

전기 · 전자제품관련 국제환경규제 대상물질별 시험분석방법 개발 동향

최기인[★] · 황태웅¹

한국세라믹기술원 시험표준센터, ¹환경관리공단 환경분석연구센터
(2009. 11. 17. 접수, 2009. 12. 3. 승인)

Development of the testing method for newly regulated hazardous compounds in electrical and electronic equipments

Choi, Ki-in[★] and Hwang, Tae-woong¹

Test & standard center, Korea institute of ceramic engineering & technology, Korea

¹Environmental Research & Analysis Center, Environ Environmental Management Corporation

(Received November 17, 2009; Accepted December 3, 2009)

1. 서 론

최근 유럽, 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 자국 혹은 역내로 반입되는 소비재에 대한 특정유해물질의 사용을 억제하는 환경규제가 신설 · 강화하는 등 자국내 환경보호 및 기술무역장벽(technical barrier to trade)에 대한 국제적 요구가 높아지고 있다. 특히, 관세 부과, 수출 물량제한, 수입규제 등 국제역학 혹은 제품가격이나 성능에 초점이 맞춰 진행되던 과거의 전통적 교역장벽 시스템은 점차 완화되고 있음에도 불구하고, 제품안전, 소비자 만족, 환경친화적 설계에 따른 환경보호 등과 관련된 기술무역장벽은 지속적으로 강화되는 움직임을 보이고 있기 때문에, 우리나라와 같이 대외 수출 의존도가 높은 국가의 경우에는 각 연합체 혹은 각국에서 새롭게 진행하고 있는 기술무역장벽에 대한 철저한 대비와 분석이 요구된다. 이렇게 수출품에 대한 환경규제, 특히, 전기 · 전자기기 분야에서의 국제 환경규제가 강화되고 있는 상황에 비춰볼 때, 삼성전자, LG전자와 같은 국내 대표 수출 기업들이 자사 제품 및 부품에 대한 유해물질 정보를

철저히 관리하는 한편, 공동대응을 통해 국제환경 규제에 적극적으로 대응하는 점은 우리제품의 환경경쟁력을 더욱 강화하는 한편, 수출 증대를 위한 획기적인 계기를 만들 수 있다는 점에서 매우 긍정적이라는 평가를 받고 있다. 하지만, 이러한 산업분야에서의 국제 환경규제 개별적 혹은 공동 대응 노력에도 불구하고, 아직까지 제품관리 및 대체기술 개발을 위한 분석기술 정보, 해당 부품 · 소재 및 첨가제의 분류, 특성과 용도에 대한 기술정보 등 유해물질의 분석기술에 대한 표준화 · 체계화가 되어 있지 못한 상황이라고 판단된다. 특히, 향후 추가적으로 규제될 유해물질들에 대해서는 선진국의 경우에도 정확한 규격 또는 다양한 소재에 대한 유해성분 분석 평가기술이 없으며, 일부 유사규격들의 다양한 시험 방법으로 인하여 규제물질에 대한 정확한 data의 신뢰성이 없으므로 제품의 철저한 관리 및 대체기술 개발의 어려움이 예상된다.⁹

본 총설에서는 현재 전기 · 전자제품 분야 국제환경 규제를 통해 규제대상이 되는 주요 유해물질을 조사하는 한편, 유해물질별 분석방법 개발 현황 및 시험분석 방법의 개발이나 표준화가 시급하게 요구되는 화

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)2-3282-7849 Fax : +82-(0)2-3282-2489

E-mail : kicho@kicet.re.kr

화학물질에 대해 정리, 향후 국제환경규제를 통해 새롭게 규제될 것으로 예상되는 화학물질에 대한 시험방법 개발 및 표준화 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 전기·전자제품분야 국제환경규제 동향

2.1. 국가별 대응동향

국제환경규제에 대해 사실상의 주도권을 쥐고 있는 유럽연합(EU)의 경우, 폐 전기·전자제품에 대한 처리 지침(waste electrical and electronic equipment; WEEE) 및 전기·전자기기에 대한 유해물질 사용 제한지침(restriction of hazardous substances; RoHS) 등 전기·전자기기를 중심으로 한 회원국간의 환경문제에 대해 공동 대응을 실시하고 있으며, 2007년부터는 새로운

화학물질 관리체계라 할 수 있는 화학물질에 대한 등록, 평가, 허가 및 제한에 관한 규제(registration, evaluation, authorization and restriction of chemicals; REACH)를 실시하는 등 유럽 역내에 반입·유통되는 전기·전자 부품 및 제품에 대한 보다 엄격한 규제를 적용하고 있다.^{10,14}

Table 1에는 주요 국제환경 규제를 통해 규제되고 있는 주요 유해물질 목록을 정리하였다. RoHS는 2006년 7월 1일부터 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬, PBBs 및 PBDEs 등 총 6대 유해물질에 대해서 전기·전자제품에 대한 사용을 금지하고 있으며, 항목별 최대 허용농도 이상의 유해물질을 함유한 제품에 대해서는 기본적으로 EU 역내 시장에서 판매될 수 없도록 규정하고 있다.⁸ 특히, RoHS는 제정 후, 4년마다 지침 적용 범주 및 제품목록, 제한 유해물질의 범위, 적용 예외사항 등 지침에 대한 전면적인 검토를 수행

Table 1. The list of major contaminants regulated by global environmental regulations

Compounds		Related regulation*	Standard methods
Metals	As lead hydrogen arsenate, triethyl arsenate, diarsenic pentaoxide, gallium arsenide, diarsenic trioxide, arsenic trioxide	R, P, J, R-15	ISO 11723, ISO 17058, EN 14546, EN 14627, DIN 38405-35, JIS G 1225, ASTM C1219:05, KS D 1818, KS E 3024, KS E 3913
	Ni dinickel trioxide, nickel dihydroxide, nickel sulphate	R, J	ISO 12743, EN 12441-9, EN 13131, DIN 50451-2, JIS G 1258-1, KS D ISO 13898-2
	Sb antimony trioxide	R, J	ISO 10698, KS D 1826, KS E 3062, KS M 5970
	Co cobalt oxide, cobalt dichloride	R, R-15	ISO 11533, ISO 11652, BS 3482-9, DIN 50451-2, JIS K 0400-52-20, ASTM D2373:05, KS D 1875, KS D 1886
	Be beryllium oxide	R, J	ISO 11885, ISO 17294, JIS H 1063, JIS H 1367, ASTM D7202:06, ASTM E439:04a, KS D 1966, KS D 2031
Halogen compounds	Sn TBT compounds, TPT compounds, TBTO	R, P, J, R-15	ISO 17353, KS M ISO 17353, KS K 0737, ASTM D 5108
	Cl SCCPs, MCCPs, PVC, PCBs, PCTs, PCNs, DTDMAC, DODMAC/DSD-MAC, DHDMAC, pentachlorophenol, triclosan, cobalt dichloride	R, P, J, R-15	IEC 62321, IEC 61189, ISO, 9297, ISO 7393, ISO 10304, EN 14582, ASTM D 3761, ASTM D 7359, KS M 9720, KS I ISO 9297
	Br PBDEs, PBBs, TBBPA, HBCD, bromobenzylbromotoluene	R, P, J, R-15	
	F PFOA, PFOS	R, P	
Phthalate	major DEHP, BBP, DBP, DOP, DINP, DIDP	R, P, J, R-15	ISO 18856, JIS K 0450-30-10, KS M 1991, KS M ISO 18856, EPA 8061 A, EPA 8410
	others DEP, DprP, DPP, DCHP <i>et al.</i>		

*R: Advanced RoHS, P: PoHS, J: JIG, R-15: REACH SVHC 15

한다. 2008년 Oko Institut에서는 규제대상 물질에 관한 연구를 1차적으로 진행하여 46종의 대상물질 목록을 공개하기도 하였으며, 최근에는 RoHS 물질분류에 REACH 규정을 반영하도록 하는 의견이 교환되는 등 REACH 규정에서 정의하는 위험성우려물질(substances of very high concern; SVHC)물질이 그대로 RoHS 지침 내에서 사용 제한될 물질로 선정될 움직임도 보이고 있다.¹³ 이렇게 지침 강화를 통해 현재 6대 물질에 이어 향후 규제 범위의 확대에 따라 글로벌 기업에서는 제품 제조과정에서 6대 규제물질뿐만 아니라 추가 유해물질에 대한 전면적인 사용규제를 선언하고 있으며, EU 소속 국가뿐만 아니라 한국, 중국, 일본, 미국 등 많은 국가에서 전기·전자제품에 대한 환경규제를 새롭게 만들거나 규제를 강화하는데 활용되고 있어, RoHS 지침은 전기·전자제품과 관련된 가장 중요한 환경규제 중 하나로 자리잡게 된다. 이외는 별도로 2007년 노르웨이 오염관리청(NPCA)에서는 인체 건강 및 환경에 유해영향을 미치는 화학물질 및 화학물질 사용 제품의 제조, 수입, 판매 및 사용을 제한하는 법규(Norwegian product regulations)¹⁵에 새롭게 소비자제품의 유해물질 사용관련 규제를 추가시키는 법안(prohibition on certain hazardous substances in consumer products; PoHS)을 통해 18종의 유해물질별로 규정된 최대허용 농도기준을 초과 함유할 경우 해당 제품의 제조, 수입 및 판매 금지를 포함한 계획을 수립하였다. 이후, 2008년 7월, 노르웨이 오염관리청은 제한 오염물질 18종에 대한 인체 및 환경 유해성을 재검토하여, 보다 축소된 10종의 유해물질(MCCP, bisphenol A, muskxylene, triclosan, PFOA, PCP, HBCDD, Pb, Cd, As)에 대한 엄격한 함량규제를 환경청에 제안하는 등 제품 내 유해물질 목록 설정을 위한 지속적인 협의가 이루어지고 있다. 한편, REACH와 관련해서는 10만 건 이상의 신·구 화학물질 등록이 이루어 질 것으로 예상되며, 이 중에도 발암성(carcinogenic), 돌연변이성(mutagenic), 생식독성(reproductive toxicity)이 매우 큰 물질, 잔류성(persistent), 생물농축성(bioaccumulative)이 높고, 독성(toxicity)도 강한 물질, 고잔류성(very persistent)이며 고생물농축성(very bioaccumulative)을 가지는 물질은 REACH SVHC로 분류해, 제조 수입되는 제품 전체 중량대비 0.1% 이상 포함되어 있고, 연간 1톤 이상인 경우 신고를 의무화하고 있다. 현재 15개 물질이 SVHC로 우선적으로 확정되어 있고 물질들의 추가에 대해 논의 중이다.¹¹

2.2. 기업별 대응동향

전기·전자제품에 함유된 환경유해물질 관리에 대한 소비자들의 기대효과가 높아지는 한편, 관련 국제환경규제 및 무역기술장벽이 강화됨에 따라, 관련기업들 역시 자사 제품의 환경성 강화 및 유해물질 관리시스템 구축을 통한 전 세계적으로 강화되고 있는 환경규제에 대응하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 특히, 2000년대에 들어서면서 강화된 국제환경규제에 만족하지 못하는 제품에 대한 시장진입 금지, 통관보류, 수입금지 등의 조치가 빈번히 발생하는 등 환경보호를 염두에 두지 않고서는 상품 수출을 할 수 없는 이른바 ‘환경장벽의 시대’가 본격적으로 시작됨에 따라, 많은 기업에서는 국제 교역과 환경보전을 동시에 추구할 수 있는 환경중심의 경영전략을 새롭게 수립하고 있다. 또한, 국제환경단체인 그린피스에서는 분기별로 ‘guide to greener electronics’를 통해 유해물질 저감과 폐제품 회수·재활용, 에너지, 기후변화 등 4개 분야에 대해 세부 기준을 설정하여, 이를 평가대상 기업이 얼마나 실천하는지 웹사이트 및 리포트 등을 통해 공개되는 자료를 바탕으로 평가하여 순위를 정하는 등 각 기업들의 환경관리 시스템 및 유해물질 관리 정책 및 그 운영에 대한 평가를 실시하고 있다. 이러한 환경운동단체의 평가 결과나 시민단체의 요구에 대한 적절한 대응 역시 제품의 가격·성능 못지않게 제품 선택에 있어 매우 중요하게 받아들여지고 있으며, 결국 기업의 전반적인 이미지를 결정하는 주요 요인으로 작용하기 때문에, 각 기업들은 에너지 효율성, 폐기물의 재활용 정책, 유해화학물질 관리, 기후변화 대응 측면 등과 관련된 환경관리 정책을 더욱 강화하는 추세에 있다.

글로벌 기업들에서 규제·관리하고 있는 주요 물질로는 우선 할로겐 화합물, 오존파괴물질, 아조화합물, 일부 금속, 휘발성 발암화합물 등을 들 수 있지만, 최근 들어 이들 기업의 대부분은 독성 화학물질과 관련된 정책을 더욱 강화한 것으로 알려지고 있다. 특히, 화학물질 중 브롬계 난연제, PVC, 수은, 프탈레이트, 베릴륨, 안티몬 등의 사용 금지를 시행하거나 시행할 계획이 있는 것으로 보이며, 소니 에릭슨은 안티몬, 베릴륨, 프탈레이트 등의 유해 화학물질의 사용을 금년 초부터 금지하고 있으며, 노키아와 애플은 브롬계 난연제와 PVC, 수은 사용을 전면 금지하고 있다.² 국내 대기업의 경우에도 자체 유해물질 관리기준을 설정하여, 향후 국제환경규제가 예상되는 화학물질에 대해 엄격한 사용제한 및 철저한 수준관리를 수행하고

Table 2. Materials and substances declared by joint industry guidance (JIG)

Category	Material/substances	Threshold level
Level A	Asbestos	Intentionally added
	Azo compounds	Intentionally added
	Cd compounds	75 ppm or Intentionally added
	Cr ⁶⁺ compounds	1000 ppm or Intentionally added
	Pb compounds	1000 ppm or Intentionally added
	Hg compounds	1000 ppm or Intentionally added
	Ozone depleting substances (CFCs, HCFCs, HBFCs etc.)	Class : Intentionally added, Class : HCFCs 1000 ppm
	PBBs	1000 ppm or Intentionally added
	PBDEs	1000 ppm or Intentionally added
	PCBs	Intentionally added
	Polychlorinated naphthalene (over than 3Cl)	Intentionally added
	Radioactive material	Intentionally added
	short chained chlorinated paraffins (SCCPs)	Intentionally added
	TBT and TPT	Intentionally added
	TBTO	Intentionally added
Level B	Sb compounds	1000 ppm
	As compounds	1000 ppm
	Be compounds	1000 ppm
	Bi compounds	1000 ppm
	Br compounds (except PBBs, PBDEs)	1000 ppm
	Ni	1000 ppm
	Specific phthalates	1000 ppm
	Se compounds	1000 ppm
	PVC	1000 ppm

있으며, 최근에는 할로젠 프리 선언을 통해 제품 내 브롬, 플루오린, 염소와 같은 할로젠 원소의 함유량을 일정농도 이하로 관리하는 등 제품내 유해물질 관리를 위한 다각적인 노력을 기울이고 있다. 특히, 삼성전자와 LG전자는 최근 각자 별도로 지정, 관리해 오던 유해물질 분석기관을 공동으로 지정, 운영하도록 하는 ‘LG-삼성 Eco Lab 상호인정협약’을 체결해 양사의 인증 분석기관이 통합 관리됨으로써, LG-삼성 친환경 공동인증체제 구축의 핵심인 유해물질관리 공동기준 마련에 중요한 토대가 마련하였다.

이러한 글로벌 기업에서의 제품 내 환경유해물질 관리의 2005년 4월 승인·공표된 ‘Joint Industry Guidance (JIG)-material composition declaration for electronic products’에 그 바탕을 두고 있는데, JIG 선언 물질 및 화합물은 크게 레벨 A(현재 시행중인 법에 영향을 받아 사용금지, 사용제한, 그리고 추가적인 데이터에 대한 보고가 필요한 물질/화합물 목록)와 레벨 B(환경·보건·안전에 영향을 미치는 경우, 폐기물 처리 시 유해성이 유발될 가능성이 있는 경우, 혹은 전 과정 관

리에 부정적인 영향을 미치는 경우에 하나 혹은 그 이상에 해당되어, 제조자의 적절한 관리가 요구되는 물질/화합물 목록)로 나누어진다.¹² Table 2에는 JIG에서 선언된 유해물질 목록을 정리하였다.

3. 주요 물질별 시험분석 방법

RoHS 규제대상인 6대 유해물질 분석과 관련하여 가장 많이 언급되고 있는 표준으로는 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission; IEC) 기술위원회(Technical Committee; TC) 111에서 규정하고 있는 전기·전자 제품에 함유된 6가지 규제물질의 수준 측정 절차 가이드인 IEC 62321이 있다.⁷ IEC 62321은 크게 본장에 명시된 수은, 납 및 카드뮴 시험방법과 Annex에 명시된 PBBs/PBDEs 및 6가 크로뮴으로 나눌 수 있는데, 그 세부적인 방법은 기존의 EPA에서 제시하는 시험방법이 활용되고 있다. IEC 62321은 시료의 준비, XRF를 이용한 사전 스크리닝, 매질 조정(polymers, metals, electronics)을 포함한 시

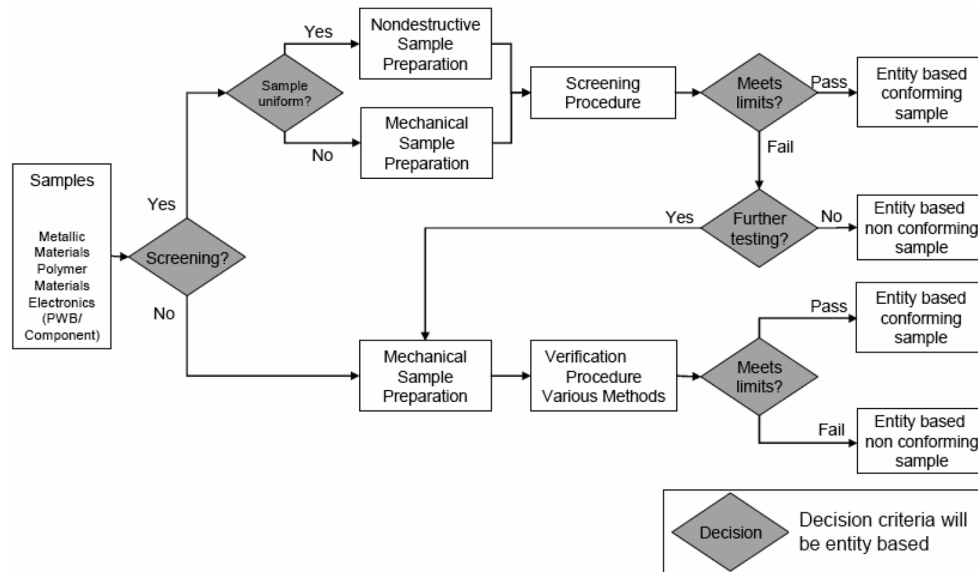


Fig. 1. Flowchart of the test procedure for the determination of levels of six regulated substances in electrotechnical products.

협조작, GC/MS, UV/VIS, ICP-AAS, ICP-MS, AAS 등을 이용한 기기분석 방법, 각 시험방법의 적용범위 및 한계 등 전기 · 전자제품에 사용된 고분자, 금속, 세라믹 계열의 전자부품에 함유된 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬, PBBs 및 PBDEs 분석과 관련한 총괄적 시험방법을 다루고 있다. 완제품에 대해 제한된 유해물질의 허용정도를 평가하는 지침인 IEC 62321은 제품을 구성하는 다양한 부품 소재에 대한 기본적인 분류, 복합 부품소재에 대한 분석항목별 전처리 방법, 대상 유해물질의 분석절차 및 적용범위 등 전기 · 전자 제품에 함유된 유해물질 분석을 위한 기본적인 가이드라인을 제시하고 있으며, 표준제정과정에서도 기존에 제시된 시험방법을 최대한 활용하는 한편, 추가적인 실험부분에 대한 data 수집, 검토 및 의결에 대한 합리적인 조정이 이루어졌기 때문에, 향후 전기 · 전자제품관련 국제환경규제 유해물질에 대한 신규 시험분석방법 표준화 개발을 위한 중요한 지침으로 활용될 것으로 판단된다. Fig. 1에는 IEC 62321에 대한 시험방법 절차도를 나타내었다.⁷⁾

Table 1에 제시된 전기 · 전자제품 관련 국제환경규제인 RoHS와 PoHS, 신화학물질 규제시스템인 REACH 및 Table 2에 있는 기업의 자발적 물질규제 선언인 JIG에서 공통적으로 규제하고 있거나 향후 강화된 규정에 의해 규제 가능성이 있는 화학물질로는 우선 유해금속 중 3.1. 비소 및 비소화합물, 3.2. 니켈 및 니켈

화합물, 3.3. 안티몬 및 안티몬화합물, 3.4. 코발트 및 코발트화합물, 3.5. 베릴륨 및 베릴륨화합물, 3.6. 주석 및 주석화합물 등이 두 개 이상의 국제환경 규제에서 공통적으로 언급되고 있다.⁶⁾ 또한, 할로겐 화합물에서는 염소계 화합물, 브롬계 화합물, 불소계 화합물의 형태로 유기화합물 혹은 유해금속 결합물에 대한 관리가 이루어지고 있다. 이외에도 프탈레이트계 화합물로는 DEHP, BBP, DBP, DOP 및 이들과 함께 6대 프탈레이트 화합물로 분류되는 DINP와 DIDP가 일반적으로 규제되는 화합물로 분류되었다. 대상 화학물질별 주요 시험방법은 다음과 같이 정리된다.

3.1. 비소 및 비소화합물

소량의 비소를 구리에 가하면 내열성이 증가하고, 납에 가하면 굳기가 증가하기 때문에, 비소는 주로 납-안티몬계의 베어링 등에 합금의 형태로 이용된다. 비소는 안료, 페인트, 염료, 갈륨비소 반도체, 난연제, 착색유리제조, 금속접착제, 살균제, 목재 방부제 등 산업 전반에 걸쳐 다양하게 사용되고 있으며, 전기·전자산업에서는 RoHS에서 제한하고 있는 PBBs, PBDEs를 대체하는 물질로 안티몬, 비스무스와 함께 무기계 난연제로 사용하고 있다. 흡원소물질 비소는 생체에 거의 흡수되지 않지만, 의약품이나 농약에 첨가되는 아비산이나 비산 등의 화합물은 독성이 매우 강하며, 비소가 As(III), As(V) 등의 무기화합물 형태로 존재하는

경우, 소화기를 통해 신속히 흡수되는 것으로 보고되며, 간염, 근육수축, 신장염 등의 질병으로 발전하기 때문에, 국내외에서 주요 환경오염물질로 분류, 관리되고 있다.

비소 시험과 관련된 표준은 매체에 따라 매우 다양하게 적용되고 있으며, 비소를 정량하는 방법도 (spectro) photometric method, (flame) atomic absorption spectrometric method, titration method, inductively coupled plasma (atomic emission spectrometric) method 등 다양한 방법이 적용되고 있다. 하지만, 많은 규격은 철 및 강, 납, 니켈, 철광석, 구리, 석탄 및 코크스 혹은 관련 금속 합금 중 비소의 함유량을 측정하는 방법이거나, 수질, 토양, 대기시료, 작업장 공기질 등 환경매체에 대해 규제하고 있기 때문에, 전기·전자 부품·소재에 그대로 적용하기는 어려운 상황으로 판단된다. 주요 규격으로는 화학물질에 대한 일반적인 비소 분석규격인 NF T20-054, 산업용 황, 염산, 황산 및 인산에 대한 규격인 ISO 3705, NF T20-273/298/475, 페인트에 대한 NF T30-219, 먹거리 중 비소를 포함한 미량 원소에 대해 규정하고 있는 EN14546 (2005) 등이 있으며, KS로는 철 및 강, 구리 및 구리합금, 섬유제품, 전분 및 유도제품 등에서의 비소분석에 대한 규격이 마련되어 있다.

3.2. 니켈 및 니켈 화합물

니켈은 철과 성질이 비슷한 은백색의 금속으로서 강도, 경도가 크고, 내식성과 내열성이 크기 때문에, 사용되는 용도가 다양하며 그 범위도 매우 넓다고 할 수 있다. 니켈의 가장 큰 용도는 페로니켈 또는 니켈 지금의 형태로 특수강에 첨가하는 것이지만, 니켈도금 역시 아름다운 광택과 내식성을 지니고 있어 각종 도금 중에서도 가장 중요한 위치를 차지하고 있다. 최근에는 전기통신기 재료로서도 널리 쓰이는데, 판 및 선의 형태로 진공관 재료로 쓰이는 한편, 합금으로서 자성재료 및 전열재료로도 사용되고 있다. 비철합금으로는 백동·양은·모넬메탈·하스텔로이드·인코넬 등이 있는데, 내식·내열·강도 등에서 각기 특징을 지니고 있어, 기계장치의 구조재료로 사용된다. 이 밖에 각국에서 합금의 형태로 화폐를 만드는 데 쓰이고 있으며, 수소첨가 반응에서 촉매로도 사용된다. 하지만, 최근에는 니켈이 피부접촉에 의한 알레르기를 유발하는 것으로 알려지면서, 선진국에서는 인체와 접하는 제품(핸드폰, 피어싱 장신구, 헤드셋 등)에 대한 니켈 금속의 사용을 제한하고 있다.

니켈화합물 분석과 관련된 대부분의 표준은 구리, 망간, 아연, 철, 알루미늄, 마그네슘 원석(재료) 혹은 관련 합금에 대한 니켈 측정과 관련된 규격으로, 전기·전자기기 부품원료로 이용되는 단일 금속 또는 합금 중 니켈 함유량 평가에는 직접 적용이 가능하지만, 수많은 부품이 조립된 최종 제품(final products)에 대한 니켈의 총량적 함유량 평가에 적용하기에는 다소 무리가 있기 때문에, 향후 전기·전자제품(electrotechnical products)에 대한 니켈 함유량 평가를 위한 보다 넓은 형태의 규격화가 이루어질 것으로 예상된다. 이외에도 토양과 수질시료에 대한 니켈 및 기타 중금속 분석에 대한 함유량 시험(ISO 11047:1998, ISO 8288:1986), XRF를 이용한 석유제품에서의 니켈과 바나듐에 대한 분석(ISO 14597:1997), 동물성 유지 및 식물성 기름에 대한 니켈함유량 시험(ISO 8294:1994) 등의 국제 규격이 눈에 띄며, 피어싱 장신구에서의 니켈분석과 관련된 reference test method인 EN 1810이 눈길을 끈다. 국내에서는 무게적정법, 원자흡수분광법, 유도결합플라즈마 등 다양한 기법을 통한 단일금속 혹은 합금에 대한 니켈 분석방법이 규정되어 있다.

3.3. 안티몬 및 안티몬 화합물

전기·전자제품에 이용되는 안티몬 화합물은 합금의 형태(납-안티몬계, 주석-안티몬계, 납-주석-안티몬계)로 베어링합금이나 축전지용 극판으로 이용되는 한편, 순금속의 형태로 보호용 도금, 안료, 반도체 재료로 이용되는 등 응용범위가 매우 넓으며, 최근에는 PBBs, PBDEs와 같은 브롬계 난연제를 대체하는 물질로 주목받고 있다. 가장 많이 사용되는 화합물로는 안티몬 화합물 사용량의 약 2/3를 차지하는 antimony trioxide (Sb_2O_3)로서, TV, 전기적 분리판 등에 사용되는 플라스틱의 난연제로 사용되고 있으며, polyethyleneterephthalate (PET)의 대량생산의 촉매로도 사용되고 있다. 또한, antimony trisulfide (Sb_2S_3)는 주로 자동차 타이어의 고무 가황(vulcanization)에 사용되며, 이 외에도 유리, 폭약, ceramics 등에도 사용되고 있다. 금속인 안티몬은 합금으로서 반도체산업과 자동차 배터리 제조에 사용되고 있다. 안티몬 화합물 중에 수소와 결합한 antimony trihydride (SbH_3 , stibine)은 매우 독성이 크며, 근래에 와서 antimony trioxide (Sb_2O_3)는 암을 유발하는 유해물질로 분류되어 유럽 및 미국에서는 안티몬의 사용을 억제하고 있으나 우리나라에는 아직까지 안티몬에 대한 환경 기준치가 마련되어 있지 않다.

안티몬 화합물 분석과 관련하여 ISO, ASTM, KS

등의 표준이 마련되어 있지만, 이들 대부분은 단일금속 또는 합금 중 안티몬을 분석하는 규격, 혹은 물, 토양 등과 같은 환경매체 중 안티몬화합물을 모니터링하는 방법에 대해 규정하고 있어, 전자·전기기기에 이용되는 부품·소재와 같이 다양하고 복잡한 재료에 함유되어 있는 안티몬 함량분석에 직접 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 전자·전기기기 부품·소재에 존재하는 안티몬 혹은 안티몬 화합물 함량 분석 표준화를 위해서는 기존에 존재하는 시험규격에 대한 철저한 분석을 바탕으로, 해당 시험방법의 적용 범위 및 한계, 안티몬을 함유하는 RM 혹은 CRM 개발, 각 소재 및 매체에 대응하는 전처리 과정, 분석과정에서 다른 원소 혹은 매트릭스에 의한 간섭효과 및 방해효과를 최소화하는 방법 등에 대한 추가적인 검증 실시하여, 전처리 및 분석오차는 최소화하는 한편 분석결과와 신뢰성과 데이터의 재현성을 높일 수 있는 최적의 시험분석 방법을 개발해야 할 것으로 보인다.

3.4. 코발트 및 코발트 화합물

코발트는 철과 비슷한 광택이 나는 금속으로, 강한 자성을 가지는 금속이다. 가열해도 잘 용해하지 않으며, 공기 중에 방치해도 표면에 녹이 슬 뿐 잘 부식되지 않기 때문에 합금으로서 중요하며, 고속도강·영구자석 등의 자성재료, 내열·내식강 등으로도 사용된다. 비철합금으로서는 고온에서 내산화성·내식성·내마모성·기계적 성질 등이 뛰어난 것을 얻을 수 있으며, 결합재 등으로 사용된다. 도금, 화합물로서 유리·도자기, 등의 청색 안료, 동위원소인 코발트 60 제조 등에도 사용된다. 전자·전기제품에서는 자성기록매체, 우레탄수지, IC용 리드프레임, 저항기, 트랜스, 모터, 수정진동자, 반도체, 스위치, 플러그, 이차전지전극, 프린트기판, 냉음극관램프, 저항기, 온도센서 등의 용도에 사용되고 있다. 한편, 염화코발트(II)는 실리카겔 및 염화코발트 종이와 같은 흡수제 혹은 수분감지제로 이용되며, 산화코발트(II)는 세라믹 소재, 도자기류에 이용되는 유약, 플라스틱 첨가제 혹은 착색물질로 이용된다.

코발트화합물의 정량 방법으로는 (spectro) photometric method, (flame) atomic absorption spectrometric method, titration method, inductively coupled plasma (atomic emission spectrometric) method 등이 있지만, 다른 중금속 분석규격의 경우와 마찬가지로, 대부분이 원석, 희토류 금속 혹은 관련 합금 중 존재하는 코발트의 함량을 측정하는 방법에 대한 것으로, 복합재료가 이

용되는 전기·전자기기를 총괄적으로 평가하는 규격은 아직까지 마련되어 있지 않은 상황이다. 주요 국제 규격으로는 철 및 강, 마그네슘 원석 및 기타 강금속(hardmetals) 중 코발트 함량분석 규격인 ISO 11533/3909/6351, 수질시료에 대한 분석방법인 ISO 8288이 있다. 기타 해외 규격 중에서는 페인트를 대상으로 하는 ASTM D2373:05와 흡습제 중 염화코발트(II)에 대한 분석방법을 규정하고 있는 BS 3482-9 등이 눈길을 끈다. 한편, 국내규격으로도 철, 강, 구리 및 각종합금, 섬유, 토양 시료 중 코발트 분석과 관련된 다양한 규격이 제정되어 있다.

3.5. 베릴륨 및 베릴륨 화합물

베릴륨은 은백색 금속으로, 상온에서는 무르지만, 고온에서는 전성·연성이 있으며, 인성·전기전도도·탄성이 크기 때문에, 베릴륨청동·베릴륨니켈 등의 합금의 형태로 전극, 금형, 기계부품, 스위치, 반도체, 스프링, 볼트와셔의 첨가제로 주로 이용된다. 특히, 중성자포착이 극히 작고 단면적이 크기 때문에 원자로에서의 중성자감속재나 반사재로서 중요하게 이용되고 있으며, X선 투과율이 뛰어나 X선관으로 사용되기도 한다. 하지만, 금속베릴륨 및 그 화합물은 유독하고, 접촉에 의한 피부 염증을 유발하거나, 흡입하면 폐가상하는 등 인체에 유해한 물질로 분류되고 있다.

베릴륨 및 베릴륨 화합물은 기타 유해중금속에 비해서 원료 혹은 매체별 규격화가 상대적으로 충분히 이뤄져 있지는 않은 상황이다. 주요 규격으로는 수질시료에 대한 규격인 ISO 11885, 구리 및 구리합금에 대한 EN 14939, 구리/마그네슘/알루미늄 합금에 대한 JIS H 1063/1339/1367 등이 있다.

3.6. (유기)주석 화합물

주석은 공기 중에서 잘 산화되지 않기 때문에, 철, 강철, 구리 등의 표면을 도금하는 데에 널리 쓰이고 있다(세계 주석 소비량의 약 40%는 이러한 도금으로 이용되고 있음). 주석은 청동이나 아말감의 재료 및 전기제품, 라디오 부품 등에 이용되며, 성질이 무해하기 때문에 식료품 가공장치, 가정용 식기원료로 사용되는 등 용도가 다양하다. 한편, TBT(tributyltin)를 비롯한 유기주석 화합물은 PVC 안정제, 첨가제의 형태로 각종 플라스틱 제조에 많이 이용되고 있으며, 산업용 촉매, 목재보존제(방부제) 그리고 의류, 카페트, 신발의 바닥재 등에는 박테리아나 곰팡이의 증식억제, 살충제, 살균제 등 산업 전반에 걸쳐 다양하게 사용되

Table 3. Analytical methods for halogen element

Analytical methods	Advantage	Disadvantage	Related standard
XRF	Non-destructive testing method	Limitation for the low halogen content Matrix effect Low reproducibility	IEC 62321
Oxygen flask-IC	Traditional testing method Various analytical method	Incomplete combustion Sample validation	JPCA-ES01 IEC 61189-2 EN 14582
Calorimeter-IC	Traditional testing method	Incomplete combustion Sample validation Metal corrosion/Black carbon adsorption	EN 14582 ASTM D 3761
Automatic combustion-IC	Complete combustion Automatic testing method	Expensive equipment No official standard	IEC 60754 EN 50267 ASTM D 7359

고 있다. 특히, Triorganotin 유도체화합물은 주로 살충제, 살균제로 이용되며, 선박용 페인트에 함유된 TBT는 선박표면에 조개, 해초 등과 같은 해양생물이 달라붙지 못하도록 하는 방오제(antifouling agent)의 용도로 첨가하고 있다. 하지만, 금속인 주석과는 달리 유기주석 화합물의 약 30%는 강한 생물독성을 가지는 것으로 알려지고 있어 현재 많은 국가들은 사용을 금지하고 있다.

유기주석 화합물의 정량 방법에 관한 규격은 그리 많지는 않으며, 대부분 수질시료에 함유된 유기주석 화합물에 관한 ISO규격인 “water quality-determination of selected organotin compounds-gas chromatographic method (ISO 17353:2004)”에 기반을 두고 부합화한 규격이며, 토양시료에 대해서는 draft standard 형태인 ISO 23161이 있다. 이 외의 규격으로는 방오도료에서의 유기주석을 다루고 있는 ASTM D 5108, 수질시료 및 슬러지 시료에 대한 유기주석 분석을 다루는 DIN 38407-13, 섬유제품의 유기주석 화합물 함유량 시험방법인 KS K 0737 등이 있으며, 특정화합물인 tributyltin, dibutyltin 및 monobutyltin을 다루는 규격으로는 영국의 규격인 DD 257-2:2003 등이 있기는 하지만, 전기·전자 부품을 대상으로 하는 규격은 아직까지 마련되어 있지 않은 실정이다.

3.6. 할로겐 화합물

공업적으로 할로겐은 할로겐 자체의 특성보다는 할로겐화 유기화합물의 특성을 이용한 부품 소재의 개발로 많은 각광을 받아왔다. 특히 할로겐 화합물의 열적 안정성을 이용한 제품들이 많이 사용되고 있으며, 전기·전자제품에 이용되는 염소계 및 브롬계 난연제가 대표적인 예라 할 수 있다. 하지만 최근 들어 할로

겐의 인체독성 및 내분비계 장애물질 발생에 대한 우려로 전지전자제품의 환경규제가 강화되고 각 국가 및 기관별로 별도의 기준으로 환경유해물질을 관리하는 차원에서 할로겐 원소 역시 관리대상 유해 화합물 질로 인정되고 있는 추세이다.

할로겐 원소에 대한 분석 방법에는 환경시료에 대한 EN 14582 규격이 대표적으로 적용되고 있으며,¹⁶⁾ 최근 자동화 분석장치를 이용한 제품 내 할로겐 원소 분석을 위한 표준화 작업이 추진되고 있다. 할로겐 원소를 분석하는 방법으로는 XRF, 산소플라스크, 산소열량계, 연소 IC법 등이 있는데, 각각의 제시 방법들이 모두 나름대로의 단점들을 지니고 있어 시험기관들은 각 표준을 활용한 자체 시험방법을 통해 시험결과를 도출하는 상황이다.^{3,4} Table 3에는 주요 할로겐 원소 시험방법에 대한 장단점을 비교하였다.

3.7. 프탈레이트 화합물

일반적으로 가소제로 이용되는 프탈레이트 화합물은 폴리머의 용해온도 또는 용융점도를 저하시켜 성형가공을 용이하게 하고, 폴리머의 유연온도 저하에 따른 사용온도 범위에서 폴리머에 유연성을 부여하거나, 탄성, 점성을 부여하기 위해 이용된다. 주요 프탈레이트 물질로는 DOP, DBP, DEHP, BBP, DINP, DIDP, diethyl phthalate (DEP), di-n-propyl phthalate (DprP), di-n-pentyl phthalate (DPP), dicyclo hexyl phthalate (DCHP) 등이 있다. 지금까지 프탈레이트는 정소와 난소에 대한 독성, 내분비계 장애 등과 관련해 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

프탈레이트 가소제에 대한 분석은 분석기기의 발전 및 새로운 분석 방법이 개발되면서 다양한 형태로 발전해왔는데, 일반적인 가소제의 분석에는 packed

column이나 capillary column을 장착한 GC/MSD를 일반적으로 사용해 왔으나, 최근 신규로 개발된 프탈레이트에 대해서는 HPLC나 HPLC/MS가 이용되기도 한다. 하지만, 최근 다양한 형태로 개발, 변형되고 있는 신규 프탈레이트 화합물에 대해서는 표준화가 충분하지 않은 상황이며, 일반적으로 많이 인용되는 분석방법으로는 ISO 18856과 EPA 8061A 등이 있다.⁵

유해물질 분석과 관련된 표준시험방법은 특정 화학물질(예, antimony trioxide)에 대한 개별 시험분석 방법과 특정 원소로 포함하는 화합물(예, antimony compounds)에 대한 총괄적 시험분석 방법으로 나눌 수 있다. 특정 화합물에 대한 개별 시험방법은 특정 화합물을 분석함에 있어 물리화학적으로 비슷한 성상을 가지는 화합물에 의한 간섭현상이나 매트릭스 효과를 최소화하는 한편, 전처리과정에서 일어날 수 있는 정량 대상물질의 소실, 분해, 물질변환을 막을 수 있어 시험결과에 대한 신뢰성과 데이터의 재현성이 상대적으로 높고 정량한계가 낮아진다는 장점이 있지만, 신규로 생산되는 유사 화학물질에 대한 적용이 어려우며, 매체별 혹은 화학물질별로 개개의 시험분석 규격화가 이루어져야 하기 때문에 각 시험방법 표준화 준비·검토·승인과정에 많은 노력과 시간이 소요된다는 단점이 있다. 반대로 총괄적 시험분석 방법을 통해 시험을 실시하는 경우, 산화 혹은 환원 등의 전처리 과정을 통해 다양한 화학물질을 측정 대상이 되는 원소로 변환하는 과정에서 화합물의 소실로 인한 오차가 발생할 수 있지만, 분석에 소요되는 시간과 노동력을 줄여, 제품 내 유해물질 관리 시스템을 최적화할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 제품 내 유해물질 관리를 위해서는 특정 화학물질에 대한 개별 시험분석 방법과 함께, 관련 화합물에 대한 총괄적 시험분석 방법이 상호 보완적으로 수립되어야 할 필요가 있다. 특히, 제품 생산업체에서는 개별 유해물질에 대한 공인 시험방법이 확립되지 않은 상황이라 하더라도 수출 제품에 대해 유해물질을 함유하고 있지 않음을 증명할 필요가 있기 때문에, 대분류 물질에 대한 함량을 분석하는 방법을 통해 개별 유해물질의 유무를 확인하거나 함유 수준을 유추하는 방법으로 국제환경규제를 유연하게 대처할 수 있다. 예를 들어, 전기·전자제품에서 cobalt dichloride의 농도를 분석하기 위해서는 이 화합물에 대한 시험분석 표준이 필요하지만, 아직까지 cobalt dichloride에 대한 표준 시험방법이 마련되어 있지 않기 때문에, 표준 시험방법이 마련될 때까지는 cobalt와 chlorine의 분석을 통해 cobalt dichloride

의 유무 및 결합비(molecular ratio)를 이용한 최대 농도치 추정이 이루어질 수 있다. 또한, 일부 기업에서는 자사 제품에 대해 염소, 브롬, 불소 등의 할로겐 원소 분석을 통해, 할로겐 원소 자체에 대한 함량뿐만 아니라, 제품 내 PCBs, dioxin 등의 미량 염소계 화합물, PBBs, PBDEs 등의 브롬계 난연제, PFOS, PFOA를 포함한 불소화합물 등에 대한 일차 모니터링을 실시하고 있다. 이러한 구성 원소(화합물) 분석을 통한 특정화합물의 유무를 평가하거나 함량을 추정하는 방법은 분석하는 과정에서 소요되는 분석 비용이나 소요시간을 줄이는 한편, 개별 화합물질에 대한 분석 표준이 마련되지 않은 상황에서 적용할 수 있다는 장점을 가지기 때문에, 향후 그 적용범위나 한계, 표준화와 관련된 연구가 더욱 확대될 것으로 판단된다.

4. 결 론

본문에서 살펴본 바와 같이, 세계 각국은 제품 폐기 생산, 유통 및 폐기과정 등 제품의 전 생애(life-cycle)에 걸쳐 야기될 수 있는 인체·생태독성과 잠재적 환경오염을 억제하는 환경규제를 신설하고, 기존의 규제에 대해서도 그 범위와 대상항목을 지속적으로 확대, 강화하는 방식을 통해 국민건강과 환경 보호, 나아가 제조업을 중심으로 한 자국 내 산업보호를 도모하는 새로운 형태의 국제환경규제 및 기술무역장벽 설정을 위한 다각적인 노력을 기울이고 있다. 이렇게 강화된 국제환경규제에 발빠르게 대응하기 위해서는 규제대상 유해물질에 대한 시험분석기술 표준화를 통한 제품 내 유해물질 정보의 철저한 관리가 요구된다. 하지만, 시험분석기술 표준화하는 작업은 대상물질의 특성, 매체·매질에 대한 영향, 최적 전처리 프로세스 확립, 시험방법 및 분석기기별 검출한계(MDL 및 LOD) 설정, 반복실험 및 시험소간 평가를 통한 재현성, 반복성, 신뢰성 등 제품 내 유해물질 함량평가와 관련된 일련의 과정에 대한 검토에 많은 시간과 노력이 소요되기 때문에, 최근 국제환경규제 대상 유해물질로 새롭게 논의가 되고 있는 모든 화합물에 대해서 표준화된 시험분석 방법을 적용하기가 사실상 불가능하다. 이에 각 시험기관에서는 자체 SOP나 ASTM과 같은 단체규격 및 환경시료를 대상으로 하는 EPA method 등의 유사규격을 준용하여 시험분석을 하고 있는 실정이다. 따라서 제품 내 유해물질에 대한 효과적인 관리를 위해서는 특정 화학물질에 대한 개별 시험분석 방법의 확립뿐 만 아니라, 화합물을 구성하는 원소에

대한 총괄적 시험분석 방법의 확립을 통해 표준화가 마련되지 않은 유해물질에 대해서도 제품 내 원소 모니터링을 통한 특정 유해물질 함유 수준을 유추하는 등 현행 국제환경규제에 대한 유연한 대처가 요구된다. 이와 더불어 각 시험기관에서는 표준화안이 마련되어 있지 않은 유해물질에 대해 현재 어떠한 시험방법을 적용 또는 준용하여 시험하고 있는지에 대한 정보를 공유하는 한편, 시험방법 확립을 위한 워킹그룹(working group)을 구성하여 신규 규제물질에 대한 시험방법 개발을 위한 공동대응이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 표준기술력향상사업 국제환경규제대응네트워크 홈페이지, <http://www.n-cer.com>
- GREEN PEACE 홈페이지, <http://www.greenpeace.org/international/campaigns/toxics/electronics>
- 정재학, 김효경, 이양형, 이임수, 신종근, 이상학, 연소IC를 이용한 플라스틱 중 할로겐 물질 정량, 분석과학 제21권 제4호 (2008).
- 최은경, IEC 62321 국제표준 소개 : 전기전자제품 유해물질 시험분석 표준, 2009.
- 국제환경규제 유해물질의 시험방법 개발 및 표준화, 2008, 지식경제부.
- 전기·전자 부품소재관련 국제환경규제 후보 유해물질 시험분석 방법 표준화 수요조사 보고서, 2008, 한국전자정보통신산업진흥회.
- 전기·전자제품의 RoHS 대응 국내·외 동향분석, 2006, 기술표준원.
- RoHS 대응 유해물질 분석방법, 2005, 기술표준원
- RoHS 대응 국내 시험성적서의 국제적 활용방안을 위한 조사연구, 2005, 기술표준원.
- 日本電子(柱)用研究センター, 解よくわかるWEEE&RoHS 指令, 2007, 日刊工業新聞社.
- EU新化學品規則 REACHがわかる本, 2007, 財団法人化學物質評研究機構.
- Joint industry guide(JIG)-101, Material composition declaration for electric products, 2005, Electric industries alliance.
- European Commission, Directive 2002/95/EC of the European Parliament of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS).
- The European parliament and of the council, directive 2002/96/EC, Official Journal of the European Union 2003 on the waste of electric and electronic equipment (WEEE).
- Norwegian Pollution Control Authority, Norwegian Product Regulations: Prohibition on Certain Hazardous Substances in Consumer Products (PoHS).
- EN 14582, Characterization of waste - Halogen and sulfur content - Oxygen combustion in closed systems and determination methods - Annex D (informative): Summary of general requirements and recommendations, 25 (EN 14582:2007).