

분진발생지역의 현장실측과 분석을 통한 위험성 평가

(A Risk Assessment in According to Spot Measures and Analysis
in Dust Generation Area)

송길목* · 김영석 · 김종민

(Kil-Mok Shong · Young-Seok Kim · Chong-Min Kim)

요 약

전기안전 측면에서 전기설비의 환경영향을 평가하고 국내규정에 맞도록 개선하기 위한 검토가 필요하다. 본 논문은 분진발생지역에서 현장실측과 분석을 통해 위험성을 평가하였다. 분진은 절연재료 표면에 부착되어 사고의 원인이 된다. 분진에 의한 전기사고의 메커니즘에 있어서 분진이 전기설비에 쌓이면, 누설전류가 흐르고, 표면이 탄화된다. 이후 줄열에 의해 전기화재가 발생한다. 실태조사결과, 보호 장치 또는 분전함에서 분진이 발견되었으며, 포집된 분진은 포집량과 도전율이 각각 달랐다. ICP-AES에 있어서 대체로 나트륨성분이 검출되었고 고무재생공장의 경우에는 아연과 칼슘성분이 검출되었다. 하수처리장에서는 나트륨, 마그네슘, 철, 칼슘, 알루미늄 등의 성분이 검출되었다. 따라서, 현장실측과 분진의 분석은 분진발생지역에서의 전기적 위험성 평가의 중요한 자료가 될 것이다.

Abstract

In terms of electrical safety, environmental impact assessment and revision of domestic regulation are needed for the electric facilities. In this paper, risk of electric facilities is assessed by the spot measures and analysis in dust generation area. Adhesion dust in a surface of insulated materials cause electrical accidents. In a mechanism of these accidents, when the dust lie on electric facilities, a leakage current is flowed and the surface of insulated material is carbonized. Hereafter, electrical fire is generated due to Joule's heat. As the results, dusts are found in protection devices or panel board and sampled dusts vary in sampled amounts and conductivity severally. For the most part, sodium is detected but zinc and calcium are detected in case of reclaimed rubber factory by the ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy). In a sewerage, the ingredients such as sodium, magnesium, iron, calcium, aluminium, etc are detected uniformly. So that, results of the spot measures and analysis of dusts are become the important data for the assessment of electrical hazard in dust generation area.

Key Words : Dust Generation Area, Dust, ICP-AES, Risk Assessment, Spot Measures

* 주저자 : 전기안전연구원 설비안전연구그룹
Tel : 031-580-3065, Fax : 031-580-3070

E-mail : natasder@kesco.or.kr
접수일자 : 2008년 7월 16일
1차심사 : 2008년 7월 22일
심사완료 : 2008년 7월 30일

1. 서 론

국내에 설치된 전기설비는 제작과정에서부터 설치에 이르기까지 규정에 준하도록 명시되어 있다. 설치 후에도 정기적인 점검과 검사를 통해 전기설비의 이상유무를 확인한다. 그럼에도 불구하고 전기설비는 먼지, 염해, 자외선 등의 주변 환경요인과 전기적 불안정, 기계적 충격, 방화 등 다양한 원인에 의해 고장 또는 사고로 인한 전기재해가 발생한다. 최근에는 도심지나 공단에서 발생하는 공해 또는 중국에서 날아오는 황사의 영향으로 인한 미세먼지가 전기설비 표면에 부착됨으로써 고장 또는 사고의 잠재요인으로 작용하고 있다. 따라서 국내자연환경변화에 능동적으로 대처하고자 하는 인식이 높아지고 있다. 전기안전연구에 있어서도 전기설비의 환경영향을 평가하고 국내규정에 맞도록 개선하기 위한 검토 및 실험을 통한 검증 등이 요구된다[1-3]. 국내 전기설비의 안전관리에 대한 규정은 대부분 국제규격에 준하여 적용되고 있으며 국내환경에 필요하다고 판단되는 경우 심의를 거쳐 보완되어지고 있다.

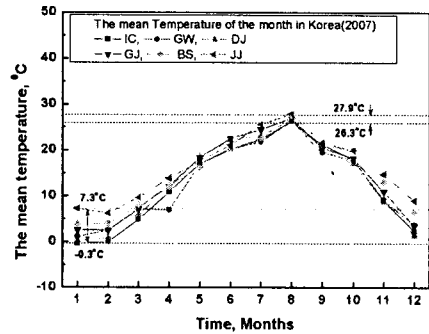
분진에 의한 전기설비의 영향에 대해서도 절연재료의 표면에 부유분진이 자중에 의해 가라앉는 강하분진이 온도 및 습도의 영향에 의해 누설전류가 흐르고 표면이 탄화되는 고장 또는 사고 메커니즘의 경우가 보고되고 있다. 분진의 영향은 단시간에 나타나는 것이 아니라 분진의 종류에 따라 사고의 진전이 빠르거나 오랫동안 지속되었다가 발생되기도 한다[4-5].

본 연구는 국내의 실정에 맞는 분진발생지역에서의 전기설비 규정검토와 연구를 위해 연평균 기온, 전기설비사고분포현황 등의 국내환경에 대한 분석과 전기설비가 설치된 현장에서의 실태와 문제점 등을 검토하였으며, 국내 관련규정을 검토하고, 현장에서 분포되고 있는 분진의 종류와 특성을 해석하였다. 이를 통해 향후 분진에 의한 전기설비의 영향을 평가하고자 하는 연구수행 계획과 방지기술 개발에 도움을 줄 것으로 판단된다.

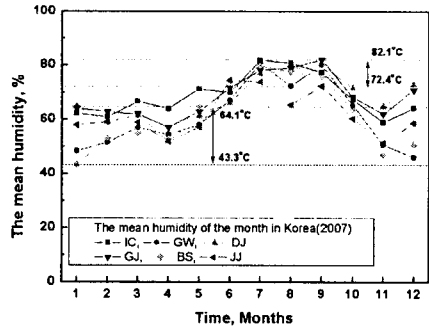
2. 국내 환경과 전기설비사고 통계

2.1 국내 기후환경

국내 전기설비는 삼면이 바다이고, 봄, 여름, 가을, 겨울 등 계절변화가 뚜렷한 환경에 있어서 설치와 관리의 어려움이 많다. 그림 1은 기상청[6]에서 발표한 2007년도 지역별 월평균온도와 습도를 나타낸 것이다.



(a) monthly mean temperature



(b) monthly mean humidity

그림 1. 2007년도 월평균 온·습도 분포
Fig. 1. Monthly mean humidity and temperature distribution of the year 2007

2007년도 기상청 발표에 의한 자료에서 대표적으로 온도와 습도의 변화가 다르다고 판단되는 6개 지역(인천, 강릉, 대전, 광주, 부산, 제주)을 선정하여 분석한 결과에 의하면, 인천(IC), 강릉(GW), 대전(DJ), 광주(GJ), 부산(BS), 제주(JJ)로 나누어 중부지역의 해안가 보다 남부지역으로 갈수록 겨울철 온도

차가 5[°C]에서 약 10[°C] 정도 있는 것으로 나타났다. 여름철 온도에 비해 그 편차가 큰 것으로 중부지역에 설치된 전기설비의 경우 그 온도차에 의한 영향이 있을 것으로 판단된다.

또한, 평균습도분포의 편차는 부산지역을 제외하고는 유사한 것으로 나타났다. 국내 연평균 기온이 10[°C]에서 16[°C]인 것을 감안할 때, 계절적 영향에 의한 온도차가 큰 것을 알 수 있다. 여름철에는 대부분의 최고온도 분포가 약 1.6[°C] 안팎인 반면에 겨울철의 최저온도는 약 7.0[°C]정도 지역별 차이가 있는 것으로 나타났다. (b)는 월평균습도에 대한 지역별 분포를 나타낸 것으로 여름철에는 평균적으로 77[%]의 습도분포를 가지고 있으며, 겨울철에는 지역별로 습도분포차가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 온도와 습도에 의한 국내환경과 황사에 의한 먼지의 영향을 더하여 전기설비가 열화되면서 사고로 이어지는 경향을 보이고 있다. 특히 국내환경의 경우 온도가 높고 습도가 많은 계절은 여름에 집중된 특징을 가지고 있다. 따라서 전기설비에 영향을 미칠 것으로 판단되는 환경적 요인에 대한 전기안전관리의 중요성이 크다.

2.2 국내 전기화재와 전기설비사고 분포

2007년도에 발생한 전기화재는 9,091건으로 월평균 750건이 넘는 것으로 나타났으며, 전기설비에 있어서 2007년도 한국전기안전공사가 발표한 통계자료[7]에 의하면, 2006년도 조사대상 호수는 국내 자가용 전기설비 중 총 24,429호에 대하여 조사된 것으로 전기설비 고장 또는 사고로 이어진 건수가 6,946건에 이르는 것으로 나타났다. 월별 전기화재 건수를 보면 그림 2와 같다.

국내에서 발생하는 대부분의 전기설비 고장 또는 사고는 여름철에 평균이상 발생하는 것으로 보여준다[8-9]. 이는 해빙기 이후 봄철 황사 또는 분진이 누적되었다가 여름철 습도가 높아지는 시기에 누설 전류가 흐르면서 전기설비의 고장으로 이어지는 과정에서 전기설비사고가 발생하는 것으로 추정된다. 따라서 국내환경에 적합한 전기안전관리 요령이 요구되며, 관리규정과 전기설비 설치에 있어서도 이에

준한 규정이 있어야 할 것으로 판단된다. 전기화재의 경우에는 전반적으로 고른 발생분포가 나타나고 있는데 이는 그 전기화재 원인이 단락, 과부하, 누전 등의 점유율로 알 수 있듯이 전기설비와 부하사용에 따른 영향이 주요인으로 추정된다.

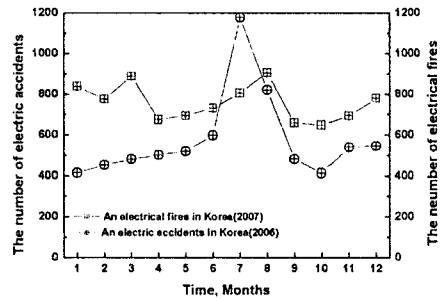


그림 2. 전기재해통계
Fig. 2. Statics of electrical disaster

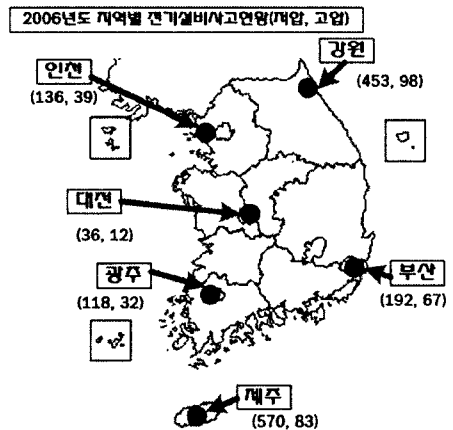


그림 3. 전기설비 사고의 지역별 분포(2006)
Fig. 3. Geographical distribution of electric facilities accidents(2006)

2006년도 전기설비사고에 있어서 국내지역별로 보면, 인천(IC)의 경우 저전압 전기설비사고가 136건, 고전압설비사고가 39건이 발생하였으며, 강원(GW)지역은 저전압 전기설비사고가 453건, 고전압설비사고가 98건으로 나타났다. 대전(DJ)은 저전압 설비사고 36건, 고전압설비사고 12건이며, 광주 저전압 설비사고 118건, 고전압 설비사고 32건, 부산 저전압 설비사고 192건, 고전압 설비사고 67건, 제주 저전압 설비사고 570건, 고전압 설비사고 83건으로

분진발생지역의 현장실측과 분석을 통한 위험성 평가

조사되었다. 삼면이 바다로 둘러싸인 국내 환경은 전기설비에 있어서 염해에 의한 영향이 클 것으로 판단되며, 실제 사고분포를 보더라도 제주, 강원, 부산, 인천, 광주, 대전 등의 순으로 나타났다. 강원의 경우 전지역을 대상으로 하여 조사된 것으로 지역의 크기에 따른 전기설비 사고경향을 보면 제주에 설치된 전기설비가 가장 위험에 노출된 것으로 판단된다.

2.3 분진에 관한 국내규정

국내 전기설비 기술기준 및 판단기준에 의한 규정과 한국산업규격에 정의된 규정자료, 한국산업안전공단에서 관리하는 KOSHA에 의한 지침자료를 분석하였다[10-12]. 전기설비 기술기준 및 판단기준의 경우 대부분 전기설비에 대한 설치방법과 조건 등에 대해 국제규정에 맞도록 기준을 정한 것으로 분진과 관련한 규정은 제60조 분진이 많은 장소, 제99조 먼지가 많은 장소에서의 저압의 시설, 제224조 옥측 또는 옥외에 시설하는 접촉전선의 시설 등이 있다. 제60조에 있는 내용을 보면, 개괄적이고 총괄적인 내용으로 분진이 많은 장소에 시설하는 전기설비는 분진에 의한 그 전기설비의 절연성능 또는 도전성능의 열화에 따른 감전 또는 화재의 우려가 없도록 시설하여야 한다고 규정하고 있다. 이는 KS C IEC 61241-10과 KOSHA E-18-2006에 나타나 있는 분진은 발생에 따라 위험장소를 구분한 것과는 달리 매우 포괄적이라 할 수 있다. 따라서 분진층에 따라 최소점화온도를 규정하는 KS C IEC 61241-14와 같이 구체적인 판단기준을 적용하여 관리할 필요가 있는 것으로 판단된다. 일반적인 분진층의 점화온도는 230[°C]에서 250[°C]로 되어 있으며, 분진운의 점화온도는 이보다 높은 410[°C]에서 450[°C]인 것으로 나타나 있다. 이는 결과적으로 전기설비가 주로 이용되는 시간인 주간에 부유되었던 분진운이 야간에 전기설비 표면에 침적되면서 분진층이 형성되면, 점화온도가 낮은 상태에서도 충분히 화재로 이어질 수 있다. IEC 60364-3과 KOSHA E-25-2000[13]에 명시된 전기설비 설치시 환경과 사용조건 등의 평가에 관한 기술지침이 현장에 적용되도록 하여 전기설비의 안전관리가 이루어질 수 있어야 할 것이다.

기존 국내에 적용되고 있는 전기설비기술기준 제60조(분진이 많은 장소)에서는 KS C IEC 61241에서 제시하는 분진특성과 실험결과에 의해 개폐아크 동작에 의한 아크, 강하분진의 침적에 의한 시설조건 등의 검토가 요구된다. 전기설비 기술기준의 판단기준 제199조(먼지가 많은 장소에서의 저압의 시설)에서는 열을 축열시키지 않는 구조의 적용, 부식성가스의 특성과 대처, 회전기구류의 사용시 부유분진 발생에 대한 최소화 등의 기술적 검토와 적용이 가능하리라 판단된다.

따라서 이를 근거로 하여 전기설비 기술기준 및 판단기준에 있어서 제199조 먼지가 많은 장소에서의 저압의 시설에 보면, 강하분진의 특성상 부식요인이 되는 물질에 대해 강하분진에 의해 부식이 되지 않도록 접속부 재료가 충분한 내식성을 갖도록 규정할 필요가 있다.

이외에도 전기설비가 동작하는 동안 자체동작만으로 부유분진이 발생하는 경우와 외부의 환경적 요인에 의해 발생하는 경우를 분리하여 관리규정을 정할 필요가 있다. 대체적으로 회전기구류인 경우에는 회전하는 쉘의 영향으로 인해 주변에 강하된 분진이 부유하면서 전기설비 표면에 침적되는 경우가 있다. 이로 인해 습도가 증가할 경우 누설전류가 흘러 전기화재로 이어질 수 있으므로 이에 대한 대책이 요구된다.

3. 분진 포집 방법과 분석순서

전기설비 주변의 부유분진을 포집하는 방법과 순서는 전기설비가 설치된 현장 중에서 분진발생 우려가 높은 지역을 선정하여 단계별 분석이 이루어질 수 있도록 그림 4와 같이 분진포집 및 분석 순서에 의하여 수행하였다.

분진발생지역은 재래시장, 고무재생공장, 제재소, 하수종말처리장, 사료공장을 주로 하였으며, 대기분진포집시간은 2시간 동안 총 60리터의 대기를 흡입하여 그때 필터에 걸러진 분진을 분석하였다. 분진포집량과 증류수를 이용하여 도전율을 측정하였으며, ICP-AES를 이용하여 분진의 성분을 검출하였다. 또한, 현장에서의 문제점과 개선에 필요한 사항

을 검토하였으며, 이를 근거로 하여 국내 분진관련 규정의 개선을 위한 검토를 실시하였다.

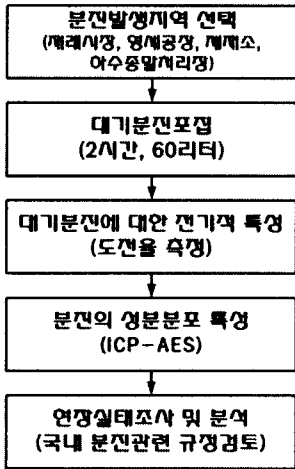


그림 4. 분진 포집방법과 분석순서
Fig. 4. The dust sampling method and analysis procedure

그림 5는 전기설비 설치현장에서 대기의 상태를 확인하기 위한 포집장치의 외형을 나타낸 것이다.

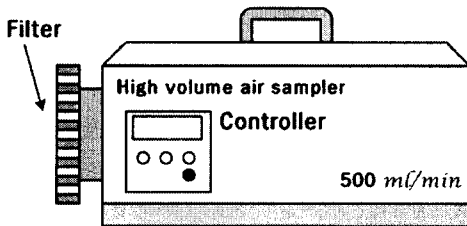


그림 5. 대기분진포집기
Fig. 5. High volume air sampler

고성능 대기분진포집기(HV-500F, Shibata, Japan)를 이용하여 국내규격에서 권장하는 포집측정방법의 하나인 여과식으로 포집하였다. 전기설비에서의 분진이 미치는 영향을 분석하기 위해 전기설비 반경 2[m] 이내에 분진포집기를 거치하였다. 흡인량은 500[m³/min]으로 2시간동안 포집하여 칭량법에 의해 농도를 측정하였다. 채취된 분진은 현장에서 기밀용기에 의해 보관운송하고 실험실에 도착한 후 60[%]의 습도를 유지시킬 수 있는 항습조에 넣어 24시간

이상 보관 후 포집량과 도전을 각각 측정하였다. 본 연구의 수행목적은 국내환경의 분진에 대한 영향 평가와 더불어 분진 전기설비에 미치는 영향과 안전 관리기준 마련을 위한 자료 활용에 있다. 그림 6은 도전을 측정장치를 개략화한 것이다.

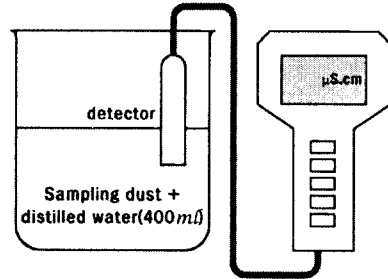


그림 6. 도전을 측정 개략도
Fig. 6. The schematics for conductivity measure

도전을 측정시 수온은 23.5[°C]의 탈이온 증류수를 이용하여 도전을 측정하였다. 이때 증류수의 양은 400[m³], 600[m³], 800[m³]로 그 양을 일정하게 하였다.

포집된 분진의 특성을 정밀하게 분석하기 위하여 유도결합 플라즈마질량분석법(ICP-MS: Inductively coupled plasma-mass spectroscopy)에 의해 성분을 검출하였다. 이는 원자의 고유한 질량의 차이를 이용하여 극미량 원소를 분석하는 장비로서 분진과 같이 다양한 원소가 존재하는 경우 극미량의 원소를 분석할 필요가 있을 때 효과적이다. 이에 미량의 첨가원소 및 불순물의 양에 따른 물리적 성질과 분석에 활용되었다. 또한 미량의 성분을 분석할 수 있는 유도결합 플라즈마원자발광분광법(ICP-AES: Inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy)에 의해 분석되었다.

4. 분진발생지역에서의 전기설비환경

4.1 분진포집현장 실태분석

그림 7에서 화살표로 나타낸 전기설비의 상태는 현장에서의 분진이 설비에 미치는 영향을 정리하여 나타낸 것이다.

분진발생지역의 현장실측과 분석을 통한 위험성 평가

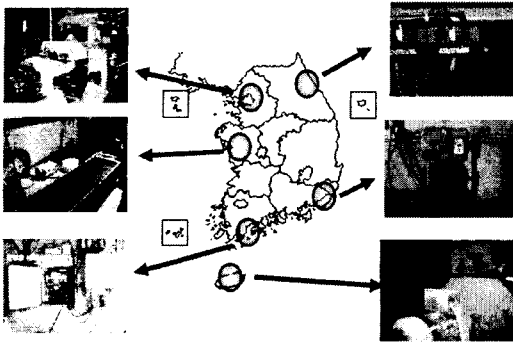


그림 7. 분진발생 현장 실태
Fig. 7. The actual conditions of dust generation area

지도에 표시된 부분은 국내의 환경조건에 있어서 특이할만한 구분이 될 수 있는 지역을 선정하였으며, 대부분 해안가를 중심으로 분진포집이 이루어졌다. 강원도 동해지역에서 촬영된 경우 단자대의 보호덮개가 제 역할을 할 수 있는 구조로 되어 있지 않아 이에 대한 설치조건을 검토할 필요가 있으며 부식성 가스의 발생으로 인해 설비의 부식이 급격히 빨리 진행되는 것으로 조사되었다. 따라서 분진의 종류와 그 특성에 맞는 관리기준이 요구된다. 표 1은 현장실태를 통해 각 지역에서의 위험요소와 관리상태를 정리하였다.

표 1. 분진발생지역의 특징
Table 1. The characteristics of dust generation area

구분	위험요소	관리상태	비고
제재소	부유분진(목분진), 다습	방치	-
재래시장	먼지, 다습, 밀폐	방치	관리주체미약
사료공장	부유분진(사료)	집진설비운용	집진설비 무용
고무재생공장	탄분진(유기성)	방치	관리소홀
하수처리장	산화부식, 다습	주기적 교체	-

4.2 분진 포집량 및 도전을 측정

그림 8은 분진포집기에 의해 포집된 분진의 양을 측정한 것으로 그림에서 알 수 있듯이 사료공장에서

채취된 분진은 기타 시설에서 포집된 분진량보다 월등히 많은 것을 확인할 수 있다. 사료공장의 경우 분진을 제거하는 제진기가 설치되어 운영되고 있으나 전기설비에 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

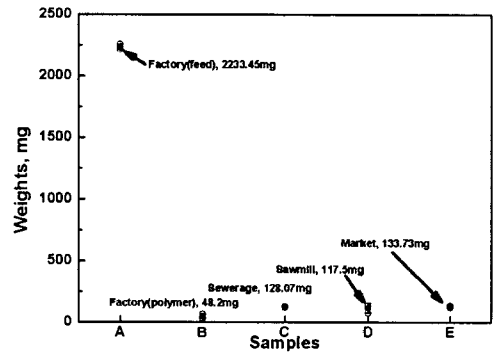


그림 8. 분진포집량 비교
Fig. 8. The comparison with dust sampling amounts

분진포집결과를 보면, 사료공장의 경우 기타 분진포집한 양보다 150배 이상이 검출되었다.

그림 9는 분진의 도전을 특성을 비교한 것이다. 그림에서 분진에 의한 영향을 쉽게 파악할 수 있다.

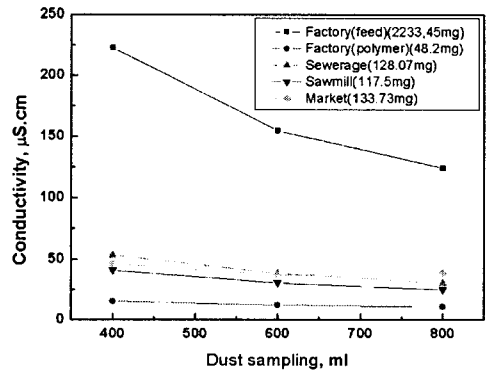


그림 9. 도전을 특성곡선
Fig. 9. The conductivity curves

사료공장의 경우 수분이 포함되면 전기설비에 영향을 미칠 수 있는 정도의 도전을 특성을 가지는 것으로 나타났다. 재생공장의 경우에는 관리는 소홀하였으나 도전은 크지 않은 것으로 나타났다.

4.3 ICP-AES에 의한 성분분포 특성

분진의 성분분포 특성을 각 분진발생지역별로 구분하여 분석한 결과를 보면, 표 2와 표 3에 나타난 성분양이 검출되는 것을 확인할 수 있다.

표 2. ICP-MS에 의해 검출된 분진의 원소와 양
Table 2. The elements and amounts of dust detected by ICP-MS(ppb)

구분	원소량, ppb				
	제재소	재래 시장	사료 공장	고무재생 공장	하수 처리장
Co	6,054.4	159.4	41.9	831.3	1,281.5
Cu	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	16,310.3
Zn	1,161.9	<20.0	<20.0	7,283,985.1	223,302.5
As	8,022.0	2,066.7	3,989.1	4,778.0	2,631.5
Pb	2,694.5	3,640.7	2,630.3	4,780.1	395.6

표 2는 ICP-MS에 의해 극미량의 원소 성분과 양을 검출한 내용이며, 표 2는 ICP-AES에 의해 미량의 원소 성분과 양을 검출한 내용을 정리한 것이다. ICP-AES의 분해능은 0.005[nm](UV)와 0.05[nm](Visible)이며, 검출한도는 수 ppb에서 수백 ppb로 하여 정밀한 분석이 되도록 하였다. 표 1에서 알 수 있듯이 극미량의 원소에서 고무재생공장의 경우 다량의 아연(Zn)이 검출되었으며, 하수처리장에서도 비교적 많은 양의 아연이 검출되었다. 특히 하수처리장의 경우 구리(Cu)와 코발트(Co) 성분이 타 분진에 비해 많은 양이 포함된 것을 확인할 수 있다.

표 3. ICP-AES에 의해 검출된 분진의 원소와 양
Table 3. The elements and amounts of dust detected by ICP-AES(ppm)

구분	원소량, ppm				
	제재소	재래 시장	사료 공장	고무재생 공장	하수 처리장
Al	33.74	33.91	29.25	118.40	199.11
Ca	193.30	217.20	225.60	575.10	117.30
Fe	25.91	6.14	<1.00	115.00	247.70
Mg	49.13	57.91	61.46	47.25	282.56
Na	2,702.80	2,938.80	3,558.80	59.18	1,514.80

표 3에서 알 수 있듯이 고무재생공장을 제외하고 다량의 나트륨(Na)성분이 검출되는 것을 확인하였다. 고무재생공장의 경우 칼슘성분이 타 지역에서 포집한 분진보다 많은 양이 검출되었으며, 하수처리장의 경우에는 알루미늄, 철, 마그네슘 성분 등이 타 분진보다 다량으로 검출된 것을 확인할 수 있다. 이로써 하수처리장에서 포집한 분진의 경우 다량의 원소가 포함되어 있으며, 이들의 다수가 전기설비에 침적되었을 경우 부식에 영향을 미치는 것으로 추정되며, 누설전류 발생과 이로 인한 전기설비 사고원인이 되어 전기화재로 진전될 가능성이 높을 것으로 추정된다. 그림 10은 ICP-AES에 해당되는 것으로 그 비교특성을 알기 쉽도록 도표화 한 것이다.

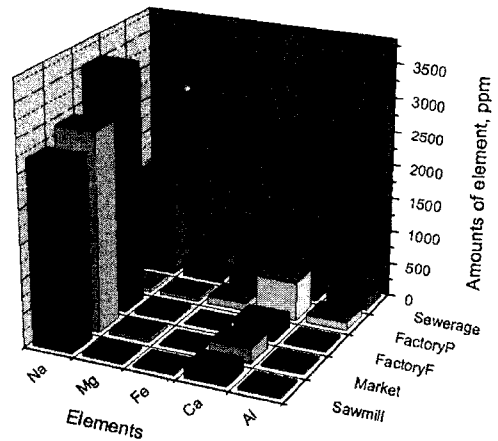


그림 10. ICP-AES에 의한 분진 성분 분석
Fig. 10. The Analysis of dust elements by the ICP-AES

5. 결 론

본 논문에서는 국내의 열악한 환경에서 사용되고 있는 전기설비의 현실태와 실측을 통해 전기안전 측면에서의 분석기술과 평가방법에 대해 고찰하였다.

현장실태조사를 통해 보호장치의 관리와 분진의 침적에 대한 우려가 확인되었다. 목분진, 탄분진, 사료, 하수처리과정에서 발생하는 부식성 가스 등 발생분진 특성에 따른 열화 특성이 다르고 포집량과 도전율의 차이가 있음을 확인하였다. 분진의 성분분석을 통해 전기설비에 영향을 미칠 수 있는 요소를

분진발생지역의 연장실측과 분석을 통한 위험성 평가

확인하여 비교분석이 가능하였다.

따라서 본 논문의 내용은 국내규정을 검토하고 분진발생지역의 취약요소와 기술개발이 필요한 사항을 정리하고 분석하는데 매우 유용할 것으로 보이며, 전기화재를 예방하는 중요한 자료가 될 것으로 기대된다.

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

References

- (1) 송길목, 김영석, 김선구, "저압용 절연재료의 염수분무 및 분진에 따른 특성비교", KIEE2007 summer conference, pp.1359~1360, 2007.07.
- (2) 정연하, 장태준, 송길목, 노영수, 곽희로, "연면트래킹에 의한 탄화거동", Journal of KIEE, Vol. 21, No. 2, pp.28~33, 2007.
- (3) 김영석, 송길목, 김선구, "외부 오염 환경하에서 고분자 절연재료의 표면 누설전류 측정 및 열화 패턴 분석", KIEE2007 summer conference, pp.2080~2081, 2007.07.
- (4) 김영석, 송길목, 정진수, 정종욱, 김선구, "염수 및 분진에 의한 고분자 절연물의 표면전류 특성과 사고 위험성", Journal of the KIEE, Vol.21, No.8, pp.129~135 September 2007.
- (5) 송길목, 최충석, 노영수, 곽희로, "트래킹에 의해 열화된 페놀수지의 탄화특성", KIEE, 53C-1-1, pp. 1-7, Jan. 2004.
- (6) 기상청, "www.kma.go.kr/", 기상청, 2008.
- (7) 한국전기안전공사, "전기재해통계분석", 제16호, 산업자원부, 2007.
- (8) 송길목, 한운기, 김영석, 정진수, 정종욱, 김선구, "PVC와 페놀수지의 표면열화에 따른 접촉각 측정과 위험성 평가", KIEE annual spring conference 2007, pp.458~462, 2007.05.
- (9) 김영석, 송길목, 정진수, 정종욱, 김선구, "전기 절연물의 오염에 따른 누설전류 특성과 사고위험성 연구", KIEE annual spring conference 2007, pp.463~467, 2007.05.

- (10) IEC 61241-10, "Classification of areas where combustible dusts are or may be present - electrical apparatus for use in the presence of combustible dust", 2006.
- (11) KS C 0223, "환경시험방법(전기·전자) 염수분무시험 방법_2005", 기술표준원, 2005.
- (12) KOSHA E-18-2006, "분진폭발 위험장소 설정에 관한 기술지침", 한국산업안전공단, 2006.
- (13) KOSHA E-25-2000, "진기설비 설치시 환경·사용조건 등의 평가에 관한 기술지침", 한국산업안전공단, 2000.

◇ 저자소개 ◇

송길목 (宋 啓 穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1996년~현재 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원 설비안전연구그룹 선임연구원.

Tel : (031)580-3065, Fax : (031)580-3070
E-mail : natasder@kesco.or.kr

김영석 (金 榮 錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 전기안전연구원 설비안전연구그룹 연구원.

Tel : (031)580-3064, Fax : (031)580-3111
E-mail : athens9@naver.com

김종민 (金 鍾 旻)

1972년 7월18일생. 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원 선임연구원.

Tel : (031)580-3077, Fax : (031)580-3070