

# 北韓의 大氣汚染發生量 推定: OLS 模型 및 벡터자기회귀模型을 利用하여 \*

郭承俊\*\* · 趙勝國\*\*\*

**논문 초록**    북한의 오염수준을 정량화하여 북한의 환경문제를 개선하는 데 필요한 기준 (benchmark)을 제시하기 위해 본 논문은 1975년부터 1994년까지 지난 20년간의 북한의 에너지 소비를 근거로 에너지 수요모형을 추정하고 이를 근거로 향후 10년간의 에너지 수요량을 예측한다. 예측된 에너지 수요량과 배출계수를 이용하여 분진, 아황산가스, 이산화탄소, 탄화수소, 그리고 아산화질소와 같은 주요 대기오염물질들의 향후 10년간의 배출량을 예측한다. 본 연구는 북한의 대기오염 발생량을 예측하기 위해 북한의 주탄종유정책을 반영한 OLS 모형과 벡터자기회귀(VAR) 모형을 채택하고 그 결과를 서로 비교한다.

**핵심주제어:** 에너지 수요, 대기오염 발생, 벡터자기회귀

**경제학문헌목록 주제분류:** Q2

## I. 서론

지난 50여 년 간의 분단으로 인해 남북한의 통일은, 많은 국민들의 염원이지만, 심각한 정치적, 경제적, 그리고 사회적 문제들을 야기할 것이다. 특히 통일 독일의 예에서 볼 수 있듯이 환경통합(environmental integration)에 있어서도 다양한 문제

\* 본 연구는 한국학술진흥재단 대학부설연구소과제 연구비에 의하여 연구되었다. 자료정리에 도움을 준 고려대학교 대학원 한상용 군에게 감사드린다.

\*\* 고려대학교 정경학부 경제학과 부교수

\*\*\* 한세대학교 인문사회학부 경영학과 전임강사

들이 발생할 것으로 예상된다.

독일의 경우 구동독의 환경상태는 통일 이전에 예상했던 것보다 훨씬 열악하였고 이를 개선하는 데 약 2천억 DM에 이르는 자금이 소요된다고 한다. 그런데 주지하듯이 북한의 경제정책은 주체적 사회주의 국가를 건설하는 데 그 목표를 두고 있다. 따라서 북한이 동독보다 환경보존에 더 많은 노력을 기울였다고 생각하는 것은 무리일 것이다. 북한의 폐쇄적 속성 때문에 북한 상황을 정확히 파악하는 것은 불가능하지만 최근의 연구들에 의하면 환경오염과 그로 인한 피해는 매우 심각한 수준에 이르고 있다고 한다(고일동, 1995; 정희성·강광규·강철구, 1996; 김정인·박창원, 1997). 그러므로 북한의 환경문제를 개선하는 데 필요한 자금은 동독의 그것보다 크게 적지 않을 것이고 이는 우리에게 상당한 부담이 될 것이다. 따라서 남북한의 효율적인 환경통합을 위해서는 재원조달방안에 관한 심층적인 연구가 필수적이며 이를 위해서는 북한의 환경상황을 계량화하는 연구가 선행되어야 한다.

그러나 잘 알려져 있듯이 북한은 정치적인 이유로 정확한 환경통계를 거의 공개하지 않고 있다. 이러한 상황은 북한 환경문제에 관한 대부분의 연구들을, 나름대로 가치가 있지만, 記述的이고 逸話的이게 만들었다. 그러나 북한의 오염수준을 정량화하는 것은 북한의 환경문제를 개선하는 데 필요한 기준(benchmark)으로 사용될 수 있기 때문에 이는 분석할 충분한 가치가 있다고 사료된다. 이를 위한 우회적 노력의 일환으로 본 연구는 먼저 북한의 주요 에너지원들(석탄, 석유, 그리고 전력)에 대한 향후 10년간의 에너지 수요를 추정하고, 이를 근거로 동 기간 동안 주요 대기오염물질들의 배출량을 예측한다. 구체적으로 본 논문은 1975년부터 1994년까지 지난 20년간의 북한의 실제 에너지 소비를 근거로 에너지 수요모형을 추정하고 이를 이용해 향후 10년간의 에너지 수요량을 예측한다. 다음 단계로 예측된 에너지 수요량과 배출계수를 이용하여 분진, 아황산가스, 이산화탄소, 탄화수소, 그리고 아산화질소와 같은 대기오염물질들의 향후 10년간의 배출량을 예측한다.

본 연구는 북한의 대기오염 발생량을 예측하기 위해 북한의 주탄종유정책을 반영한 OLS 모형과 벡터자기회귀(VAR) 모형을 채택하고 그 결과를 서로 비교한다.

다음 절에서는 북한의 환경현황에 대한 간략한 설명이 제시될 것이다. 그리고 III절과 IV절에서는 계량모형들과 그 결과들이 고찰될 것이다. 뒤를 이어 정책적 함의와 결론이 V절에서 논의될 것이다.

## II. 북한 대기오염의 현황

상대적으로 도시화의 진행이 더디고 생활수준이 낮은 북한에서의 대기오염은 주로 홍남, 함흥, 청진, 신의주, 그리고 평양과 같은 공업지역 근처에 집중되어 있다.

오염의 개연성이 큰 산업(예를 들어 제강, 제련, 금속, 그리고 화학산업)들이 북한 산업 구조의 토대를 이루고 있다. 더욱이 북한 산업설비의 70% 이상이 오염저감시설을 설치하지 않은 낙후된 것들이다. 오염저감시설이 갖추어진 설비들조차 심각한 경제위기 때문에 제대로 가동되고 있지 않다. 또한 오염관리에 대한 북한당국의 무관심이 현재의 상황을 더욱 악화시키고 있다(Hayes, 1994).

북한은 전체 에너지원의 구성에서 80% 이상을 석탄에 의존하고 있는데 화석연료인 석탄은 여타 에너지원들보다 대기를 오염시킬 가능성이 더 크다. 북한은 그동안 에너지 자립정책을 추구해왔기 때문에 북한이 자체적으로 생산할 수 있는 석탄에 대한 의존도가 이처럼 높게 되었다(Razavi, 1997). 최근의 연구는 북한에서 공급된 에너지의 81%와 소비된 에너지의 83%가 석탄이라는 것을 보여주고 있다(이찬우, 1996). 이처럼 석탄에 편중된 북한의 에너지정책을 이른바 '주탄종유'(主炭從油) 정책이라고 부른다.

1990년대 이후 북한의 경제는 주요 원조국인 구 소련의 붕괴와 연속된 흉작으로 인해 매우 큰 곤란을 겪고 있다. 한국은행이 1997년에 추정한 북한의 1996년 경제성장률은 -3.7%이었고 이는 북한의 3차 7개년 계획(1987~93)의 실패 이후 일반적인 상황으로 판측되고 있다(통일원, 1995). 북한경제의 위기는 위에서 언급한 것처럼 상당부분 에너지의 부족과 농업생산력의 현격한 감소와 관련되어 있다. 에너지의 부족은 저질탄의 사용을 야기하였고 이는 이미 심각한 대기오염을 더욱 악화시킨 주요 원인으로 지적되고 있다.

요약하면 북한은 고유의 에너지 자립정책으로 인해 대기오염의 개연성이 상대적으로 더 큰 석탄에 전적으로 의존하고 있다. 즉, 석탄은 에너지원의 80% 이상을 차지하고 있고, 1990년대에 현저한 에너지 부족현상은 저질탄의 생산을 초래하였고, 결국 대기에 아황산가스, 질소화합물, 그리고 이산화탄소의 배출을 증가시켰다(Hippel and Hayes, 1995; 김정인·박창원, 1997).

### Ⅲ. 계량 모형

정확한 분석을 위해 필요한 자료가 북한의 경우 지극히 제한되어 있기 때문에 북한의 대기오염 발생량을 추정하기 위해 오직 두 종류의 변수(즉 에너지원별 소비량과 국민총생산)만이 포함된 간단한 에너지 수요모형을 사용하였다.<sup>1)</sup> 본 연구에 사용된 자료는 환일본경제연구소(ERINA)가 수집한 것으로 1975부터 1994년까지 에너지원(석탄, 석유, 그리고 전력)별로 분류된 북한의 실제 에너지 소비에 근거하고 있다.<sup>2)</sup> 자료의 개괄적인 통계량은 <표 1>에 제시되어 있다.

<표 1>의 수치들은 1989년 이후 석탄소비의 지속적인 감소 추세를 보여준다. 또 한 구 소련과 중국으로부터의 신용제약과 결제수단의 변화로 인해 석유소비는 1990년 이후 급격히 감소하였다. 그리고 1989년 이후 주로 화력발전에 의한 전력의 생산도 석탄 생산이 감소함에 따라 계속 줄어들고 있다.<sup>3)</sup>

본 연구는 북한의 각 에너지원별 수요를 추정하기 위해 두 개의 상이한 계량모형을 사용하고 있다: 첫째, 주탄종유정책을 반영한 OLS 모형, 그리고 둘째 벡터자기회귀(VAR) 모형.

<표 1> 북한의 에너지소비

(단위: 천 TOE)

	1975	1980	1985	1989	1991	1992	1993	1994
석 탄	20,037	22,165	24,168	25,600	20,716	19,944	19,665	18,744
석 유	1,092	2,009	2,848	2,322	1,768	1,429	1,289	850
전 력	1,286	1,505	1,849	2,135	1,923	1,806	1,616	1,638
총 계	22,415	25,679	28,884	30,055	24,407	23,179	22,570	21,233

주: 전력은 수력과 화력을 포함한다.

자료: 환일본경제연구소, "최근 북한의 에너지 수급현황," 『북한』, 1996.

- 1) 사회주의 국가들은 국민총생산을 우리와 다른 방법으로 계산하므로 특별히 주의해야 한다.
- 2) 북한의 에너지현황에 관한 자료들은 IEA, UN, 그리고 통일부 등에서도 얻을 수 있다. 그러나 ERINA의 자료가 가장 신뢰할 만한 것으로 널리 알려져 있다.
- 3) 북한의 전력난은 석탄생산의 감소 이외에도 경화부족으로 인한 석유수입의 감소, 발전시설 노후화에 따른 가동률의 저하, 송배전시설의 노후화에 따른 전력손실 등에 기인한다.

먼저 북한의 주탄종유정책을 반영한 OLS 모형은 석유 에너지의 수요방정식에 석탄 에너지의 수요를 포함한다. 이 모형의 형태와 계량분석 결과는 다음과 같다. 4)

• 석탄의 수요모형

$$Coal_t = \beta_0 + \beta_1 GNP_t + \beta_2 Coal_{t-1} + \epsilon_t$$

$$Coal_t = 2701.5909 + 169.9972 GNP_t + 0.8643 Coal_{t-1}$$

(1.2364)                      (3.7637)                      (8.8375)

$$R^2: 0.8649, \quad DW: 2.0725$$

• 석유의 수요모형

$$Oil_t = \beta_0 + \beta_1 GNP_t + \beta_2 Oil_{t-1} + \beta_3 Coal_t + \epsilon_t$$

$$Oil_t = -1229.5904 + 29.9570 GNP_t + 0.7181 Oil_{t-1} + 0.0787 Coal_t$$

(-0.8457)                      (1.3758)                      (3.0467)                      (0.9111)

$$R^2: 0.9007, \quad DW: 2.4234$$

• 전력의 수요모형

$$Power_t = \beta_0 + \beta_1 GNP_t + \beta_2 Power_{t-1} + \epsilon_t$$

$$Power_t = 16.0136 + 16.5913 GNP_t + 0.9863 Power_{t-1}$$

(0.0925)                      (2.8136)                      (10.0338)

$$R^2: 0.8756, \quad DW: 2.2703$$

여기서  $Coal_t$ ,  $Oil_t$ , 그리고  $Power_t$ 는 각각 금번기의 석탄, 석유, 그리고 전력의 수요량을 나타내고  $GNP_t$ 는 금번기의 국민총생산을 나타낸다. 그리고  $Coal_{t-1}$ ,  $Oil_{t-1}$ ,  $Power_{t-1}$ 는 지난기의 석탄, 석유, 전력의 수요량을 나타낸다.

위 모형들의 계량분석 결과는 각 에너지 수요방정식의 변수들의 계수값들이 대부분 통계적으로 유의하고, Durbin-Watson 통계량에 의하면 잔차항들도 자기상관의 문제가 없다는 것을 보여주고 있다. 그리고 각 수요방정식의 변수들은 예상된 부호들을 나타내었지만 석유에너지 수요모형에서 석탄변수가 양의 부호를 가져 북한에서는 석탄과 석유가 서로 보완관계에 있다는 해석을 하게 되었다. 위에서 추정된

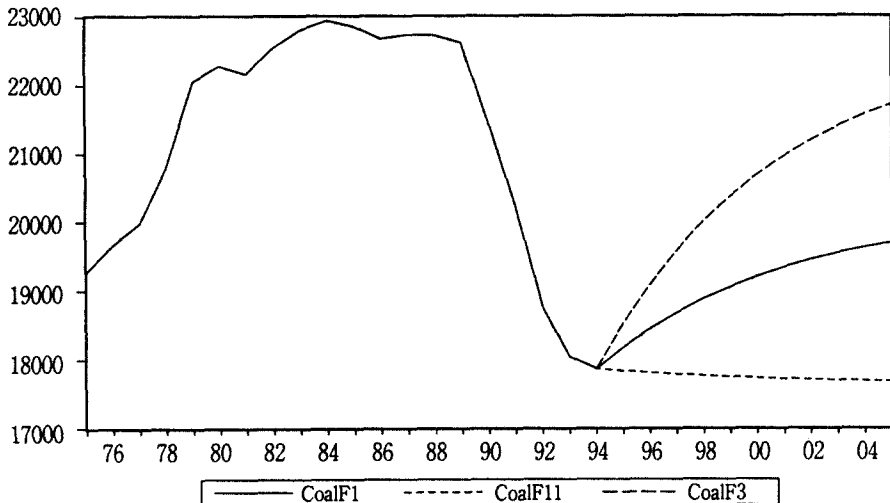
4) 괄호 안의 값은 t-value이고, 국민총생산은 실질 개념이다.

방정식들을 사용하여 1995부터 2004년까지 각 에너지 수요를 복한 국민총생산의 성장률이 각각 1%, 3%, 그리고 -1%라는 가정하에 예측하였다. 그 결과는 <그림 1>과 같다.

그러나 OLS 모형은 일방향(uni-directional) 인과관계의 특성을 갖고 있다. 즉, 국민총생산이 석탄소비에만 영향을 주고 석탄소비는 국민총생산에 영향을 주지 않는다는 비현실적 가정을 상정하고 있다. 더욱이 위 모형들에서  $Coal_{t-1}$ ,  $Oil_{t-1}$ , 그리고  $Power_{t-1}$ 의 계수들이 거의 1에 가까우므로 이 변수들이 임의보행(random walk) 할 가능성이 크다. 무엇보다 OLS 모형에서 추정된 계수값들은 다른 조건들이 불변일 때 종속변수에 주는 설명변수의 효과만을 설명하기 때문에 동태분석을 수행하는 것이 가능하지 않다.

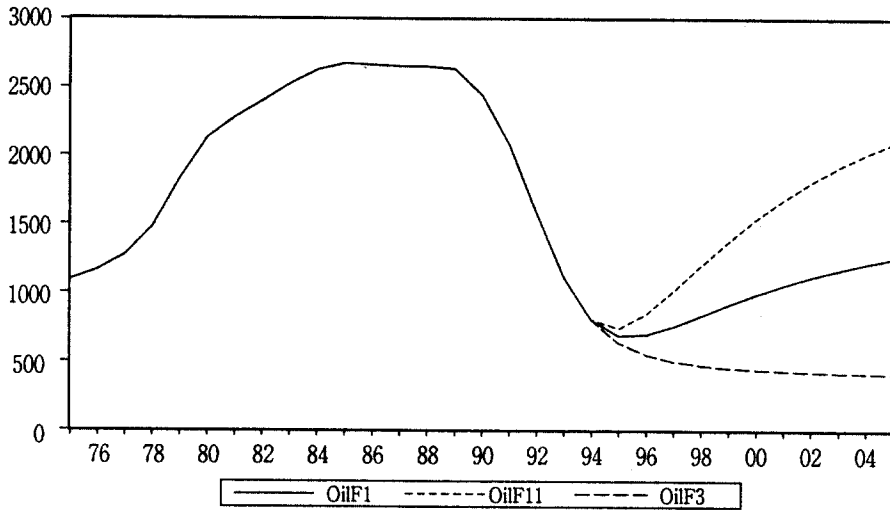
<그림 1> 주탄종유정책 모형에 의한 에너지 수요 예측

• 석탄의 수요예측



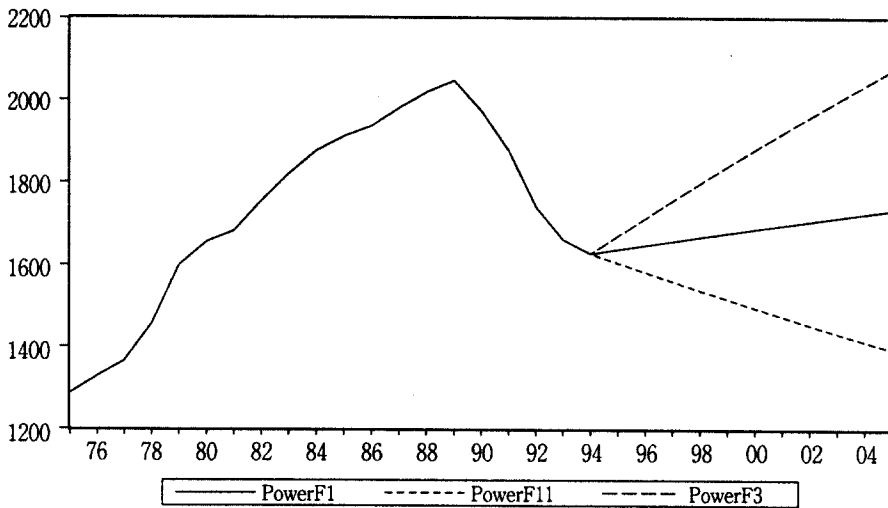
주: CoalF1는 경제성장률이 1%인 경우이며, CoalF3과 CoalF11는 경제성장률이 각각 3%와 -1%이다.

• 석유의 수요예측



주: OilF1는 경제성장률이 1%인 경우이며, OilF3와 OilF11는 경제성장률이 각각 3%와 -1%이다.

• 전력의 수요예측



주: PowerF1는 경제성장률이 1%인 경우이며, PowerF3와 PowerF11는 경제성장률이 각각 3%와 -1%이다.

다른 한편으로 VAR 모형과 같은 동태분석은 OLS 모형이 갖는 단점을 극복할 수 있어 유용하다. 이는 VAR 모형이 경제이론에 근거한 가설보다는 실제 관측치인 경제 시계열을 사용하기 때문이다. 환언하면 VAR 모형은 OLS 모형보다 시계열의 동태적 구조를 더 잘 설명한다. 더욱이 VAR 모형은 불안정한 시계열을 사용하여 OLS 모형을 추정할 때 발생하는 가성적 회귀(spurious regression) 문제를 극복시켜 준다. 또한 VAR 모형은 OLS 모형에 비해 더 안정적인 잔차항을 갖게 해주며 이는 양 모형의 계량결과를 비교하여 검증할 수 있다. 이 사실은 1989년부터 1992년까지 북한의 경제성장률이 급격히 하락했던 것을 일방향 회귀모형은 조정할 수 없지만 VAR 모형은 동태적 상호구조를 갖고 있어 이러한 급락을 조정할 수 있다는 것을 의미한다. 그리고 VAR 모형을 통해서 특정 변수가 내생변수에 미치는 동태적 효과를 충격반응분석(impulse response analysis)을 통해 분석할 수 있다. 또한 각 내생변수의 변화가 어떤 한 변수의 전체 변화에 미치는 영향의 정도를 분산분해(variance decomposition)를 통해 파악할 수 있다.<sup>5)</sup>

일반적으로 에너지 수요의 추정을 위해 다음과 같은 식을 고려한다.

$$y_t = \mu + \Gamma_1 y_{t-1} + \Gamma_2 y_{t-2} + \cdots + \Gamma_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

여기에서  $y_t$ 와  $\varepsilon_t$ 는  $M \times 1$  임의변수(random variable)들의 벡터,  $\mu$ 는 평균벡터, 그리고  $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_p$ 은  $M \times M$  모수행렬들이다. 각 개별 방정식들은 아래의 식(2)와 같고, 여기서  $(\Gamma_j)_{im}$ 은  $\Gamma_j$ 의  $im$ 번째 원소를 의미한다(Greene, 1993).

$$\begin{aligned} y_{it} = & \mu_i + \sum_{j=1}^p (\Gamma_j)_{i1} y_{1,t-j} + \sum_{j=1}^p (\Gamma_j)_{i2} y_{2,t-j} \\ & + \cdots + \sum_{j=1}^p (\Gamma_j)_{ip} y_{p,t-j} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

5) 어떤 학자들은 VAR 모형에서의 인과관계가 경제이론보다는 이용가능한 자료로부터 나오는 것에 대해 비판을 제기한다. 더욱이 VAR 모형의 결과는 변수들의 순서와 시차에 따라 달라질 수 있다. 또한 모수공간의 크기가 커서 VAR 모형의 추정 효율성을 줄일 수 있다.



#### IV. 실증분석 결과

##### 1. 에너지 수요의 추정과 예측

먼저 ADF (augmented Dickey-Fuller) 검정방법을 시계열이 추세나 시간에 따라 이분산을 갖는지를 조사하기 위해 수행하였다. 이를 식 (3) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \beta_0 y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \beta_i \Delta y_{t-i} \quad (3)$$

$H_0: \beta_0 = 0$  (단위근을 갖는다)

검정결과는 <표 2>에 제시되어 있는데 이를 통해 석탄, 석유, 전력, 국민총생산의 수준(level) 변수들은 단위근(unit root)을 갖는다는 것을 알 수 있다. 즉, 이 변수들은 비정상(nonstationary) 시계열임을 보여준다. 그러나 <표 2>에 따르면 석탄, 석유, 전력, 국민총생산의 일계 차분변수들은 정상(stationary) 시계열임을 보증해주는 I(1) 과정이다.

<표 2> ADF 검정 통계량

(Level)

Lag	Coal	Oil	Power	GNP	Critical Value (5%)
0	-0.3446	-0.3675	0.5024	-1.6010	-1.9602
1	-0.3913	-0.4801	0.2229	-1.5129	-1.9614
2	-0.4849	-1.0104	0.0191	-1.0147	-1.9627
3	-0.6435	-1.8619	-0.0007	-1.0782	-1.9642
4	-0.5464	-1.9202	0.6638	-1.5581	-1.9658

(First-Difference)

Lag	Coal	Oil	Power	GNP	Critical Value (5%)
0	-2.8018	-2.6135	-2.8018	-3.6942	-1.9614
1	-1.9726	-2.7503	-1.9726	-3.6069	-1.9627
2	-1.9654	-1.9844	-1.9562	-3.0903	-1.9642
3	-1.0948	-1.3371	-1.0948	-2.1293	-1.9658
4	-1.1907	-1.1668	-1.1907	-2.1024	-1.9770

Johansen 검정은 이 변수들간에 장기적 균형관계(즉, 공적분관계)가 있는지를 조사하기 위해 적용하였다. 검정결과는 <표 3>에 제시되어 있다. <표 3>에 의하면 1% 유의수준하에서 석탄, 석유, 전력, 국민총생산 변수들 사이에 공적분관계가 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 우리는 이 경우 벡터자귀회귀(VAR) 접근방법을 적용할 수 있다.

<표 3> Johansen 검정 통계량

Eigenvalue	Raito Critical Value	Critical Value		No. of CE(s)
		5%	1%	
0.89016	67.83068	39.89	45.58	None
0.70996	28.07331	24.31	29.75	At most 1
0.24706	5.794058	12.53	16.31	At most 2
0.03404	0.686194	3.84	6.51	At most 3

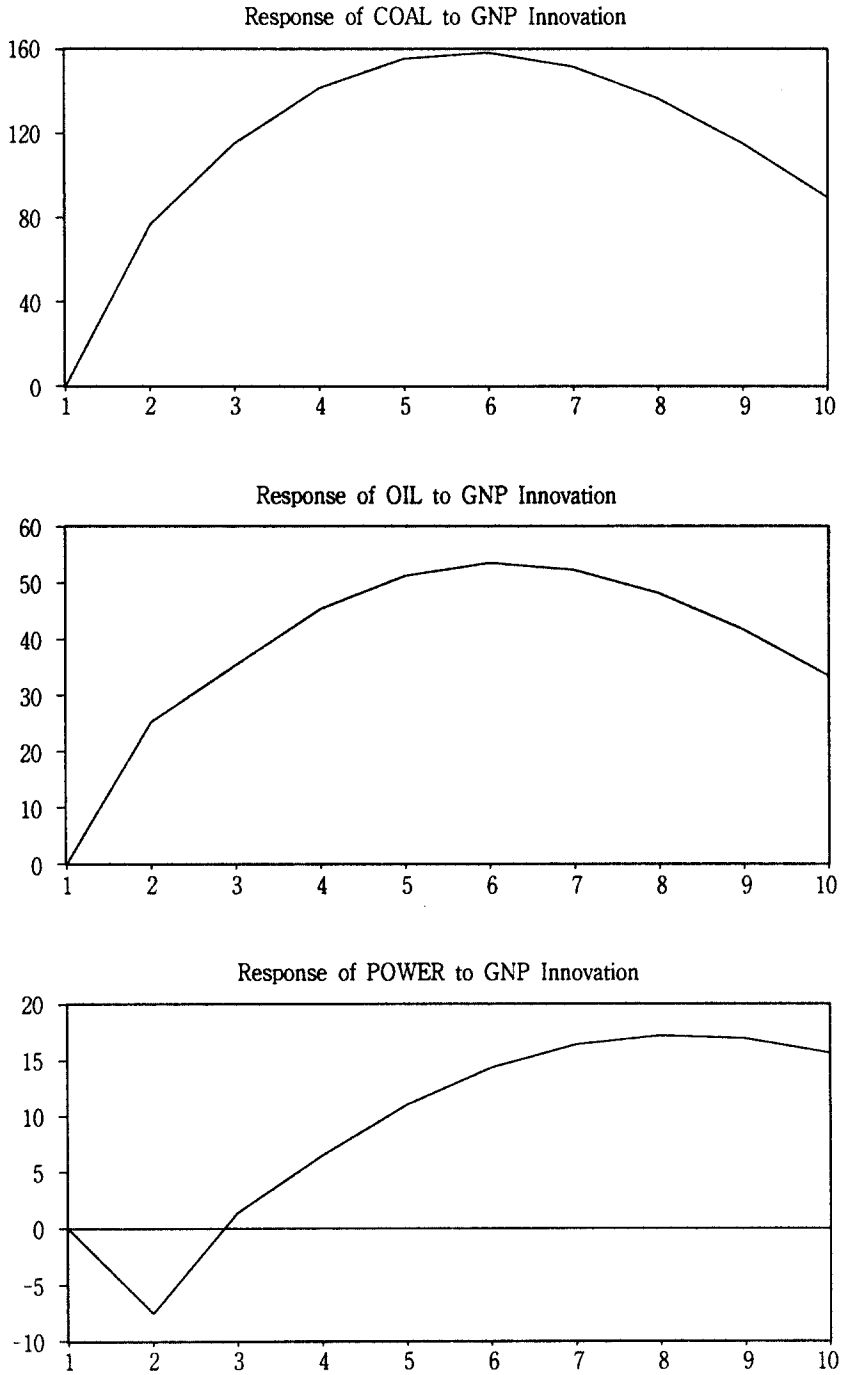
Granger 인과관계 검정과 AIC(Akaike Information Criterion) 또는 SIC(Schwarz Information Criterion) 값들에 의해 모형의 배열구조와 시차의 크기는 다음과 같이 결정되었다. 이를 VAR의 계량결과와 함께 다음에 나타낸다.<sup>6)</sup>

$$\begin{aligned}
 Coal_t &= 0.5138Coal_{t-1} + 1.9613Oil_{t-1} - 2.8265Power_{t-1} + 54.4720GNP_{t-1} + 11438.8 \\
 Oil_t &= 0.0893Coal_{t-1} + 0.8618Oil_{t-1} - 0.6863Power_{t-1} + 17.9240GNP_{t-1} - 593.6670 \\
 Power_t &= 0.0463Coal_{t-1} + 0.0634Oil_{t-1} + 0.4348Power_{t-1} - 5.3411GNP_{t-1} - 177.2890 \\
 GNP_t &= 0.0015Coal_{t-1} + 0.0016Oil_{t-1} - 0.0199Power_{t-1} + 0.0644GNP_{t-1} - 1.8903
 \end{aligned}$$

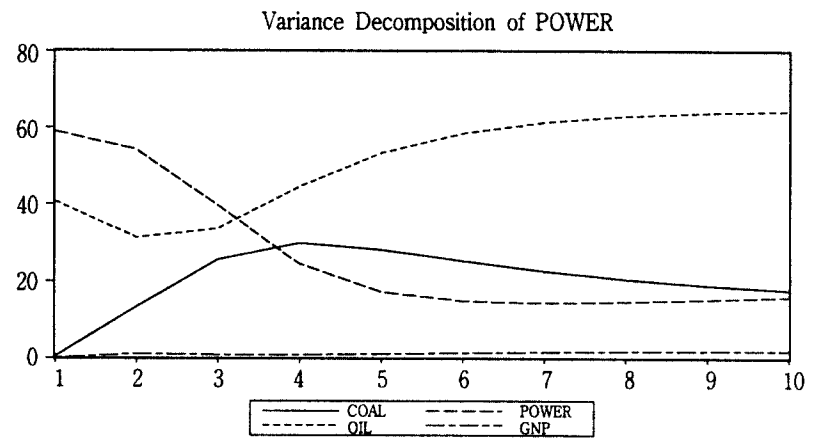
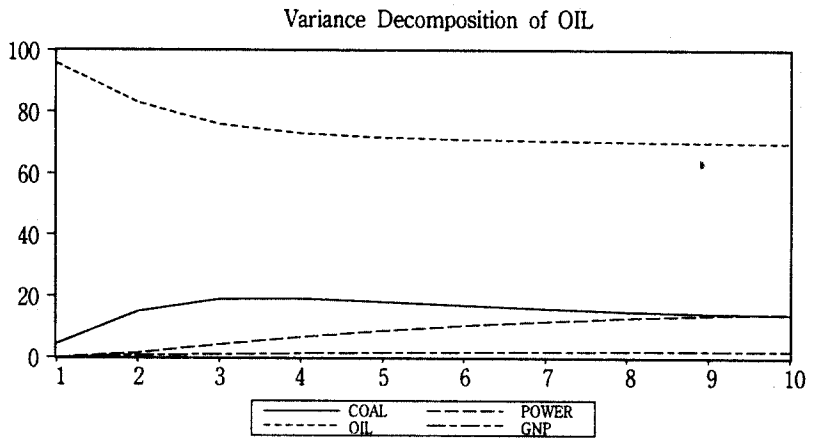
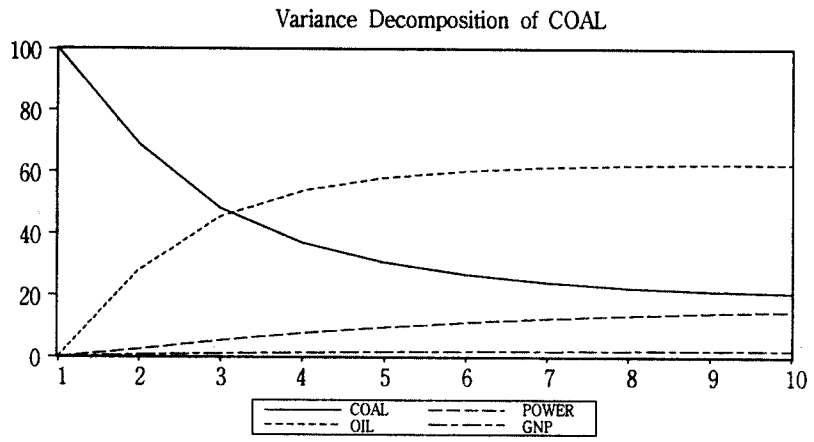
GNP 변수가 다른 변수들에 대해 갖는 동태적 효과를 분석하기 위하여 <그림 2>에 충격반응분석을 제시하였다. 특정 변수의 변화를 설명하는 각 변수들의 상대적 중요성에 관한 분석(즉, 분산분해)은 <그림 3>에 제시되었다.

6) VAR 모형을 적용함에 있어 관측치의 수가 매우 제한적임을 부인할 수 없다. 하지만 '북한에 관한 실증연구를 수행할 때 자료의 문제에서 자유로운 경우는 드물 것으로 이해한다.

〈그림 2〉 에너지 수요의 반응



〈그림 3〉 각 변수들에 대한 분산분해



위의 추정에 근거하여 향후 10년간의 에너지 수요는 예측에 관한 연쇄법칙을 사용하여 예측되었다. 이는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{t+k} = \psi_0 \varepsilon_{t+k} + \psi_1 \varepsilon_{t+k-1} + \dots + \psi_{k+1} \varepsilon_{t-1} + \dots \quad (4)$$

$$E(X_{t+k}|I_t) = \psi_k \varepsilon_t + \psi_{k+1} \varepsilon_{t-1} + \dots$$

(단,  $I_t$ 는  $t$ 기까지의 이용 가능한 정보)

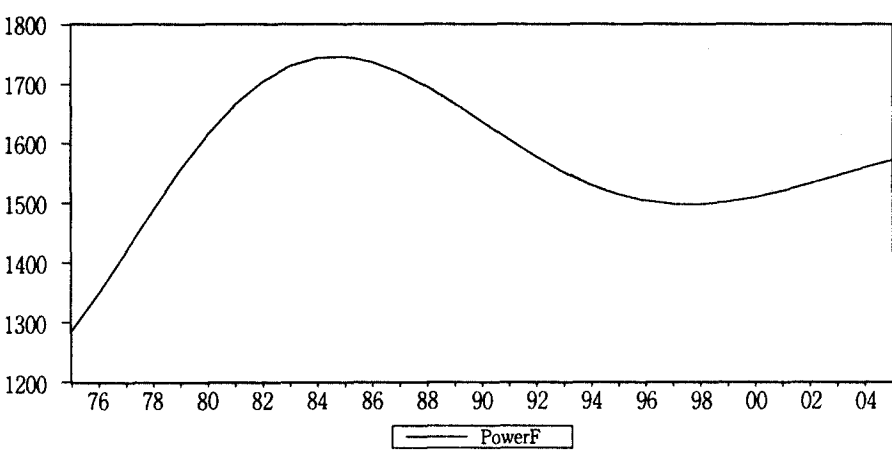
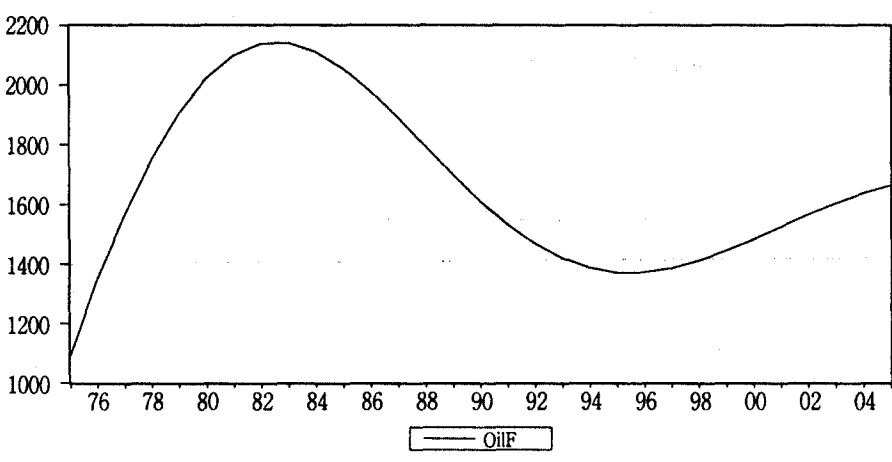
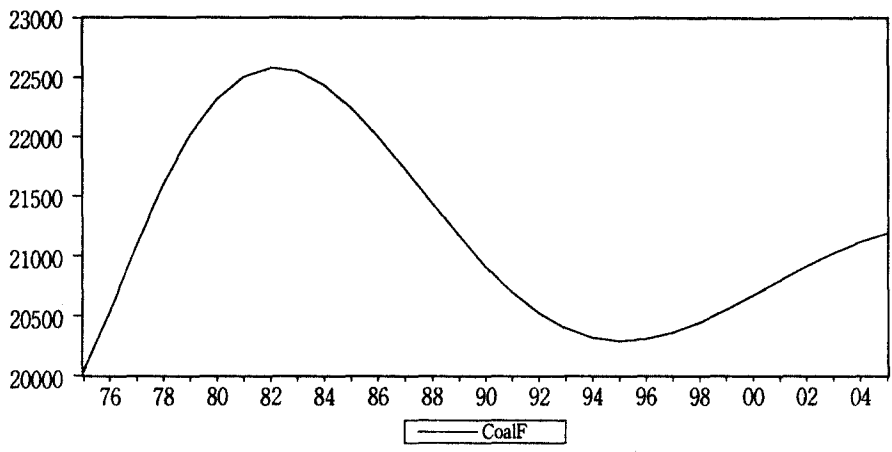
〈표 4〉는 각 수요의 예측치와 그 점유율을 나타내고, 〈그림 4〉는 수요예측의 개략적 모습을 조망한다. 〈표 4〉의 값에 의하면 1995~2004년 동안 각 에너지 수요는 매년 근소하게 증가할 것이고 석탄에 대한 의존은 미래에도 지속될 것임을 보여준다. 〈그림 5〉는 주탄종유정책을 반영하는 OLS 모형과 VAR 모형과의 비교 결과를 보여주는데, VAR 모형에서의 잔차항이 더욱 안정되고 0에 가까움을 나타내 주어, 이를 통해 VAR 모형의 상대적 효율성을 알 수 있다.

〈표 4〉 VAR 모형에 의한 에너지 수요 예측치

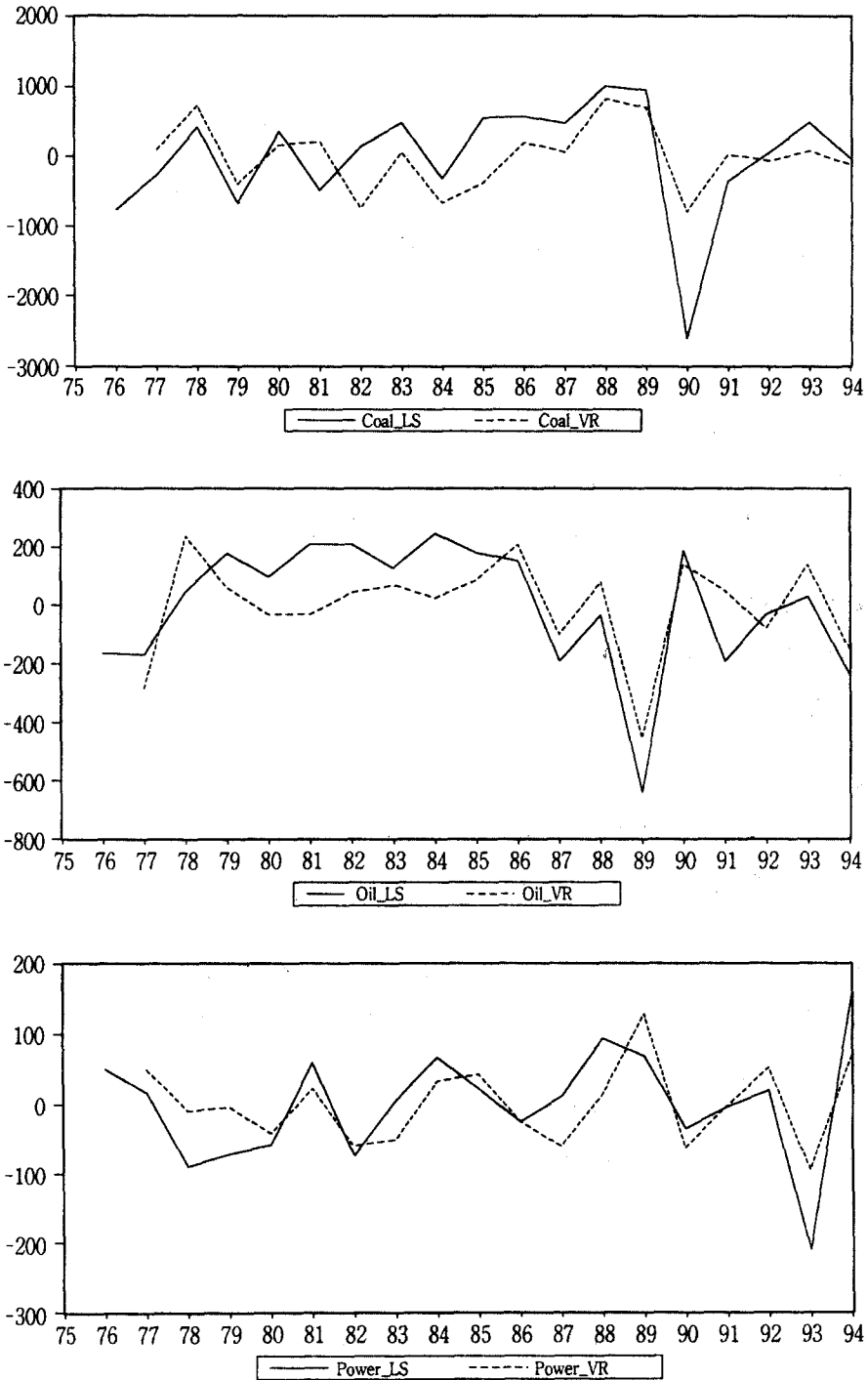
(단위: 1000 TOE)

연 도	석 탄	점유율(%)	석 유	점유율(%)	전 력	점유율(%)
1995	20288.87	87.55	1371.19	5.92	1514.57	6.54
1996	20304.55	87.60	1371.32	5.92	1503.67	6.49
1997	20358.62	87.59	1385.23	5.96	1498.20	6.45
1998	20443.24	87.55	1410.44	6.04	1497.82	6.41
1999	20549.72	87.46	1444.09	6.15	1501.95	6.39
2000	20669.12	87.35	1483.18	6.27	1509.79	6.38
2001	20792.83	87.23	1524.74	6.40	1520.43	6.38
2002	20913.01	87.09	1566.01	6.52	1532.91	6.38
2003	21022.98	86.97	1604.60	6.64	1546.26	6.40
2004	21117.48	86.85	1638.53	6.74	1559.60	6.41

〈그림 4〉 VAR 모형에 의한 에너지 수요 예측



〈그림 5〉 OLS 및 VAR 모형들의 잔차항 비교



## 2. 대기오염 발생량 예측

위와 같이 1995년부터 2004년까지의 각 에너지 수요 예측치가 주어지면 분진, 아황산가스, 탄화수소, 그리고 아산화질소와 같은 오염물질의 배출량에 관한 예측을 미국 환경보호청 (USEPA)의 배출계수를 가지고 추정할 수 있다. 단 본 연구에서는 이산화탄소의 배출량 예측은 '기후변화에 관한 정부간 협의체' (IPCC)의 배출계수를 사용하여 시행하였다. 이 추정을 위해 상정한 가정들은 다음과 같다.<sup>7)</sup>

### ■ 에너지 구성비율

석유: 휘발유, 경유, 중유의 비율은 각각 33 : 37 : 30

석탄: 무연탄, 유연탄의 비율은 65 : 35

전력: 화력, 수력의 비율은 40 : 60

(단, 화력발전에서의 석탄과 석유의 투입비율은 95 : 5)

### ■ 황 함유량

무연탄: 0.7%, 유연탄: 1%

휘발유: 0.04%, 경유: 0.4%, 중유: 2%

### ■ 용 도

석탄: 무연탄은 난방용, 유연탄은 산업용

석유: 휘발유, 경유는 수송용 그리고 중유는 산업 및 발전용

OLS 모형과 VAR 모형에 의한 각 오염물질의 배출량 예측치들이 각각 <표 5>와 <표 6>에 제시되어 있다. <표 6>은 오염물질들의 배출량이 10년 동안 서서히 증가한다는 것과 그것들이 경제성장률 1% 시나리오하의 OLS 모형에 의한 예측치보다 약간 크다는 것을 보여준다. 그러나 VAR 모형에서 내생적으로 예측된 경제성장률이 북한에서의 최근 경제위기를 반영하지 못하고 2004년까지 모두 양(+)인 것은 주목할 필요가 있다. 그러나 한편으로 북한 경제성장의 가능성이 언제나 잠재되

7) 이 가정에서의 에너지 구성비는 1994년의 북한의 구성비에 근거한다(김정인·박창원, 1997). 즉, 1994년의 에너지 구성비가 2004년까지 유지될 것이라고 가정하는 것이다. 황 함유량은 자료의 부족으로 미국 환경보호청이 제시한 수치에 근거한다.



어 있음을 간과할 수 없다. 또한 일반적으로 북한의 환경기술이 미국의 그것보다 더 낙후되어 있기 때문에 미국환경보호청의 배출계수를 이용한 배출량의 예측치들은 과소평가될 수 있음을 부인할 수 없다.

〈표 5〉 OLS 모형에 의한 배출량의 예측

(단위: 톤)

대기오염물질	분 진		
경제성장률	1%	3%	-1%
1995년	44698.74	45617.95	43779.53
1996년	45346.51	47070.60	43622.43
1997년	45914.13	48343.42	43484.83
1998년	46412.45	49460.02	43364.87
1999년	46850.64	50440.66	43260.62
2000년	47236.41	51302.67	43170.15
2001년	47576.25	52060.93	43091.58
2002년	47875.64	52728.21	43023.07
2003년	48139.23	53315.51	42962.95
2004년	48370.99	53832.33	42909.65

(단위: 톤)

대기오염물질	아황산가스		
경제성장률	1%	3%	-1%
1995년	557688.57	568232.21	547144.93
1996년	565481.72	585203.25	545760.19
1997년	572286.13	599999.85	544572.42
1998년	578238.02	612914.27	543561.77
1999년	583452.08	624196.48	542707.68
2000년	588024.72	634060.15	541989.28
2001년	592036.96	642688.01	541385.91
2002년	595557.10	650236.53	540877.66
2003년	598642.99	656840.10	540445.88
2004년	601344.08	662614.53	540073.63

(단위: 1000 탄소톤)

대기오염물질	이산화탄소		
경제성장률	1%	3%	-1%
1995년	41960.75	42749.12	41172.39
1996년	42545.57	44019.86	41071.28
1997년	43056.05	45127.37	40984.74
1998년	43502.46	46093.62	40911.30
1999년	43893.41	46937.40	40849.42
2000년	44236.17	47674.79	40797.56
2001년	44536.84	48319.50	40754.18
2002년	44800.55	48883.30	40717.79
2003년	45031.65	49376.28	40687.01
2004년	45233.86	49807.15	40660.56

(단위: 톤)

대기오염물질	탄화수소		
경제성장률	1%	3%	-1%
1995년	3899.65	4157.75	3641.55
1996년	4012.54	4507.00	3518.08
1997년	4115.97	4826.92	3405.01
1998년	4210.80	5120.08	3301.52
1999년	4297.78	5388.77	3206.79
2000년	4377.59	5635.09	3120.08
2001년	4450.81	5860.93	3040.69
2002년	4517.98	6067.99	2967.98
2003년	4579.58	6257.82	2901.33
2004년	4636.02	6431.84	2840.20

(단위: 톤)

대기오염물질	아산화질소		
경제성장률	1%	3%	-1%
1995년	324283. 91	330184. 81	318383. 00
1996년	328743. 62	339766. 39	317720. 85
1997년	332631. 24	348100. 80	317161. 67
1998년	336026. 12	355357. 39	316694. 84
1999년	338995. 05	361680. 85	316309. 25
2000년	341594. 14	367194. 75	315993. 54
2001년	343870. 53	372004. 63	315736. 43
2002년	345863. 91	376200. 79	315527. 04
2003년	347607. 89	379860. 65	315355. 14
2004년	349131. 15	383050. 84	315211. 46

〈표 6〉 VAR 모형에 의한 배출량의 예측

(단위: 위와 같음)

연 도	경제성장률	분 진	아황산가스	이산화탄소	탄화수소	아산화질소
1995	0. 60	47595. 38	591545. 88	44665. 29	4593. 60	343595. 45
1996	0. 88	47619. 89	591863. 96	44689. 40	4593. 81	343783. 60
1997	1. 13	47760. 15	593475. 42	44810. 33	4632. 90	344686. 70
1998	1. 36	47993. 91	596128. 87	45009. 25	4703. 87	346165. 03
1999	1. 55	48296. 04	599541. 64	45264. 97	4798. 68	348061. 77
2000	1. 70	48640. 43	603420. 28	45555. 53	4908. 84	350214. 24
2001	1. 79	49001. 63	607479. 23	45859. 54	5025. 98	352464. 33
2002	1. 84	49356. 24	611456. 76	46157. 40	5142. 34	354667. 21
2003	1. 84	49684. 10	615127. 53	46432. 24	5251. 14	356698. 35
2004	1. 80	49969. 05	618311. 55	46670. 59	5346. 84	358458. 38

## V. 정책적 함의와 결론

본 연구는 1975부터 1994까지 지난 20년간의 북한의 석탄, 석유, 전력 소비에 근거하여 향후 10년간의 북한의 각 에너지 수요를 예측하였다. 그리고 예측된 에너지 수요와 주요 대기오염물질의 배출계수를 이용하여 향후 10년 동안의 북한 대기오염 수준을 예측하였다. 본 연구는 북한의 대기오염수준을 예측함에 있어 주탄종유정책을 반영한 OLS 모형과 벡터자기회귀(VAR) 모형을 사용하였다. 그 결과 북한의 대기오염은 앞으로 계속 증가할 것이고 오염의 개연성이 상대적으로 더 큰 석탄에 크게 의존하는 상황 역시 지속될 것으로 나타났다.

북한의 에너지, 환경, 그리고 경제적 상황에 관한 이용가능한 자료가 극히 제약된 상황에서 본 연구는 북한의 대기오염에 대한 연구에 도움이 될 것으로 기대한다. 또한 북한의 대기오염에 관한 예측은 통일 전후 북한의 환경문제를 개선하기 위한 분석에 필요한 정량적 정보가 될 것으로 예상된다. 즉, 이 연구의 결과는 향후 다양한 분석에 있어 하나의 기준으로 사용될 수 있다.

전술하였듯이 석탄은 북한 에너지 소비의 80% 이상을 차지하고 있다. 석탄에 대한 지나친 의존은 에너지 이용에 있어 낮은 효율성을 야기하였고 심각한 환경문제를 유발하는 이산화탄소 배출을 증가시켰다. 본 연구에서 OLS 및 VAR 모형에 의해 예측된 이산화탄소 배출량은 '기후변화에 관한 정부간 협의체'(IPCC)의 공동 이행(Joint Implementation, JI)과 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM) 등과 같은 수단을 이용한 남북한 상호협력 계획을 수립하는 데 이용될 수 있다.

그리고 북한의 환경개선을 위한 남한 및 국제사회의 단기적인 노력에는 석탄을 대체할 수 있는 청정연료의 공급, 오염저감시설의 설치와 같은 석탄으로부터의 오염을 줄일 수 있는 구체적 대안이 제시되어야만 한다. 여기에는 이와 같은 투자를 가능케 하는 금융지원 방안도 모색되어야만 한다.

북한은 한반도 에너지 개발기구(KEDO)의 지원을 받아 2003년 완공을 목표로 경수로 원자력발전소를 건설하고 있다. 대규모 원자력 발전소의 건설은 장기적으로 북한이 직면한 에너지 문제를 완화시켜 주고 에너지 구성의 변화를 초래하리라 예상된다. 따라서 2003년 이후의 북한의 대기오염수준은 우리가 예측하는 것과는 사뭇 다를 수 있고 이것은 후속적인 연구를 필요로 한다.

■ 參考文獻

1. 고일동, “남·북한 교류의 현황 및 전망”, 남북한 환경공동체를 위한 협력방안세미나, KETRI, 1995. 8.
2. 김정인·박창원, “북한의 환경오염 현황과 오염배출량 추정에 관한 연구: 대기오염을 중심으로”, 『자원경제학회지』, 1997, pp. 29~60.
3. 이찬우(환일본경제연구소), “최근 북한의 에너지 수급현황”, 북한, 1996.
4. 정희성·강광규·강철수, “북한의 환경문제와 통일한국의 환경정책 방향”, KETRI, 1996.
5. 통계청·통일원, 『남북한 경제 사회상 비교』, 1995.
6. Dickey, D. A. and W. F. Fuller, “Distribution of the Estimators for AR Time Series with a Unit Root”, *Journal of American Statistical Association*, Vol. 74, 1979, pp. 427~431.
7. Greene, W. H., *Econometric Analysis*, New York: Macmillan, 1993.
8. Hamilton, J. D., “Time Series Analysis”, Princeton University Press, 1994.
9. Hayes, P., *Economic Dimensions of Restoring North Korea's Environment*, Nautilus Institute for Security and Sustainable Development, Paper for 4th International Conference on North Korean Economics, 1994.
10. Litterman, R. B. and L. Weiss, “Forecasting with Bayesian Vector Autocorrelation — Five Years of Experience”, *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 4, 1980, pp. 25~38.
11. Razavi, H., *Innovative Approaches to Financing Environmentally Sustainable Energy Development in Northeast Asia*, Nautilus Institute for Security and Sustainable Development, 1997.
12. Sims, C. A., “Macroeconomics and Reality”, *Econometrica*, Vol. 48, 1980, pp. 1~48.
13. Von Hippel, D. F. and P. Hayes, *The Prospects for Energy Efficiency Improvements in the Democratic Peoples Republic of Korea: Evaluating and Exploring the Options*, Nautilus Institute for Security and Sustainable Development, 1995.