

소리없는 환경폭탄! 중금속

이명헌 / 국립수의과학검역원 특수독성과 수의학박사

산업발전으로 인한 유해 독성물질의 대량방출은 이미 자연계에 중대한 위협요소가 되고 있다. 특히 중금속은 산업폐기물의 형태로 양산되며 자연 생태계의 자정능력으로도 쉽게 제거되지 않을 뿐 아니라 생체내 축적성이 강하여 사람과 동물의 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 또한 현대 사회 발전을 주도하는 산업형태가 대부분 공해배출형이며, 문명의 고도화에 따른 에너지 다소비형의 생활형태는 자연환경을 황폐화시키고 있어 삶의 질 향상과 공중보건을 위해서 인위적인 해결방안이 마련되어야 할 중대한 시점에 와 있다.

가족의 생산기반인 축산환경은 축산물의 안전성과 직결되므로 축산현장에서 중금속 등 유해물질의 안전관리를 위하여 고도의 전문성을 갖춘 수의사의 적극적인 계도와 홍보가 절실히 요구된다.

동서양을 막론하고 급속한 공업화에 따른 심각한 환경오염은 자연 생태계를 파괴하고 인축의 건강을 크게 위협하고 있다. 더불어 산업구조의 선진화로 인한 중화학 공업, 반도체 산업의 집중적인 발달은 비소, 납, 수은, 카드뮴 등 중금속을 비롯한 각종 유해 물질을 포함하는 산업 폐기물의 양산을 초래하였다. 일반적으로 중금속은 대기중에 미립자로서 부유하거나 폐수의 형태로 방류되어 토양, 수자원 등 자연환경을 광범위하게 오염시키는 것으로 알려져 있다.

중금속(Heavy metals)이란?

자연계에는 약 100여종의 무기원소가 분포하고 있으며 이중 유기물의 주요 구성성분인 원자량 16이하의 원소(수소, 산소, 질소, 탄소)를 제외한 제 3~5주기의 금속원소들은 대개가 생명현상 유지를 위하여 필수적인 것들이다. 영양학적으로 불 때 알카리토류(Earth group)에 속하는 나트륨, 칼륨, 칼슘 및 철 등은 인체가 정상적인 생리기능을 수행하는데 절대적으로 필요한 원소로 체내

분포나 영양학적 요구량이 많아(10~1000ppm) 다량광물질(Macro element)로 분류하며 아연, 마그네슘, 구리, 니켈, 망간, 코발트, 셀레늄과 같이 체내 존재량은 매우 작은 수준(1ppm이하)이지만 주요 효소의 보결분자단으로서 작용하여 각종 대사과정을 관장하는 무기원소군을 미량광물질(Micro element 또는 Trace element)이라 한다.

한편 중금속은 밀도가 5 이상이며 원자량이 매우 큰(>100) 물질의 총칭으로 대개 금속 고유의 색택을 띠며 자연계에는 지표, 암반 등에 분포하나 그 양은 매우 미미하며 주로 제련, 반도체 등 산업활동의 폐기물로 산생된다.

일반적으로 중금속은 모두 유해한 물질로 알려져 있으나 아연(Zn), 철(Fe), 구리(Cu),

코발트(Co) 등은 생체의 정상 생리 기능을 유지하는데 필수적인 금속으로 분류된다. 그러나 필수 금속이라 해도 과잉 섭취하면 생체에 금속이온의 조절·유지기전 등이 파괴되어 독성작용을 나타낼 수 있어서 구리의 과잉섭취는 용혈성 빈혈 및 모세혈관의 손상, 간장 등의 실질 장기에 장애를 초래하며, 코발트는 조혈기능의 저해들을 야기시킬수 있다. 특히 수은(Hg), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 비소(As)등은 생체에 불필요할 뿐 아니라 치명적인 독성을 유발하여 대표적인 유해 중금속으로 거론된다.

중금속은 왜 위험한가?

중금속은 생체내에서 매우 안정한 형태의 유기 복합체를 형성하여 생체 활성유지에

표 1. 광물질의 영양학적 분류

유해광물질 (Toxic element)	필수광물질(Essential element)		준필수광물질 (Semiessential element)
	다량광물질 (Macro element)	미량광물질 (Micro element)	
비소(Arsenic)	칼슘(Calcium)	망간(Manganase)	바륨(Barium)
납(Lead)	마그네슘(Magnesium)	철(Iron)	바나듐(Vanadium)
카드뮴(Cadmium)	나트륨(Natrium)	구리(Copper)	스트론튬(Strontium)
수은(Mercury)	칼륨(Kalium)	요오드(Iodine)	니켈(Nickel)
불소(Fluorine)	인(Phosphorus)	아연(Zinc)	실리콘(Silicon)
크롬(Chromium)	황(Sulfur)	코발트(Cobalt)	루비듐(Rubidium)

필요한 각종 효소들과 비가역적으로 결합함으로써 당, 단백질 및 각종 에너지 대사계를 차단하여 생리기능에 영향을 미치게 된다. 또한 물리화학적 특성상 난분해성이며 축적성이 강하여 축산환경에 지속적으로 존재하면서 먹이사슬을 통하여 동물에 이행된 후 사람의 체내에 다량 축적될 경우에는 생체 기능의 심각한 장애를 유발하게 된다.

뿐만 아니라 근래에 들어서는 수은, 납 등 일부 중금속이 생체내의 섬세한 호르몬계에 영향을 주어 생식기능을 비롯한 내분비기능에 광범위한 독성작용을 미치는 내분비계 장애물질로 분류되어 충격을 더하고 있다. 이러한 물질들은 보편적인 급·만성 중독 증세는 물론 차세대에도 심각한 독성을 발현할 수 있는 잠재력을 갖고 있으며 생태계의

자정능력에 의하여 쉽게 제거되지 않으므로 축산환경의 건전성을 해치는 주범으로 작용할 수 있는 개연성이 매우 높다.

중금속에 의한 가축의 중독증은 주로 방치된 오염원 즉 밧데리, 페인트, 비료, 도금 부산물에 직접 노출되거나 또는 오염된 사료, 물, 토양, 건초 등에 의해 발생할 수 있는 것으로 알려져 있으며 부주의로 많은 양을 섭취할 경우는 중독양상이 급성으로 진행되어 대부분 폐사에 이르는 반면, 오염된 축산환경에 지속적으로 노출되는 경우에는 만성 중독의 경과를 취하여 점진적으로 중금속이 축체로 이행, 잔류하게 되므로 가축은 물론 축산물을 섭취한 사람의 건강을 해칠 수 있으므로 위해정도가 훨씬 심각한 것으로 사료된다.

표 2. 주요 중금속의 독성발현 표적기관

기관계	중금속			
	비소	카드뮴	납	수은
비뇨기계		○	○	○
신경계	○	○	○	○
소화기계	○	○	○	○
호흡기계	○	○		○
조혈기계	○		○	
뼈		○		
내분비계			○	○
피부			○	

중금속 오염에 따른 피해사례 및 언론 보도내용

◆ 미나마타 - 수은중독의 비극

일본 큐슈에서 발생하여 미나마타 병으로 명명된 수은 중독 사건은 중금속에 의한 대표적인 오염사례로 손꼽히고 있다. 이 사건은 1953년 큐슈 남서쪽의 작은 포구인 미나마타만 인근 주민들이 신경마비, 뇌기능손상, 시력상실, 근육이완, 전신마비 및 혼수상태 등을 주증으로 하는 원인불명의 괴질에 시달리면서 본격적으로 세상에 알려지게 되었다.

당시 미나마타만 근교에 위치한 화학공장(염화비닐, 아세트알데히드 제조)에서 공장폐수를 무단방류하였고 무기 수은이 함유된 폐수는 해양으로 유입된 후 독성이 강력한 메틸수은으로 변화과정을 거치게 되었다.

그림 1. 미나마타병(수은 중독)에 의한 기형



생태계에 노출된 메틸수은은 먹이사슬을 통하여 각 단계의 생물에게 골고루 농축되었으며 오염된 해양생물을 섭취한 주민들은 수은중독에 걸려 구마모토현과 가고시마현에서 2,266명의 환자가 발생하였고 이중 사망자는 938명에 달하였다.

◆ 이타이 이타이- 카드뮴 중독의 재앙

1947년부터 1965년까지 약 20여년간에 걸쳐 모두 100여 명이 숨진 카드뮴 오염 사건으로 일명 “이타이 이타이” 병으로 알려졌다. 일본말로 이타이는 “아프다”라는 의미로, 카드뮴이 뼈의 주성분인 칼슘 대사에 장애를 가져와 뼈를 연골화시켜 중독증에 이환된 환자가 통증을 호소하는 과정중에 “아프다”라고 하여 카드뮴 중독증을 “이타이 이타이(아프다)”로 명명하게 되었다. 훗날 밝혀진 카드뮴 중독의 원인은 일본의 진슈강 50km 상류에 있는 한 아연 광산에서 버린 폐수가 하천을 따라 강으로 흘러 들어갔고 이 폐수에 혼입되어 있던 다량의 카드뮴이 농업용수로 사용되는 하천을 오염시킨 것으로 판명되었다.

당시 기록에 따르면 이 지역에서 재배된 벼에는 다른 지역보다 무려 10배 이상이나 높은 카드뮴이 검출되었으며 오염된 쌀을 오랫동안 섭취한 마을 주민들은 심각한 카드뮴 중독의 피해를 겪게 되었다.

◆ 폐광산주변 농작물 중금속 오염[한겨레신문, 2000년 4월 27일]

우리나라 폐광산 주변 토양과 하천수, 지하수가 비소, 카드뮴, 납 등 중금속 기준치를 초과했으며, 주변 논밭에서 생산된 현미와 채소류 등에서는 인체에 치명적인 카드뮴이 기준치 이상으로 검출된 것으로 드러났다.

환경부에 따르면 관·민 합동조사반이 '99년 6월부터 '00년 1월까지 경북 울진의 금장광산 등 전국 10개 폐광산의 555개 지점을 조사한 결과 198개 지점에서 비소, 카드뮴, 납 등 중금속이 토양오염 우려기준을 초과한 것으로 밝혀졌다.

한편 오염지역의 논에서 생산된 벼에서 식약청 식품공전의 잔류허용기준치(0.2mg/kg)를 초과하여 0.3mg/kg의 카드뮴이 검출되었고 콩, 고추에서도 카드뮴 성분이 각각 검출되었다.

◆ 울산 온산항 해저퇴적물 중금속 오염 심각 [한겨레신문 1997년 8월 29일]

중금속을 취급하는 울산 온산국가공단의 대기업들이 원료하역 과정에서 관리 소홀로 원광석을 바다에 흘려버려 온산항 앞바다의 해저 퇴적토가 중금속에 심하게 오염되어 있는 것으로 나타났다. 울산환경운동연합에 따르면 온산항 앞바다의 해저 퇴적토의 시료를 채취해 분석한 결과 고려아연 부두쪽에서

아연 33,200ppm, 구리 900ppm, 납 4,600ppm, 철 16,600ppm, 규소 10,100ppm이 검출되어 심각한 오염도를 나타냈다. 이같은 중금속 오염은 과거 10~20년째 온산항을 원자재수입 전용부두로 사용하는 기업들이 수입 아연과 동광석 등을 하역하는 과정에서 관리소홀로 바다에 흘려버린 데 따른 것으로 나타났다.

어떠한 중금속이 유해한가?

◆ 비소(Arsenic, As)

비소는 살충제나 제초제에 함유되어 토양과 수질을 광범위하게 오염시키며 납, 구리 광석 추출시 부산물이나 유리, 색소 및 합금 공장에서 산업폐기물로 배출되기도 한다. 공기중에서는 분진속에 주로 삼산화비소(As₂O₃)의 형태로 존재하면서 기도를 통하여 폐로 전이하여 중독을 일으키게 된다.

비소의 흡수와 배설경로는 섭취하는 비소의 수준과 화학적 형태에 따라 상당한 차이가 있으나 주로 위장관계에서 흡수되는 반면에 배설은 뇨 타액, 땀 및 피부탈락 등 다양한 경로를 통하여 매우 완만하게 이루어지는 것으로 알려져 있다.

비소의 독성기전은 크게 두가지 경로로 예측되는데 pyruvic acid의 과도한 축적에

의한 신장독성을 초래하는 경우와 산화적 인산화과정에서 비소가 glyceralddehyde-3-phosphate와 경쟁적으로 결합함으로써 정상적인 해당과정을 차단하여 에너지 대사계를 교란하는 것으로 생각된다. 정상상태 소의 간장내 비소 농도는 0.03~0.4ppm 수준이며 중독상태의 경우에는 2.0~70ppm에 이른다 (표 3).

◆ 납(Lead, Pb)

납은 동서고금을 막론하고 오랫동안 가정용 주방기구에 사용되어 왔으며 제련, 인쇄, 페인트, 배터리 등 산업 전반에 활용도가 높아 자연환경을 황폐화시킬 수 있는 대표적인 중금속이다. 특히 자동차 연료의 85% 이상을 점유하고 있는 휘발유에는 녹킹방지를 위하여 lead tetraethyl을 첨가하므로써 대기환경을 오염시키는 주요한 요인으로 작용하여 왔다.

납은 오염된 수질이나 토양을 통하여 축체

로 전이되더라도 용해도가 매우 낮아 소장에서는 약 5-10%만이 흡수되지만 대기중에 미립자의 형태로 존재 할 경우에는 90%이상이 흡입에 의하여 생체내로 이행되며 피부나 폐를 통하여 쉽게 흡수된다.

생체내에서 납은 적혈구의 수명을 단축시키고 heme의 생합성을 저해함으로써 빈혈을 유발하거나 δ-aminolevulinic acid와 porphyrine의 대사기전을 교란하여 뇌기능 실조 및 말초신경의 변성을 초래하기도 한다. 최근에는 수은과 함께 체내에서 내분비교란 효과를 발휘하는 것으로 밝혀져 그 위해성이 매우 심대한 것으로 사료된다. 임상적으로 소의 납 중독을 판단하기 위해서는 혈액이나 모발의 납농도가 매우 유용한 진단자료로 알려져 있다(표 4).

◆ 수은(Mercury, Hg)

공업분야에서 수은은 의약품, 염료의 방부제로 사용되어 산업폐기물의 형태로 용수에

표 3. 소의 체조직 중 비소 농도에 따른 중독증 발현 정도

구분	체조직 농도(ppm)			
	간장	신장	혈액	뇨
정상상태	0.03~0.4	0.15~0.4	0.05	0.5
위험상태	1.0~5.0	1.5~5.0		
중독상태	2.0~70	3.5~53	0.7~1.0	2~14

[주] 출처 : Ministry of Agriculture of the CANADA, Veterinary Trace Mineral Deficiency and Toxicity Information, 1999.

유입되거나 호밀, 밀, 보리 등 곡류의 곰팡이 성 질병을 막기위한 살균제의 유효성분으로 원료사료용 곡물을 오염시키게된다.

산업폐기물중 수은화합물은 수은증기(Hg), 무기수은(Hg⁰) 및 유기수은염 형태로 대별되며 수은증기 혹은 무기수은은 소화관으로의 흡수가 저조하여 경구투여시에는 비독성이지만 호흡 및 피부흡수시는 강력한 독성을 발휘하게 된다. 반면에 유기수은인 저급알킬수은은 일반적으로 간, 신장에 축적성이 강하며 체내에서 일부분해되어 무기수은을 발생시키는데 그 발생정도에 따라 유기수은의 독성정도가 결정된다.

수은화합물에 의해 초래되는 독성은 대개 화학구조, 투여경로, 노출시간과 밀접한 상관관계가 있으며 생체내에서 SH기와 강력한 결합을 형성하여 티올(-SH)기를 갖는 효소를 억제하므로 그 결과 세포의 대사 및 생리적기능을 장애하는 것으로 판단된다. 그외에도 수은은 생체기능 유지에 필수적인 대부분의 관능기(SH)CONH2)NH2)COOH)와 고도의 친화성을 보여 신체전반에 걸쳐 다양한 독성을 발현하게된다.

소의 경우에는 혈액중 수은농도가 3ppm 이상인 경우에는 수은 중독을 의심할 수 있다 (표 5).

표 4. 소의 체조직 중 납 농도에 따른 중독증 발현 정도

구분	체조직 농도(ppm)			
	간장	신장	혈액	모발
정상상태	0.1~1.0	0.2~2.0	0.02~0.20	0.5~5.0
위험상태	2.0~10	3~20	0.30~0.4	60~90
중독상태	5~300	10~700	0.35~32	>100

[주] 출처 : Ministry of Agriculture of the CANADA, Veterinary Trace Mineral Deficiency and Toxicity Information, 1999.

표 5. 소의 체조직 중 수은 농도에 따른 중독증 발현 정도

구분	체조직 수준(ppm)			
	간장	신장	혈액	모발
정상상태	0.01~0.06	0.01~0.09	<0.1	0.1
위험상태			0.2~3.0	
중독상태	2.0~40	50~200	3.0~6.0	5.0~50

[주] 출처 : Ministry of Agriculture of the CANADA, Veterinary Trace Mineral Deficiency and Toxicity Information, 1999.

◆ 카드뮴(Cadmium, Cd)

카드뮴은 전기기관 등의 금속제품에 사용되고 납, 아연등과 함께 채광지역에서 다량 검출되기도 하며 제철업, 피혁제조 및 도료 생산에도 유용하게 이용되고 있다. 뿐만 아니라 요즘 유행되고 있는 도시쓰레기를 이용한 유기질비료는 농작물이나 가축의 중요한 오염원으로 생각된다. 카드뮴의 오염은 대개 폐를 통한 흡수가 주종을 이루며 경구 섭취의 경우에는 약 5%만이 혈액중으로 흡수된다. 혈액중의 카드뮴은 methallothionein 및 hemoglobin과 결합하여 체내를 이동하며 급성중독시 간에 침착되고 만성 노출시에는 주로 신장에 축적된다. 한편 카드뮴의 반감기는 약 10~30년 정도로 배설 속도가 매우 늦고 축적성이 강하여 섭취된 오염물질은 일생동안 축체내에 잔류한다. 카드뮴은 생체의 항상성을 유지하는 각종 효소와 결합하여 활성을 저해하므로써 독성을 발현하며 다른 필수금속의 세포내 흡수를 억제하는 것으로 알려져 있다. 정상상태, 위험상태

및 중독상태 소의 체조직내 카드뮴 농도는 표 6과 같다. 가축의 건강을 유지하고 중금속 등 유해물질이 잔류하지 않는 안전한 축산 식품을 지속적으로 생산하기 위해서는 오염되지 않은 청정한 축산환경을 만드는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 목장, 양돈·양계장 등 축산단지에는 지역환경을 고려하여 가능한 차량왕래가 빈번한 도로변이나, 공단 지역은 피해야 하며 특히 중금속 오염원으로 알려진 광산, 폐광산이 없는 안전한 지역을 선정하여야 한다. 그러나 불행하게도 우리나라의 경우 축산에 적합한 여건을 갖춘 지역이 그리 많지 않음을 고려할 때 기존 축산 시설에 대한 위해요인을 지속적으로 평가하는 것이 축산물의 안전성을 확보하는데 매우 중요한 일이라 생각된다. 가축의 생산기반인 축산환경은 곧 축산물의 안전성과 직결되므로 축산현장에서 중금속 등 유해물질의 안전 관리를 위해서는 고도의 전문성을 갖춘 수의사의 적극적인 계도와 홍보가 절실히 요구된다.



표 6. 소의 체조직 중 카드뮴 농도에 따른 중독증 발현 정도

구분	체조직 농도(ppm)			
	간장	신장	혈액	모발
정상상태	0.02~1.0	0.05~1.5	0.004~0.04	0.04~0.60
위험상태	1.4~2.0	5.0		0.67~16.0
중독상태	50~160	100~250	>0.04	40~100

[주] 출처 : Ministry of Agriculture of the CANADA, Veterinary Trace Mineral Deficiency and Toxicity Information, 1999.