環境측면으로 본 放電·高電壓工學

이 광 식*, 이 동 인*
(*영남대 공대 전기전자공학부 교수)

1. 序 論

工學의 發展에 따라 부수적으로 나타나는 현상은 環境과 어떠한 형태로든 관련성이 있다고 본다. 工學의 발전에 따라서 人類가 편리한 生活을 영위하게 되는 반면 악화를 초래하는 양면성이 있는 것이다. 주지하는 바와 같이 放電·高電壓工學도 많은 발전을 하여 각종 산업은 물론이며, 人類生活에 지대한 공헌을 하고 있으나 그로 인한 문제점도 적지 않은 것이다.

일반적으로 環境工學이라면 수질·대기·소음문제를 크게 다루게 된다. 그러나, 더욱 넓은 의미로의 環境工學은 각종 工學에서 부수적으로 유발되는 環境的 側面을 고려하지 않으면 21세기 산업사회에서는 큰 문제점을 초래할 것이다. 인간 지식의 85[%]는 시각을 통하여 얻어지고, 육체행동의 80~90[%]는 눈에 의하여 그 기능이 제어된다.

한시라도 태양과 공기 그리고 물이 없으면 인류생활은 파멸에 이를 것이다. 이와 함께 적절한 照明環境을 구사하지 못한다면 심리적·생리적 그리고 노동생산은 상상도 하지 못할 정도로 파탄에 이를 것이다.

이러한 관점에서 필자는 평소 관심있는 분야인 放電·高電壓工學과 環境分野와의 관련성을 찾아보고 環境對策의 개괄을 放電·高電壓 측면으로부터 찾아보고저 한다.

2. 放電·高電壓工學과 環境과의 관련성

2.1 고전압의 존재와 발생

고전압의 존재와 발생은 자연적으로 존재 또는 발생하는 것과 인공적인 것으로 대별할 수 있다.

前者에는 ①대기전계, ②뇌운에 의한 방전, ③동물의 전계 및 ④마찰대전 등 각종의 대전이 있고, 後者는 ①送傳, 變電 및 配電시설, ②가정용 전기제품, ③기타의 산업용 혹은 실험용 고전압 기기 등으로 볼 수 있다.

2.2 고전압의 작용과 효과

고전압의 작용이나 효과는 직접적 작용과 간접적 작용으로 대별된다. 前者는 ①힘을 미치는 것 - 맥스웰 응력, 쿨롱력, 배향력 그리고 gradient력이며, ②전압 혹은 전류를 유도하는 것 - 정전유도, ③사람에게 전류를 흘리는 것 - 감전 등으로 나뉘어지며, 後者는 절연을 목적으로 이용한 절연물이나 설비에서 생기는 작용인데 이것은 절연에 사용된 액체유전체인 기름이 과열에 의하여 화재의 위험이나 기름이 새어 환경에 영향을 미치게 되는 것이다.

2.3 自然의 高電壓 環境

自然의 高電壓 環境으로는 ①大氣電界, ②雷雲, ③落雷, ④空間電荷, ⑤動物電氣 및 ⑥摩擦電氣 등으로 대별될 수 있는데,

먼저 옥외의 대기중에는 상시 대지에 수직방향의 大氣電界가 존재하며, 정극성으로 나타나고 있다. 이러한 전계로부터 다량의 전하가 지구로 이동하지만 지구가 정극성으로 되지 않고 대기전계가 계속해서 존재하는 것은 뇌의 작용 때문이다.

둘째, 雷雲에 의한 高電壓 환경을 들 수 있는데, 수증기를 포함한 空氣가 氣流를 따라서 상승하면 斷熱的인 팽창을 하여 냉각되고 기온이 점점 저하된다. 이때, 함유습기량에 해당하는 露點을 넘으면 수증기가 응결하게 된다.

응결된 것이 빙점이상이 되면 물방울이 되고, 빙점이하가 되면 氷晶이 생성된다. 이들 물방울이나 氷晶이 대기중에 떠있는 것이 구름인 것이다.

이들 구름이 급격한 기류변화에 따라서 충돌, 마찰, 입자의 분열, 집합, 물방울의 氷晶化 및 氷晶의 융해 등의 복잡한 현상이 이루어지는 과정에서 正負의 전하를 띈 입자로 대전된 것이 雷雲이다. 전형적인 뇌운의 전위는 10^5[kV]정도이고, 雲低高度 2[km]로 상부에 10[km]로 확대되어 형성되는 것으로 알려지고 있다.

셋째, 落雷에 의한 高電壓 환경을 들 수 있다. 즉, 낮은 구름에서 대지로 향하여 수 10[m]의 길이로 間歇的으로 진전하는 선구방전(step leader)이 진전된다. 이것이 지표근방에 도달하면 나머지 수 10[m]의 거리를 지상에서 방전으로 결합(final jump)하여 완성한 방전로를 통해 귀환뇌격(Return stroke)이라고 부르는 낙뢰가 형성되어 대전류에 의한 강한 방전발광이 형성된다. 이때의 방전전류는 수 10[kA]에서 최대 200[kA]정도이다. 통상의 낙뢰에서는 1회의 귀환뇌격이 완료한 후 수 [ms]에서 수십 [ms]의 간격으로 뇌운에서 지표에 연속적으로 진전하는 방전과 귀환뇌격으로 수회 반복한다. 이것을 다중뇌격이라 한다.

뇌운의 방전전하량은 수 [C]에서 수십 [C]이다. 뇌운에 의한 피해에는 대상물에 직접 이루어지는 직격뢰와 근방의 뇌에 의한 유도뢰의 작용으로 나누어진다.

지금까지는 통상의 송전선에 직격뢰만을 생각해 유도뢰는 절연설계의 대상은 아니지만, 배전선에서는 뇌사고의 과반수가 유도뢰라고 생각되어지고 있다.

한편 배전선에서도 최근 구성물로 직접 낙뢰하는 직격뢰가 사고를 일으키고 있다는 검토가 시작되고 있다. 낙뢰는 사람, 구조물, 수목에의 危害, 정전이나 전력기기의 손상뿐만 아니라 마이크로파 회선에 대한 통신장해, 뇌사고의 電磁波에 의한 전자기기의 유도장해, 무성통신의 잡음방해, 송전선 트립에 의한 순시전압의 저하가 정보기기의 메모리 消失을 발생시키는 것 등의 고도정보사회를 위협하는 새로운 가해원이 되고 있다.

네번째로, 대기중에 우주선이나 지중에서의 방사선에 의해 전리된 正負의 이온인 空間電荷에 의한 환경을 생각할 수 있다. 이때의 대기 이온농도는 신간, 장소에 따라서 크게 변하지만, 正의 작은 이온(입자직경 [nm]이하)은 300~1000[개/cm^3], 負의 작은 이온이 200~800[개/cm^3], 주로 에어졸입자와 결합해서 생긴 큰 이온(입자직경 0.1[μm]정도 이하)이 正負가 함께 거의 동일한 농도로 5,000~20,000[개/cm^3]정도이다. 현재까지 正負의 이온이 인체에 주는 영향에 대해서 여러 가지 보고에 의하면 간단히 정의하기는 곤란한 상황이지만, 뇌운에 대해서 正이온이 많게되면 기상변화에 민감한 사람은 짜증을 내기 쉽고 불안감, 편두통을 감지한다는 보고가 있다. 負이온은 역으로 유익한 영향을 주고 있다는 보고가 있지만, 그 효과는 아직 정확하게 규명되어 있지 않은 실정이다.

다섯째, 動物電氣에 의한 高電壓 環境을 들 수 있는데 전기메기(400~450[V]), 전기뱀장어(800[V])와 같이 體內의 발전기관에 의하여 高電壓을 발생시키는 것이다. 마지막으로, 일상생활에 자주 접하는 摩擦電氣에 의한 정전기 현상으로 高電壓 환경을 고려할 수 있다. 그 예로써 겨울철에 외투나 셔츠를 벗을 때 짜작거리는 音, 문고리를 잡을 때의 shock 등 다양하다. 이때, 인체로의 대전은 방전시 shock 에 의한 불쾌감을 줄뿐만 아니라, 전자소자 생산공장에서 소자파괴 등의 장해를 일으키는 문제점도 있다.

2.4 人工的인 高電壓 環境

人工的인 高電壓 環境은 ①交流送電線, ②直流送電線, ③其他의 高電壓機器·家庭機器 및 ④照明環境 등으로 대별할 수 있다.

먼저 가장 대표적인 것이 交流送電線이다. 이러한 送電線의 환경영향 항목에서는 高電壓에 무관계한 것과 高電壓 기인하는 것이 있다. 前者로써는 텔레비전 전파장해 외에 전선이나 애자에 바람이 닿아 일어나는 풍소음, 대전류에 기인하는 전자유도 등이 있으며, 後者에 의한 것은 표 1과 같이 코로나 잡음, 코로나 소음, 오존 및 정전유도 등을 들 수 있다. 이때, 표에서와 같이 정전유도 이외는 방전으로부터 발생되는 것이다.

결국, 送電線의 설계시에는 이들 항목에 대하여 예측계산을 행하고, 환경에 영향을 미치지 않도록 다양한 형태의 대책을 세워야 한다.

표 1. 交流送電線의 高電壓이 원인인 환경영향

항 목	현 상
코로나 잡음	라디오 청취장해, 텔레비전 화상 장해
코로나 소음	인체에 대한 잡음
오존	광화학 옥시던트 농도의 증가
정전유도	전압, 전류의 유도

둘째로, 直流送電線에 의한 高電壓 環境을 고려해야 하는데, 直流送電線의 경우는 환경영향항목에 대하여 정전유도의 문제는 없지만, 이온의 흐름을 고려할 필요가 있다. 즉, 直流送電線에 의하여 발생한 이온이 역극성의 전선 혹은 대지로 향하여 한방향으로 이동하고 대지로 향하는 이온은 거의 소멸하지 않고 지표에 도달하게 된다. 결국 이러한 이온은 절연된 인체나 우산 등으로 흘러들어가 집단으로 모여서 대전상태를 일으키는 것이다.(이온流帶電)

셋째로, 高電壓·大電流용의 高電壓機器와 접점, 점멸기, 형광등 등의 家庭機器에 의한 高電壓 環境을 들 수 있다. 즉, 高電壓機器에서는 불필요한 코로나 방전, 부분방전외에 반드시 고전압은 아니지만 家庭機器에 의한 電磁波雜音에 의한 環境的 障害를 고려해야 한다. 결국 電磁界가 존재하는 電磁環境의 作用, 影響을 조사·대책을 연구하는 분야인 Electromagetic Compatibility(EMC, 환경전자공학)분야에 대한 연구가 필연적이라 할 수 있다.

마지막으로 照明分野에 대한 放電環境을 고려할 수 있다. 우리나라 幼兒의 눈은 매우 건전하나, 초등학교 1학년 학생의 경우 평균 11[%], 6학년이 되면 40[%], 중학교 3학년생은 60[%] 그리고 고등학교 2학년생의 70[%]가 근시로 된다는 보고가 있다. 이것은 과도한 독서, 텔레비전 시청, 불량한 照明環境 및 편식을 그 원인으로 들 수 있다. 또한, 생리적·심리적 문제뿐만 아니라 노동생산성에 큰 영향을 미치고 있다. 최적의 照明環境은 최대의 근로환경을 제시하고,

근래 사용되는 照明燈의 대부분은 放電燈이라 볼 때 照明環境과 放電工學은 밀접한 관계로 이어진다 하겠다.

3. 環境對策으로써의 高電壓 利用

環境對策으로써 高電壓을 이용하는 분야는 표 2와 같이 그 사용목적에 따라서 ①방전으로부터 생성되는 유익한 물질(오존)을 이용한 정화·소독·염색·제조·화학반응·산화 등, ②집진·정화, ③ 분해·제거·살균, ④발전, ⑤조명·광고·살균(U.V)등 및 표 3과 같은 ⑥방사 등으로 대별할 수 있다.

표 2에서와 같이 먼저 방전으로부터 생성되는 유용한 물질인 오존을 이용하여 대기정화 살균· 대기정화·식품저장·환기·섬유표백·대전방지·섬유의 염색성 향상·H_2O_2 제조·폐수처리·유기물 처리·내연기관 연소촉진·어류의 성장촉진·NO_x 및 SO_x 제거·수중농약 처리 등과 같은 환경개선분야를 들 수 있다.

이러한 오존을 발생하기 위해서는 기체방전에 의한 오존발생장치(ozonizer), 물의 전기분해나 방사선의 조사도 이용되지만, 대용량의 오존발생을 위해서는 소위 無聲放電(silent discharge)型 오존발생장치가 이용되고 있다. 무성방전형 오존발생장치는 1857년 Siemens에 의하여 발명된 것으로 한쪽 혹은 양쪽 전극면의 표면에 유리나 세라믹 등의 유전체를 배치하여 교류고전압을 인가하면 산소분자를 포함한 가스가 방전공간을 통과할 때, 방전음이 거의 없는 안정된 화학방전이 간헐적으로 형성되어 오존을 발생시키는 구조이다.

이렇게 생성된 오존에 의한 수질정화처리 설비로써 1906년 프랑스에서 시작되어 현재 처리설비는 세계적으로 3,000개소 이상 보급되어있다. 국내에서도 原水의 수질악화, 사용 염소량의 제한, 양질의 수도수 요망의 측면에서 선진국에서 오존발생기를 수입하여 정수장 등에서는 고도정수처리시설을 도입하고 있는 실정이다. 또한 지구규모의 환경문제의 하나는 프레온에 의한 오존층의 파괴(오존홀)이다. 이러한 오존층을 회복하기 위한 여러 방법이 제안되고 있지만, 대기상공에서 실제로 고전압에 의한 오존발생 연구도 시도되고 있다.

둘째로, 고전압을 이용한 집진·정화이다. 집진·정화를 목적으로 1905년 미국 캘리포니아 대학의 코트렐에 의해 발명된 전기집진장치가 대표적이다. 이미, 각종의 공업설비, 발전설비의 배기가스 집진뿐만 아니라. 공장, 주택, 자동차 내의 공기정화, 화재시의 소연 등에 널리 이용되고 있다.

특히, 전자비임식 집진장치는 SO_2 및 NO_x를 제거하는 배기가스 탈황탈진 시스템으로 기술개발이 진행되고 있다.

셋째로, 고전압을 이용한 분해·제거·살균분야인데, PCB, 폐기 플라스틱의 분해처리, 감용처리에 방전을 이용하지만 이것은 고전압의 작용보다도 주로 아크방전의 고온에 의해 强固한 분자결합을 절단 혹은 가열용융하는 것이다.

최근은 고전압 펄스를 이용한 살균방법이 주목되고 있는데, 열이나 약품에 의한 살균에 비하여 비접촉으로 대상물의 온도상승이 거의 일어나지 않고 제어가 용이하다는 이점이 있다. 고전계의 작용에 의한 것과 액체중의 아크방전에서 일어나는 충격파를 이용하는 것도 있다.

마지막으로 표 3과 같이 환경대책으로써의 放射의 波長에 따른 이용을 고려할 수 있다.

放射의 이용은 표 2와 같은 조명을 포함하고 있지만, 표 3에서는 照明 이외에 放射의 波長에 따른 이용에 관하여 나타낸 것이다. 표 3을 간략히 정리해 보면 ①주로 인체에 대한 시각이외의 放射의 이용, ②인간이외의 각종 생물에 대한 放射의 이용, ③power, 정보전달의 수단 등과 같이 공업으로의 放射 이용이라 할 수 있다. 결국 환경대책으로써의 波長에 따른 放射 이용이 광범위하다 할 수 있다.

표 2. 환경대책에 고전압의 응용

목 적	작 용	응 용 예
방전시 유용물질(오존)의 생성에 의한 정화·소독·염색·제조·화학반응	무성방전·코로나방전·글로우방전·정전기력·플라즈마방전	탈색·탈취·수도수 정화 및 살균·대기정화·식품저장·환기·섬유표백·대전방지·섬유의 염색성 향상·H_2O_2 제조·폐수처리·유기물 처리·내연기관 연소촉진·어류의 성장촉진·NO_x 및 SO_x 제거·수중농약 처리 등
집진·정화	코로나방전·정전기력	전기집진장치·공기청정기·정전여과처리
분해·제거·살균	코로나방전·글로우방전·아크방전·불꽃방전·정전기력·방전충격압력	플라스틱 분해·프레온 분해·NO_x 분해·살균·잡초제거
발전	코로나방전·플라즈마방전	EHD발전·EFD발전·MHD발전·핵융합
조명·광고·살균(U.V)등	글로우방전·아크방전·플라즈마방전	형광등·수은등·플라즈마 디스플레이·U.V램프·식물성장·산란증대
인쇄	코로나방전·레이저여기	복사기·레이저프린터

표 3. 환경대책에 放射 응용

파 장	구 분	응 용 예
자외선 (1~380[nm])	(진공자외선) 1~200[nm]	살균·청정작용·光 CVD
	UV-C 100~280[nm]	
	UV-B 280~315[nm]	眼球障害·붉은 반점
	UV-A 315~400[nm]	光重合·印刷·製版
가시광선	360~830[nm]	植物의 光合成·植物의 形態形成
적외선 (780[nm]~1[mm]	IR-A 780~1400[nm]	光通信·remote sensing
	IR-B 1.4~3[μm]	加熱·加工·乾燥
	IR-C 3[μm]~1[mm]	

4. 結 論

지금까지 放電·高電壓工學의 作用, 自然의 高電壓이 發生하는 環境條件, 人工의 高電壓原과 環境의 연관성, 환경대책으로써의 高電壓 利用에 관하여 기초적 사항을 기술하였다. 앞으로 放電·高電壓 分野에서도 環境關聯 領域이 더욱 증대되리라 보여지며, 오존층 파괴의 제어 등 초대형 프로젝트도 선진국에서는 일부 계획하고 있는 실정이다.

한편, 絶緣診斷의 일환으로 변압기 등 電力機器내에 部分放電을 測定, 部分放電에 의하여 발생된 超音波 測定, 코로나에 의한 電磁波를 분석하여 코로나의 종류 거리 및 방향을 예지하는 연구도 일부 진행되고 있다. 지면의 부족으로 EMC, EMI 문제 그리고 放電에 의한 착화로 큰 재해를 일으키는 관계 즉, 방폭관련 분야 및 조명관련 분야도 중요한 분야이나, 충분히 기술하지 못한 아쉬움을 남긴다.

참 고 문 헌

[1] T.Takuma, T.Kawamoto, K.Isaka & Y.Yokoi, "A Three-Dimensional Method for Calculating Currents Induced in Bodies by Extremely Low-frequency Electric Fields", Bioelectromagnetics 11, 71, 1990

[2] 堀井, "ロケット誘雷實驗の成果と展望", 電氣學會高電壓研究會資料, HV-8-37, 昭58

[3] 望月, "大氣イオンと大氣の電氣傳導度", 靜電氣學會誌, 17, 68, 平6-1

[4] S.Masuda, Proc. 9th ozone World Congress, 2, 650, 1989および增田"パルスによるプラズマ化學反應-PPCPとSPCPおよびその應用", 靜電氣學會誌, 14, 473, 平2

[5] "高電壓電力技術の高度化と新應用分野", 電氣學會誌技術報告(II部)第426號, pp.31, 平4-6

[6] 水野, "オゾン層の破壞と對策技術", 靜電氣學會誌, 17, 251, 平5

[7] 名倉, 大滿, 坂口水野, "高電壓パルスによる雜草等の除去", 16, 59, 平4[

[8] 宗宮功外, "新版オゾン利用の新技術", 三琇書房, 1993

[9] A.Vosmaer, "Ozone Its Manufacture", Properties, D.Van Nostrand Company, 1916

[10] H.J.Song, K.S.Lee et al, "A Study on the High Voltage Nozzle Type Ozonizer", 11th international Conference on Gas Discharges and Their Applications, pp.320~323, 1995

[11] 李廣植, 李東仁, "氣體放電에 의한 오존생성과 그 응용", 大韓電氣學會, 放電高電壓研究發表會, pp.32~35, 1992

[12] "밝음과 우리생활", 韓國照明·電氣設備學會, 1988, 10

[13] The 8th International Symposium on High Voltage Engineering, 1993

[14] "Lighting Handbook", 照明學會, オーム社, 1987

저 자 소 개

이광식(李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1987년 영남대학교 대학원 졸업(공학박사). 1988년~1989년 Nagoya Institute of Technology 초청연구원. 대한전기학회 방전고전압 연구회 총무간사 역임. 현재 한국조명·전기설비학회 이사겸 대구·경북지회장. 1982년~현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수

이동인(李東仁)

1936년 10월 19일생. 1959년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1973년~1977년 영국 Strathclyde대 대학원 전기공학과 졸업(Ph.D.). 1982년~1983년 미국 S.Carolina대 공대 방문교수. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수