시의 주에너지로 사용되고 있는 B-C유, 경유, LNG의 사용량을 파악하고 이들 에너지의 총 사용량을 열량(kcal)으로 환산하여 B-C유, 경유, LNG에 대하여 각 에너지 종류별로 사용비율을 2.5%씩 변화시켜 총660개의 에너지 사용 조합을 작성하였다. B-C유는 열량 환산 후 사용비율을 2.5 ~ 60%까지 변화시켰으며, 경유는 2.5 ~ 95%까지 LNG는 0 ~ 95%까지 변환시켰다. 이때 각 에너지 사용비율의 합은 100%가 되도록 하였다.

##### 나. 시나리오별 오염도 추계

오염도 추계는 사업체 배출량 변화와 오염도간의 관계식을 이용하는 Roll-Back Model을 이용하여 계산하였다. 이를 위하여 1996년 현재 배출량을 1로 한 후 0.5배, 0.7배, 1.3배, 1.5배로 구분하였으며 각각에 대하여 오염도를 모사한 후 모사된 오염도와 배출량과의 상관관계식을 얻었다. 이 관계식들을 660개의 시나리오에 따른 시나리오에 따른 배출량에 적용함으로써 각 시나리오별 오염도를 추정하였다.

##### 다. 대기오염지수(건강영향지수) 평가

오염도 추계 후 부천시에서 최고농도를 나타내는 지점(T.M. 좌Table 가로 181, 세로 446; 내동)과 평균농도를 나타내는 지점(T.M. 좌Table 가로 180, 세로 444; 중동)을 대상으로 하였다. 대기오염지수(건강영향지수)는 PSI지수와 AEI지수를 이용하였다. PSI지수 산정은 박재성(1996)에서 사용한 방법을 이용하였다.<sup>8)</sup> 그러나 최근 PSI 지수 계산은 PM-10을 이용하지만 본 연구에서는 개정전 TSP 기준을 적용하였다. AEI지수는 국립환경연구원(1990)방법을 이용하였다.<sup>2)</sup>

Table 1. The analytic items of costs in each fuels

구 분	평 가 항 목
연 료 비	단위열량당 연료가격
운 영 비	펌프동력비, 유류저장비, 탱크보수비, 인건비, 탱크부지비, 연료예열비, 무화(기화비), 환경비용, 에너지절약비용, 생산성 향상비용
시 설 비	보일러본체(보일러, 버너역풍기), 기타설비(펌프, 배관, 기기, 배출기 등), 저장탱크, 환경설비(집진기 등), 내부배관, 가스이용시설(가스보일러에 한함), 정압기실, 가스메타기, G.O.V. 실, 경보시설, 공급관부담금

### 6. 비용 분석

에너지 사용 시나리오에 따른 연료 및 관리와 시설 비용을 계산하기 위한 평가항목을 Table 1에 나타내었다. 각 항목은 94년 산업체 실태조사(에너지 경제연구원)와 산업용 천연가스 경제성 평가 및 적정 수급관리방안 연구(박정순, 1997)에 따라 설정하였고, 비용 계산은 에너지경제연구원(1995) 방법에 따라 계산하였다.<sup>9), 14)</sup>

토지비용은 대도시지역 평균지가 1,220천원/m<sup>2</sup>으로 용하였고 이에 대한 이자도 함께 적용하였다. LNG로 개선할 경우 발생하는 생산성 향상 효과와 에너지 절약효과는 각각 3%와 20%를 적용하였다. LNG의 연간가동일수 365일, 일가동시간 24시간으로 설정하였으며, 또한 연료 저장량이 저장용량의 70% 수준일 때 이루어진다고 가정하였다. 그리고 각 연료의 비용 및 운영비의 편익을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. The cost of analytic items in each fuels

구 분	'평 가 항 목	B-C유	경유	LNG
연 료 비	단위열량당 연료가격(원/천Kcal)	18.1	35.4	20.6
LNG기준 운 영 비 편 익 <sup>1)</sup> (원/ℓ/년)	펌프동력비	0.08	0.08	0.00
	유류저장비	0.46	0.85	0.00
	탱크보수비	0.11	0.11	0.00
	인건비	1.65	1.65	0.00
	탱크부지비	3.05	3.05	0.00
	연료예열비	2.40	0.00	0.00
	무화(기화비)	0.59	0.59	0.00
	환경비용	3.64	0.00	0.00
	에너지절약비용	5.20	9.62	0.00
	생산성 향상비용	5.20	9.62	0.00
시 설 비 (천원)	보일러본체(보일러, 버너역풍기), 기타설비(펌프, 배관, 기기, 배출기 등)	39,900		47,600
	저장탱크	45,100		27,700
	환경설비(집진기 등)	7,000		-
	내부배관	5,600		-
	가스이용시설(가스보일러에 한함)	-		132,500
	정압기실	-		26,238
	가스메타기	-		7,000
	G.O.V.실	-		6,308
	경보시설	-		1,200
	공급관부담금	-		4,730
				7,000

\* 에너지 경제연구원, 산업체 실태 조사, 1995<sup>14)</sup>

\* <sup>1)</sup>은 각 연료를 LNG로 전환 사용할 경우 발생하는 편익을 의미하여 LNG는 편익이 없음

\* 운영비는 연간 유류소비량 10,000 kl의 보일러 설비, 400kl의 저장탱크용량, 250m<sup>2</sup> 저장탱크부지면적, 설비가동일수 365일, 가동시간은 24시간을 기준

\* 시설비는 경유와 B-C가 동일한 것으로 가정하였으며, 시설용량은 5T/H을 기준으로 산정

\* '-'은 해당사항 없음을 의미

### III. 연구 결과

#### 1. 대기오염원

Table 3에서 보는 바와 같이 대상지역 인구는 1991년 이후 약 10만여명이 증가하였고 사업장과 자동차수는 약 2배가 증가하였다. 따라서 대상지역은 최근 매우 빠른 성장을 하고 있는 도시이다.

Table 3. The change of main sources in study area

구 분	1991	1993	1995
사 업 장(개소)	2,641	2,346	5,280
자동차등록수(천대)	68.4	102.4	141.1
인 구(천명)	682.1	724.4	781.4

부천시내 사업체의 에너지 사용량 Table 4와 같이 총 열량 규모로 볼 때  $3.9 \times 10^{12}$  kcal/yr으로 나타났으며 이 중에서 LNG 비율은 약 52%로서 LNG 사용량이 가장 높았다.

Table 4. The amount of energy used in enterprises(1995)

구 분	B-C 유	경 유	LNG
연료 사용량비(%)	8.86	38.80	52.34
열 량(kcal)	$3.46 \times 10^{11}$	$15.15 \times 10^{11}$	$20.44 \times 10^{11}$

#### 2. 대기오염도 및 오염물질 배출량

가. 대기오염도 변화

대상지역내 상시측정망 자료를 이용하여 1991년부터 1996년까지 TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>의 연도별 오염도 변화추세를 조사하였다.<sup>25)</sup> TSP, SO<sub>2</sub>, CO의 경우 1991, 1992년을 기준으로 감소추세에 있으며 NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>의 경우는 약간 증가하는 것으로 나타났다(Fig 3).<sup>4), 5), 15), 19), 24), 25)</sup>

#### 나. 오염물질 배출량

##### 1) TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO

Table 5에서 보는 바와 같이 오염물질별 배출량을 분석한 결과 TSP의 주요오염원은 자동차와 사업체로 나타났으며, O<sub>3</sub> 생성과 관련이 있는 NO<sub>2</sub>의 경우 사업체의 비중이 52.8%로서 전국에서 사업장 비중 45%와 비교할 때 높게 나타났다.

##### 2) 휘발성 유기화합물질(VOCs)

휘발성 유기화합물질(VOC)의 배출원별 배출량을 조사하여 Table 6에 나타내었다. 부천시에서 가장 큰 비중을 차지하는 배출원은 자동차 운행과 관련된 부문(44.9%)과 도장산업 부문(43.3%)이었다. 이러한 결과는 자동차 부문과 도장산업 부문이 각각 약 45%, 40%차지하는 전국 총배출량과 비슷한 비율을 나타내었다.

Table 6. The amount of VOC emission in main sources

		(단위 : 톤/년)		
배출원	구 분	배출량	배출비중 (%)	인천 배출량 <sup>1)</sup>
	자동차 부문		6,562.00	44.9
도 장 산 업		6,331.75	43.3	11,508.18
인 쇄 산 업		336.55	2.3	1,216.53
유류저장		662.94	4.5	1,325.88
· 출하시설				
세탁시설		244.00	1.7	773.46
아스팔트		485.94	3.3	971.88
총 합		14,622.68	100.0	29,150.07

<sup>1)</sup> VOC 배출원별 배출량 산정 및 저감기술 연구, 대한석유협회, 1996

Table 5. The amount of pollutant emission in main sources

구 분	TSP(%)	SO <sub>2</sub> (%)	NO <sub>2</sub> (%)	CO(%)
자동차 (톤/년)	1,034.0(45.9)	721.9( 6.1)	9,163.5(41.4)	31,433.0(88.8)
사업체 (kg/년)	999.8(44.4)	8,787.5(73.9)	11,697.1(52.8)	2,834.1( 8.0)
가 정(kg/년)	220.5( 9.8)	2,373.1(20.0)	1,290.1( 5.8)	1,144.0( 3.2)
총 량	2,254.3(100)	11,882.5(100)	22,150.7(100)	35,411.1(100)

\* 업체당 오염물질 발생량 : TSP : 137.1kg/yr, SO<sub>2</sub> : 1,413.7kg/yr, NO<sub>2</sub> : 1,105.4kg/yr, CO : 232.3kg/yr

\* ( )의 값 : %

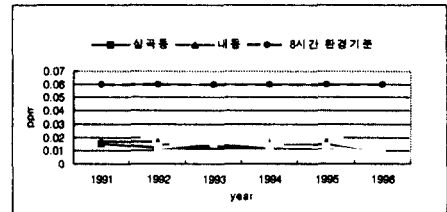
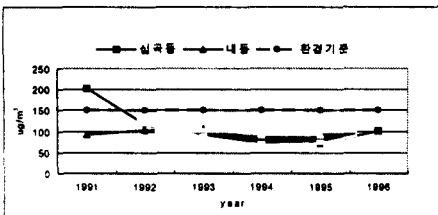
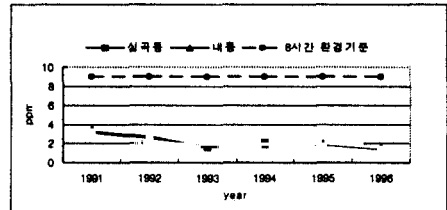
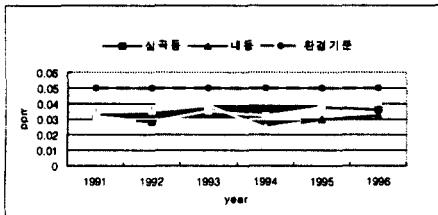


Fig. 3. The change of concentration by year in each pollutants(왼쪽 위 NO<sub>2</sub>, 왼쪽 아래 CO, 오른쪽 위 SO<sub>2</sub>, 오른쪽 아래 TSP, 맨아래 O<sub>3</sub>)

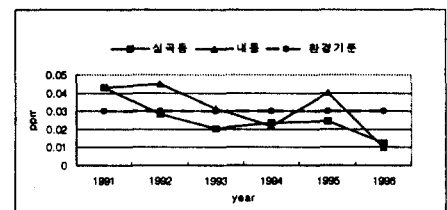




Table 7. The results of observed and predicted concentration

구 분	TSP( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		SO <sub>2</sub> (ppm)		NO <sub>2</sub> (ppm)		CO(ppm)	
	실측값	예측값	실측값	예측값	실측값	예측값	실측값	예측값
평균 (10지점)	115.84	10.44	0.02	0.01	0.02	0.03	1.7	0.17
배경농도	105.40		0.010		-0.010		1.53	

Table 8. The fitness analysis of observed and predicted concentration

항 목		TSP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO
	관계식	Y=6.12X+47.2	Y=0.61X+0.01	Y=0.4X+0.001	Y=10.7X-0.09
배경농도	P value	0.011	0.016	0.000	0.000
미고려시	R <sup>2</sup>	44.7	43.5	76.7	77.9
	정밀도 등급(Rank)	B등급	B등급	B등급	B등급

Y : 오염물질별 실측값 X : 오염물질별 예측값

\* : 6개 항목의 판정조건을 이용하여 각 오염물질별 관계식의 운용 정밀도 평가 후 등급 구분

### 3. 모델의 적합도 분석

대기오염도 추계의 적합도를 판단하기 위하여 예측값과 실측값을 비교하였으며, 배경농도와 정밀도 순위를 평가하였다. TSP 배경농도가 높게 나타났는데, 이는 에너지 사용량 중심으로 한 오염원 평가로 비산먼지 등이 고려되지 않았기 때문이라고 판단된다. NO<sub>2</sub>(ppm)는 배경농도가 음의 값으로 나타났는데, 이는 질소산화물 농도가 이+대기중에서 화학반응에 의하여 변화되는 것에 기인한다고 생각된다.

Table 7과 8를 살펴보면 각 오염물질별 예측값과 실측값의 모델 정밀도를 평가한 결과 모든 항목에

서 B 등급에 속해 오염도 추계에 비교적 적합한 것으로 나타났다.

### 4. 대기오염 Modeling

가. TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO

각 오염물질별 오염도의 등농도 곡선을 조사한 결과 모든 물질에서 경인고속도로 및 공업지역이 위치한 지역에서 높았다. 그러나 SO<sub>2</sub>는 경우 공업지역을 제외하고 부천시 지역간 편차가 다른 물질에 비하여 크지 않았다(Fig 4). CO는 경인 고속도로 주변 및 공업지역 신흥동(내동)과 경인 국도 주변 등 외곽을 제외한 부천시 전역에서 높게 나타났다.

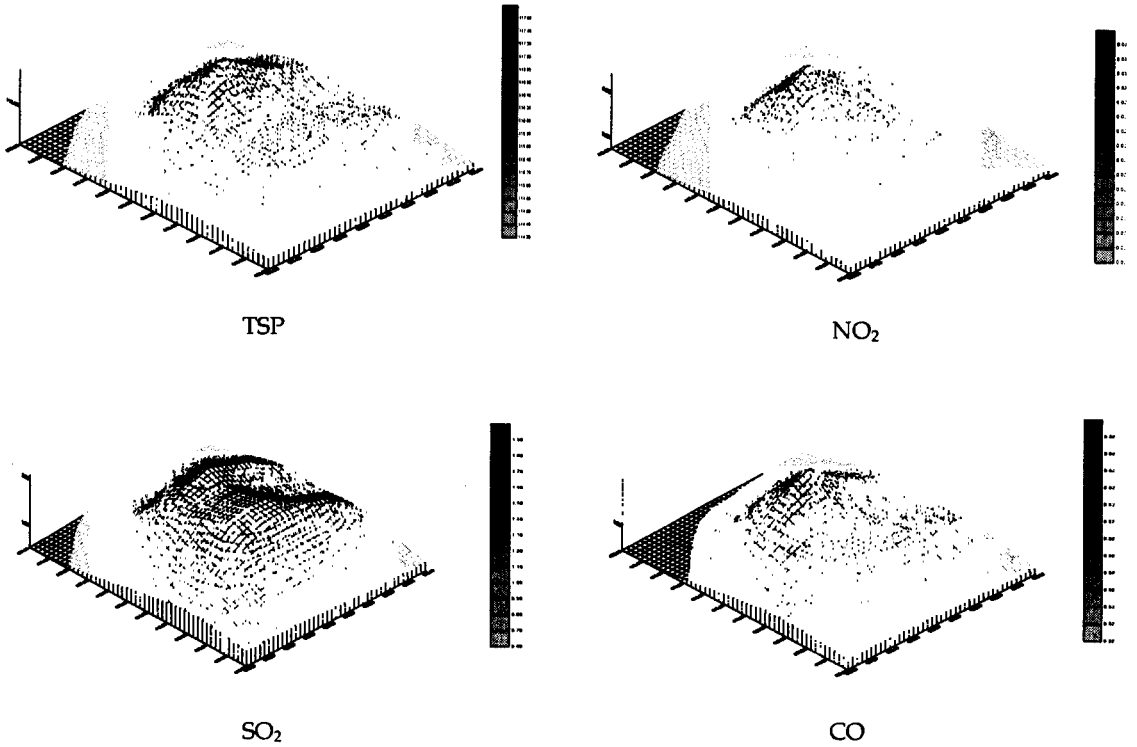


Fig. 4. The 3-D distribution of predicted concentration in each pollutants

나. O<sub>3</sub>

오존은 Fig 9에서 보는 바와 같이 일중 O<sub>3</sub>의 최고치는 13~14시에 나타났다.

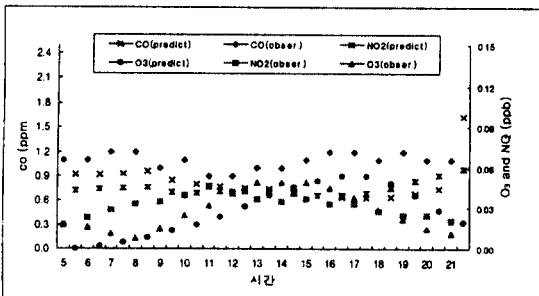


Fig. 5. Diurnal variation of predicted O<sub>3</sub> concentration in Buchun

5. 배출량 시나리오 분석

가. 배출량과 오염도의 상관관계

사업장에서 배출되는 오염물질량 변화에 따라 대기중 오염도와와의 관계를 파악하기 위하여 각 오염물질 배출량과 오염도간의 상관관계를 조사하였다. Table 9에서 보는 바와 같이 사업체 오염물질 배출량 변화에 따라 TSP 오염도가 가장 민감하게 변하는 것으로 나타났다

그리고 모든 오염물질별 상관관계에서 R<sup>2</sup>값이 0.99이상으로 이상으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 오염물질 배출량의 상대적 비로 오염도를 추정하는 Roll-Back 모델로 오염도 변화를 추정하는 것이 가능하다는 것을 의미한다.

Table 9. The correlation of predicted concentration between pollutant emission

오염물질 종류	상관관계식	P값	R <sup>2</sup>
TSP	$Y = 2.2433X + 10.63$	0.00	0.9998
SO <sub>2</sub>	$Y = 0.0074X + 0.01$	0.00	0.9957
NO <sub>2</sub>	$Y = 0.0044X + 0.03$	0.00	0.9997
CO	$Y = 0.1405X + 0.47$	0.00	1.0000
O <sub>3</sub>	$Y = 0.0002X + 0.06$	0.00	0.9949

나. 시나리오별 건강영향지수

Table 10을 보면 사업체 에너지 사용량 변화에 대한 건강 위해도 평가 결과 1995년 평균적인 오염도를 나타내는 지역은 AEI 지수가 19~22, PSI 지수는 63~95로서 사업체 에너지 사용량 변화에 따라 뚜렷한 변화를 나타내지 않았다. 그러나 사업장이 밀집된 최고 오염도 지역은 AEI 지수가 23~69, PSI 지수가 64~300으로 많은 변화를 나타내었고 AEI지수값이 최고농도를 나타낸 지점에서 최소는 23이었다.

Table 10. The change of AEI and PSI values in each scenario

구 분		지수 범위	
		최소값	최대값
평균오염지역	AEI지수	19	22
	PSI지수	63	95
최고오염지역	AEI지수	23	69
	PSI지수	64	300

6. 비용 분석

최고농도를 나타낸 지점에서 AEI지수 최소값 23을 나타낸 에너지 사용 비율 시나리오 660개 중 9개였다. 따라서 이러한 시나리오를 중심으로 에너지 사용에 따른 연간 연료비 및 유지비의 편익과 사업체의 연료 전환시 소요되는 신규설비 투자비용도를 조사하였다. 가장 투자비용이 적은 연료 사용비는 열량기준으로 B-C 5%, 경유, 2.5%, LNG 92.5%를 사용할 때 가장 비용적으로 효과적인 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

우리나라는 도시의 대기질 개선을 위하여 정책적으로 청정연료사용을 권장하고 있으며, 지난 수년간 의무적으로 연료시설을 전환시켜오고 있다. 이에 따라 도시 대기질은 개선되는 경향을 보이고 있다<sup>24)</sup>. 그러나 이러한 국가 정책은 지역의 특성을 고려하지 않고 일괄적으로 운영됨으로서 새로운 기술개발 제한 및 과도한 투자의 유발 가능성이 제기되고 있다<sup>1)</sup>. 또한 주 오염물질이 아황산가스 중심에서 질소산화물 및 오존으로 바뀌고 있고 청정연료인 LNG가 다른 연료에 비하여 단위 열량당 질소산화물의 배출이 높을 가능성이 있다<sup>11)</sup>. 최근 들어 경제가 전반적으로 침체되자 발전 및 지역난방 부문을 중심으로 에너지 규제가 기존에 실시되고 있는 배출허용기준제도와 동일한 목적을 추구하는 중복규제의 성격을 가지며, 그 결과 해당 산업의 가격경쟁력 및 수익성 제고에 상당한 부담요인으로 작용하고 있다는 주장이 제기되었다.

전력 및 난방열 등 제품의 가격은 일정한 상태에서 고가의 연료를 의무적으로 사용하거나 또는 비용이 많이 드는 고품질의 연료를 사용하게 됨에

Table 11. Cost Analysis

에너지 사용 비율 (%)에 의한 대안			주요 영향 물질	AEI 지수	연료비 + 관리비 (10억원 /년)	LNG 신설 비용 <sup>1)</sup> (10억원)	시설전환시 소요비용(10억원)				
B-C유	경유	LNG					설비비 <sup>2)</sup>	관리비 + 연료비 <sup>3)</sup>	설비 전환 후 사용 기간별 총비용		
									1년	10년	20년
2.5	15.0	82.5	NO <sub>2</sub>	23	912.3	8,368.1	3,463	-129	3,462	2,173	883
2.5	17.5	80.0	SO <sub>2</sub>	23	817.4	8,079.6	3,174	-114	3,187	2,060	894
2.5	12.5	85.0	NO <sub>2</sub>	23	897.2	8,656.7	3,751	-144	3,736	2,311	871
2.5	10.0	87.5	NO <sub>2</sub>	23	882.1	8,945.2	4,040	-177	3,993	2,270	500
2.5	7.5	90.0	NO <sub>2</sub>	23	867.0	9,233.8	4,328	-192	4,286	2,408	488
2.5	5.0	92.5	NO <sub>2</sub>	23	852.9	9,522.4	4,617	-189	4,563	2,797	837
2.5	2.5	95.0	SO <sub>2</sub>	23	837.8	9,810.9	4,905	-204	4,837	2,397	870
2.5	20.0	77.5	NO <sub>2</sub>	23	942.5	7,791.0	2,886	-99	2,787	1,896	906
5.0	5.0	90.0	NO <sub>2</sub>	23	850.7	9,233.8	4,328	-174	4,287	2,547	848
5.0	2.5	92.5	SO <sub>2</sub>	23	835.6	9,522.4	4,617	-207	4,544	2,444	477
5.0	7.5	87.5	SO <sub>2</sub>	23	865.8	8,945.2	4,040	-159	4,912	2,450	860

- 1) 초기 에너지 관련 설비가 없다고 가정한 상태에서 대안별 LNG 사용 비율에 도달할 때까지 필요한 설비 비용
- 2) 설비비 = 각 대안별 LNG 신설비용 - 1995년 현재 연료 사용 비율에 따른 비용(단, 기존시설의 폐기비용은 없는 것으로 가정함)
- 3) 관리비, 연료비 = 각 대안별 총 관리비와 연료비 - 1995년 관리비와 연료비 : 1,041.3(10억원)
- 4) 1996년도 연료별 에너지 사용 비율(열량기준) : B-C유 8.9%, 경유 39%, LNG : 52%

따라 생산비가 상승, 수익성이 악화되어 사업추진에 상당한 애로를 겪고 있다<sup>1)</sup>.

이에 따라 가격 경쟁력에 대해 LNG 사용 의무화에 대한 타당성이 논의되고 있기도 하다. 따라서 청정연료를 보급함에 있어서 각 도시에 적합한 수준으로 보급하는 보급량을 결정할 필요성이 대두되었다. 따라서 본 연구에서 대기질에 의한 건강영향과 경제성을 동시에 고려하여 부천시에서 바람직한 연료 사용비율을 찾아 도시내 대기질 관리 목표 설정하고자 하였다.

본 연구에서는 사업장 연료만을 관리대상으로 설정하였는데, 이것은 대상 지역에 있어서 자동차의 관리가 현실적으로 불가능하며, 주거밀도가 매우 높은 지역으로서 대부분 국가 정책에 의하여

연료전환이 이루어졌으며, 사업장의 B-C유 사용에 대하여 지역사회에서 전환의 필요성에 대한 논란이 있었기 때문이다<sup>13)</sup>.

연구결과 대상지역에서 1996년 현재 사업체에 에너지 사용비율은 1996년도 연료별 에너지 사용 비율을 열량기준으로 할 때 B-C유 8.9%, 경유 39%, LNG 52%였다. 본 연구결과 건강영향과 비용측면에서 바람직한 연료 사용비율은 B-C유 5%, 경유 2.5%, LNG 92.5% 였다(Table 11). 또한 이러한 에너지 비율로의 전환시 연간 소요되는 유지비 및 연료비는 1996년 현재 보다 약 990억원 절감될 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 LNG의 설비비로 인해 총 소요되는 비용은 27,870억원이었다(Table 11).

본 연구는 대기오염모델을 기초로 하여 오염도를 추정하고 이를 바탕으로 건강영향 및 현행 대기 기준과의 적합성을 판단한 후 경제성을 분석하였다. 따라서 각 단계별로 추정된 오염도의 불확실성을 내포하고 있다. 또한 경제성 분석의 경우 각 비용이 시기에 따라 변화될 가능성이 있다. 따라서 이러한 점에 제한점을 가지고 있다고 할 수 있다. 그러나 대기 모델링의 경우 “대기오염 예측방법(한국환경영향평가학회 학술대회, 1992)”의 방법을 이용하여 모델의 적정성을 판단한 결과 B rank에 속해 모델이용에 있어 타당성이 있었다. 또한 건강영향지수 평가시 최고 영향을 나타내는 지역을 선택함으로써 최악의 상태를 고려하는 원칙을 준수하였다. 따라서 비록 오염도 추정에 있어 불확실성을 포함하고 있으나 가능한 최악의 상태를 고려함으로써 의사결정에 효과적으로 활용 할 수 있도록 하였다.

에너지에 대한 경제성 평가 부문은 “산업용 천연가스 경제성 평가 및 적정수급관리방안 연구(에너지경제연구원, 1997)”에서 사용된 ‘94년 사업체 실태조사 결과를 인용하였다. 따라서 기존 문헌 자료 분석으로 인하여 실제가와 차이가 있을 가능성을 완전히 배제하기는 어렵다.

이와 같은 제한점에도 불구하고 본 연구는 건강영향을 기초로 하여 도시내 총에너지 사용량의 변화없이 한 도시의 대기질을 효과적으로 관리할 수 있는 방안을 모색하기 위한 시도라는 점에서 의의가 있다. 그러나 앞에서 제시한 제한점을 개선하기 위한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 경기도에 위치한 부천시를 대상으로 사업체의 에너지 사용비를 변화에 오염물질 발생량과 오염도 그리고 건강 영향과 경제적 비용을 종합하여 특정 지역의 대기관리와 에너지관리의

최적 방안을 모색하였다. 대상지역에서 투자비용이 가장 적고 대기오염에 의한 건강영향을 최소화 할 수 있는 최적 연료 사용비는 열량기준으로 B-C 5%, 경유, 2.5%, LNG 92.5%로 나타났다.

## 사 사

본 연구는 부천시, 교육부 국내박사후과정 지원 및 연세대학교 교내 박사후과정 지원으로 이루어 졌습니다. 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 강광규. 대기보전정책과 에너지정책의 조화방안 연구 - 연료규제제도의 합리적 개선방안 -. 한국환경정책·평가연구원, 1997
2. 국립환경연구원. 환경지Table의 종합체계화 기법 개발 및 활용방안에 관한 연구(I). 과학기술처, 1990
3. 김성희, 정병호, 김재경. 의사결정분석 및 응용. 영지문화사. 1994
4. 김영성. 1991-1993년 사이 우리나라의 오존 농도 변화. 한국대기보전학회지 1996; 12(1): 55-66
5. 김영성. 서울·수도권 지역의 광화학 오염현상. 한국대기보전학회지 1997; 13(1): 41-49
6. 대한석유협회. VOC 배출원별 배출량 산정 및 저감기술 연구. 1996
7. 마창민. 광화학 확산 모델에 의한 서울시 Ozone 농도 시뮬레이션. 강원대학교 석사학위논문, 1992
8. 박재성. 대기오염에 따른 건강영향지수의 평가. 연세대학교 보건대학원 석사학위논문, 1996

9. 박정순. 산업용 천연가스 경제성 평가 및 적정수급관리방안 연구. 에너지경제연구원, 1997
10. 부천시. 대기배출업소현황카드 I, II. 1996
11. 부천시. 주요도로 교통량 조사, 1996
12. 부천시. 부천시 통계연보. 1990~1996
13. 부천시. 환경보전종합계획. 1997
14. 에너지경제연구원. 산업체 실태조사. 1995
15. 이기원, 권숙Table, 정용. 서울시 대기중 오존 오염도의 연도별 변화와 그 영향인자 분석 - 광화문 지역을 중심으로 -. 대기보전학회지 1993; 9(1): 107-115
16. 이영준. 대기오염제어를 위한 환경정책수단의 활용. 한국환경정책학회지 1996; 4(1): 71-87
17. 이종범, 김용국, 김태우 등. 광화학 확산모델 적용을 위한 수도권지역의 대기오염물질 배출량 산출. 한국대기보전학회지 1997; 13(2): 123-135
18. 임중수. 대기오염의 사회적 비용. 한국환경기술개발원, 1996
19. 정용, 장재연, 권숙Table. 서울시 대기중 오존의 오염도와 그 영향인자에 관한 연구. 한국대기보전학회지 1986; 11(1): 45-56
20. 조강래, 김양균, 동종인 등. 자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산정에 관한 연구. 한국대기보전학회지 1987; 3(1): 55-64
21. 조준모. 대기오염의 사회적 비용, 「21세기 대기정책 수립을 위한 대토론회 요지집」. 한국대기보전학회 1996
22. 한진석, 김병곤, 김신도. 오존농도 시뮬레이션과 배출량 변화에 따른 민감도 분석. 한국환경영향평가학회지 1996; 5(1): 69-77
23. 환경부. 대기오염물질 배출량('95, '96). 1996, 1997
24. 환경부. 환경백서. 1995, 1996, 1997
25. 환경부. 환경연감, 1995, 1996
26. 환경영향평가학회, 학술대회 요지집 -대기오염 예측방법-, 1992
27. Chung J, Wadden RA, Scheff PA et al. Development of Ozone-Precursor Relationships Using VOC Receptor Modeling, Atmospheric environmental 1996; 30(18): 3167-3179
28. Hedley M, McLaren R, Jiang W et al. Evaluation of an Air Quality Simulation of the Lower Fraser Valley - II. Photochemistry, Atmospheric Environment 1997; 31(11): 1617-1630
29. Jiang W, Singleton DL, Hedley M et al. Sensitivity of Ozone Concentrations to VOC and NOx Emissions the Canadian Lower Fraser Valley, Atmospheric Environment 1997; 31(4): 627-638
30. Jiang W, Singleton DL, McLaren R. Sensitivity of Ozone Concentrations to Rate Constants in a Modified SAPRC90 Chemical Mechanism Used for Canadian Lower Fraser Valley Ozone Studies, Atmospheric Environment 1997; 31(8): 1195-1208
31. Jin S, Demerjian K. A Photochemical Box Model for Urban Air Quality Study, Atmospheric Environment 1993; 27(4): 371-387
32. U. S. EPA. Draft User's Guide For The Industrial Source Complex(ISC3) Dispersion Models(Revised) Vol 2 - Description of Model Algorithms. 1995
33. U. S. EPA. EPA Guideline On Air Quality Models. 1995