

SF₆ Gas의 연세와 미래

최은혁 <(주)빅스네카 과장/영남대학교 전기공학과 강사>

1 서론

고기압 SF₆가스를 절연매체로 하는 대표적 전력기 기인 가스절연개폐장치(GIS: Gas Insulated Switchgear)는 높은 절연내력과 밀폐화에 의한 고 신뢰화, 보수의 간편화 그리고 초소형화, 환경조화 등의 여러 가지 장점을 가지고 있어 22[kV]급부터 765[kV]급에 이르기까지 기간계통 및 도시과밀지역의 중추변전소등의 중요거점에 적용대상이 확대 사용 운용되고 있다.

또한 최근 장기에너지 수요 예측에 의하면 21세기 중엽에는 전 세계의 에너지 수요는 현재의 약 2배에서 3배로 증가될 것으로 추정된다. 그 중에서도 전력 수요는 산업·사회·생활스타일의 변화에 의한 도시화, 전기자동차의 보급, 산업구조의 변화, 라이프스타일의 변화 등에 의해 지금도 꾸준히 상승할 것으로 예상되고, 전체 에너지 수요에 대한 전기에너지의 비율도 현재의 40[%]정도에서 50[%]이상으로 증가할 것으로 생각된다.

최근 GIS 개발에 있어 환경에 대한 관심과 규제가 높아지면서, 온실가스에 대한 규제로서 교토의정서가 정식 발효됨에 따라(2005.02) 친 환경이라는 새로운 이슈가 핵심으로 떠오르고 있다. 현재 전력기기에 사용되고 있는 SF₆ 가스는 무해하고 화학적으로 극히 안정적이며, 다른 가스들에 비해 월등한 절연성을

을 가지고 있을 뿐만 아니라 전류차단의 아크소호 능력까지 탁월하여 지금까지 개발되어 있는 대부분의 GIS 절연/아크소호 매질로 이용되어 왔다. 그러나 SF₆ 가스의 사용량 증대에 따른 환경문제가 부각됨에 따라 대표적인 온실가스의 하나인 SF₆에 대한 규제가 오스트레일리아, 캐나다, 일본 EU 등 여러 국가에서 시행되고 있다. 비록 현재 강제이행국은 아니지만 우리나라 또한 이에 자유로울 수는 없을 뿐만 아니라 향후 강제 이행국으로 될 것이 거의 확실시 되고 있다. 현재 선진국에서는 SF₆가스의 사용량 감소를 위해 다양한 방식의 대체절연 매질을 이용한 전력기기 연구/개발이 활발히 진행되고 있으며, 25.8[kV] C-GIS에 대해서는 이미 개발 및 상업화 준비가 완료된 상태이다.

이러한 관점에서 보면 현재의 절연매체로 사용 중인 SF₆의 대체물질 개발이 절실히 필요한 상태이며, 따라서 현재 전 세계적으로 이슈가 되고 있는 기후변화 협약과 우리나라의 대응과 SF₆ 대체 물질의 개발 상황 그리고 향후 SF₆의 이용방향에 대하여 기술하고자 한다.

2. 기후변화협약과 교토의정서

지구 온난화의 규제 방지를 위한 국제 협약인 기후 변화협약의 수정안으로 국제적 온실가스 감축 노력은

기술해설

1997년 12월 교토 의정서를 채택함으로써 구체적인 감축 목표를 그림 1과 같이 설정하였다. 정식명칭은 기후변화에 관한 국제연합 규약의 교토의정서(Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change)다. 의정서는 온실효과를 나타내는 이산화탄소를 비롯한 모두 6종류의 감축대상 가스(GHG greenhouse gas)의 법정 구속력을 가진 배출감소목표를 지정하고 있다. 교토 의정서 제 3조에는 2008년부터 2012년 까지의 기간 중에 선진국 전체의 온실가스 배출량을 1990년 수준 보다 적어도 5.2[%]이하로 감축할 것을 목표로 하고 있다. 구체적인 감축대상 가스와 회원국별 감축량을 살펴 보면 아래와 같다. 온실가스 중 PFCS, HFCs, SF₆는 자연계에서는 존재하지 않으며 냉매 및 세척 용도로 사용하는 물질로 인간이 합성한 가스로 알려져 있다. CO₂는 주로 에너지 사용 및 산업공정에서, CH₄는 주로 폐기물, 농업 및 축산에서, N₂O는 주로 산업공정과 비료사용으로 인하여 발생으로 배출된다.

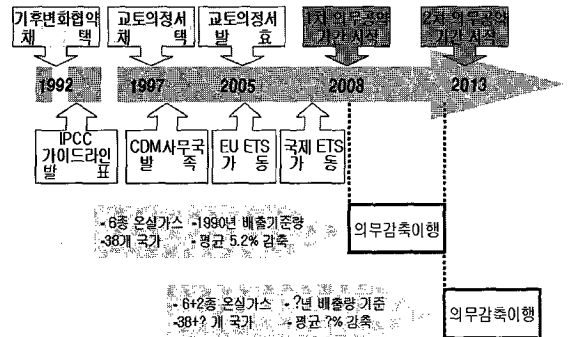
☞ 감축대상 가스

- 이산화탄소(CO₂)
- 메탄(CH₄)
- 아산화질소(N₂O)
- 과불화탄소(PFCS)
- 수소화불화탄소(HFCs)
- 육불화황(SF₆)

☞ 회원국별 감축량

- 92[%](-8[%]) : 오스트리아, 벨기에, 불가리아, 체코, 덴마크, 에스토니아, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 라트비아, 리히텐슈타인, 리투아니아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 루마니아, 슬로바키아, 슬로베니아, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국(유럽연합 15개국)

- 93[%](-7[%]) : 미국
- 94[%](-6[%]) : 캐나다, 헝가리, 일본, 폴란드
- 95[%](-5[%]) : 크로아티아
- 100[%](±0[%]) : 뉴질랜드, 러시아, 우크라이나
- 101[%](+1[%]) : 노르웨이
- 108[%](+8[%]) : 오스트레일리아
- 110[%](+10[%]) : 아이슬란드



IPCC: 기후 변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change)
 CDM: 청정개발체제

그림 1. 기후변화 협약에 의한 온실가스 감축계획

교토회의의 핵심쟁점사항은 이산화탄소 감축목표의 설정과 감축정책 및 조치의 구체화방안과 개도국에 대한 감축참여 요구 등이다. 이에 신규 OECD 회원국인 우리나라는 2008년에 국내 배출권을 거래하는 탄소시장이 도입되어 정부는 온실가스 감축사업 수행자는 감축실적에 따라 정부로부터 배출권을 발급 받고 이를 시장에 판매할 수 있다. 온실가스 감축관련 의무가 부과되는 발전회사들이 탄소배출권 시장에서 배출권을 구매해 감축실적으로 대체하고 있다. 정부는 국내 탄소시장 조성을 위해 2011년까지 700여 억 원을 지원하여, 초기 배출권 거래가 부진할 경우 정부가 CO₂ 톤당 5천원 선에서 구매하도록 결정했다. 한국은 1990~2004년 온실가스 배출량 증가율은 연평

균 4.7(%)로 OECD 회원국 중 최고 수준으로 에너지 다소비국 해당됨에 따라 향후 온실가스 감축의무 부과에 대해 선제적인 대응이 필요한 시점이다. 이에 한국은 세계 4위의 CDM 프로젝트를 추진함으로써 울산, 온산등에 위치한 사업체에서 20여건의 CDM 프로젝트 실행하고 있다.

특히, 이명박 대통령은 저탄소 녹색성장 기본법(2010.01.13) 공포하였다. 이는 세계 최초의 종합 법안으로 “저탄소 녹색성장 기본법”으로 대한민국이 녹색성장 선도국이 될 수 있는 법적, 제도적 기반이 마련됐다고 본다. 이에 이명박 대통령은 녹색성장위원회와 국무총리실 등 관계부처는 하위법령 제정과 ‘배출권거래제법’도 조속히 제정해 아시아 탄소허브 시장 육성을 위한 법제도적 기반 구축에 만전을 기해 줄 것을 당부했다. 저탄소녹색성장기본법은 기후변화·에너지 대응과 녹색기술 관련 R &D, 녹색산업 구조로의 전환과 지원, 녹색국토·도시·건물·교통, 녹색생활 등을 포괄적으로 규정하고 있는 종합법으로 오는 4월 13일부터 시행된다.

3. SF₆ 대체 물질의 개발상황

한전은 도심직 전력수요증가에 따른 지중송전선로의 대응량화와 가공송전선로의 일부 지중화 요구증대, 그리고 가공선로 대응 설비용량, 자동 재폐로 운전 등 계통의 안정적 운전을 위한 신개념의 송전서 개발의 필요성을 인식하여 362[kV] 혼합가스 절연 GIL(Gas Insulated Line) 적용계획을 발표 했다. 주요 적용사양은 정격전압 363[kV] 50[kA], 정격전류 4,000[A] 로 절연가스로 SF₆ 가스(20(%)이내)와 N₂ 가스를 이용할 계획을 가지고 있다. 또한 362[kV] 혼합가스 절연 GIL(Gas Insulated Line)의 국내 예상 시장 규모만 630억에 이를 것으로 추정하고 있다.

특히, 이웃나라 일본은 절연재 N₂ Gas, Dry-Air,

SIS을 이용하여 배전급 84[kV]미만에서는 24/36[kV] 친환경 GIS는 양산, 변전소에 상용 운전 중이며, 친환경 GIS(DAIS, SIS ; Solid Insulated Switchgear)가 개발 완료하였다. 그림 2는 현재 사용 중인 일본의 친환경 절연 제품을 보여주고 있다. 84[kV]이상의 송전급에서의 GIS에 대해서는 기술적인 문제로 크게 부각되지 않고 있으며 일본의 전략 물질이 CF3I Gas을 DS, ES, BUS, CB 등에 적용 가능성이 있다. 하지만 일본의 전략물질인 CF3I는 경제성문제로 인하여 향후 상용화가 불투명한 상태이며, 이에 일본은 대체절연가스개발보다는 컴팩트화에 의한 SF₆가스 사용량 절감 및 SF₆ 취급/회수관리 시스템 개선 및 적력설비의 상시예방시스템에 대한 연구가 더 활발히 이루어지고 있다.

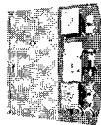


항목	TOSHIBA	HITACHI	mitsubishi
구조			
정격전압(kV)	72(84) kV 1200A 25/31.5kA	72(84) kV 1200A 25kA	72(84) kV 1200A 25/31.5kA
절연방식	차단부 : V.I 절연: Dry Air+ SIS 가스압 : 0.05Mpa-G	차단부 : V.I 절연: Dry Air VCB : 0.45Mpa-G 모선 : 0.5Mpa-G	차단부 : V.I 절연: Dry Air 가스압 : 0.15Mpa-G

그림 2. 현재 일본의 친환경 제품

현재 대체 절연재로 사용/연구되고 있는 Dry-Air(건조공기)와 I-Air(제조공기)을 현재 사용되고 있는 SF₆ 1[atm](배전급 전력기에서는 SF₆ 1.1[atm]정도로 사용)을 구대구 평등전계에서 비교하면 그림 3과 같은 특성을 실험을 통하여 얻어진다. 일정압력에서 갭 변화에 따른 I-Air가 Dry-Air에 비해 절연과파괴전압 특성이 약 1.1배 정도 높음을 확인할 수 있다. 또한 그림과 같이 SF₆ 1[atm] 절연과파괴 전압에 상응하는 모의공기와 건조공기의 압력은 약 3[atm] 정도로 확인된다.

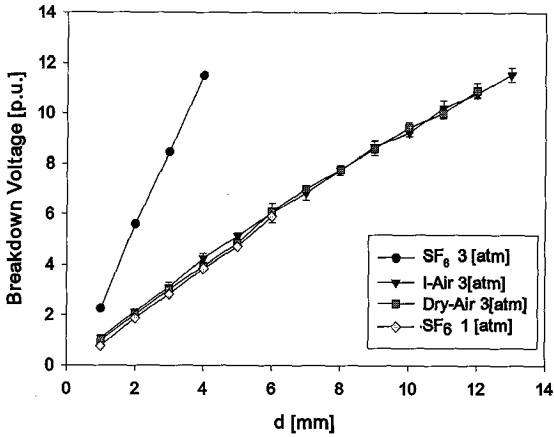


그림 3. SF₆, 모의공기 및 건조공기의 일정압력 시 갭 변화에 따른 절연파괴특성

그림 3과 같이 Dry-Air와 I-Air을 이용한 친환경 전력설비 제작시 큰 압력에 이겨내는 챔버의 설계가 요구되어 재질, 두께, 기밀성 등 난제가 많은 것으로 생각된다. 일정 전극간 거리에서 압력만으로 SF₆의 절연파괴전압에 상응하는 Dry-Air 및 I-Air의 압력을 고려하여 설계에 반영하여 압력과 체적을 동시에 증대시킬 경우 현재 도심지 전력수요증가에 따른 지중송전선로의 대용량화와 가공송전선로의 일부 지중화 요구증대에 반하는 결과를 낳게 된다. 이에 친환경 절연재를 이용한 전력설비 개발에는 설비의 절연설계 변경과 교체절연재개발을 통하여 우리나라에서는 효성중공업이 배전급 Dry-Air gas 절연 C-GIS 개발(25.8kV 25kA 2000A C-GIS 개발에 성공하였으며 상용화 단계에 있는 것으로 알려져 있다. 이에 대체재질의 절연특성에 대한 기술적 진보와 중전기제품의 국제경쟁력 한층 강화되었다.

하지만 이러한 친환경 대체 절연재 개발에도 불구하고 송전급 및 향후 미래 고온 초전도 및 저온 전력설비에 적용 가능한 대체 절연물의 개발에 난항을 겪고 있다.

4. SF₆의 향후 이용 방향

위에서 현재 개발 및 운용 중에 있는 친환경절연재를 이용한 전력설비들과 송전급 및 고온 초전도 절연재에 대한 문제점에 대하여 열거하였다. 향후 교토의 정서에서 정한 온난화 가스중 하나인 SF₆의 사용량 감축과 재회수기술 등은 점진적으로 개발과 기술발전이 있을 것이라 기대된다. 하지만 현재 사용 중인 친환경절연가스인 Dry-Air보다 절연내력이 3배 이상인 SF₆ 가스의 사용을 송전급 및 향후 개발되는 초고압 전력설비에 사용을 대체 절연재 없는 상황에서 억제할 수 있는 방법은 없을 것이라 사려된다.

따라서 SF₆의 향후 이용방향과 잘 알려지지 않았지만 현재 연구되고 있는 액체 SF₆(LSF₆)의 특성을 소개하고자 한다.

LSF₆의 연구는 SF₆가스의 온도변화에 따른 절연파괴전압특성을 연구(대구영남대학교 교수 이광식 연구팀)에서 침전극 전극 주위를 둘러싸는 경우 절연파괴전압이 크게 상승함에 착안하여 실험하게 되었다. 그림 4는 각종 전극을 LSF₆에 함침시킨 경우의 갭 변화에 따른 절연파괴특성 나타내었다. 그림과 같이 각 전극형상에 대하여 전극간 거리에 따른 절연파괴전압 변화율은 상이하지만, 모든 전극에서 갭의 증대에 따라 상승경향을 보여준다.

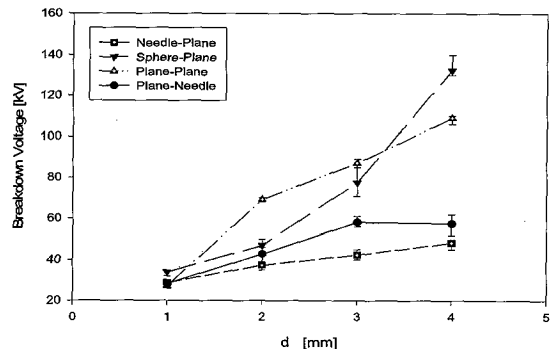


그림 4. LSF₆에서 전극 형상에 따른 절연파괴 특성

갭 간격이 1(mm)에서는 각 형태의 전극 절연파괴 전압이 거의 같게 나타난다. 이것은 단간극의 경우이므로 불평등성이 둔화되고 상대적으로 평등성이 큰 경우이기 때문이다. 또한 준평등 전계 형성 전극인 구대평판과 평판대평판 전극에서의 절연파괴 값은 표1과 같다.

표 1. LSF₆에서 구대평판전극과 평판대평판전극의 절연파괴전압

d(mm)	1	2	3	4
S-P(kV)	34.0	48.0	81.0	130.0
P-P(kV)	27.2	69.2	87.2	109.0
평균(kV)	30.6	58.6	84.1	119.5

구대평판 및 평판대평판 전극의 경우는 평판대침 및 침대평판에 비하여 갭 길이의 증대에 따라 더욱더 높게 나타나는데 이것은 평판대평판 및 구대평판 전극은 본 연구의 갭길이 범위에서는 평등성을 크게 유지하므로 불평등성이 큰 평판대침과 침대평판 전극보다 높게 나타나게 된다. 여기서 갭 길이가 4(mm)에서는 구대평판이 평판대평판 전극보다 높게 되는 것은 구대평판 및 평판대평판 전극의 평등성은 큰 차이가 없으나 기포효과가 평판대평판의 경우가 더 크게 작용함에 기인한다고 판단된다.

평판대침과 침대평판 전극의 관계를 보면 평판대침 전극이 높게 나타나는데 이는 코로나 방전이 어렵게 발생하는 전극구조이며, 액체 발생하는 SF₆ 기포가 평판대침전극의 경우가 침대평판전극보다 전극 최단 거리 및 전극 내에 농일 확률이 크지만 LSF₆의 기포는 SF₆ 가스이므로 소호능력이 극히 왕성하여 상대적으로 침예성이 상대적으로 크게 낮은 평판대침전극은 코로나가 발생하기 어렵게 되어 절연파괴전압이 높게 나타나게 되는 것이다.

또한 지금까지 초전도 절연재로 많이 연구되어 왔던 액체질소(LN₂)와 LSF₆의 절연파괴전압을 그림

5에서 비교하였다. LN₂에서 전극사이에 존재하는 기포는 N₂이며 기포의 위치는 Gradient Force와 Floating Force에 의하여 결정되면 구대평판전극보다 평판대평판전극사이에 정체기포가 많이 존재하여 상대적으로 절연내력이 낮은 N₂에 의하여 절연파괴 전압이 낮게 나타난다. 하지만 LSF₆의 평판대평판 전극사이에 존재하는 기포는 절연내력이 우수한 SF₆ 가스임으로 LN₂와 반대의 현상의 구간도 있음을 보여주고 있다.



사진 1. 실제 평판대침전극시 LSF₆내의 기포발생

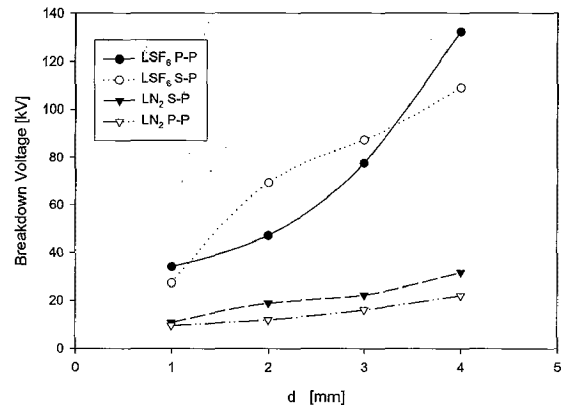


그림 5. LSF₆와 LN₂의 평판대평판과 구대평판 전극의 절연파괴전압 비교

위의 그림 4와 그림 5에서 확인한 바와 같이 지금까지 연구되어 왔던 어떤 절연체보다 우수한 절연성을 가지고 있는 LSF₆의 특성을 보여주고 있다. 아래 표 2는 기존에 연구되고 있는 여러 가지 절연체의 절연파괴전압을 갭거리 1(mm) 침대평판전극에서 측정한 값을 정리한 표이다. 가장 널리 사용되고 있는 대표적인 SF₆ 가스의 경우는 질소에 비하여 약 2배 이상의 절연내력을 가지고 있으며, 일반적으로 알려진 것과 같이 아크소호능력이 어떤 가스보다 우수하여 절연체로 가장 많이 쓰이고 있다. 극저온 초고압 전력설비의 절연체로 많은 연구가 이루어지고 있는 LN₂보다 LSF₆의 절연내력을 2.5배 이상이며, N₂의 액화점보다 낮은 액화점을 가지고 있는 SF₆는 경제적인 측면에서도 N₂보다 우수함을 알 수 있다.

표 2. 침대평판 전극에서의 각종 절연체의 절연파괴전압

	N ₂	LN ₂	SF ₆ (atm)			LSF ₆
			4	5	6	
절연파괴전압(kV)	6	11	12	13	16	28

5. 맺음말

현재 전력기기에 사용되고 있는 SF₆는 인간에서 무해하지만, 공기 중으로 배출되었을 때 공기와 반응하여 황산화물로 변화하여 세계적으로 SF₆의 사용이 문제화 되고 있는 시점에서 가스보다 더 안정한 LSF₆를 이용한 전력설비에 적용이 가능할 것이며, 고온 초전도 기술에 접목될 때 저온 영역을 보완하여 열적, 전기적 절연물로 사용이 기대된다.

마지막으로 이 글을 읽는 독자들에게 SF₆의 단점을 보고 무조건 대체 절연물개발을 역점을 두시지 마시고 현재 사용 중인 SF₆의 신뢰성과 안정성을 향상시키는 많은 시도로 원자력과 같이 “必要-惡”의 관점에서 SF₆ 가스를 공기 중의 온실가스만 규정하지 말고 향후 전력산업을 한국의 미래 동력 전락사업으로 키울 수 있는 사회적 분위기를 조성되기를 기원합니다.

참 고 문 헌

- [1] Kwang-Sik Lee, "A Study on the discharge characteristics of liquid nitrogen at atmospheric pressure", KIEE Vol 45 No 7, 1996.7.
- [2] Kwang-Sik Lee, "A Study on the Discharge Characteristics of Liquid Nitrogen and Gases at Very Low Temperature", KEPCO, 1993.8.
- [3] Kwang-Sik Lee, Eun-Hyuck Choi, "The Positive Effect and the Breakdown Characteristics in SF₆ and LN₂", KIEE Vol 54C No 8, 2005, 8.
- [4] 최은혁, "친환경 절연체의 절연특성과 그 진단에 관한 연구" 영남대학교 박사졸업논문, 2008.12.
- [5] 이광식, 최은혁 외, "배전급 전력이기 SF₆ 대체 기술개발 Dry-Air 절연성능평가에 관한 연구", 청정생산기술개발사업, 2008.06.

◇ 저 자 소 개 ◇



최은혁(崔殷赫)

1977년 2월 19일생. 2003년 경일대 전기공학과 졸업. 2005년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 졸업(박사). 현재 (주)넥스네카 과장. 영남대학교 전기공학과 강사.