

북한 에너지 사용과 대기오염물질 배출 현황

Energy Usage and Emissions of Air Pollutants in North Korea

김 인 선 · 이 지 이¹⁾ · 김 용 표*

이화여자대학교 환경공학과,

¹⁾조선대학교 환경공학과 BK21 바이오가스기반수소생산 사업팀

(2010년 12월 24일 접수, 2011년 1월 28일 수정, 2011년 3월 28일 채택)

In Sun Kim, Ji Yi Lee¹⁾ and Yong Pyo Kim*

*Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University,
Seoul 120-750, Korea*

¹⁾*Department of Environmental Engineering, BK21 Team for Biohydrogen Production,
Chosun University, Gwangju 501-759, Korea*

(Received 24 December 2010, revised 28 January 2011, accepted 28 March 2011)

Abstract

Data on the energy usage including biomass, emissions of air pollutants (SO_x, NO_x, CO), and the air quality in North Korea are analyzed. The energy usage in North Korea has decreased in the 1990s and thus, the emission amount of air pollutants. Coal and biomass constitute a major fraction of energy sources since the 1990s. It is identified that the emission amount of air pollutants per unit energy consumption in North Korea is much higher than South Korea for the period data are available (since 1990) implying that the air pollutant emission management system in North Korea is inadequate. In particular, the amount of biomass burning for household cooking and heating is significant with the huge emissions of air pollutants such as CO and organic species both in the gas and aerosol phase. Furthermore, it is found that the existing energy usage and air pollutant emission data are not consistent in biomass burning related data.

Key words : North Korea, Energy usage, CO, Biomass burning, Emissions of air pollutants

1. 서 론

우리나라는 수도권의 대기환경 개선을 위하여 1980년대 중반부터 다양한 정책을 시행하고 있다. 난방연료의 대체, 무연휘발유의 공급과 같은 청정연료 공급

의 확대와 휘발유 자동차에 대한 삼원촉매장치 부착 의무화 정책으로 일부 오염물질의 경우 그 농도가 현저히 낮아졌다. 하지만, 이산화질소(NO₂), 미세먼지(PM₁₀), 오존(O₃)과 같은 오염물질은 개선되지 않거나 오히려 악화되었다(환경부, 2005). 이에 2003년 12월 '수도권 대기환경 개선에 관한 특별법'이 국회를 통과하고, 특별법에 따라 수립된 '수도권 대기환경관리 기본계획'이 2005년 11월에 발표되었다. 또

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-3277-2832, E-mail : yong@ewha.ac.kr

한, 기본계획의 시행을 위하여 서울, 인천, 경기도 등 관할구역 내 지자체에서 수립한 시행계획이 2007년 1월 승인되어 추진 중이다. 이 기본계획에 의하면 서울시의 경우 미세먼지와 이산화질소 연평균 농도를 2014년까지 각각 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 22 ppb로 줄이게 되어 있다. 이 목표 달성을 위하여 관리대상 오염물질인 질소산화물, 황산화물, 미세먼지, 휘발성유기화합물의 2014년도 배출허용총량이 산정되었으며, 이는 2001년 대비 각각 53.0, 38.7, 38.7, 38.7% 삭감한 양이다 (Kim, 2010). 이에 따라 NO_2 를 제외한 수도권에서 배출되는 대기오염물질 양은 상당히 줄어든 것으로 보이며, 미세먼지의 농도도 감소하고 있다.

그러나 이와 같은 수도권 내의 대기오염물질 배출량 감소는 상대적으로 외부 영향의 비중을 크게 하는 효과를 보이고 있다. 불확실성은 매우 크지만, 대기환경에 미치는 외부 영향에 관한 연구에서 2000년대 중반 서울 미세먼지 농도의 1/3 정도가 외부의 영향인 것으로 평가되었다 (Kim, 2006). 따라서 수도권 내의 영향이 감소한다면, 외부 영향은 상대적으로 증가할 것이다. 외부 영향은 우리나라 수도권 외부로부터의 영향, 북한의 영향, 중국의 영향, 전 세계적인 영향 등으로 구분할 수 있다. 중국의 영향에 대해서는 대기오염물질의 장거리이동이라는 관점에서 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 서울에서 휴전선까지는 40여 km로 (박승규, 2000), 북한이 수도권 바로 북쪽에 있어 직접적인 영향을 줄 수 있음에도 불구하고, 북한의 영향에 대한 정보는 거의 없는 상황이다.

예를 들어 Lee and Kim (2007)은 서울에서 유기화합물 에어로졸인 다환방향족탄화수소(PAHs)를 측정 한 결과에 수용모델을 적용하였다. 이를 통해 겨울철에 석탄 연소와 바이오매스 연소에 의한 기여율이 매우 높음을 확인하였고, 이는 대부분 중국과 북한으로부터 이동하였을 가능성을 제시하였다. 특히 바이오매스 연소의 경우 상당 부분이 북한의 영향일 것으로 추측하였다. 또한, 황해도 바로 남쪽에 위치한 백령도 국가배경대기관측소의 2009년 미세먼지 연평균 농도는 $53.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 이는 서울의 같은 기간 미세먼지 농도 $54.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 그다지 낮지 않아 (환경부, 2009) 북한의 대기질이 우리나라에 미치는 영향이 클 가능성이 있다. 그러나 이러한 영향을 확인하기 위해 필요한 북한의 대기오염 현황(배출량이나 대기오염도)에 대한 자료는 매우 제한되어 있다.

대기오염물질 대부분은 에너지 사용과정에서 배출된다. 북한은 낮은 원유 의존도와 함께 세계에서 가장 높은 수준의 석탄 의존도를 보이고 있다. 이는 북한의 사회, 경제정책에서 파생된 결과이다. 북한은 경제 분야에서의 외부사회 개입을 최소화하려고 오랜 기간 노력해왔다. 이러한 노력은 북한의 경제, 산업분야의 정체, 발전저하를 일으켰고 에너지 소비 형태에도 영향을 미친 것이다. 적은 원유 도입량과 석탄의 생산량 한계는 바이오매스 사용을 확대시켰다 (김경술, 2003). 북한의 경제적 상황을 고려해 볼 경우, 대기오염방지시설 역시 미비할 것으로 예상되며, 공식적인 자료는 많지 않으나 이는 대기질의 저하를 일으켰을 수 있다. 경제, 산업규모를 고려했을 경우, 북한의 대기오염물질 배출량은 중국보다 적을 것이다. 하지만, 우리나라, 특히 수도권에 인접해 있는 북한의 열악한 대기환경이 우리나라에 주는 영향은 간과할 수 없다.

이 연구에서는 국내의 자료를 종합적으로 검토하여 북한의 에너지 사용 특징과 그에 따른 대기오염물질 배출 특징을 검토하고, 대기오염물질 농도를 보고하고자 한다. 이 연구 결과는 앞으로 우리나라 대기오염에 북한이 미치는 영향을 연구하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서 사용된 북한 에너지 사용 및 수급구조에 관한 자료는 우리나라 통계청 자료와 국제기구, 그리고 각종 보고서 자료를 바탕으로 하고 있다. 자료의 검토, 분석과정에서 북한 에너지 통계자료를 우리나라 (남한) 에너지 사용량과 비교하여 분석하였다. 대기오염물질 배출량 자료는 우리나라 통계청 자료와 외국 연구 결과, 그리고 보고서 자료를 활용하였다.

북한의 에너지 사용량에 대한 자료는 국내 조사 결과인 통계청 (2008)와 국제연합(UN)과 다양한 경로를 통해 조사된 후 국제에너지기구(IEA)에서 발표한 IEA (2010) 등이 있다. 이 연구에서는 우리나라 자료인 통계청 (2008) 자료를 주로 활용하였다. 또한 대기오염물질 배출량 자료는 최근 연구 중심으로 Streets *et al.* (2003), Ohara *et al.* (2007), Zhang *et al.* (2009), 김경술 (2003), Jin and Kim (2005), Kim and Kim (2008) 등이 있다. 북한의 대기오염도 자료는 국제 연합 환경 계획(UNEP)의 UNEP (2003)이 있다. Kim and Kim (2008)은 북한의 에너지 사용 특징과 대기오염물질 배출량에 대해 상세히 정리하였다. 마

지막으로 이들 자료를 남한의 자료와 비교하여 검토하고, 이들 자료의 문제점을 검토하였다.

에너지 관련 자료의 경우, 1990년부터 2008년까지 제시되어 있다. 또한, 배출량 관련 자료는 1990년부터 2003년까지 제시되어 있다. 현재 북한의 에너지 사용현황은 2000년대 초반과 비교하여 크게 변화하지 않았을 것으로 판단한다. 반면, 대기 오염도는 북한의 에너지 사용량이 급속하게 감소하는 1990년대의 일부 지역(평양)의 오염물질 농도자료이다. 따라서 이에 관한 해석에는 유의를 요한다.

2. 북한의 에너지 사용

그림 1은 남한과 북한의 1인당 1차 에너지 소비량과 함께 세계평균값을 보여준다. 1970년 북한의 1인당 1차 에너지 소비량은 1.21 TOE (tonne of oil equivalent, 10^7 kcal)이다. 이는 당시 남한의 1인당 1차 에너지 소비량 0.61 TOE의 약 두 배에 달하는 값이다 (국가통계포탈, 2010a). 하지만 남한의 1인당 1차 에너지 소비량은 1980년에 북한을 추월하여, 그 차이는 1990년 이후 계속 벌어지고 있다. 2008년 기준 북한국민 1인당 1차 에너지 소비량은 세계 평균 소비량의 47%이다. 이를 통해 북한의 심각한 에너지 공급난을 확인할 수 있다. 만일 남한과 북한이 같은 배출계수로 대기오염물질을 배출한다면, 북한의 적은 에너지 사용량은 적은 대기오염물질 배출량을 의미한다. 이는 3장에서 다시 다루었다.

매우 적은 에너지 사용량과 함께 북한 에너지 사

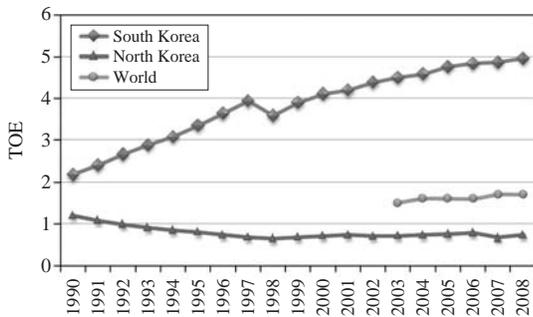


Fig. 1. Primary energy consumption per capita in North and South Korea and world total (Korean Statistical Information Service, 2010a).

용의 중요한 특징은 1차 에너지 소비량 중 석탄이 차지하는 비율이 높다는 것이다. 북한은 자립적인 경제 구조를 위하여 최대한 자체생산 가능한 에너지를 사용하고 있다 (통계청, 2008). 그 정책의 일환으로 북한은 석탄을 주요 에너지원으로 사용한다. 1990년 이후 북한의 1차 에너지 소비 비율 중 약 70%가 석탄이다 (2008년 66.2%). 이는 2008년 세계평균 29.0%, 세계 석탄 소비량의 절반을 소비하고 있는 중국의 70.0%, 세계에서 3번째로 석탄을 많이 소비하고 있는 인도의 52.3%와 비교해 보아도 상당히 높은 비율이다 (BP, 2010).

그림 2는 북한의 에너지원별 1차 에너지 소비량 추이를 보인 것이다. 석탄의 경우 수입량이 거의 없고 국내 생산량이 대부분이다 (에너지경제연구원, 2007). 따라서 1990년대의 석탄 소비량 감소가 전체 1차 에너지 소비량에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

북한의 원유 도입량은 1990년 18,472천 배럴을 수입한 이후 급격히 감소하여, 2000년부터는 연 3,885천 배럴 정도를 수입하고 있다. 북한은 구소련으로부터 국제사회 시세보다 낮은 가격으로 원유를 도입하였다. 하지만, 1990년 사회주의 경제권이 붕괴된 이후 이러한 거래가 불가능해졌다. 중국도 1992년부터 원유거래에서 국제시장가격을 요구해오고 있다 (통계청, 2008). 이러한 영향으로 북한의 원유도입량은 감소하고 이는 북한의 에너지 공급난의 또 다른 원인이다.

석유, 석탄 공급량의 한계로 인하여 북한의 바이오매스 의존도가 높아졌다. 표 1은 서로 다른 두 기관에서 발표한 북한의 바이오매스 소비량이다. 바이오매스에 관한 통계자료는 조사 방법과 범위에 따라

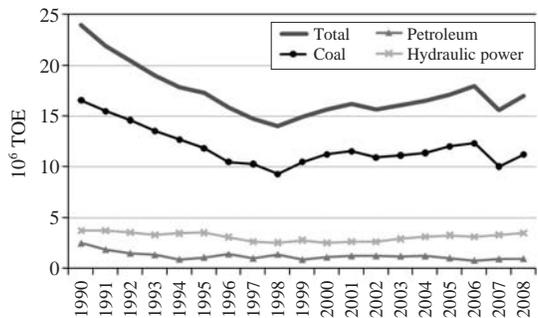


Fig. 2. Primary energy consumption in North Korea (Korean Statistical Information Service, 2010b).

Table 1. Final consumption of biomass in North Korea.
(unit: TJ)

	1990	1996	2000
IEA (2010)	39,971	42,639	42,077
Nautilus Institute (2000)	365,583	359,025	350,891

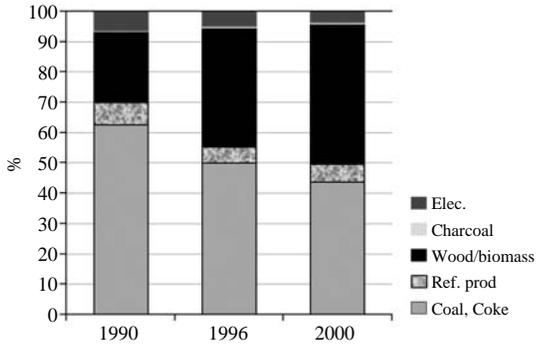


Fig. 3. Final energy consumption for North Korea in 1990, 1996, 2000 (Nautilus Institute, 2000).

차이가 크게 존재할 수 있다. 국제 에너지 기구(International Energy Agency, IEA)에 따르면, 북한의 바이오매스 사용량은 증가한다(IEA, 2010). 북한의 1차 에너지 소비량이 크게 감소한 후, 약간의 회복세를 보인 것을 고려한다면, 이는 바이오매스에 대한 의존도가 증가함을 의미한다. 반면, 미국의 보안전문기관인 Nautilus Institute (2000)에서 발표한 북한의 바이오매스 사용량은 감소한다. 그러나 사용비율의 측면에서는 이 역시 증가한다. 그림 3은 Nautilus Institute가 발표한 1990년, 1996년, 2000년도의 북한 최종 에너지 소비량의 종별 구성이다. 북한의 최종 에너지 소비량 중 바이오매스가 차지하는 비율은 1990년 23%, 1996년 39%, 2000년 46%로 점점 증가하였다. 이 보고서에서 바이오매스(biomass 또는 biomass fuel)는 목재(wood)와 농작물부산물(crop waste) 등을 의미한다. 1995년 전 세계 최종 에너지 소비량 중 바이오매스 에너지(장작, 농업 부산물, 동물 폐기물, 목탄 및 기타 파생 연료)가 차지하는 비율은 14%, 개발도상국의 경우 34%이다(D'Apote, 1998). 따라서 북한의 바이오매스 사용비율은 세계 평균뿐만 아니라 개발도상국 기준으로도 높은 수준임을 알 수 있다.

에너지원으로서 바이오매스는 심각한 환경문제와 건강문제를 발생시킨다. 이러한 문제는 에너지가 비

효율적으로 사용되는 가정 부문에서 더 심각하다. 가정에서 사용되는 바이오매스는 입자성 물질, CO, NO₂를 비롯한 많은 건강위해물질을 배출한다. 실제로 바이오매스를 비롯한 고체 연료 사용이 많은 아시아, 아프리카, 아메리카 지역의 실내대기오염물질 농도는 미국 환경보호청(US EPA)과 세계보건기구(World Health Organization, WHO)의 기준보다 크게 높다(WHO, 2000). 더구나 2000년 북한의 바이오매스 공급량 중 단 2.1%만이 오염물질 배출이 상대적으로 적은 숯으로 전환되었고 나머지는 다른 에너지로 전환되지 않고 그대로 소비되었다. 특히 그 중 80%가 가정부문에 소비되었다(Nautilus Institute, 2000). 즉, 2000년 북한 바이오매스 공급량의 78%가 대기오염 물질을 많이 배출하는 형태로 소비된 것이다.

북한은 수출입실적 관련 자료를 일절 발표하지 않고 있다. 따라서 북한과 교역한 상대국의 수출입 자료의 분석을 통해 간접적으로 북한의 석유 수출입실적을 파악하고 있다(에너지경제연구원, 2006). 그러나 비상업에너지인 바이오매스의 경우, 이러한 방법을 적용하기 어렵다. 따라서 에너지경제연구원과 통계청을 비롯한 국내기관에서는 공급과 소비 구조를 파악하기 어려운 북한의 바이오매스 사용에 관한 공식적인 자료를 제공하지 않고 있다. 따라서 이러한 자료에서는 북한의 석탄 사용비율이 높다. 그러나 김경술(2003)의 분석에 의하면 북한은 발전부문을 제외한 최종에너지 수요의 전 부문에 걸쳐 신탄을 소비하고 있다. 여기서 신탄이란 일반적으로 산림연료나 농업부산물과 같은 목재 위주의 바이오매스 연료를 의미한다. 그 결과, Nautilus Institute와 같이, 북한의 구체적인 바이오매스 공급과 소비구조를 파악하고 보고하고자 한 연구에서는 석탄의 소비비율은 줄고 바이오매스 비율이 높은 것을 확인할 수 있다. Streets *et al.* (2003)은 아시아지역 대기오염물질 배출에 관한 연구에서 바이오매스를 보다 구체적으로 구분하였다. 소각시설이나 특별한 장치 없이 외부에서 소각되는 바이오매스(biomass burning)와 난로, 화로를 통해서 사용되는 바이오연료(combustion of bio-fuel)로 구분하였다(Streets *et al.*, 2003).

북한 전력 생산량은 상당히 적다. 그림 4는 남한과 북한 발전량의 변화를 보여준다. 1975년 이전까지 북한의 발전량은 남한보다 많았다. 하지만, 남한 발전량이 지속적이고 급속하게 증가한 것에 비해 1965년

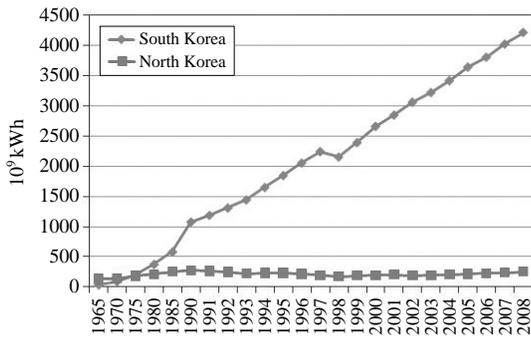


Fig. 4. Electric power generation (Korean Statistical Information Service, 2010c).

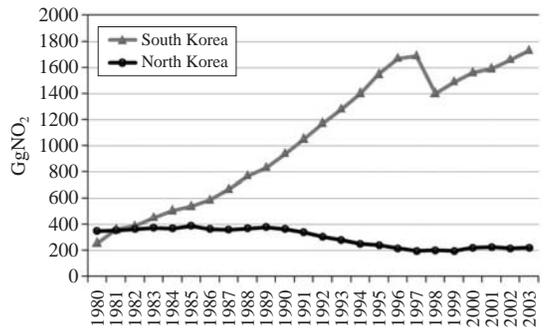


Fig. 5. NO_x emission in South Korea and North Korea (Ohara et al., 2007).

132억 kWh이던 북한의 발전량은 2008년 255억 kWh로 약 2배 증가하였다. 그 결과 2008년 북한의 발전량은 남한 발전량의 6% 정도이다. 하지만, 북한의 수력발전을 통한 전력생산량은 남한보다 많다. 이는 에너지를 자급자족하기 위한 노력이 북한의 지형적 특성과 화석연료 수급의 어려움과 결합한 결과이다. 남한은 수력, 화력, 원자력을 통해 전력을 생산한다. 2008년 남한 발전량의 단 1%가 수력발전에 의하여 생산되었다. 반면에 북한은 2008년의 발전량의 55%를 수력발전을 통해 생산하였다. 절대적 양에서도 북한의 수력발전량(141억 kWh)이 남한의 수력발전량(56억 kWh)의 2.5배이다(국가통계포탈, 2010c).

북한의 에너지 사용량과 에너지 구조에서 적은 에너지 사용량과 전력 생산에서의 수력의 비율은 대기오염물질 배출량을 줄이는 데 기여한다. 하지만, 높은 석탄과 바이오매스 사용 비율은 대기오염물질 배출을 늘리는 쪽으로 기여할 것으로 보인다. 이와 함께 고려하여야 할 사항은 단위에너지 사용 시의 대기오염물질의 배출량(배출계수)이다. 이를 다음 장에서 다루었다.

3. 북한의 대기오염물질 배출과 농도 특성

우리나라의 대기오염물질 배출량 자료는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 먼지(TSP), 미세먼지(PM₁₀), 일산화탄소(CO), 휘발성유기화합물(VOC), 암모니아(NH₃)에 대하여 제시되어 있다. 그 가운데 대기오염도에 큰 영향을 미치는 황산화물, 질소산화

물, 일산화탄소에 대한 북한의 배출량 자료를 정리하였다. 황산화물은 대부분 아황산가스(SO₂) 형태로 배출되므로 아황산가스 배출량을 검토하였다. 또한, 아황산가스와 이산화질소의 평양 농도 추이를 검토하였다.

3.1 NO_x

그림 5는 남한과 북한의 NO_x 배출량을 나타낸다. 1981년 남한과 북한의 NO_x 배출량은 동일하였다. 하지만, 그 후 20년 동안 남한의 NO_x 배출량은 급격히 증가했지만 북한의 NO_x 배출량은 적지만 감소하였다. 그 결과 2003년 남한의 NO_x 배출량은 북한의 약 8배에 이르렀다. 이러한 차이는 두 가지 원인에 의해 발생한다. 첫째는 2장에서 제시한 것처럼 남한과 북한의 에너지 사용량 차이에 의한 것이다. 두 번째 원인은 에너지 사용 효율성의 차이이다. 1차 에너지 소비량에 따른 북한의 2003년 NO_x 배출량은 13.56 GgNO_x/MTOE이다(국가통계포탈, 2010a; Ohara et al., 2007). 이는 남한의 8.04 GgNO_x/MTOE보다 더 높다(국가통계포탈, 2010a; Ohara et al., 2007). 즉 같은 에너지를 사용할 때 북한의 NO_x 발생량이 남한에 비해 많다는 것이다.

이러한 에너지 비효율성은 서울과 평양의 대기 중 NO₂ 농도에서 확인된다. 그림 6에서 보듯이 1995년, 1996년도 평양의 NO₂ 농도는 서울보다 높다. 같은 기간 남한의 1차 에너지 소비량은 각각 150.437, 165.212 MTOE이고 북한은 17.280, 15.836 MTOE이다(국가통계포탈, 2010a). 반면, 1997년과 1998년에는 평양의 농도가 서울보다 낮다. 이는 1차 에너지 소비

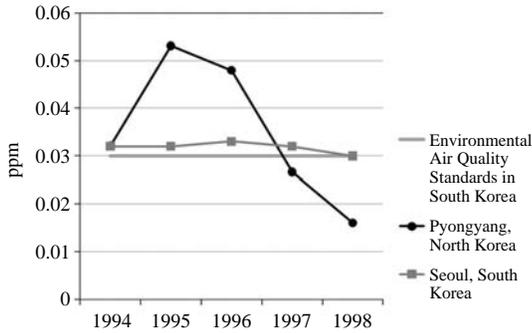


Fig. 6. Trend of the NO₂ concentration at Pyonyang and Seoul (UNEP, 2003).

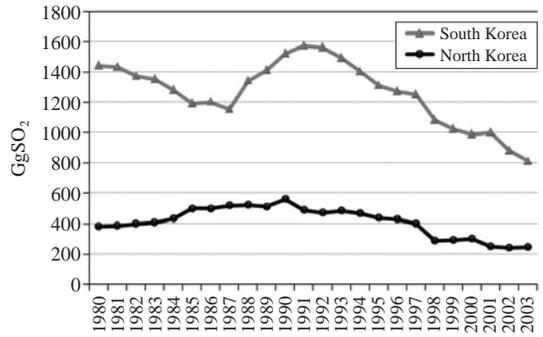


Fig. 7. SO₂ emission in South Korea and North Korea (Ohara et al., 2007).

Table 2. NO_x emission in North Korea. (unit: tonne)

	2001	2003
NO _x	33,766 ¹⁾ 223,000 ³⁾	69,087 ²⁾ 218,000 ³⁾

¹⁾Kim (2003), ²⁾Kim and Kim (2008), ³⁾Ohara et al. (2007)

량과 그로 인한 NO_x의 절대배출량이 북한이 남한보다 낮기 때문으로 보인다.

국내와 국외 NO_x 배출량 관련 연구 결과는 표 2에 정리하여 비교하였다. 국내와 국외 관련 연구 결과 사이에 큰 차이가 있다. 이는 해당 연구들이 사용한 에너지 통계 자료와 북한에서의 에너지 사용 특징이 다르게 적용되어 발생된 차이로 판단된다.

3.2 SO₂

SO₂ 배출량 또한 남한과 북한의 NO_x 배출 특징과 비슷한 모습을 보인다. 그림 7을 통해 1980년부터 2003년까지 남한의 SO₂ 배출량은 북한보다 많음을 확인할 수 있다. 하지만, 배출량을 에너지 사용량으로 나눈 1차 에너지 사용량에 대한 SO₂ 배출량의 비는 2003년 북한 15.18 GgSO₂/MTOE로 남한 3.77 GgSO₂/MTOE보다 높다(국가통계포탈, 2010a; Ohara et al., 2007). 이는 동일한 에너지를 사용할 때 북한이 남한보다 약 4배 많은 SO₂를 배출하는 것을 의미한다. 이와 같은 경향은 화석연료를 사용한 전력 생산부분에서의 SO₂ 배출량 추이에서도 알 수 있다. 단위 열량의 화석연료를 사용하여 전력을 생산하였을 때, 2000년 북한의 SO₂ 배출량은 8.61 GgSO₂/MTOE이다(국가통계포탈, 2010c; Ohara et al., 2007). 이는 남

한의 0.38 GgSO₂/MTOE보다 많다(국가통계포탈, 2010c; Ohara et al., 2007). 북한의 석탄을 이용한 전력 생산 구조와 대기오염방지설비 사이의 인과관계는 정확히 파악할 수 없으나 화석연료를 사용한 전력 생산과정에서 대기관리가 잘 이루어지지 않음을 짐작해 볼 수 있다. 실제로 남한의 유연탄발전소는 배연탈황설비(Flue Gas Desulfurization, FGD)를 설치, 가동하여 SO₂ 배출을 효율적으로 관리하고 있다. 발전시설 관리는 SO₂ 배출량 관리에 중요한 부분이다. 이와 함께 질소산화물의 관리를 위해 배연탈질설비의 일종인 선택적 촉매 환원(Selective Catalytic Reduction, SCR) 설비도 사용되고 있다.

그림 7에서 또 하나 알 수 있는 것은 남한은 에너지 사용량의 증가에도 불구하고 SO₂ 배출량이 감소하고 있다는 것이다. 이는 엄격한 배출규제를 통해 SO₂를 효과적으로 관리하고 있기 때문이다. 일차적으로 1980년대 말부터 청정연료, 저황연료의 공급확대를 통해 SO₂ 발생량을 감소시켰다. 그 후 1999년부터 황산화물 배출기준을 더욱 강화하였다.

북한의 SO₂ 배출량 역시 1990년 이후 꾸준히 감소하고 있다. 그러나 이는 대기오염물질 제어시설을 통해 배출량을 줄인 남한과 달리 에너지 사용량 감소의 결과이다. 많은 산업시설과 제어장치가 없는 소각 시설로 인하여 북한 도시의 대기환경문제(SO₂, NO₂ 배출, 그로 인한 산성비 발생)는 심각하였다. 하지만, 에너지 공급 감소와 그로 인한 산업규모의 감소로 북한의 도시 대기환경이 개선되었다(Nautilus Institute, 2000). 그림 8은 SO₂의 남한 대기환경기준, 서울시 대기 중 SO₂ 농도와 함께 평양 주요지역의 대기

중 SO₂ 농도를 보여준다. 지역에 따라 차이가 있으나 1990대 후반 평양 대기 중 SO₂ 농도가 전반적으로 감소함을 알 수 있다.

국내와 국외 SO₂ 배출량 관련 연구 결과는 표 3에 정리하여 비교하였다. 표 2와 마찬가지로, 국내와 국외 관련 연구 결과 사이에 차이가 있다. 이는 역시, 북한 관련 자료의 제한성으로 인하여 연구 과정에 많은 불확실성이 존재하여 발생된 차이로 판단된다.

3.3 CO

그림 9와 10은 각각 북한과 남한의 분야별 CO 배출량 추이를 보였다. CO는 다른 대기오염물질과 마찬가지로 북한보다 남한의 배출량이 많다. 김경술(2003)은 그림 9에서 보듯이 산업과 가정 분야에서 대부분의 CO가 배출됨을 보였고, 이는 석탄과 바이오매스

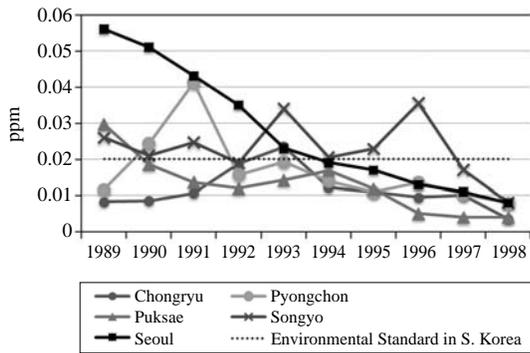


Fig. 8. Trends of the SO₂ concentration at Pyongyang and Seoul (UNEP, 2003).

Table 3. SO₂ emission in North Korea. (unit: tonne)

	2001	2003
SO ₂	379,846 ¹⁾ 249,000 ³⁾	145,849 ²⁾ 244,000 ³⁾

¹⁾Kim (2003), ²⁾Kim and Kim (2008), ³⁾Ohara et al. (2007)

Table 4. CO emission in 2000 (Streets et al., 2003).

	Industry	Domestic biofuels	Domestic fossil fuels	Transport	Biomass burning	Total
North Korea	1105.80 (31.1)	1426.34 (40.1)	3.29 (0.1)	836.56 (23.5)	183.66 (5.2)	3555.65 (100)
South Korea	704.69 (25.0)	88.36 (3.1)	5.96 (0.2)	1856.91 (65.8)	167.69 (5.9)	2823.61 (100)

(신탄)의 연소에 의한 것으로 분석하였다. 그러나 구체적으로 바이오매스를 구분하지는 않았다. 한편, 남한은 이동오염원에서 CO의 대부분이 배출되며, 산업과 가정 분야에서는 많은 양이 배출되고 있지 않다.

Streets et al. (2003)는 아시아 지역 대기오염물질 배출량에 관한 연구에서 바이오매스의 사용을 구체적으로 분류하여 고려하였다. Streets et al. (2003)의 결과를 바탕으로 한 표 4는 그림 9의 총 CO 배출량과 차이를 보인다. 표 1에서 보듯이 Streets et al. (2003)의 연

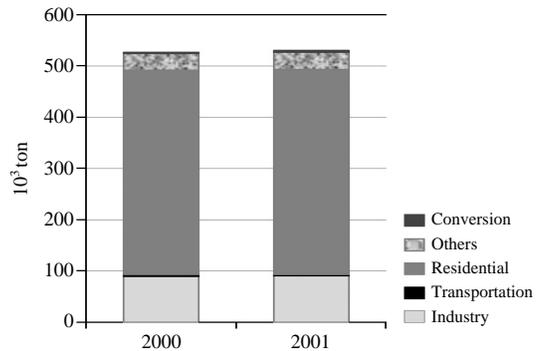


Fig. 9. CO emission in North Korea (Kim, 2003).

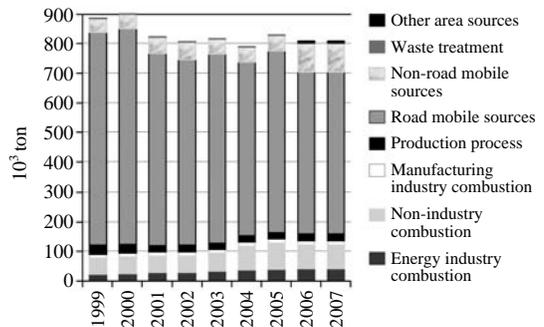


Fig. 10. CO emission in South Korea (Environmental Statistical Information, 2010).

Table 5. Fuel use and vegetation burned in Asia in 2000 (Streets *et al.*, 2003).(unit: 10¹⁵ J)

	Industry			Domestic			Transport	Power			Biomass burned (Tg)		
	Coal	Oil	Other	Coal	Biofuel	Other	All fuels	Coal	Oil	Other	Savanna/ Grassland	Forest	Crop residue
South Korea	232	1042	281	0	13	810	1175	752	373	230	0	0	2
North Korea	651	12	21	0	294	24	57	199	0	0	0	1	1

Table 6. Ambient air quality standards by class in North Korea (UNEP, 2003).(unit: mg/m³)

Substances	Special class		1st grade		2nd grade		3rd grade	
	Daily maximum	A day average	1	2	1	2	1	2
Suspended matters	0.05	0.03	0.1	0.05	0.3	0.1	0.5	0.2
SO ₂	0.05	0.03	0.1	0.05	0.3	0.1	0.5	0.15
NO ₂	0.04	0.01	0.06	0.03	0.1	0.04	0.15	0.05
CO	3.0	1.0	4.0	2.0	6.0	3.0	15.0	10.0
Oxidant	0.05	0.02	0.1	0.03	0.12	0.04	0.14	0.06

Special grade: natural reserves/areas under particular concern by the country

1st grade: resort, health cure site, recreation site, tourist site

2nd grade: residential area

3rd grade: industrial area

구에서는, 북한의 CO 배출량이 남한의 배출량에 비해 높다. 특히 북한 전체 CO 발생량의 40%가 가정에서 사용된 바이오연료에 의해서 발생되었다.

그림 9에서 사용한 2000년 북한의 CO 배출량 자료는 에너지원별로는 석탄, 석유, 기타로 구분하였고, 발생원별로는 산업, 수송, 가정, 기타, 전환으로 구분하였다. 즉, 김경술(2003) 연구에서 사용된 북한 에너지 통계에서 사실상 바이오매스(신탄)를 적절히 다루지 못하고 있다. 그러므로 그림 9의 CO 배출량 해석에 주의해야 한다(김경술, 2003). 반면, 표 1에서 CO의 발생원은 가정에서 사용되는 바이오연료를 따로 구분하였고 소각시설이나 특별한 장치 없이 외부에서 소각되는 바이오매스(biomass burning)도 고려하였다.

표 5는 표 4의 연구에서 사용된 남한과 북한의 연료 사용량이다. 여기서 2000년 남한과 북한의 총 연료 사용량은 각각 4908 × 10¹⁵ J (117.226 MTOE), 1258 × 10¹⁵ J (30.047 MTOE)이다(Streets *et al.*, 2003). 통계청에서 발표한 2000년 남한과 북한의 1차 에너지 소비량은 각각 192.887, 15.687 MTOE이다(국가통계포탈, 2010a). 그림 2에 제시되어 있는 북한 1차 에너지 소비량 결과와 달리 표 2는 에너지원별, 소비영역별로 상세하게 구분된 에너지통계량을 발표하고 있

다. 이렇게 북한의 대기오염물질 배출량을 추정하기 위해 반드시 선행되어야 하는 과정(에너지원과 발생원의 구분, 에너지 사용량, 사용되는 배출계수)에서 연구마다 차이가 존재한다. 이러한 차이가 대기오염물질 최종 배출량에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 대기오염물질 배출량 산정 결과를 사용할 때에는 사용한 원자료(종류별 에너지 사용량 등)에 대한 신뢰성과 일관성 검증이 필요하다.

3.4 북한의 대기환경 기준

표 6은 북한의 대기환경기준이다. 남한 대기환경기준에 제시되어 있는 납과 벤젠에 관한 기준은 없다. 반면 지역을 목적에 따라 네 단계로 구분하여 각각 대기환경기준을 적용하고 있는 점이 남한과 다르다. 이처럼 목적에 따라 대기환경기준을 다양하게 적용하는 사례는 미국이나 중국에서도 나타나고 있다. 남한과 북한의 대기환경기준은 시간에 따른 적용도 다르다. 오염물질의 특성에 따라 노출시간에 따른 인체 유해성이 다르게 나타난다는 점을 고려하여 남한의 대기환경기준은 시간에 따른 기준을 세분화하였다. 이에 비해 북한의 대기환경 기준은 하루 최고 농도와 하루 평균 농도만을 제시하고 있다. 북한의 가정

영역에 적용되는 일평균 대기 환경 기준은 SO₂ 0.04 ppm, NO₂ 0.02 ppm이다(mg/m³ 단위를 25°C, 1기압을 기준으로 ppm 단위로 변환함). 이는 남한의 0.05 ppm, 0.06 ppm보다 낮다.

4. 요약

북한은 심각한 에너지 공급난을 겪고 있다. 이는 주요 에너지원인 석탄의 생산량 한계와 부족한 원유도입량 때문이다. 그 결과 바이오매스에 대한 의존도가 높아졌다. 수력발전을 통한 전력 생산과 적은 에너지 사용량은 대기오염물질을 줄이는 데 기여하였다. 실제로 북한의 SO₂, NO₂ 배출량은 남한에 비하여 적다. 남한의 경우 에너지 사용량이 증가하지만, 대기오염물질배출량은 감소한다. 반면, 북한은 에너지 사용량과 대기오염물질배출량이 함께 감소한다. 에너지 사용량에 따른 SO₂, NO₂ 배출량 또한 북한이 남한보다 많다. 따라서 북한은 대기오염물질 관리에 열악한 구조임을 알 수 있다. 특히, 이러한 특징은 평양과 서울을 기준으로 한 SO₂, NO₂ 농도에서도 확인된다.

북한은 심각한 대기오염문제를 발생시키는 바이오매스를 상당량 사용하고 있다. 하지만, 이에 대한 정확한 자료가 부족하다. 그로 인하여 많은 양이 바이오매스에서 발생하는 CO의 신뢰성이 떨어진다. 바이오매스 연소는 CO뿐만 아니라 휘발성유기화합물과 유기탄소(OC), 원소상탄소(EC)와 K⁺ 등의 입자상 성분도 다량 배출하는 것으로 알려져 있다(Lee and Kim, 2007). 이는 인체 위해성 관점에서도 중요하다.

특히 최근 수도권의 대기환경에 미치는 영향에서 생체소각의 영향이 상당히 큰 것으로 여러 연구결과에서 제시하고 있다(Kim, 2010). 따라서 남한 대기환경에 북한 대기오염물질이 미치는 영향에 대한 정량적인 연구와 함께 북한의 에너지 사용에 대한 정확한 자료가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(RACS_2010-3006)의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

국가통계포탈(2010a) 북한 1차 에너지 총소비량 및 1인당 소비량 www.kosis.kr (accessed on 13 September, 2010).

국가통계포탈(2010b) 북한 원유도입량 및 정유능력 www.kosis.kr (accessed on 13 September, 2010).

국가통계포탈(2010c) 북한 발전량 www.kosis.kr (accessed on 13 September, 2010).

김경술(2003) 통일 한국시대에 대비한 남북 환경협력 활성화 전략 연구·에너지부문(2차년도), 에너지경제연구원, 의왕.

박승규(2000) 최신 북한의 이해, 학문사, 서울.

에너지경제연구원(2006) 동북아 에너지협력 연구- 동아시아에너지시장 분석 연구: 석유산업, 정책연구보고서, 의왕.

에너지경제연구원(2007) 동북아 에너지협력 연구- 동아시아에너지시장 분석 연구: 석탄산업, 정책연구보고서, 의왕.

통계청(2008) 북한의 주요통계지표, 대전.

환경부(2005) 수도권 대기환경관리 기본계획, 과천.

환경부(2009) 대기환경월보 2009년 2월~12월, 과천.

환경부 환경통계포탈(2010) 일산화탄소 배출량 stat.me.go.kr (accessed on 27 January, 2011).

BP(2010) BP statistical review of world energy June 2010 (available at www.bp.com/statisticalreview).

D'Apote, S.L.(1998) IEA Biomass energy analysis and projections, Proceeding of biomass energy: Data, analysis and trends, 1998, Paris, 151-180.

IEA(International Energy Agency)(2010) online data services, Energy statistics of non-OECD countries (2010 edition) http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp (accessed on 27 September, 2010).

Jin, S.H. and J.W. Kim(2005) A study on the state of local air pollution in North Korea: focusing on rural, urban and industrial area, Korea Environmental Policy and Administration Society, 13(2), 117-141.

Kim, Y.M. and J.W. Kim(2008) A study on the estimation of air pollutants emission for North Korea, Korea Environmental Policy and Administration Society, 16(2), 151-177.

Kim, Y.P.(2006) Air pollution in Seoul caused by aerosols, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 22, 535-553. (in Korean with English abstract)

Kim, Y.P.(2010) Analysis of the trend of atmospheric PM10 concentration over the Seoul Metropolitan Area between 1999 and 2008, J. Environmental Impact Ana-

- lysis, 19, 59-74. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.Y. and Y.P. Kim (2007) Source apportionment of the particulate PAHs at Seoul, Korea: impact of long range transport to a megacity, *Atmospheric Chemistry Physics*, 7, 3587-3596.
- Nautilus Institute (2000) The DPRK energy sector: Estimated year 2000 energy balance and suggested approaches to sectoral redevelopment, Berkely, USA.
- Ohara, T., H. Akimoto, J. Kurokawa, N. Horii, K. Yamaji, X. Yan, and T. Hayasaka (2007) An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020, *Atmospheric Chemistry Physics*, 7, 4419-4444.
- Streets, D.G., T.C. Bond, G.R. Carmichael, S.D. Fernandes, Q. Fu, D. He, Z. Klimont, S.M. Nelson, N.Y. Tsai, M.Q. Wang, J.-H. Woo, and K.F. Yarber (2003) An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000, *J. Geophysical Research*, 108, D21, 8809, doi:10.1029/2002JD003093.
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2003) DPR KOREA - State of the environment 2003, Pathumthani, Thailand.
- WHO (World Health Organization) (2000) Addressing the links between indoor air pollution, household energy and human health, based on the Meeting report of WHO-USAID global consultation on the health impact of indoor air pollution and household energy in developing countries, held in Washington DC, USA, 3-4, May, 2000.
- Zhang, Q., D.G. Streets, G.R. Carmichael, K.B. He, H. Huo, A. Kannari, Z. Klimont, I.S. Park, S. Reddy, J.S. Fu, D. Chen, L. Duan, Y. Lei, L.T. Wang, and Z.L. Yao (2009) Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 5131-5153.