

불소와 그 화합물에 의한 직업성질환

연세의대 예방의학교실 노재훈

1. 성상

불소 원소는 노란색을 띠며 반응성이 강한 기체이다. 산업장의 불소화합물은 형석(Ca F_2)과 빙정석($\text{Na}_3 \text{Al F}_6$)으로부터 비롯된다.

2. 발생원 및 용도

산업장의 불소와 그 화합물들은 불화규산을 방출하는 인광석 공정에서 나오게 된다. 기체 불소는 비교적 적은 양이지만 산업장에서 불소 원소 또는 화합물로서 흔히 볼 수 있다.

불소화합물은 주로 철강의 용융, 벽돌, 타일, 도기, 시멘트, 유리, 범랑, 유리섬유의 제조와 알루미늄 제련에 사용된다. 불소와 불화수소는 탄화불소의 합성, 휘발유 생산(알킬화 촉매제로서), 금속주물 공정과 용접, 로켓트 연료, 금속도금 그리고 표면 고열처리작업에 사용한다.

3. 폭로 직종

인산비료제조업, 개방화덕, 철강공장의 기초적

인 산소용광로, 알루미늄 환원실 작업과 빙정석 공장 등에서 일하는 근로자나 형석, 광부 그외에 시멘트, 자기범랑, 마그네슘 주조업 및 몇몇 도금업 근로자의 폭로 위험이 높다.

4. 작용기전

가. 흡수

가스 형태 또는 입자 형태의 불소는 폐의 폐포에 쉽게 흡수된다. 입자가 모세기관지 이상의 부위에 축적되면 섬모 작용으로 인하여 상부로 배출되어 소화관으로 들어가 결국 위장관에서 흡수된다.

나. 분배

혈중 불소화합물의 25% 정도는 혈장에 존재하며 그 나머지는 적혈구내에 있거나 적혈구의 표면에 붙어 있게 된다. 혈장은 이온형(총 혈액 불소의 20%) 그리고 결합되어 가스 교환이 불가능한 형태의 불소화합물을 가지고 있다. 모든 기관과 조직이 세포액내에 불소화합물을 포함하지만 체내 불소화합물의 99%는 fluorapatite 형

태로 뼈에서 발견된다.

다. 배설

소변을 통해 주로 배설되며 신장 제거율은 빠르기 때문에 24시간내에 흡수된 불소의 60%정도가 배설된다. 흡수량의 10%정도는 대변으로 배설되고 땀, 머리카락, 젖, 침으로 소량이 배설된다.

5. 폭로의 평가

가. 환경 평가

불소화합물에 직업적으로 폭로된 양을 정확히 측정하려면 호흡위치에서 나트륨 포름산(sodium formate)으로 처리된 필터를 통하여 개인 시료 채취기로 공기를 포집한다. 불화 수소의 농도를 측정할 경우에는 적절한 직독식 검지관을 사용한다.

나. 생물학적 평가

요중 불소의 농도를 측정하는 것이 불소의 체내 축적의 가장 좋은 지표인데, 이온특수전극(ion-specific electrode)으로 신속, 정확히 측정할 수 있다. 현재 일상적으로(routine) 혈청 불소량을 측정한다는 자료는 적은 편이다.

1) 요중불소

인체 소변의 불소화합물의 농도는 실제 마시는 물의 불소의 농도에 달려있다. 식수에 불소가 적으면 요중 불소농도는 0.2~0.5 mg/l의 범위로 나타나고 식수에 1 mg/l의 불소가 있게되면 요중 불소 농도는 0.5~1.5 mg/l가 축적된다. 차를 마시면 요중 불소의 농도가 50~100% 증가된다. 고농도로 불화된 물(예를 들어 8~9 mg/l)을 마시면 소변에 많은 양의 불소가 나오게 된다.

불소는 폭로개시후 소변에서 빨리 나타나기 때문에 근무 교대시에 채취한 요중의 불소 농도는 근무중의 불소의 폭로를 나타내 준다. 그러나 근무중의 불소 폭로의 평가를 가장 정확하게 하려면 3~5일 근무후 작업 종료시에 측정하여야 한다. 시간 가중 평균치(TWA)에 의하여 2.5~3 mg/m³ 이상의 농도에 폭로되면 교대 근무시의 요중농도가 8 mg/l를 초과하게 된다. 체내에 축적된 불소를 측정하기 위하여는(주로 뼈의 불소화합물의 양) 최소 2일간의 불소의 폭로를 피한후 소변을 채취하여야 한다.

무중의 불소 폭로의 평가를 가장 정확하게 하려면 3~5일 근무후 작업 종료시에 측정하여야 한다. 시간 가중 평균치(TWA)에 의하여 2.5~3 mg/m³ 이상의 농도에 폭로되면 교대 근무시의 요중농도가 8 mg/l를 초과하게 된다. 체내에 축적된 불소를 측정하기 위하여는(주로 뼈의 불소화합물의 양) 최소 2일간의 불소의 폭로를 피한후 소변을 채취하여야 한다.

6. 임상증상

불소에 직업적으로 폭로되어 임상증세를 나타내려면 수년이 걸린다. 문헌을 통하여 보면 기증 고농도의 불소에(20~9 mg/m³) 폭로되었어도 감지할 만한 초기의 뼈의 변화가 나타나는 데는 약 10년이 걸렸다.

가. 급성중독

급성중독은 기증 고농도의 불소나 불화수소에 폭로되어 생긴다. 급성중독의 경우 눈과 호흡기에 즉각적인 자극이 있게 된다. 그러나 불소와 불화수소의 냄새 때문에 근로자가 숨을 참고 오염지역을 피하기 때문에 급성중독은 거의 일어나지 않는다.

나. 만성중독

불소에 오래 폭로되었을 경우 골격계와 그 관련조직에 피해가 가장 심하다. 골불화증(osteofluorosis)의 1 단계는 조잡하고 경계가 불명확한 골 육주(bone trabeculae)를 동반하고 골반 뼈 및 척추뼈의 골밀도가 증가된 방사선 소견이 나타난다. 이런 1 단계의 변화는 특별한 증상,대사변화 또는 이학적변화가 나타나지 않고 또한 이 분야의 전문가도 제한되어 있기 때문에 발견되기 어렵다. 단지 불화증의 오랜 경험에 의해 이 단계를 정확히 진단할 수 있다.

몇년 후에 2 단계가 뒤따르며 이 단계에서는 골

반과 척추, 늑골, 사지골에 방사선 소견상 골밀도의 증가와 경계의 혼탁이 보이며 천결절(sacro-tuberous) 및 천좌골 인대(sacrosciatic ligament)의 석회화를 볼 수 있게 된다. 그러나 뼈의 변화와 관련된 증상이나 기능장애는 특이하지 않으며 일정하지도 않다.

3 단계에서는 불구성 불화증(crippling fluorosis)이 온다. 망상조직의 뼈를 포함한 몸전체의 뼈의 밀도가 증가되고 뼈의 경계가 혼탁해지고 불규칙하여 진다. 특히 목과 척추의 인대에 석회화가 상당한 수준으로 진행된다. 첫 두단계와는 대조적으로 매우 드문 이단계에서는 심한 운동장애가 올 수 있다.

불소에 폭로되었을 때 호흡기 장애를 초래한다는 보고가 있었으나 이를 명확히 하기 위하여는 불소의 특별한 역할에 대한 더 많은 자료가 필요하다.

7. 폭로량과 생체반응과의 관계

공기중 불소가 $5\text{ mg}/\text{m}^3$ 만 있어도 어떤 사람에게서는 눈과 호흡기에 자극을 줄 수 있다. 2일간 불소에 폭로되지 않은후 근무 시작전에 요중 불소 화합물의 농도가 $5\text{ mg}/\ell$ 이하일 때 골경화증(osteosclerosis)은 발견되지 않았고 그러한 변화가 $8\text{ mg}/\ell$ 까지 올라가도 변화되지 않았다는 연구가 있다. 공기중 불소화합물의 농도가 $2.5\text{ mg}/\text{m}^3$ 를 초과하고 교대근무 후 요중 농도가 $9\text{ mg}/\ell$ 이상일 때 어떤 근로자에게서는 골불화증이 15~20년 후에 나타나기도 한다. 1단계의 골불화증자의 뼈 1 kg 당 $4,000\sim 6,000\text{ mg}$ 의 불소가 함유되어 있다. 1단계 골불화증자의 불소 폭로를 중지시키면 요중 불소 농도가 $5\sim 6\text{ mg}/\ell$ 정도가 되며 이런 농도는 오랫동안 지속된다.

8. 예 후

골불화증이 2단계까지 진행되었다고 대개 뼈의 이학적, 기능적 및 대사의 변화 증거는 거의 없다. 그러나 적절한 건강관리가 이루어진다면 그러한 변화로까지 이르는 것을 예방할 수 있다.

9. 감별진단

골반과 척추에서 골불화증 때 보이는 밀도의 증가는 경화성 골염(sclerosing osteitis)과는 다르다. 경화성 골염은 주로 소아에서 발생하며 심한 빈혈과 두개골의 변화가 동반되는데 골불화증에서는 그러한 변화는 관찰되지 않는다.

10. 감수성

신장기능이 저하된 사람을 제외하고는 특별히 위험한 집단은 없으며 불소화합물이 태반을 통과하지 못한다.

11. 건강진단

정기적인 요중 불소의 농도측정이 골불화증의 조기 발견과 예방에 가장 중요한 방법이다.

가. 채용시 건강진단

채용시 건강진단은 특히 근골격계, 폐, 비뇨기계에 주의하여 병력수집과 이학적 검사를 시행하여야 한다. 골반에 대한 기본적인 방사선 촬영을 시행하고 그 필름을 보관하여야 하며 요중 불소의 농도를 측정하여야 한다.

나. 정기 건강진단

정기 건강진단의 항목은 채용시 건강진단과 동일하다. 대체로 매년 1회 실시한다. 이 정기 건강진단에서 근로자를 최소 48시간동안 폭로로부터 피하게 한 후에 요중 불소 농도를 측정하여야

한다. 채취된 소변의 비중이 1.005 미만이면 측정을 하지 말아야 한다. 불소의 농도가 $5\text{ mg}/\ell$ 근처이면 재검사를 하여야 하며 만약 불소농도가 계속 높게 나온다면 작업장 위생과 환기상태, 식사와 작업습관 등을 조사하고 적절한 대책을 세워야 할 것이다. 적절히 대책을 마련한 작업장에서 요중 불소농도는 대개 $1.5\sim 3\text{ mg}/\ell$ 이다. 만약 계속 요중 불소농도가 $5\text{ mg}/\ell$ 를 초과하게 되면 신기능 검사와 골반 방사선 촬영을 하여야 한다.

다. 선별검사

6개월마다 3~5일의 근무를 마치고 샤워후 요중 불소를 측정하여야 한다. 만약 불소의 농도가 $8\text{ mg}/\ell$ 부근이면 재검사를 시행하고 요중 불소농도가 계속 높으면 작업습관과 위생상태 등을 검토하여 폭로를 줄이기 위한 적절한 방법을 강구하여야 할 것이다. 만약 어떤 작업장의 근로자들의 요중 불소농도의 기하평균이 교대근무전에 $5\text{ mg}/\ell$ 이상이거나 교대근무후에 $7\text{ mg}/\ell$ 이상이면 작업환경을 조사하여야 한다.

12. 환자관리

만약 48시간 이상 작업휴식후 측정된 요중 불

소농도가 여러 해동안($8\sim 10$ 년) $5\text{ mg}/\ell$ 이상 지속되는 근로자가 있을 경우는 작업전환을 고려해야 한다. 골불화증 1단계에서는 직업적 폭로를 제거하는 것이 건강장해를 예방하는 최상의 방법이다. 신장기능이 정상인 한 폭로가 없게되면 뼈로부터 불소가 매우 서서히 제거된다.

13. 관리대책

작업장 위생에 대한 적절한 기술적 통제 및 세심한 관리가 극히 중요하다. 증기나 분진을 발생시키는 작업을 밀폐시키는 것이 효과적이며 작업장내에 분진이 흩어지는 것을 막기 위해 진공소제기와 같은 장비가 필요하다. 개인 위생을 양호하게 유지하기 위한 시설도 갖추고 음식물은 오염되지 않은 곳에 저장하고 식사전에 반드시 손을 씻도록 한다. 식당에는 양압의 환기시설을 갖추고 작업장 내에서 식사와 흡연은 금지시키고 담배와 식료품은 오염된 옷에 넣지 않도록 한다.

각 국에서 불소의 허용한계는 $0.05\sim 2\text{ mg}/\text{m}^3$ 이며, 불소화합물(fluoride)의 허용범위는 $1.0\sim 2.5\text{ mg}/\text{m}^3$ 이다.

