

# 고압 전력기기에서의 SF<sub>6</sub> Gas 사용단계별 배출특성에 관한 연구

論 文

57-12-10

## SF<sub>6</sub> Emission Characteristics at High Voltage Equipments in use-phase Stage

朴正珠\* · 趙連行†  
(Jung-Ju Park · Yeun-Haeng Cho)

**Abstract** - Sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) is a gaseous dielectric used in high voltage electrical equipment such as an insulator or arc quenching medium in the transmission and distribution of electricity. however, SF<sub>6</sub> is one of the greenhouse gases (GHG) with a global warming potential that is 23,900 times greater than that of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). for this reason, SF<sub>6</sub> emissions in electric equipment shall be controlled to reduce GHG and improve cost-effective use of SF<sub>6</sub> for economical benefits. Until recently there has not been any investigation on SF<sub>6</sub> emission characteristics and inventory in Korea. To understand emission characteristics during the use-phase, the scope of this study was limited to the following closed pressure system equipment from 10 substations in Korea. This study highlights (1) the investigation of sampling/analysis methodology for SF<sub>6</sub> emissions in high voltage equipment, (2) the estimation of SF<sub>6</sub> emissions in the use-phase, and (3) the comparison between the emission ratio and the mass-balance applied to inventory study. According to this study, the majority of emissions were related to electric equipment nameplates and the rest of the emissions were related to the handling of SF<sub>6</sub> during operations. from this result, emission ratios estimated from this study were similar; GIS was 14% and GCB was 13%, as maintenance process conditions were the same as manual process conditions for both equipment.

**Key Words** : Sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>), SF<sub>6</sub> life cycle, High voltage equipment

### 1. 서 론

우리나라는 OECD 국가이자 에너지 소비량 세계 9위, 온실가스 배출량 세계 10위의 국가로서 향후 2013년 post-Kyoto 발효시 국가 감축의무 부담을 가진다는 것이 세계적인 견해이다. 특정 산업체에서만 사용되고 있는 고가의 육불화황(Sulfur Hexafluoride : SF<sub>6</sub>)은 교토의정서에서 정의하는 6대 온실가스 중 지구온난화지수(Global Warming Potential)가 가장 높은 물질이다.

그러나 온실가스에 대한 우리나라의 현실은 현재까지 환경기준항목을 중심으로 규제대상 물질에 대한 연구만이 진행되어 왔을 뿐, 규제대상 물질이 아닌 6대 온실가스에 대해서는 연구가 미진한 상태이다.

더욱이, Non-CO<sub>2</sub> 온실가스의 경우 배출특성 및 시험방법에 대한 기초연구조차 이루어지지 않고 있다. Post-Kyoto 발효 시 감축의무 국가로 합리적인 저감량을 산정 받기 위해서는 대응전략 수립이 필요하나, 이를 뒷받침할 전력분야에서의 SF<sub>6</sub> 배출량 산정과 관련한 시험평가 기술 및 기준이 공식적으로 확립되어 있지 않아, 국내 SF<sub>6</sub> 배출량 산정 및 저감방안을 수립하는데 있어 매우 큰 장애요인이 되고 있다.

### 2. 본 론

SF<sub>6</sub>는 전력기기의 전기절연 (electrical insulation)과 전류 차단 (current interruption)의 목적을 가지고 송·배전처에서 이용되며, 주로 초·고압 전력기기인 GIS와 GCB에 사용된다. 전력기기에서의 배출은 전력기기 종류에 따라 배출특성은 다르게 나타난다. Closed pressure system은 sealed pressure system 배출특성과는 달리 사용단계인 설치 및 유지/보수 작업 시 배출이 일어난다[3].

본 연구에서는 전력기기 종류 중 80% 정도의 SF<sub>6</sub>가 배출되는 closed pressure system인 고압전력기기 GIS와 GCB를 대상으로 제조단계 및 폐기단계에서보다 복잡한 배출 형태를 가지고 상당량의 SF<sub>6</sub>가 배출되는 사용단계에서의 배출을 직접측정법 (Bagging method)을 이용하여 측정하여 배출량을 산정하였다.

#### 2.1 측정방법

서울과 수도권 변전소를 제외한 전력기기의 설치 및 유지/보수 계획에 있는 변전소 10개소를 대상으로 각 변전소에 설치된 10대의 전력기기에서의 배출량을 실측하였다. 전력기기 사용 중에는 접근이 불가피하므로 휴전 일정이 계획된 변전소의 고압전력기기 345 kV 또는 154 kV의 GIS 5대와 GCB 5대를 선정하여 각 작업별 배출여부 및 배출량을 실측하였다.

전력기기 life cycle 단계 중 사용단계에서 배출될 수 있는 SF<sub>6</sub> 배출여부를 측정하기 위해 tedlar bag을 이용한 직

\* 非 會 員 : 서울시립대학교 환경공학부

† 교신저자, 正 會 員 : 한국산업기술시험원 환경기술본부

E-mail : jyh@ktl.re.kr

接受日字 : 2008年 9月 23日

最終完了 : 2008年 10月 9日

접 측정법을 사용하였다. 이 방법은 IEC 6080과 NIOSH method 6602에서 제안하는 방법으로 주요 배출부위를 밀봉하여 직접 측정하는 Bagging method이다.

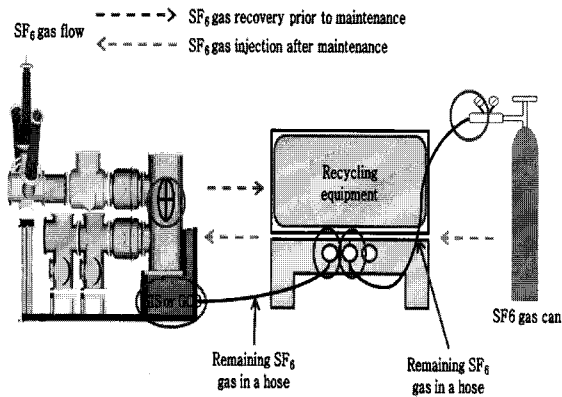


그림 1 사용단계에서의 SF<sub>6</sub> 샘플링 모식도  
Fig. 1 A schematic diagram of SF<sub>6</sub> sampling system in use-phase

2.2 전력기기 사용단계에서의 배출량 평가

1) 사용단계에서 배출되는 SF<sub>6</sub>의 배출특성을 알아보기 위해 본 연구에서 제시한 시험방법을 통하여 사용(전력기기 설치 및 유지/보수)단계 작업별로 배출량을 측정하였다. 각 작업에서 측정된 SF<sub>6</sub> 배출량은 점검창 개방 시 다량의 순도 높은 SF<sub>6</sub>의 배출로 인해 가장 높게 나타났으며, 진공 작업에서 배출량이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이는 정밀 점검 중에 전력기기에 잔류하는 SF<sub>6</sub>와 외기가 섞여 진공펌프 기기를 통해 배출되기 때문이다. 회수 및 주입 작업 시 그 배출량이 미미하여 SF<sub>6</sub> 배출경향을 판단하기는 어려웠다.

2) 전력기기 사양과 SF<sub>6</sub>의 배출량이 비례함을 살펴 볼 수 있었다. 이는 동일한 작업 조건하에서 전력기기 유지/보수가 수행되었으며, 동일한 시험방법에 의해 배출량을 산정하였기 때문이라 판단된다.

3) 배출량 산정을 위해 수행된 변전소 10개소의 전력기기를 측정하면서 전력기기 명판에 표기된 정격압력에 의한 SF<sub>6</sub> 용량과 실제운전압력에 의한 SF<sub>6</sub> 용량이 서로 다를 수 있었다[2]. 편차는 3%에서부터 7%까지 나타내었다. 측정된 전력기기 중 최고 32 (kg) 정도의 SF<sub>6</sub> 가 더 충전됨을 알 수 있었으며, 이를 이산화탄소로 환산할 경우 약 753 (tCO<sub>2</sub>)정도로 산정되었다.

2.3 전력기기 형태별 배출률 평가

전력기기 GIS에서 SF<sub>6</sub>의 평균 배출률은 14%의 값이 산출되었으며, GCB에서 평균 배출률은 13%의 값을 얻을 수 있었다. 5대의 GIS에서 모두 같은 14%를, 5대의 GCB에서 모두 같은 13%의 배출률이 산출되었다. 이는 동일한 작업 매뉴얼을 가지고 유사한 작업 조건하에서 측정이 수행되었기 때문이라 판단된다.

GIS가 SF<sub>6</sub>를 1% 더 배출시키는 원인을 고찰해 본 결과 두 가지 원인을 들 수 있었다. 첫 번째 원인은 SF<sub>6</sub>의 특성

상 그 자체가 무거운 가스라는 것이며, 두 번째 원인으로 같은 조건하에 SF<sub>6</sub>의 회수율이 GCB 보다 낮은 회수율을 가지기 때문이라 사료된다.

2.4 SF<sub>6</sub> life cycle 단계별 inventory 평가

국내 적용 가능한 inventory 방법론을 구축하기 위해 국내 변전소를 대상으로 물리적 경계를 설정하였고, 배출원 단위는 설비 단위 (facility unit)인 전력기기별로 설정하였다.

Inventory 구축을 위한 첫 시도는 실제 사업장에 간편하게 적용할 목적을 가지고 접근하였으며, 11개의 관리처별로 분류하여 변전소별 배출량을 산정하려 하였다. 이러한 접근은 mass-balance inventory 구축은 가능하였으나, emission factor inventory 구축은 불가능 하였다. 본 연구를 통해 얻은 배출률을 적용하기 위해서는 변전소별 관리가 아닌 전력기기별 관리가 필요함을 인식하였기 때문이다.

국내 사업장 별 inventory 구축을 위한 접근방법으로 mass-balance 방법과 emission factor 방법을 연구하였으며, 최종적으로 이 두 가지 방법에 의해 산정된 배출량을 가지고 비교분석하였다. 동일한 사업장에 mass-balance 방법과 emission factor 방법을 이용하여 배출량을 산정하였으며 이 값을 비교함으로써 신뢰성을 알아보았다. 두 방법에 의한 배출량을 살펴본 결과 약 1.5%의 편차를 가지는 것으로 나타났다.

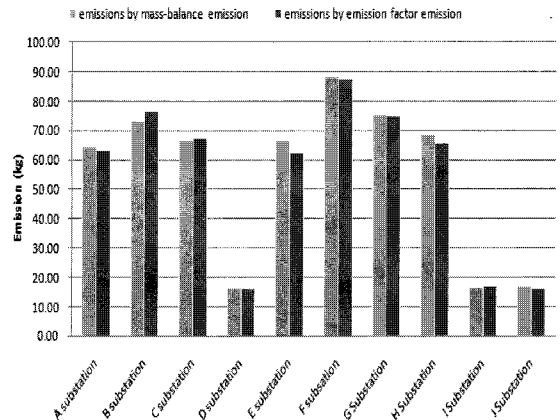


그림 2 물질수지 접근법과 배출계수 접근법에 의한 배출 SF<sub>6</sub> 배출 관련성 분석

Fig. 2 SF<sub>6</sub> emissions relativity of mass-balance method approach to emission factor method approach

3. 결 론

본 연구에서 제시한 시험방법을 이용하여 전력기기 사용 단계에서 작업별 단위로 배출되는 SF<sub>6</sub> 배출특성을 평가하였고 최종적으로 mass-balance 방법과 emission factor 방법을 inventory에 적용함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

전력기기 사용단계에서 SF<sub>6</sub>의 배출특성은 작업 규정 및 회수기술과 관련을 가지고 있음을 알 수 있었다. 즉, 유지/

보수 작업 시 배출의 대부분을 차지하는 점검창 개방 이전에 SF<sub>6</sub>의 회수정도 및 작업 시간에 따라 배출량이 결정되는 것으로 평가되었다.

각 배출 지점에서 SF<sub>6</sub> 배출량을 측정하여 배출률을 산정한 결과 GIS에 대해서는 14%를 GCB에 대해서는 13%의 배출률을 나타내었다. 전력기기 종류별 배출률의 차이를 보이는 것은 GIS와 GCB의 내부 물리적 구조의 복잡성 및 SF<sub>6</sub> 물리적 특성 때문인 것으로 판단이 된다. 본 연구에서 산정된 배출률은 전력기기 단위를 고려한 것으로 향후, 사업장 배출계수(Facility emission factor) 또는 국가 배출계수(National emission factor)로 활용하는데 보다 정확한 값을 산정할 수 있을 것이라 판단된다.

같은 사업장에 대해서 mass-balance 방법과 emission factor 방법을 적용하여 비교분석에 의한 배출량의 차이는 평균 2.8%의 차이를 나타내었다. 두 방법의 신뢰도를 높이기 위해서는 향후 두 방법에 사용될 활동 데이터(Activity data)의 관리 표준과 지침 작성이 필요할 것으로 사료된다. 특히, mass-balance 방법은 전력기기의 배출특성에 따라 활동 데이터 수집의 용이성을 가지므로 향후 사업장에서 보편적으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

우리나라의 경우 전력기기에서의 SF<sub>6</sub>의 배출은 실질적으로 SF<sub>6</sub>를 취급 및 관리하는 사업자가 서로 다르기 때문에 life cycle 단계별 실측은 불가능 하였다. 그러나, life cycle 단계별 SF<sub>6</sub>의 흐름에 의해 배출에 대한 책임이 이전되기 때문에, 이러한 연구는 가스 판매업체/제조업체, 전력기기 제조업체, 전력기기 운영업체, 장비 및 가스 폐기 업체들이 함께 수행하여야 한다고 사료된다.

이번 전력기기 SF<sub>6</sub> 배출량 조사 및 실측연구는 고압전력기기 345kV, 154kV GIS/GCB 정격전압별로 한 두/세 번의 측정을 통하여 이루어졌기 때문에 배출 형태와 특성을 반영하기에는 데이터의 신뢰성을 논의하기는 어렵다. 보다 신뢰성있는 데이터를 얻기 위해서는 전체적으로 조사대상 시설수와 측정 횟수를 확대할 필요성이 있으며, 전국적으로 충분한 조사대상 전력기기를 가지고 이에 대한 조사와 측정이 계속 보완되어야 할 것이라 사료된다.

전력기기에서의 SF<sub>6</sub> 배출 특성 상 기술적 진보에 의한 저감보다는 관리/계획에 의한 저감이 가능함을 이번 연구를 통해서 알 수 있었다. 국내 사업장에서 표준화되고 정량화될 수 있는 관리기술의 확보는 향후 Post-Kyoto를 대비하는 방안으로 활용될 수 있을 것이라 전망한다.

時間, March, 2004

- [3] Blackman, J., and Mueller, B., Managing your SF<sub>6</sub> Gas Inventory-SF<sub>6</sub> Emission Reduction Partnership Webcast, U.S. EPA, May, 2007
- [4] CAPIEL, Switchgear and SF<sub>6</sub> Gas, HV-ESDD1-R1-1.02, January, 2002
- [5] Sina, W., and Jochen, H., Reductions of SF<sub>6</sub> Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe, Ecofys, June, 2005

## 저 자 소 개



### 박 정 주 (朴 正 珠)

1977년 9월 14일생. 2005년 2월 1일 동국대학교 졸업. 2008년 8월 25일 서울시립대학교 환경공학 석사졸업. 2007년~현재 환경경제네트워크(주)  
Tel : 010-9769-5413  
Fax : 02-571-6157  
E-mail : dasol017@paran.com



### 조 연 행 (趙 連 行)

1961년 12월 3일생. 1987년 2월 1일 아주대학교 환경공학과 졸업. 1997년 2월 1일 연세대학교 환경공학 석사졸업. 1988년~현재 한국산업기술시험원 수석연구원  
Tel : 02-860-1350  
Fax : 02-860-1545  
E-mail : jyh@ktl.re.kr

### 감사의 글

본 연구는 2008년도 전력산업연구개발사업의 일환으로 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 電氣事業連合會, (社) 日本電機工業會, (社) 日本. 化學工業協會, SF<sub>6</sub> 가스의回收·再利用의促進方策について, 力·メーカー共同檢討會報告書, August, 2000
- [2] 電氣事業連合會, SF<sub>6</sub> 가스液化回收裝置による가스回收