

유해인자에 의한 건강영향과 관리

-답-

한국산업안전공단 산업안전보건연구원

머 리 말

산업안전보건분야에 종사하는 안전보건인력들이 근로자들에게 보다 나은 산업보건서비스를 제공하려면 많은 산업안전보건정보의 습득이 필요합니다. 그러나 현재 이러한 정보를 얻기 위해서 안전보건인력들이 많은 시간과 노력이 필요로 하고, 각 상황에 적절하고 적용 가능한 정보를 정리하기가 어렵습니다. 이런 이유로 2002년부터 한국산업안전공단 산업안전보건연구원은 지금까지 축적된 연구 및 사업결과를 토대로 광범위한 자료정리를 위하여 각 유해물질별 전문기관에 자료검토를 의뢰하는 사업을 시작하였습니다. 많은 산업보건전문가들이 참가하여 몇 차례의 전문가회의를 거듭하였고 드디어 본 보고서가 나오게 되었습니다. 본 보고서는 한국산업안전공단 산업안전보건연구원이 순천향대학교 산업의학연구소에 자료검토 용역을 의뢰하여 작성된 Documentation입니다. 산업안전보건법상 근로자의 보건관리를 위하여 명시된 주요 유해인자에 대하여 건강관리자료, 독성자료 및 관련 관리규정을 검토하였고, 각 자료에 대한 이론적 근거도 아울러 검토, 정리하였습니다. 향후 지속적으로 매년 주요 유해물질을 선정하여 이 물질들에 대한 우리 산업보건관리 실정에 맞는 Documentation을 제작할 예정입니다. 이 Documentation들이 산업보건분야에 근무하거나 관심있는 많은 분들에게 참고자료로 이용되어, 유해인자에 노출되는 근로자의 건강관리에 도움이 되길 바랍니다.

편집 순천향대학교 산업의학연구소 이병국 교수 / 이성수 교수

감수 산업안전보건연구원장 김광종

고려대학교 산업의학교실 박종태 교수

동국대학교 예방의학교실 정해관 교수

서울대학교 예방의학교실 조수현 교수

고려대학교 산업의학교실 김해준 교수

포천중문대 구미차병원 이채용 교수

노동부 산업보건환경과 이상준 사무관

산업안전보건연구원 직업병연구센터 수석연구원 강성규

직업병연구센터 책임연구원 김규상

직업병연구센터 책임연구원 김대성

직업병연구센터 연구원 오성수

직업병연구센터 연구원 이정오

목 차

서문	1
1. 요약	3
2. 물리화학적 성질	5
3. 발생원과 노출	6
3.1. 분포	6
3.2. 사용	6
3.3. 노출	8
4. 노출량 평가	12
4.1. 기중 평가	2
4.2. 생물학적 평가	2
5. 작용 기전	17
5.1. 흡수	7
5.2. 대사 및 축적	9
5.3. 배설	2
6. 독성 및 건강 영향	23
6.1. 혈액학적 영향	2
6.2. 신경학적 영향	8
6.3. 신장 영향	3
6.4. 소화기계 영향	2

6.5. 심혈관계 영향	3
6.6. 기타 영향	4
7. 노출기준	35
7.1. 기중 노출기준	3
7.2. 생물학적 노출기준	3
7.3. 향후 기준의 방향	3
8. 건강관리	39
8.1. 건강관리 실무지침	4
8.2. 사후관리	4
8.3. 직업병진단	5
9. 작업환경관리	50
9.1. 대치	5
9.2. 새로운 공장 또는 시설의 계획	5
9.3. 환기	5
9.4. 분진과 흡의 비산방지	5
9.5. 공장의 정리정돈	5
9.6. 공기중 연농도의 모니터링	5
9.7. 개인보호구 착용	5
9.8. 직업적 노출의 의학적 관리	5
9.9. 채용전 검사	5
9.10. 관련법규	5
10. 환경노출	56
10.1. 오염물질의 형태	6
10.2. 연의 순환	5

10.3. 노출의 원인	5
11. 국내 사례 연구	60
11.1. 진해축전지 연중독	6
11.2. 반월 연중독	6
11.3. 이차 제련 및 리사이클링 고위험 근로자들의 연중독	8
참 고 문 헌	66

서문

연은 인간이 최초로 이용하기 시작한 금속중의 하나로 기원전 4000년전 소아시아 지방에서 사용되었다는 기록이 있다(Hernberg, 1984). 기원전 2000년 이집트인들과 유대인들은 연을 사용했고, 페니키아인들은 스페인 지역에서 연의 원광석을 채취하였다. 고대 그리스와 로마에서는 동전을 만들기 위하여 은을 추출하는 과정에서 부산물로 많은 양의 연이 생산되었다. 로마인들은 파이프나 요리 기구를 만드는 데 금속 연을 사용했으며, 도자기의 광택을 내기 위하여 연분을 사용하였다(Nriagu, 1983; Waldron, 1973). 기술이 발전하면서 산업혁명 초기에 연과 그 화합물이 새로운 용도로 사용되기 시작하였으며, 오늘날 비철금속 중에서는 가장 광범위하게 사용하는 금속이 되었다.

연이 오랫동안 널리 사용된 이래로 연중독의 역사 또한 잘 알려져 왔다. 고대 초기에 많은 연중독의 증상이 알려지고 기록되었지만, 이러한 증상이 연 때문에 생긴다고 설명한 사람은 아마도 히포크라테스가 처음일 것이다. 기원전 2세기경 니칸더(Nicander)는 변비, 급복통(colic), 창백증, 마비 그리고 눈의 이상 등을 연의 폭로와 관련이 있다고 하였다. 플리니(Pliny)는 기원 1세기에 연중독이 조선평에서 일상적으로 발생한다고 기술하였다(Hunter, 1969). 그러나 연 중독은 중세기 동안 완전히 잊혀진 질병으로 파라셀수스(Paracelsus)가 광부의 질병에서 다시 기술할 때까지 16세기 이전까지는 연 중독은 보고되지 않았다. 1700년 라마치니(Ramazzini)는 연을 사용한 도자기 공에서 오는 수전증과 마비에 대하여 기술하였다(Hunter, 1969). 그러나 일반적으로 19세기 전까지 연 중독질환은 거의 주목받지 못하였다.

19세기에 와서 연중독에 대한 최초의 기술은 플랑쉐(Tanquerel des Planches)가 1,200명의 연중독 사례를 대상으로 발표한 연구(1839)이다. 그

의 연구는 매우 완벽해서 그가 기술한 임상증상과 증후에 대하여 이후에 거의 추가로 더 밝혀진 것이 없을 정도이다. 연중독의 임상 소견 중에서 혈액학적 측면이 특히 광범위하게 연구되었다. Laennec(1831), Andral과 Gavarret(1840), 그리고 Malassez 등(1872)이 연중독에 의한 빈혈에 대하여 연구하였다. Garrod(1892)는 소변에서 포르피린(porphyrins)의 증가를 보고하였으며, Behrend(1899)는 적혈구 반점(erythrocyte stippling)을 보고하였다. Hellström(1896)은 연과 연분을 사용하는 직종과 그에 따른 연중독의 위험성에 대하여 기술하였고, 연중독을 줄이고 예방하기 위한 위생학적인 방법들을 마련하였다.

연중독의 원인, 임상 증상, 그리고 예방에 대한 많은 지식에도 불구하고, 이 질병은 아직도 발생하고 있다. 20세기초 극도로 열악했던 작업환경은 오늘날 거의 볼 수 없고 대부분의 산업화된 나라에서는 연중독 발생이 감소하였다. 오늘날 연중독 사례보고는 50년 전보다 대부분 경미하지만, 보고된 연중독의 통계는 빙산의 일각인 경우가 많다. 많은 작업장, 특히 소규모 작업장의 작업환경은 아직도 만족할 만한 수준이 아니며 연중독은 아직도 산업 및 환경보건의 가장 중요한 문제로 남아 있다.

우리 나라에서는 1960년대 말 처음으로 연중독이 보고된 이래 몇 차례의 집단 연중독 사건이 발생된 이후 정부와 연 사업장 및 산업보건관련 전문분야의 노력으로 과거 1970년대보다는 연중독 발생이 많이 감소하였으나 아직도 일부 연 사업장에서는 연 과다노출로 인한 연중독이 발생하고 있다. 연은 산업의 다양한 분야에서 사용되기 때문에 지난 30여년간 우리나라의 산업발전과 더불어 산업장에서의 연 사용은 계속 증가하였고 이로 인한 근로자들의 연 노출 증가도 피할 수 없었다. 그러므로 보다 엄격한 환경기준이 요구되었고 연 근로자들의 건강보호를 위한 건강관리 규정 등이 강화된 바 있다.

연 노출은 직업적인 경우뿐만 아니라 비 직업적인 노출이 가능하므로 산업보건관련 전문가들은 비직업적 연 노출원에 대하여 알고 있어서 연중독의 원인규명에 참고하여야 한다.

1. 요약

국소배기장치 등 적절한 작업환경관리를 통하여 작업환경에서 노출을 최소화할 경우 연 작업장에서는 근로자들의 연흡수에 대한 관심은 적을 것이고 연에 관한 집단검진 프로그램도 불필요할 것이다. 그러나, 연 취급 사업장의 실제 조건들은 그렇지 못하여 연의 노출, 흡수, 중독 등이 아직도 계속 문제가 되고 있다.

연 작업장에 대한 작업환경측정에서 기중 연 수준이 $0.04 - 0.06 \text{ mg/m}^3$ 의 이상이거나, 작업시간이 8시간 이상일 때, 공학적 조절이 적절하지 못할 때, 청결하지 못한 작업장이면서 개인 위생 상태가 나쁠 때는 적절한 조치가 필요하다.

연 노출의 감소를 위해서는 우선 호흡성 연 분진을 줄여야 한다. 작업현장내 취식과 흡연은 절대로 금해야 한다. 취식이 가능한 구역은 반드시 지정되어야 하고, 음식과 음료를 보관하는 곳은 오염이 없게 청결하게 유지되어야 한다. 물론 사업주는 충분히 씻을 수 있는 장소(샤워실을 포함하여)를 제공하여야 한다. 작업자 별로 분리된 개인사물함이 2개가 있어서 하나는 출퇴근 시 입는 옷과 신발을 넣고 다른 하나는 작업현장에서 입는 옷과 신발을 위한 것이면 좋다. 작업복은 회사에서 적절하게 세탁해서 제공해야 하며 작업복을 집에 가지고 가게 해서는 안된다. 특수건강진단을 통하여 직업력과 병력, 연 분석을 위한 정맥혈 표본을 채취해서 조사한다. 연 분석은 한국산업안전공단에서 시행하는 정도관리 프로그램에 참여하고 인정을 받은 실험실에서 하여야 한다. 혈중 연 수준이 설정되어 있는 기준치보다 높고 증상이 없으면 좀 더 자주 혈액 채취를 하여야 한다.

작업자들이 명확한 임상적 이유 없이 의학적 이직을 해서는 안되며, 실험실 검사결과의 변동이 클 수 있기 때문에 이러한 결정은 혈중 연 측정을 1-2주 후 재측정하여 확인하는 것이 필요하다.

작화제 치료는 임상적 이유가 명확할 때에 한하여 사용되어야 한다. 작화제는 사용시 부작용으로 신장에 손상을 초래할 수도 있기 때문에 주의

를 기울여야 한다. 작업자가 납에 노출되고 있는 동안에는 착화제로 연을 강제로 배설시켜서는 안된다. 직업적 건강 실천 범위는 두가지내용이 필수적인 기본이다. 즉 작업자들에 의한 작업장내 오염의 조절과 위생학적 측정(환경적 모니터링을 포함한) 그리고 적절한 의학적 감시이다. 물론 이들은 서로 다른 것으로 대신할 수 없다.

2. 물리화학적 성질

- 원소기호 : Pb
- 원자번호 : 82
- 원자량 : 207.71
- 밀도 : 11.34
- 녹는 점 : 327.4 °C(1기압)
- 끓는 점 : 1620 °C(1기압)
- 비중 : 22.3(16 °C)

연은 푸르스름하거나 은회색을 나타내는 연하고 무거운 금속이다. 가열하면 500 °C에서부터 600 °C 사이에서 상당한 양의 흡이 발생하기 시작한다. 온도가 올라감에 따라 증발이 심해진다. 연은 연성이 있으나 강도는 약하며 저온에서 상당히 수축된다. 순수한 연은 고온과 저온의 물 그리고 희석된 산에 거의 녹지 않는다. 그러나 질산, 초산 그리고 가열된 진한 황산에는 녹는다. 연 화합물에서 연은 2가와 4가 상태로 존재하며 2가 상태가 일반적이다. 연은 광명단(Pb_3O_4)으로 만들 수 있는데 이는 2가와 4가의 혼합형태이다. 연 화합물 중에서 초산 화합물과 질산 화합물은 찬물에 쉽게 용해된다(각각 44.3과 37.7 g/100 ml). 중등도의 용해도를 갖는 것은 염화합물(1.0 g/100 ml), 크롬 화합물(0.1 g/100 ml), 그리고 스테아린산염(0.05 g/100 ml)등이다. 다른 연 화합물의 물에 대한 용해도는 낮아서 (카보네이트, 리사지, 황화물 등은 0.012 - 0.001 g/100 ml 정도) 실제로는 거의 용해되지 않는다(크롬 화합물, 몰리브덴, 광명단, 규소 화합물 등).

연은 또한 유기 화합물을 형성한다. 유기 화합물 중에서 가장 중요한 것은 4 에틸연(TEL)과 4 메틸연(TML)이다. 이 화합물들은 물에는 거의 용해되지 않으나 유기용제, 지방과 지질 등에는 쉽게 용해된다. 또한 이 화합물들은 어느 정도 증발하기도 한다.

3. 발생원과 노출

3.1 분 포

연은 주로 두 가지 동위원소 즉 ^{206}Pb 및 ^{208}Pb 로 존재하며, 지각에 광범위하게 분포되어 있다. 화성암의 평균 연 농도는 12 ppm이며 지하 30 km까지 분포한다. 육지의 토양에는 평균 16 ppm 정도 포함되어 있다. 오염되지 않은 자연수에서 연 농도는 매우 낮다 (5 ppb 또는 5 $\mu\text{g/L}$ 이하). 그러나 연광석을 채굴, 정련, 제련하는 작업장 또는 석탄을 태우는 곳에서 토양의 연농도는 수천 ppm 정도까지 된다.

연은 전세계적으로 매장되어 있는데 특히 캐나다, 미국, 멕시코, 페루, 아일랜드, 폴란드, 스웨덴, 스페인, 러시아, 서독, 유고, 중국, 일본, 북한, 호주 등이 주산지이다. 우리 나라에는 연은 경북 석포에 소규모 연광산이 있다. 연을 가장 많이 포함하고 있는 연광석은 방연광(PbS)으로 대부분의 연이 이로부터 얻어진다. 다른 주요한 연광석은 백연광, 황산연광 그리고 인산염 연광석이다. 연은 또한 크롬연광, 수연, 염화연광, 바나듐연광으로도 존재한다.

연은 도처에 분포하기 때문에 연이 없는 환경은 있을 수 없다. 그래서 인간은 언제나 대기, 음식물, 음료 등을 통하여 자연상태의 연에 노출되어 왔다. 자연상태의 연 노출수준은 지역에 따라 다르지만 산업혁명이전에는 오늘날보다 적은 양이었다. 그러나 자연상태의 연노출은 항상 있고, 여러 가지 다양한 경로를 통하여 증가하고 있다.

3.2 사 용

3.2.1 총 사용량

연은 아마도 비철금속 중에서 가장 광범위한 용도를 갖고 있을 것이다. 연의 전세계적인 연간 생산량 또는 소비량의 정확한 추정은 어렵다. 왜냐하면 믿을 만한 통계량이 없고 보고체계가 다르기 때문이다. 금속연으로 환산하여 전세계적으로 약 890만 톤이 생산되고 있다. 연의 소비량은 생산량보다 많은데 이유는 생산된 연의 3분의 1 이상이 재생되어 사용되고 있기 때문이다.

3.2.2 금속연과 합금연의 사용

연은 가장 많은 양이 축전지 공장에서 극판과 산화연의 상태로 사용된다. 축전지의 수명은 평균 27개월 정도이며 축전지에 사용된 연의 80%가 재생된다. 그리하여 축전지 산업은 2차 제련업종과 정련업종에 가장 중요한 원료 금속을 제공하고 있다. 전선업종은 전선을 피복하기 위하여 안티몬 또는 비소-주석-비스무스의 연합금을 사용한다. 건설업종에서는 연판을 진동이나 소음을 방지하기 위하여 사용한다. 산업시설의 건설에서는 연판이 부식성 화학물질의 저장이나 생산을 위한 저장탱크, 반응로 그리고 기타 장비를 만드는데 사용된다. 군수산업에서는 연을 소총탄과 포탄을 만드는데 사용한다. 그리고 인쇄업에서는 과거에는 연, 안티몬, 주석 그리고 구리의 합금을 활자를 만드는데 사용하였는데 현재는 컴퓨터를 이용한 인쇄술이 발달되어 거의 사용되지 않는다. 많은 양의 연이 납땜에 사용되는데 예를 들면 다양한 수리업, 자동차 산업, 특히 라디에이터 생산 등에 사용되고 있다.

또한 연은 그 자체 또는 합금의 형태로 방사선 차폐물, 배의 무게 중심을 잡는 재료, 배관재, 연-주석 강판 도금, 낫쇠나 청동 제품 생산, 가열 냉각(annealing), 아연도금(galvanizing), 도금, 포도주 병마개 등의 여러 가지 용도로 쓰인다. 제2차 세계대전 이전에는 연 관을 수도관으로 사용하였으나 현재는 대부분 새로운 수도관으로 교체되었다. 그러나 아직도 과거의 수도관을 사용한 곳에서는 연 관이 수도관으로 사용되고 있다.

3.2.3 연화합물의 사용

무기연 화합물은 축전지 제조(일산화연), 페인트나 염료 산업에서 가장 많이 사용된다. 탄산연, 황산연, 산화아연-연, 규산연 등은 실외용 페인트의 원료로 사용된다. 과거에는 연 함유페인트가 미국에서 특히 실내용 페인트에도 널리 사용되었다. 현재는 많은 나라들에서 연이 함유된 페인트를 실내에서 사용하는 것을 법이나 규정으로 금지하고 있다. 금속용 도료로 가장 중요한 것은 광명단(Pb_3O_4)으로 방청제 또는 애벌칠을 위한 재료(primer)로 사용된다. 광명단의 사용은 점차 줄고 있으나 활성화 산화철 같은 금속을 보호하기 위한 다른 도료들은 다양한 함량의 연을 포함하고 있다. 특히 크롬산염은 여러 가지 색소들의 색을 내기 위하여 사용된다. 황색의 크롬산염 색소는 도로상의 신호표시를 위해 널리 쓰이고, 농기계나 트럭 등을 위한 도료로 사용된다. 대부분이 노란색, 녹색 그리고 적색 도료는 크롬산 연이 단독 또는 다른 색소와 혼합되어 사용된다.

무기연과 유기연 화합물은 염화비닐(PVC)제품을 생산하기 위한 안정제로 사용된다. 요업에서는 산화연과 규산염이 도자기 광택제, 타일의 광택제로 사용되고, 지르코늄, 티타늄 연이 전압기제품 등에 사용된다(Roy 등, 1991).

크리스탈 유리, 광학유리 그리고 전자제품을 위한 유리 또한 연을 함유하고 있다. 텔레비전과 컴퓨터모니터의 브라운관유리에도 연이 포함되어 있다. 연은 또한 변압기, 초음파 세척기 등에도 사용되고, 전열기 제품에서 텔루르(telluride) 연화합물로서 쓰인다. 아지드(azide)연은 오랫동안 뇌관의 탄약과 도화선으로 사용되어왔다. 살충제로 사용되는 비산연(lead arsenate)은 최근 많이 감소되었지만 2차 세계대전 전까지 주요 제초제 중 하나이었다. 석유산업에서는 1920년대 초부터 자동차 연료의 녹킹방지제로 알킬연을 사용했다. 4-에틸연(TEL)은 1923년 도입되었고, 1959년 4-메틸연(TML)을 사용하기 시작했으나 여러 나라에서 1970년대 휘발유에 첨가하는 연의 총량을 규제하게 되어 사용량이 감소하였다. 액체 알킬연 외에도

석유산업에서는 석유정제시 불필요한 황화합물을 제거하기 위해 리사지(PbO)를 사용하였다.

3.3 노출

인간에 대한 총 연 노출량은 음식물, 음료, 분진, 공기 등에 의한 자연적인 노출량과 비정상적인 노출 즉, 직업적 노출에 의해 결정되는데 직업적 노출이 인체의 중요한 건강문제이다(Hernberg, 1988). 비직업적 노출 중에서는 연이 포함된 물질 또는 연에 오염된 음식물을 섭취하는 것이 일반적인 것이다. 인체에 대한 연의 총 노출은 일반환경 및 직업에 의한 노출이 있는데, 보통은 직업에 의한 노출량이 매우 크다. 일반환경에 의한 노출은 대부분 별 문제가 되지 않지만 오염된 지역에서 일반환경에 의한 노출은 그 자체로서 문제가 되거나, 직업에 의한 노출에 일반 환경에 의한 노출이 더하여져서 더욱 건강에 영향을 미칠 수 있다. 다른 말로 하면 비교적 안전한 직업적 노출 한도가 일반환경에 의한 추가적인 노출로 인하여 위험한 수준이 될 수도 있다는 것이다. 그러므로 다양한 노출원에 의한 영향을 항상 고려해야 한다.

많은 수의 근로자들이 일상적으로 혹은 우발적으로 연과 연 화합물에 접촉된다. 그러나 작업장에 단지 연이 있다는 것이 연중독의 위험성이 있다는 것을 말하는 것은 아니다. 오히려 여러 가지 요소에 따라 위험성이 결정되는데, 이들 요소들에 의해 작업장 공기중의 호흡성(직경 5 μm 이하) 연분진이나 흙의 농도가 틀리고, 이러한 요소들은 공장마다 다르며, 심지어 같은 회사 내의 작업부서에 따라 차이가 있다. 이러한 문제로 인하여 어떤 직업은 위험하고 또 다른 직업은 덜 위험하다고 일반적으로 분류할 수 있는 단일한 기준이 존재할 수 없다. 따라서 위험성에 대한 평가는 언제나 정밀한 작업환경 조사에 기초하여 이루어져야 한다. 위험이 아주 확실하게 있거나 아니면 확실하게 없는 경우를 제외하고, 연의 위험성을 평가할 때는 공기 중 연 농도 측정이나 혈중 연 농도 측정이 필요하다.

일반적으로 연의 위험성을 결정하는 요소는 세 가지 범주로 나뉜다. 첫

제는 작업공정의 중요성이다. 고온, 특히 1,000℃ 이상의 온도에서는 다량의 흙, 분진, 에어로졸이 발생한다. 온도가 높을수록 위험도 커지며 낮은 작업공정도 위험을 증가시킨다. 반대로 낮은 온도(500℃ 이하)와 낮은 분진의 발생, 자동화된 공정은 위험이 적다. 두 번째는 연의 위험성을 제거하기 위한 적절한 기술의 채택이다. 효과적인 국소 배기장치와 전체 배기장치 등으로 연분진의 확산을 막는다면 연의 위험성이 현저히 낮아진다. 세 번째는 일반적인 작업장의 위생수준이다. 작업장의 불결, 개인 위생의 결여, 그리고 위에 언급한 배기장치 등을 잘 사용하지 않는다면 위험은 증가된다. 개인보호구가 필요한 작업에서 개인보호구를 착용하지 않거나 착용하더라도 적절한 개인보호구를 이용하지 않으면 위험은 증가된다. 또한 사업장의 규모도 영향을 줄 수 있는데 대규모 공장보다는 규모가 작은 공장에서 부정적인 요소들이 일반적으로 많기 때문에 연 노출수준 및 중독의 위험성은 작은 규모의 작업장에서 상대적으로 높은 경우가 많다.

다양한 작업에서 평균적인 위험성은 혈중 연량 수준에 기초하여 평가될 수 있다(Roy 등, 1991).

3.3.1 고위험 작업

금속연이나 연이 피복된 물질들을 태우는 모든 작업은 고위험작업군에 속한다. 왜냐하면 이런 작업은 고농도의 흙을 발생시키기 때문이다(Hernberg, 1988). 연으로 만들어진 구조물 또는 연 페인트로 도장된 금속 구조물을 용접하거나 절단하는 작업은 온도가 보통 1,000℃에서 3,000℃에 이르기 때문에 항상 위험한 작업이다. 위험성은 중독환자가 나타나기 전까지는 간과될 수 있다. 고선 해체 작업은 위험관리가 잘 안되고 있으며 연의 위험성이 높은 작업이다. 낡은 배들은 보통 두꺼운 연 페인트가 칠해져 있다. 배의 뼈대를 절단하는 작업은(보통은 제한된 공간 내에서)은 3,500℃ 이상의 온도를 발생시키는 산소아세틸렌 용접기로 이루어지는데 이런 경우 연과 기타 물질을 쉽게 증발시킨다. 또한 아연도금된(galvanize) 철판이나 규산아연 철판의 용접 및 절단도 공기 중에 고농도의 연 흙을 발생시킨다.

일차제련과 이차제련은 역시 연중독의 위험성이 높은 업종이다. 일차제련에서는 원광석으로부터 스크랩을 섞어 연괴를 생산한다. 일차제련업은 대개 규모가 크고 업체수가 적다. 이차제련업은 폐기물, 주로 축전지로부터 연을 재생하는데 다양한 규모의 업체수가 많다. 위험성은 고온에서 발생하는 흡과 용광로주위에 퍼지는 산화연 분진에 기인한다. 이 경우 위험 관리는 쉽지 않다. 비철금속 주조는 보통 연합금을 사용한다. 이들 주조공장은 소규모로서 작업환경 관리가 잘 안 되는 위험성이 높은 경우가 대부분이다. 축전지 공장은 가장 잘 알려진 위험한 업종중의 하나이다. 기계 또는 손으로 하는 도포, 화성, 조립, 용접은 연중독의 위험성이 높은 작업이다. 산화연 분진이 주된 폭로 물질이나 용접작업에서 흡이 발생되기도 한다. 위험의 관리는 규모가 큰 몇몇 공장에서는 잘 이루어지고 있지만, 규모가 작은 공장들에서는 아직도 연 폭로가 높다. 스프레이 도장작업도 분진 관리가 효과적이지 못하다면 위험스러운 것이다. 염화비닐 제조시에 안정제를 섞는 작업이 수동으로 이루어지는 경우에도 고농도로 연노출이 될 수 있는데 공정의 자동화는 위험성을 제거할 수 있다. 연노출의 위험성이 높은 또 다른 작업들은 크리스탈 유리원료의 혼합, 연합유 페인트를 끓여내거나 제거하는 작업, 에나멜칠하는 작업장에서 연을 연소하는 경우, 자동차 라디에이터 수리업 등이다.

3.3.2 저위험 작업

저위험 작업은 연중독의 발생이 낮거나 거의 없고, 공기중의 연농도 또는 작업자의 혈중연 또는 소변중의 연농도가 일반적으로 채택된 안전한 수준정도이거나 그 이하인 경우이다. 고위험 작업을 가끔가다 하는 경우라도 이 범주에 속하게 될 것이다. 연광산 근로자, 납땜 근로자, 배관공, 케이블 작업자, 전선 도금업, 일부 자동차 공장의 근로자, 자동차 수리업, 선박수리업, 배의 밸러스트를 조정하기 위하여 연을 취급하는 사람, 연주조업, 납유리공, 도자기 광택공, 에나멜공, 니스공, 탄환제조공, 그리고 용접공 등이 이들 범주에 속한다. 치료방사선사들이 방사선을 차단하거나 조사하기 위

하여 용융점이 낮은 고밀도의 중금속 합금을 사용하는데 이들 합금 중 가장 많이 사용되는 것이 리포위츠(Lipowitz) 합금으로 성분은 50%의 비스무스, 26.7%의 납, 13.3%의 주석 그리고 10%의 카드뮴이다.

4. 노출량 평가

4.1 기중 평가

공기 중 먼지나 흙의 포집은 개인시료 포집(근로자가 측정기기를 착용, 호흡기 위치에서 측정)을 원칙으로 하며, 개인시료 포집이 불가능할 경우에는 지역시료 포집방법(측정기기를 일정한 지역에 고정시켜 측정)을 사용하여 이루어진다. 시료채집에는 0.8 μm 구멍 크기의 MCE 필터를 이용하도록 권장한다. 공기는 1-4 ℓ/min 의 유량으로 플라스틱 필터 홀더(카세트)에 끼워 넣은 필터를 통해 빨아들인다. 신뢰성 있는 결과를 위해 필요한 최소 시료 부피는 약 1000 ℓ (전형적인 8시간 작업 교대에 2 ℓ/min 으로 포집된)이다. 훨씬 낮은 연 농도를 함유하는 실외 대기를 평가하기 위해서는 더 오랜 시료 포집 시간이 요구된다.

미립자 연이 포함된 필터는 질산, 과염소산과 같은 강한 무기산으로 용해시키고 탈 이온화된 물과 함께 적절한 부피로 희석한다. 불꽃원자흡수광도계가 연 분석시 일반적으로 이용된다.

4.2 생물학적 평가

4.2.1 생물학적 시료들

연 모니터링에 있어 가장 일반적인 생물학적 시료는 혈액과 소변이다. 이중 전혈(whole blood)에 대한 연 측정은 가장 바람직하고 널리 이용된다. 머리카락과 손톱 시료는 직업적 노출에 대한 정보를 주지 못하기 때문에 권장되지 않는다. 손톱이나 머리카락은 그 자체 내부의 연 이외의 원인으로 인한 오염과 신뢰할 수 없는 실험실 분석 때문에 전체적으로 부정확하고, 측정결과의 해석에 이용할 지침도 없기 때문이다(Lauwery 등, 1993). 생체시료는 연이 미량 존재하는 것이 특징이기 때문에 시료의 포집과 분석의 모든 단계에 세심한 주의와 오염 방지가 필요하다. 오염 방지를 위해서는 세심하고 청결한 기술과 무연 시약이나 기구가 이용되어야 한다. 순수 플라스틱 용기와 파이프스 유리제품은 묽은 무기산(5%의 질산과 같은)으로 세척한 후 다량의 탈 이온화된 물로 씻은 다음 이용되어야 한다.

혈액 시료는 아래팔의 팔꿈치 정맥 부위를 비누나 물로 철저히 씻고 알코올 솜으로 소독한 후 채혈하는 것이 좋다.

채혈 용기는 특별히 제조된 무연(lead-free) 진공혈액용기(vacutainers)에 직접 채혈하고, 항응고제의 용해를 확실히 하기 위해 잘 섞는 것이 필요하다. 만일 좋은 진공혈액용기를 사용할 수 없다면 일반적인 녹색마개를 가진 heparin 진공혈액용기(vacutainer)도 사용될 수 있는데 이때는 분석 결과를 주의 깊게 해석해야 한다.

손가락끝에서 채혈한 혈액(fingerstick)이나 모세혈관 혈액 시료를 현장 근로자로부터 채혈하는 경우는 전체적으로 오염되기 쉽기 때문에 사용하지 않는 것이 좋다. 혈중 연 시험에는 혈청이나 혈장을 사용하지 않고 항응고 처리된 전혈을 사용해야 한다. 따라서 시료는 원심 분리하지 말고 실험실로 직접 이송하여야 한다. 아울러 부주의하여 시료가 응고되지 않도록 주의를 기울여야 한다. 이를 위해서는 수집한 직후에 혈액을 완전히 항응고제와 혼합하고 실험실로 이송하는 동안 실내 온도보다 높은 온도에 노출되지 않도록 주의해야 한다. 가능하다면 12시간 이내에 실험실로 보내도록 권고되고 있다. 수집에서 분석까지 가능한 한 빨리 하는 것이 좋다.

소변시료 채취 시에도 오염되지 않도록 주의하여야 한다. 최적의 요구 조건은 24시간 시료이지만, 청결한 플라스틱 용기에 직접 얻어진 작업현장의 근로자로부터 시료도 유용하다. 시료량은 적어도 50 ml, 요비중은 1.010 이상이 좋다. 실험실로 시료를 신속하게 운반하면 시료오염에 영향을 주는 방부제를 사용할 필요가 없다.

4.2.2 연에 대한 분석방법

잘 훈련된 산업위생 및 화학분석 분야의 전문가들이 있는 실험실은 필수사항이다. 실험실에서는 연이 검출 안 되는 탈 이온화된 물을 사용하여야 하고 시약과 유리용기에도 연이 검출되지 않아야 한다.

현재 일상적으로 이용되는 3가지 연 분석법은 흑연로원자흡광도법(GFAA), 양극의 stripping 볼타계(ASV), 불꽃원자흡광도법(FAA) 등이

있다. 이 방법들은 경험이 많은 분석자들이 실행해야만 분석의 정확성이 있다. GFAA와 ASV의 주 단점은 전형적인 FAA의 기계적 처리량(시료마다 15초)과 비교하여 완전한 분석에 필요한 기계 시간이 긴 것이다(시료마다 10분). FAA는 민감도는 떨어지지만, 높은 정밀도와 넓은 선형범위를 가지는 장점이 있다. 이로 인해 FAA과정에서는 GFAA에서 요구되는 0.25 ml 이하와 비교하여 더 많은 시료량(약 5 ml)을 요구한다. 의학적인 응급상황에서는 FAA를 실행하여 15분 이내에 의사에게 혈중 연 결과를 알려줄 수 있다. 반면에 다른 방법들은 수행하고 판정하는데 1시간 이상이 걸린다. 최신의 GFAA기기는 부피가 적어져서 외부충격에 약하다는 단점이 있으나 신뢰성이 높아 어린이의 모세관 혈액시료에도 적용할 수 있다. 가장 최근에는 Inductively Coupled Plasma Mass(ICP Mass)가 개발되어 있는데 이 장비를 이용할 경우 혈장 및 혈청의 연을 분석할 수 있다.

4.2.3 정도 관리

생물학적 시료에 대한 연 분석을 할 때 세심한 주의를 하지 않으면 심각한 방법론적 오류를 가져온다. 훌륭한 분석자나 실험실도 단일시료에 대해 $\pm 10\%$ 의 차이가 있을 수 있다.

특수건강진단 정도관리규정(노동부고시 제2002-25호, 2002.9.6.)에 의하여 한국산업안전공단 산업안전보건연구원에서 실시하는 분석정도관리 프로그램은 특수건강진단 대상물질인 혈중 연 분석의 정확성과 신뢰성 확보를 위하여 기준실험실을 정하고 혈중 연 분석의 정도관리를 시행하고 있다. 또한 미국 OSHA의 연 기준(1990)은 실험실에 $\pm 15\%$ 또는 $6\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상의 입증된 정확도를 가지도록 요구한다. 충분한 신뢰성을 확보하기 위해서는 실험실이 혈중 연 분석을 위한 지속적인 자체 정도관리 프로그램을 유지해야 한다.

4.2.4 생물학적 평가지표

생물학적 감시로 사용되는 검사들은 최근의 노출정도를 직접 알 수 있

는 전혈 중의 연농도(PbB), 연노출에 따른 생화학적 영향을 측정하는 ZPP와 혈색소 검사 등이 있다.

미국의 산업안전보건청(OSHA)의 노출기준은 혈중연과 ZPP검사를 모든 연노출 근로자들에게 정기적으로 하도록 하고 있다.

기중 연농도는 작업장 내 분진 때문에 생기는 위험을 항상 알려주지는 못한다. 이러한 연 분진은 손으로부터 입으로 섭취되고 순환혈액 내로 들어가서 연의 총 체내 부담을 증가시킬 수 있다. 특히 건설업에서의 기중연 측정결과는 작업내용에 따라 결과가 매일 다를 수 있어 이런 경우 혈중연 검사는 근로자들을 감시하는 방법이 될 수 있다.

연 노출자에게는 혈중연, ZPP 또는 FEP, 그리고 혈색소를 동시에 측정하는 것이 좋다. 왜냐하면 이들 세 가지는 혈액을 한 번 채취하여 검사할 수 있기 때문이다. ZPP 검사를 종합적인 검사에 포함시키는 것은 가장 감수성 있게 반응하는 근로자를 찾아내는 장점이 있고 안전한 혈중 연의 한계를 좁게 하여 위양성자의 수를 줄이게 한다. 또한 ZPP 검사는 휴대용 혈액형광계(hematofluorimetry)로 현장에서 쉽게 측정되기 때문에 집단검진에 잘 활용된다. ZPP는 정상인에서 보통 $80 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ 미만(평균치는 약 $30 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$)이다. 혈중 연이 약 $20 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ 에 이를 때까지는 대부분의 경우 두드러진 ZPP의 증가는 없다. 철분결핍과 연 노출이 있는 근로자는 다소 높은 수치를 보일 수도 있다. 높아진 결과가 그 자체로 독성이나 중독의 지표가 아니며, 손상으로 간주되지도 않지만, 체내에 연이 미치는 심각성과 노출 정도를 아는데 도움이 된다. 높은 ZPP는 연 노출과 관련이 있을 수도 있고, 또는 철분 결핍, 적혈구 생성 포피리아증, 다른 독성물질에의 노출과 같은 요인들에 의해서도 생길 수 있다. 또한 ZPP검사 결과는 노출의 진행과 관련이 있으나 상당한 개인차가 있을 수 있다.

혈색소 또는 혈구용적치 측정은 장기간 연에 노출된 빈혈증의 지표로 널리 이용되고 있고, 연 측정을 위해 제출된 동일한 혈액 시료로 손쉽게 측정될 수 있으며 남성은 $11.0 \text{ g}/100 \text{ ml}$ 미만, 여성은 $10.0 \text{ g}/100 \text{ ml}$ 미만의 값인 경우 주의 깊게 연의 영향을 조사해야 한다.

임상 화학 검사(혈청 크레아티닌, 혈중요소질소), 혈액학적 검사(적혈구 지표와 말초혈액상), 일반 소변검사 등으로 조혈기계와 신장에 대한 점검을 매년 정기적으로 혹은 배치 전에 검사하는 것이 바람직하다.

요중 δ -ALA와 혈중 δ -ALA의 검사들은 또한 헴 합성 경로의 차단 정도를 아는데 예민한 검사이다.

요중 연량 검사는 혈중 연보다 검사의 변이가 크다.

모발 또는 손톱의 연 농도는 유용성이 없고, 직업적 노출에 대한 감시로는 유용성이 없다.

우리 나라의 경우 혈중연 60 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상은 연중독으로 판정하도록 되어 있으며, 그 이하인 경우 여러 가지 증상이나 검사 결과를 참조하여 조치하도록 하고 있다.

미국에서는 혈중연 검사의 해석은 OSHA의 기준에 따라 하고 있고, 여성이든 남성이든 근로자는 혈중연이 50 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 가 될 때까지는 일할 수 있으며, 혈중 연 검사 결과가 50 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 넘으면 근로자들을 더 이상 노출되지 않도록 작업에서 격리해야 한다. 일반적으로 근로자들은 공장 내의 청정지역으로 작업전환된다. 원래의 작업장으로의 복귀는 혈중 연이 40 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하로 될 때 가능하지만 혈중 연량이 낮아지는데는 실제로는 몇 개월 또는 몇 년이 걸린다. 체내 연 농도가 높으면 높을수록 혈중 연이 허용기준 이하로 되는 시간이 오래 걸린다.

연이 체내 연 농도가 높은 근로자가 정상적인 근로자보다 더 연의 재노출에 민감하다고는 생각되지 않는다. 어떤 경우는 근로자들을 영구적으로 노출로부터 격리하는 것이 필요할 수도 있다.

높은 혈중 연농도 때문에 근로자를 노출로부터 격리시키는 것만으로는 안되고, 작업환경의 개선이 뒤따라야 된다. 그렇지 않으면 근로자를 의학적으로 격리 혹은 복귀시키는 것은 단지 과도한 양의 연을 아무런 실익 없이 많은 수의 근로자에게 분산시키는 계획이 될 뿐이다.

마지막으로 연중독 예방을 위하여 어떠한 음식, 우유, 비타민 또는 약물 처방도 효과가 거의 없다는 것이 강조되어야 한다. 가장 필요한 방법은 기

술적 관리와 위생학적 관리이다. 착화제의 예방적인 투여는 엄격하게 금지해야 한다. 왜냐하면 기술적 관리나 위생학적 관리를 소홀히 하는 결과를 초래할 뿐이기 때문이다. 게다가 체내의 필수미량 금속의 배출과 같은 착화제의 부작용 자체가 위험하기 때문이다.

5. 작용기전

5.1 흡 수

무기연은 호흡기와 소화기를 통하여 인체에 흡수된다. 전자가 직업적 노출에서는 더 중요하고, 후자는 직업적 노출 이외의 다른 경우에 중요하다. 피부를 통한 흡수는 무시해도 좋을 수준이다(그림 1).

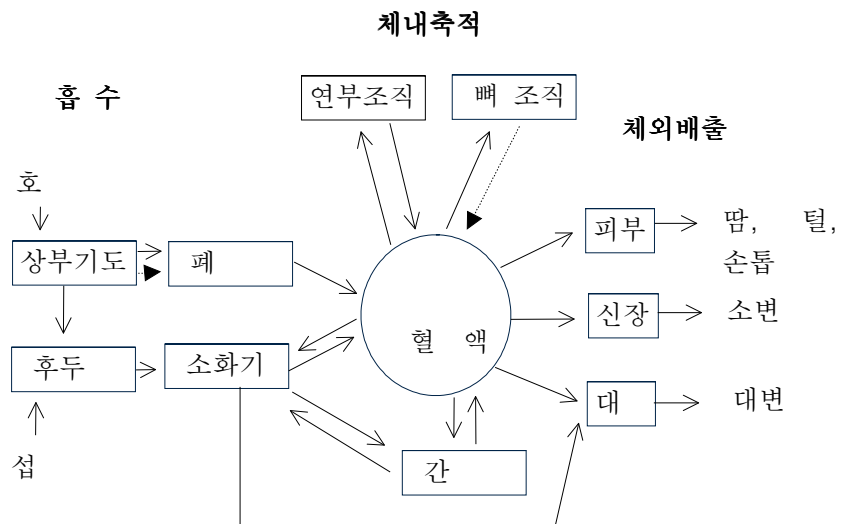


그림 1. 체내에서의 연의 대사의 모

5.1.1 호흡기를 통한 흡수

연의 호흡기를 통한 흡수는 세 가지 요소, 즉, 침착, 기관지 점액섬모의

제거능력, 허파파리의 제거능력에 따라 다르다. 침착은 비후두, 기관지, 허파파리 등에서 일어나고, 분진의 크기와 호흡량에 따라 다르다. 폐내 분진의 침착은 안정상태에서(호흡량이 분당 10ℓ정도일 때) 분진크기가 1 μm 일 때 최대이고(63%), 0.1 μm 일 때 최소로(39%)로 발생한다. 강제성 호흡은 침착량을 감소시킨다. 큰 분진은 작은 분진보다 상부기도에 더 쉽게 침착한다.

점액섬모의 제거능력은 점액의 흐름과 섬모 활동의 결합으로 이루어지는데 분진이 후두로 운반되어 가래 또는 객담으로 외부로 뱉어 지거나 위장관으로 삼켜지는 과정으로 이루어진다. 큰 분진은 작은 분진보다 빨리 운반된다. 점액섬모에 의한 분진 제거의 마지막 단계는 소화기관으로 분진을 운반하는 것으로 이는 연을 섭취하는 것과 같은 과정을 거친다.

허파파리에서의 제거는 세 가지 방향으로 이루어진다. 즉, (1) 점액 섬모운동영역으로 운반, (2) 허파파리조직의 막을 통하여 이동, (3) 폐조직에서 림프나 혈액으로 운반하는 것이다. 폐 큰포식세포(macrophage)에 의한 식세포작용은 연분진을 점액섬모까지 운반하는 중요한 작용이다. 연화합물의 용해도가 폐를 통한 흡수량을 어느 정도까지 결정한다. 그러나 폐에 오래 머무르면 용해도가 적은 화합물이라도 용해된다.

흡입된 연이 혈액까지 흡수되는 것은 약 30-40% 정도(보통은 37% 정도)인데 분진의 크기, 용해도, 호흡량 그리고 개인의 생리적 변이에 따라 다르다. 또한 병적인 조건이 연의 호흡기를 통한 흡수에 영향을 준다. 구강호흡을 하도록 하는 비강폐색은 허파파리침착을 증가시키고, 기관지 폐색은 반대의 효과가 있다. 흡연자의 경우 비흡연자보다 점막섬모 제거능력이 떨어진다. 급성 상기도 감염, 급성 기관지염 그리고 만성 폐쇄성 기관지염은 섬모운동을 손상시킨다. 연의 호흡기 흡수에 영향을 주는 다양한 요소들은 이론적인 흥미를 유발할 뿐만 아니라 똑같은 농도의 공기 중 연에 노출된 근로자들의 혈중연 농도가 다르게 상승하는지에 대한 합당한 이유를 제공한다.

5.1.2 소화기를 통한 흡수

전체 흡수량에 대한 소화기를 통한 흡수의 상대적인 중요성은 노출의 조건에 따라 달라서 직업적 노출의 경우, 호흡기를 통한 흡수에 비교하여 적다. 호흡기를 통하여 흡수된 연의 일부는 상부기도에 있다가 삼켜져서 소화기를 통한 흡수의 중요성을 더하기도 한다. 이와는 반대의 경우도 명백하다. 경구 섭취를 통한 연은 보통 일반 주민의 경우 주된 노출원이다.

연의 소화기를 통한 흡수는 위산으로 인하여 섭취된 화합물의 특성에 거의 영향을 받지 않는다.

식품의 칼슘이나 철분의 양을 낮추면 연의 흡수가 증가된다는 것이 알려져 있다. 이는 식품에 인이 부족한 경우에 똑같다. 소화기 점막을 통한 연의 흡수는 칼슘과 경쟁적 관계가 있다.

5.2 대사 및 축적

연은 적혈구와 친화성이 매우 크고 최소한 체내 순환하는 연량의 95% 이상이 적혈구와 결합되어 있다. 연이 적혈구에 결합, 분리, 그리고 신체 각 조직으로 전달되는 과정은 잘 알려져 있지 않다. 처음 세포에 고정되는 곳은 세포막으로 추정되고 있다. 연 입자는 아마도 처음에는 입자상태로 세포표면에 응집되겠지만, 곧바로 세포의 좀더 깊은 곳, 접근이 용이하지 않은 곳에 이르게 된다.

혈장에 남아 있는 연이 어떻게 결합되어 있는지는 아직 확실하지 않다. 혈장에 있는 연은 적혈구에 결합된 연보다 더 독성을 많이 갖고 있을 것으로 생각되는데 이는 적혈구의 연이 확산이 늦기 때문이다. 혈장의 연농도는 거의 측정이 안되고 있는데 이는 분석의 어려움 때문이며 이로 인하여 독성학적인 증거는 명확하지 않다.

연은 혈류를 따라 각 기관으로 운반되고, 농도 차 및 특정조직에 대한 친화도에 따라 축적된다. 기관에 있는 총 연량을 체내부담(body burden)이라 한다. 뼈에 대한 연의 높은 친화성은 주목할 만하다. 안정된 상태에서는 연의 체내부담의 약 90%가 뼈에 축적되어 있다. 기다란 뼈는 넓적한 뼈보

다 더 많은 연을 축적한다. 그리고 기다란 뼈 내에서도 뼈의 중간부분(골간)보다는 양 끝(골단)에 더 많이 축적되어 있다. 치아는 어떤 뼈보다 많은 연을 함유하고 있다. 뼈속의 연농도는 50-60대에 최고에 이르고 이후부터는 약간 감소하는 것으로 알려져 있다.

많은 연구들이 연은 칼슘대사와 유사함을 보여주었다. 뼈속의 연축적은 최소한 두 개의 부분으로 나뉜다는 결정적인 증거가 있다. 하나는 뼈의 기질에 단단하게 결합되어 있는 부분인데 이 부분은 오래된 연이 축적되어 있는 것으로 생각되고 있다. 다른 부분은 최근 흡수된 연으로 좀더 쉽게 뼈에서 교환될 수 있다. 이 부분이라도 뼈속에서 몇 개월 심지어는 몇 년씩 결합되어 있다. 뼈속연 중에서 쉽게 교환되는 부분은 히드록시아파타이트(hydroxy apatite)의 표면에 부착되어 있고, 교환이 잘 안 되는 부분은 그 속에 갇혀 있다.

옛날 문헌은 가끔 급성 연중독은 노출후 오랜 시간에 걸쳐 발생한다고 기술하고 있다. 그 이유는 여러 가지가 있는데 급만성 감염증, 수술 후 산증, 알코올중독, 골절, 투약 등이 촉진하는 것으로 생각된다. 뼈속에 축적된 연량을 고려하면 아주 적은 부분이 혈장으로 유출되어도 연부기관에 독성을 초래할 수 있음을 알 수 있다.

연부조직 중에서 연 농도가 높은 곳은 대동맥, 간, 그리고 콩팥 등이다. 뇌의 연농도는 상대적으로 낮는데 무기연은 뇌혈관장벽을 통과하지 못한다. 겔질부(cortex)의 회색질, 바닥핵(basal ganglia)은 보통 겔질부의 백색질보다 연 농도가 높다. 뇌 속에서 국소적인 연농도의 차이는 단순히 연이 혈액으로부터 뇌로 이동했다는 사실보다 더 독성학적으로 중요하다.

혈청 연은 측정하기는 어려우나 생물학적으로 매우 중요한 의미를 지니며 특히 산모의 태반을 통하여 태아에게 직접 전달되는 연의 농도를 가장 잘 반영한다는 점에서 중요하다. 이러한 태반통과는 제태 12-14주에 검출 가능하며, 이때부터 태아의 총 연농도는 증가한다. 태아에서의 연의 체내 분포는 성인의 경우와 비슷하다.

각 기관 내에서의 연농도는 복잡한 역학적 기전에 의해 결정되는 역동

적인 것이다. 특정한 시점에서 혈액 및 조직 내의 연 농도는 흡수, 배설 그리고 다른 생리적 요소들 - 각 조직간에 연이 운반되는 독성력학 - 에 의한 복잡하고 다양한 작용에 영향을 받는다.

5.3 배 설

연은 여러 가지 경로를 통하여 배설되는데 콩팥과 소화기를 통한 것이 실제적으로 중요하다. 대변은 항상 많은 연을 포함하고 있고 대부분은 소화기에서 흡수되지 않고 통과된 것이며 일부는 소화기를 통한 순수 배설량이다. 흡수되지 않은 연과 배설된 연의 구분은 소화기를 통한 배설량의 연 구에 중대한 장애물이었는데, 아직도 이에 대한 중요성에 관하여 상반된 견해가 존재한다.

소화기를 통한 배설은 (1) 침샘, 이자, 그리고 소화관 내의 다양한 소화샘과 같은 다양한 분비기관을 통하여 능동적 또는 수동적으로 배설, (2) 상피세포의 탈락, (3) 쓸개즙을 통하여 이루어진다. 이렇게 배설된 연은 알려지지 않았지만 아마도 많은 부분이 재흡수된다. 동물에서는 쓸개즙배설이 중요한 기전이지만, 동물실험의 자료를 곧바로 인간에게 외삽(extrapolation)할 수 없기에 인간에서의 역할은 아직 불확실하다. 연의 총 배설에서 소화기를 통한 순수배설의 중요성은 두 명의 자원자에게 ^{212}Pb 를 정맥주사한 실험에 의해 밝혀졌다. 처음 24시간동안에는 대변에 연이 없었으나, 소변에는 투여된 양의 4.42%를 포함하고 있었다. 그러나 또 다른 24시간동안에는 각각 1.5%와 1.42%의 연이 포함되어 있었는데 이는 대변도 소변과 같은 정도로 총배설량에 기여하는 것을 나타내었다(Booker 등, 1969).

콩팥을 통한 배설은 토리 여과(glomerulus)에 의해 전적으로 일어난다. 세뇨관 재흡수는 완전히 밝혀지지 않았다. 요중 연농도는 최근의 폭로를 반영하기 때문에 이를 측정하는 것은 산업보건에서 노출지표로 사용되어 왔다.

연은 또한 땀, 젖, 체모, 손톱, 상피세포, 치아 등의 탈락을 통해 배출된

다. 체내로부터 연의 제거라는 관점에서 땀이 많이 나는 더운 기후지역에서는 땀이 중요한 배출원이지만 온화한 기후에서는 그렇지 않을 것이다. 젖을 통한 연의 배출은 소량이지만 수유 중인 유아에게는 위험이 될 수 있다. 혈액과 젖의 연농도는 밀접한 관련이 있어 직업적 또는 다른 이유로 연에 심하게 노출되는 엄마에게서 젖을 먹는 어린이는 상당히 위험한 정도의 연량에 노출될 수 있다.

체모와 치아의 연은 체내 연부담의 측정방법으로 제시되어 왔다. 그러나 배출경로로서의 이들은 중요하지 않다.

일반적으로 연은 체내에서 매우 느리게 배출된다. 정확한 생물학적 반감기는 모르나 사람에서는 약 10년 정도라고 추정된다. 배출이 느리기 때문에 축적은 쉽게 일어난다. 실제적인 연의 체내 축적은 항상 연취급 근로자들에게 문제가 되지만 일반적 환경오염이 일반인에게 축적을 유발하는가는 논란이 있다.

체내의 연이 최소한 네 개의 부분, 즉 (1) 혈액과 같은 빠른 체내교환 부분, (2) 근육과 피부, (3) 뱃속의 교환되는 부분 그리고 (4) 뱃속의 교환이 매우 느린 부분으로 나뉘어 존재한다는 사실은 연의 배출기전을 계산하기 위해서 특별히 복잡한 대사의 모형을 필요로 한다.

6. 독성 및 건강 영향

중금속은 생체의 활성도를 억제시켜 여러 반응을 나타낼 수 있다. 그러나 기관, 조직, 세포, 분자수준에 따른 중금속의 접근도에는 차이가 크기 때문에 특정한 반응이 주로 일어나게 된다. 예를 들면, 모든 효소체계는 중금속에 민감하지만 살아있는 생물체내에서는 해부학적 구조가 접근성을 제한할 수 있다. 또한 내부의 결합위치가 금속이온과 경쟁할 수도 있다. 그러므로 이유로 기관과 조직에 따라 상당한 민감성의 차이가 있을 수 있다. 이러한 생각은 생체실험과 시험관실험 사이에서 관찰되는 차이, 종간의 차이, 그리고 어떤 반응이 임상적 중독에 전형적으로 나타나지만 다른 경우는 나타나지 않는가 등을 설명할 수 있게 하여 준다.

생체와의 상호작용에서 연은 일반적인 중금속의 특징과 연 자체의 특이성 모두를 보여준다. 그러므로 연은 전자제공자로서 황, 질소, 산소를 갖고 있는 리간드와 복합체를 만들 수 있다. 생체 내에 있는 $-OH$, $-H_2PO_3$, $-SH$, $-NH_2$ 와 같은 리간드들은 연과 결합하여 좀더 다소 안정된 화합물을 만들 수 있다. 셀퍼히드릴기($-SH$)와 연의 생화학적 상호작용은 독성학적으로 중요하다. 연은 또한 아민 및 단순 아미노산과 높은 친화성을 갖고 있다. 일반적으로 생화학물질에 대한 연의 결합은 강하지만 다소 비특이적이다.

6. 1 혈액학적 영향

빈혈은 연중독의 두드러진 특징이다. 성인에서는 비교적 경하거나 중등도의 증상이지만(혈색소량이 8-12 g/100ml) 어린이에서는 때로 매우 심한 증상이 나타난다. 중독의 초기에는 저색소성 소구성 빈혈이지만, 만성의 경우는 정상색소성 정상적혈구성 빈혈로 된다. 빈혈의 중등도를 나타내는 것은 아니지만 피부창백이 동반된다. 경우에 따라서는 그물적혈구증식증(reticulocytosis) 및 적혈구 호염기성 반점이 생기기도 하지만 비특이적이다. 왜냐하면 이런 것들은 다른 질환에서도 나타나기도 하고 연중독에

서 관찰되지 않기도 하기 때문이다.

연중독시 혈액학적 이상은 혈액소 합성 이상과 적혈구의 수명 단축(적혈구 합성을 자극하는 결과를 초래)이 결합되어 나타날 수 있다.

6.1.1 혈액소 합성

연의 혈액소 합성에 대한 억제 작용은 많은 연구의 주제였다. 헴 합성의 단순화된 도식은 아래의 그림 2와 같다.

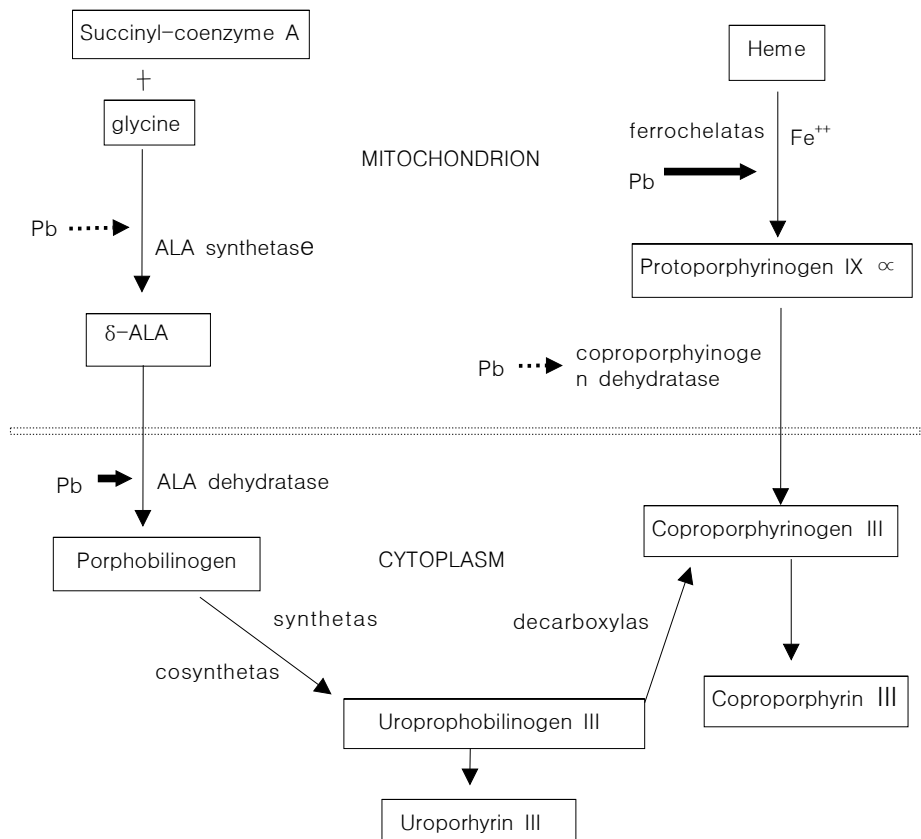


그림 2. Heme 합성과정과 연의 억제 작용 위치

연이 작용하는 부위는 화살표로 표시된 곳이다. 첫 단계에서 활성화 속시닌산(succinate)과 글리신(glycine)으로 델타아미노레불닌산(ALA)의 합성이 사립체(mitochondria) 내에서 일어난다. 다음 단계는 사립체 밖에서 일

어나고 마지막 두 단계는 다시 사립체 내에서 일어난다. 헴 합성의 속도는 음의 되먹이기 기전으로 조절된다. 헴은 ALA 합성의 활성도를 낮추고 헴과 프로토포르피린(protoporphyrin IX)은 ALA 탈수효소(dehydratase)를 억제한다. 연에 의한 헴 합성의 방해는 소변으로 비정상적인 대사산물을 높게 배출하게 한다. 이들 중 ALA와 코프로포르피린 III는 연중독 환자에서 증가하여 이들 물질이 진단검사로 측정되어 왔다. 연중독에서 프로포빌리노겐, 코프로포르피린(coproporphyrin I), 그리고 유로포르피린(uroporphyrin I)이 증가하기도 한다. 동시에 혈중 ALA, 코프로포르피린 III, 포르포빌리노겐, 프로토포르피린 IX가 증가된다. 이러한 변화는 헴 합성의 각기 다른 단계에서 효소의 억제를 반영하는 것이다. 이러한 억제는 연 이온과 효소가 직접 상호작용하여 발생할 수도 있고, 프로토포르피린 IX, 헴, 그리고 다른 중간대사산물의 축적에 따른 음의 되먹이기 기전에 의해 조절되기도 하고 두 가지 기전의 결합에 의해 발생하기도 한다.

헴 합성에 관여된 효소 중에서 연은 ALA 탈수효소 및 철 결합효소를 억제한다. 또한 높은 농도에서는 ALA 합성효소와 코프로포르피리노겐 탈탄산효소를 억제하는 것이 분명하다. 연의 알려진 모든 생물학적 영향 중 ALA 탈수효소의 억제가 가장 초기의 작용이다. 그러나 철 결합효소의 억제가 혈색소 합성속도의 제한 요소이다. 왜냐하면 프로토포르피린 IX가 적혈구에 축적되어 적혈구에서 비철결합 포르피린의 95%을 대치하기 때문이다. 적혈구 프로토포르피린(약자로 ZPP, FEP 또는 HP)은 혈중연 농도 35 µg/100 ml(남자)와 25 µg/100 ml(여자)에서 매우 증가한다(Roels 등, 1975).

연은 세포 외의 철대사에 관여하지 않지만 철을 트랜스페리틴(transferritin)으로부터 적혈구 전구물질로 전달하는 것을 감소시킨다. 전형적인 연중독 소견은 세포 내로 들어가는 철분이 완전하게 혈색소합성에 이용되지 않고, 또한 적혈구의 헴과 결합하지 않은 철분의 증가이다. 전자현미경을 이용한 연구는 사립체에서 철분함유 소립자와 철단백의 응집을 보여주었다. 미성숙 적혈구와 성숙한 적혈구에서 호염기성 반점은 아마도 손상된 사립체, 미세소체(microsome)의 잔해, 그리고 RNA들로 구성되어 있

을 것이다(Jensen 등, 1965). 시험관 실험에서 연에 의해서 글리신이 글로빈에 결합하는 것이 억제되기 때문에, 혈액소분자의 단백질부분의 합성이 방해받는 것은 가능하다.

6.1.2 혈액순환 중의 적혈구의 활동

순환혈액 중의 적혈구 수명단축은 연에 의한 빈혈의 또 다른 주된 기전이다(Hammond와 Aronsen, 1964; Waldron, 1966). 연중독이 급성으로 일어날수록 적혈구 수명 단축을 초래한다. 역으로 만성중독일 경우 헤모합성의 장애가 가장 주된 소견이다. 어떠한 방해나 억제가 없을 경우 적혈구 수명이 정상적인 128일에서 30일로 줄어들 때까지는 빈혈은 발생하지 않는다. 헤모합성의 억제가 골수의 합성능력을 보상하는 것을 방해하는 연중독의 경우 상황은 다르지만, 골수의 합성능력이 남아 있으면 약간의 적혈구 수명의 단축은 빈혈을 초래하지 않고 견딜 수 있다.

만성 연중독에서는 적혈구의 수명 단축은 중등도이고 또한 대부분의 용혈성 빈혈보다 정도가 덜하다. 몇몇 연구결과에 의하면, 적혈구 수명은 60일 이하로는 거의 감소되지 않는다. 디이소프로필 불화인산(^3H -diisopropyl fluorophosphate)를 이용한 생체실험에서 혈중연 농도가 50 - 162 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 정도로 심하게 연에 노출된 근로자들의 적혈구는 약간의 수명 단축(약 100일)이 있었다. 수명단축의 정도는 망상적혈구증과 가장 상관이 높았지만, 빈혈, 코프로포르피린뇨증, 혈중연 등과도 상관이 있었다. 만성 노출의 경우, 대부분의 적혈구 수명이 단축되었으며, 임의의 파괴는 없었다. 급성으로 과도한 연에 폭로되는 것과는 다를 수 있는데 이런 경우는 혈관 내에서 용혈을 일으키는 것이 보고되었기 때문이다(Waldron, 1966).

연이 적혈구의 수명을 단축시키는 기전은 잘 알려지지 않았으며, 적혈구 수명에 대한 삼투압 내성도 잘 알려지진 않았고, 적혈구의 삼투압저항이 연중독 환자에서 존재한다는 관찰보고가 있다. 쉽게 파괴되는 성질이 증가한다는 보고가 있었지만 이러한 현상들은 아직 논란이 있다(Waldron, 1966). 또한 연은 세포막의 기능에 관여하는 것이 알려져 있다. 이들 중 소

다음과 칼륨의 세포막의 농도 차를 조절하는 양이온 펌프는 세포에 극히 중요하다. 이 펌프의 기능은 막의 Na^+ 및 K^+ 활성 ATP와 밀접하게 짝을 이루고 있다. 연은 생체실험, 시험관 실험 모두에서 이 효소를 억제하는데 이는 적혈구의 수명을 줄이는 것처럼 보인다.

순환혈액에서 적혈구의 신속한 제거는 골수에서 적혈구형성을 촉진하는데 형태학적인 주요 소견은 일반적 과다증식과 핵질의 유출, 비정상적 핵분열과 같은 핵의 변화로 큰적혈모세포(megaloblasts), 다가핵 적혈구모세포(polyploid erythroblasts), 철적모구(sideroblasts) 등이 존재한다. 그러나 가장 극적인 소견은 점적혈구가 많아지는 것이다. 말초혈액보다 골수에서 점적혈구의 비율이 높다는 것은 서로 다른 변화주기를 갖는 두 개의 세포군이 있는 것으로 설명될 수 있다(Hernberg, 1984).

6.1.3 연의 혈액학적 영향의 양-반응 관계

연의 혈액학적 효과는 양-반응관계가 확립된 단 하나의 연의 영향으로서, 이는 혈중연 농도를 허용기준의 전제로 삼는 것이다(Hernberg, 1984). 가장 초기의 영향은 ALA 탈수효소의 부분적인 억제로, 20 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 정도 또는 그 이하에서도 측정 가능하다(Hernberg, 1984). ALA와 포르피린의 배설은 혈중연이 40 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 넘으면서 증가하기 시작한다(Selander 와 Cramer, 1970; Tola 등, 1973). 혈중연이 증가하면서 이러한 변화는 심해진다(Selander 와 Cramer, 1970; Tola 등, 1973). ALA 탈수효소의 억제는 혈중 연과의 상관계수가 0.9까지 보고되었다(Hernberg, 1988). ALA와 코프로 포르피린의 상관은 좀 낮지만 실제적으로 중요하다. 망상적혈구증은 혈중 연 60-80 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 에서 측정되기 시작한다. 이러한 혈중 연 범위에서는 적혈구수명의 단축도 일어나기 시작한다. 혈중 연과 빈혈의 정도와의 상관은 약하다. 연에 처음 폭로되어 3-4개월이 되는 근로자들에게서 혈중 연 수준이 50-80 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 정도에서 혈색소가 약간 떨어지며 혈중 연이 80 - 100 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 까지는 실질적인 빈혈은 발생하지 않는다. 높은 혈중 연 농도에서는 위의 언급한 변화들이 두드러지게 나타나지만, 개인차가 크다. 혈중 연

과 프로토포르피린 IX와의 양-반응관계는 어느 정도 상세히 알려져 있다 (Saryan, 1988; 1989). 호염기성 점적혈구는 연의 영향에 대한 좋은 지표는 아니고 다른 변수들과도 상관관계가 없다.

6.2 신경학적 영향

6.1.1 중추신경계 영향

연뇌증은 과거에는 직업적 연중독의 두려운 합병증이었으나, 현재는 직업성 연뇌증은 흔하지 않고, 개인 위생이 좋지 않거나 열악한 소규모 영세 사업장에 가끔 일어난다. 연뇌증은 급성 및 만성적인 형태로 발생한다. 또한 한 두 번 정도 급성 뇌증에서 생존한 환자들의 상당수에서 영구적인 뇌 손상이 초래되기도 한다.

급성 뇌증에서는 뇌부종이 있고, 때로는 점상 출혈이 동반된다. 혈관 손상이 뇌부종의 원인이라고 믿어진다. 가장 광범위한 신경 손상은 소뇌의 겉질부에서 발견되지만, 대뇌 겉질에서도 자주 변화가 발생한다. 조직학적으로 백색질에서 부분적인 말이집(myeline)의 손상과 별아교세포(astrocyte)의 반응이 발견된다. 세포손상은 뇌세포에서 생화학적 대사반응의 손상에 기인할 수 있다. 만성 뇌증에서 뇌조직의 공동화를 동반한 광범위한 조직의 파괴가 세포막이 파괴된 정맥혈관의 비후와 함께 기술된 적이 있는데 이는 혈관의 변화가 뇌손상의 발생에 관여하는 것을 암시한다.

급성 뇌손상의 임상적 경과는 다양한데, 연령, 환자의 일반적인 상태, 흡수된 연의 양, 그리고 노출기간 및 만성 알코올 중독과 같은 다른 요인들에 따라 다르다(Hernberg, 1984). 정신적 태도에서 미묘한 변화, 기억력과 집중력의 저하, 과다 흥분증, 불안, 우울증, 두통, 어지러움 그리고 진전이 발생할 수 있다. 점점 진행되면, 지속적이고 발작적인 구토를 포함하는 뇌부종의 증상이 나타나고, 무기력감, 마비, 혼수와 조절이 안 되는 간질 발작 등이 생길 수 있다. 급성 뇌증은 간질 발작이 시작되면서 전구증상없이 발병할 수 있다. 심한 경우에는 급속하게 경련발작 및 혼수가 나타나며

결국 심장마비로 사망한다. 연뇌증의 발현과 진행과정은 항상 예측할 수 없다. 연뇌증이 발현되기 위해서는 매우 높은 혈중연 농도가 필요하지만 연산통과 같은 다른 중요한 증상들이 항상 있는 것은 아니다. 갑작스런 뇌증의 시작은 임상적 조건이 나쁘지 않은 환자에게서도 드물지만 발생할 수도 있다. 치명적인 경우 보통은 처음 간질이 발작한 후 몇 일 이내에 환자가 사망한다. 착화치료가 이용되기 전에는 어린이에서 사망률은 약 3분의 2였다. 착화치료 때문에 사망률은 5%까지 떨어졌다. 그러나 생존자의 25%에서 영구적인 뇌 손상으로 진행된다(Smith 등, 1963). 비록 착화제로 신속하고 적절하게 치료하여 영구적인 뇌손상의 위험성을 줄여도, 종래의 개선되지 않은 위험한 작업환경으로 되돌아가면 위험성은 거의 100%로 증가한다. 연뇌증은 심각하고, 또한 심한 정신지체, 시력상실, 그리고 뇌결절부가 위축되는 간질 등의 특징을 가질 수 있고, 학습능력의 저하를 초래할 수 있는 지각 능력의 상실, 그리고 공격적, 파괴적이고 반항적인 행동 등이 특징인 행동장애가 올 수 있다(Finkel, 1983).

중추신경장애에 대한 용량-반응관계는 잘 알려지지 않았다. 급성 뇌증은 대량의 연에 폭로된 후에 발생하고, 혈중연량이 70 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 정도에서도 발생한 사례가 있지만, 100 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하에서는 드물다. 이 때문에 미국의 질병통제센터(CDC)에서는 소아의 경우 혈중연 농도 70 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 급성 응급상태로 간주한다.

6.1.2 말초신경계 영향

과거에는 말초신경 마비 또는 연마비는 심하면서도 흔하게 발생하는 직업적 연중독의 합병증이었다. 선택적인 운동신경마비가 특징이며, 감각신경 이상은 드문 편이다. 또 다른 특징은 편측의 펌근(extensor muscle)마비가 나타나는 것이다. 가장 많이 사용하는 근육이 가장 예민하므로 오른손 손목의 처짐이 전형적인 특징이다. 그러나 상지의 다른 근육들, 외안근 그리고 하지의 펌근들이 침범되는 수도 있다. 시각상실을 초래하는 안신경염이 어린이들에서 보고된 경우가 있다.

대부분의 인체에 대한 자료는 병변은 신경병증이라고 말해지는 신경원성이며 말초성 병변이다(Catton 등, 1970; Seppäläinen 와 Hernberg; 1972). 그러나 어떤 경우는 병변이 척수의 앞뿔세포(anterior horn)에 위치하는 경우도 있다.

임상적 양상은 근육과 관절의 동통과 압통, 근육피로의 증가, 미세한 근육의 떨림이다. 때로는 근육의 긴장도가 떨어지기도 하고 심지어는 앞팔의 편근에 위축이 생기기도 한다. 하나 또는 그 이상의 근육에 무통성 마비로 진행하기도 하는데, 심한 경우 전체 근육에 마비가 오기도 하고 전형적인 연마비 증상으로 진행된다. 전기생리학적 기술을 이용하여 혈중 연이 80-120 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이고 임상적 신경 증상이 전혀 없는 연노출 근로자에서 신경손상이 증명되기도 하였다(Catton 등, 1970; Seppäläinen 와 Hernberg; 1972). 이상 소견으로는 신경전달 속도의 저하(특히 신경의 말단과 느린 신경섬유에서), 최대 근수축시 근육의 연축과 운동신경단위수의 감소와 같은 근전도 이상이다.

심한 말초신경증은 보통 예후가 나쁘다. 심하지 않을 때는 치료되기도 하지만, 이런 경우 더 이상 연 노출이 없거나 신속히 효과적인 착화치료가 시작된 경우에 가능하다. 만약 착화치료가 충분히 효과적으로 이루어지지 않는다면, 조직의 연농도는 높은 상대로 몇 달간 지속되어 예후를 나쁘게 할 것이다.

최근 연구에서 30 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 수준이 말초신경의 신경생리학적 이상의 한계치(threshold level)이며 이후에 용량-반응관계를 보이는 경향이 있는 것으로 보고되고 있다. 명백한 연마비가 생기기 위해서는 심한 연 노출이 지속되는 상태, 아마도 환자가 그 증상을 잘 인지하지 못하는 미세 신경장애가 반복되는 상태가 필요하다. 스칸디나비아 연구에 따르면 혈중연 농도가 40-70 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 정도로 지속되었고 70 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상을 넘어본 경험 없는 연 근로자에서 약간의 신경생리학적 변화가 있었다고 한다(Hernberg, 1984).

6.3 콩팥 영향

연에 과도하게 지속적으로 노출되면 진행성이며 회복이 불가능한 콩팥 질환이 생긴다. 과거의 문헌에는 치명적인 직업성 만성 콩팥염이 여러 번 보고되었다(Hernberg, 1984). 오늘날 산업위생의 발달은 직업적 연노출로 인한 심한 콩팥질환의 합병증과 숫자를 감소시켰으나, 연 페인트 조각을 섭취한 어린이나 연에 오염된 음식물과 술 등을 먹은 사람들에게는 아직도 위험이 된다(Morgan 등, 1966).

연에 의한 신장병은 신기능의 진행성 손상이 특징이며, 고혈압이 동반된다. 콩팥손상은 만성적인 사이질(interstitial)의 섬유화, 곱슬세관(convoluted tubule)의 퇴행성 변화, 그리고 소동맥과 세동맥의 변화이다(Morgan 등, 1966). 특징적인 것은 곱슬세관을 싸고 있는 세포의 핵 내부 이물질이 풍부해지는 것이다. 이러한 핵 내부 이물질은 연-단백질 결합물로 구성되어 있는데 연이 비확산형태로 결합되어 있다. 이 핵 내부 이물질은 세포질의 연농도를 낮추는 방어기전으로 생각된다. 게다가 이 세포들은 소변으로 배출되기 때문에 이 현상은 곱슬세관을 싸고 있는 세포들을 파괴시키지 않고 잉여의 연을 제거시키는 방법을 제공하게 된다. 핵 내부 이물질의 보호작용은 연 노출 시작 후 신속하게 진행되던 사이질세포의 섬유화가 핵 내 이물질의 출현과 동시에 중지되었던 실험에 의해서도 제시되었다.

연에 의한 콩팥질환에서 기능적 손상은 토리쪽 곱슬세관(proximal convoluted tubule)의 손상과 일치하고, 아미노산, 포도당, 인 그리고 구연산의 재흡수의 감소에 의해서도 증명된다. 심한 경우, 판코니증후군(과다 아미노산 뇨, 당뇨, 그리고 과다 인산뇨가 동반된 과소 인산혈증)이 나타날 수 있다. 콩팥기능의 손상은 반드시 영구적인 것은 아닌데 판코니증후군도 회복될 수 있기 때문이다. 물질을 곱슬세관 내강으로부터 세포막을 통과하여 물질을 운반하는데 필수적인 에너지의 생산의 감소가 원인일 수도 있다는 설명도 있다.

연통풍은 감소된 곱슬세관 기능의 흥미 있는 결과이다. 연은 요산의 배

설을 간섭한다. 결과적으로 요산의 생산은 정상적이다더라도 요산 농도는 혈액에서 증가되고, 요산 결정이 관절에 일반적인 통풍처럼 축적된다. 연통풍은 남자와 여자에게서 동일하게 발생하고, 콩팥기능이 손상된다는 점에서 일반적인 통풍과 다르다(Morgan 등, 1966; Nriagu, 1983).

대부분의 저자들은 연에 의한 콩팥질환은 10년 이상 다량의 지속적인 연 노출 후 또는 짧은 기간 심한 연중독이 반복된 후에 발생한다는 데 동의한다(Hernberg, 1984). 사실 이 질환은 과거 급성중독의 후유증이다. 이 질환에 처음 관심을 보인 사람은 나이(Nye, 1929)이다. 그는 어린 시절에 연중독 경험이 있던 퀴즈랜드의 젊은이들에서 치명적인 만성 콩팥질환이 많이 발생한다고 보고하였다. 15 - 40년 전 어린 시절에 연중독에 걸렸던 352명의 성인들 중 94명이 만성 콩팥질환으로 사망하였다고 하며, 총 사망자는 165명이었고, 신장염은 치사자의 50%이상이었다. 이러한 결과는 어린 아이들이 어른들보다 연에 더 민감하다는 것을 나타내는 것이다. 한편, 그들의 연노출량은 아주 많았고 급성중독의 형태이었다.

또한 심한 직업적 노출도 성인에서 콩팥질환을 유발할 수도 있다.

6.4 소화기계 영향

소화기관은 실제적인 연중독과 관련 있으며 중간정도의 연 노출시 다양한 소화기계 증상이 유발될 수 있다(Hernberg, 1988). 첫 증상은 혈중연 농도 80 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 에서 나타나기 시작한다. 식욕부진, 소화불량, 식후 상복부 불쾌감, 변비 또는 설사 등이 소화기 증상들이다. 혈중연 농도가 100 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상 되면 좀 더 심한 증상(연산통, 심한 변비)이 증가하기 시작한다. 만약 노출이 중지되지 않으면 전형적인 연산통이 시작된다. 이런 경우는 혈중 연 농도가 150 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상 되어야 하지만 그 범위는 다양하다. 케호(Kehoe, 1972)의 설명에 의하면 연산통의 특징은 갑자기 발생하고 반복되는 경련성으로 환자는 몸부림치며 괴로워하며, 다리를 발작적으로 배 쪽으로 웅크리고, 신음하고, 두손을 꼭 쥐고, 이빨을 갈고, 이마에는 땀을 흘린다. 이러한 극적인 상태는 환자의 연 노출 여부를 모를 경우에는 시험

적 개복술을 하게 될 때도 있다. 치료하지 않으면 연산통은 몇 일간 지속될 수도 있고, 심지어는 일주일 이상 지속된다. 칼슘 글루코네이트 또는 다른 항경련제를 정맥주사하면 증상은 즉시 가라앉는다.

연산통의 기전은 위장벽의 평활근의 발작적 수축에 기인한다. 같은 현상이 동맥혈관의 평활근에도 생겨서 얼굴이 창백해지고, 일시적인 혈압상승과 토리 여과의 감소를 유발한다.

또 다른 잘 알려진 연노출의 증거는 잇몸의 푸르스름한 선이다. 이는 소위 버토니안의 연선이라 하는데 이것은 환자가 연중독인지 아닌지를 모두 말해주는 것은 아니다(Hernberg, 1984). 연선은 황화연의 침착에 의하여 생기고, 다만 환자가 연에 폭로된 경험이 있었으며 환자의 치아 위생이 나쁨을 말해 줄뿐이다.

6.5 심혈관계 영향

급성의 연중독단계, 특히 환자가 연산통이 있는 경우, 보통은 혈압이 상승한다(Sharp 등, 1988; 1990). 또 다른 경우는 저혈압이 발생할 수 있다. 또한 심근의 손상에 대하여도 주의를 기울여 하지 말아야 한다(Freeman, 1970). 한 연구에 의하면, 심근의 이상을 암시하는 심전도의 변화가 입원환자의 10%에서 발견되었다(Silver 과 Rodriguez-Torres, 1968). 주요 소견은 심계항진, 심방 부정맥, T파의 역전, QRS-T간격의 비정상적인 확대 등이다. 대부분의 소견은 치료 후 정상으로 회복된다. 또 다른 연구에서는 방실전도의 장애가 있었는데 치료 후 정상으로 회복되었지만 연에 다시 노출되었을 때 재발되었다.

만성적인 영향은 어느 정도는 연구되었지만, 피상적이고 다양한 연구결과만 있다. 딩월-포디(Dingwall-Fordyce)와 랜(Lane)은 축전지엽 근로자들에서 2.5배의 뇌혈관질환에 의한 사망을 발견했다. 연폭로가 적었던 근로자들에서는 그러한 과도한 사망률은 볼 수 없었다. 미국에서 과거의 역학연구들 또한 심혈관계질환으로 인한 초과 사망을 발견할 수 없었는데 심혈관 또는 뇌혈관 손상을 유발하기 위해서는 현재는 거의 볼 수 없는 형태의 심

한 지속적 노출이 필요하다. 이런 견해는 스웨덴의 364명의 축전지 근로자들을 대상으로 한 연구에서 중간 정도의 연 노출은 혈압에 영향을 주지 않았다는 사실에 의해 뒷받침되고 있다(Cramer 와 Dahlberg; 1966). 여러 가지 보고된 결과로 노출이 관리되는 작업환경에서는 죽경화증(atherosclerosis), 고혈압, 심근경색 또는 뇌혈관 질환은 증가되지 않는다(Hernberg, 1984).

6.6 기타 영향

기타 다른 기관에 대한 연의 영향은 임상적 관점에서는 중요하지 않다. 그러나 생식기계통의 영향에서는 수정능력의 감소, 유산율의 증가 등이 연 노출이 심한 여성들에서 관찰되었고, 남성의 생식능력에 대한 영향도 보고되었다. 연은 또한 태반을 통과하고, 태아에 손상을 줄 수도 있다(예를 들면 어린이에서 신경계 질환)(Palmisano 등, 1969). 임상적 연중독의 증후가 없었던 연노출 근로자들의 림프구에서 유전자의 변화가 관찰되었다.

연은 또한 뇌하수체-갑상선 축에 작용해서 요오드의 섭취를 방해하여 갑상선기능을 저하시키는 것으로 보인다(Sandstead 등, 1969). 또한 부신과 뇌하수체의 기능도 손상될 수 있다(Committee on Biologic Effects of Atmospheric Pollutants Division of Medical Sciences National Research council, 1972).

연은 동물에서 발암성 물질이다(EPA, 1991). 콩팥의 선암이 초산연의 경구투여나 인산연의 경피투여로 발생하는 것으로 보고되고 있다(Committee on Biologic Effects of Atmospheric Pollutants Division of Medical Sciences National Research council, 1972). 연이 사람에서 암을 유발할 가능성에 대하여는 아직 입증되지는 않았으나 많은 연구가 진행되고 있다.

7. 노출기준

7.1 기중 노출 기준

“노출기준”이라 함은 근로자가 유해요인에 노출되는 경우 노출기준이하 수준에서는 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 기준으로 우리나라(노동부, 2002)에서는 1일 작업시간동안의 시간가중평균 노출기준(Time Weighted Average, TWA)은 0.05 mg/m^3 (무기연 분진 및 흙)으로 고시하고 있다.

미국에서의 OSHA PEL도 하루 평균 8시간 근무시 우리나라와 같은 $50 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (무기연의 경우)이나, 생물학적 모니터링이 시작되는 규정 농도는 $30 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ 으로 설정하고 있다. 세계 여러 나라의 기중 노출기준은 아래 표 2에 명시되어 있다.

표 2. 일부 국가 기중 연 노출기준 (한국산업안전공단, 1999)

국가	PPM	mg/m^3	내용	연도
우리 나라	-	0.05	분진과 흙	1999
호주	-	0.15	연	1999
일본	-	0.1	관리농도	1999
스웨덴	-	0.05	호흡성분진	1999
	-	0.05	총 분진	1999
미국(OSHA)	-	0.05		1999
(ACGIH)	-	0.05		1999
(NIOSH)	-	<0.10		1999

7.2 생물학적 노출기준(한국산업안전공단, 1999)

WHO : 개인별 최대 생물학적 작용수준(health based maximum biological action level)은 남자 혈중 연 권고치 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 여자 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이다.

EEU : 혈중 연 최대 폭로치를 70 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 설정하였으며 만일 ALAU가 20 mg/g creatinine 혹은 ZPP가 20 $\mu\text{g}/\text{g}$ 헤모글로빈, 혹은 ALAD가 6 European Unit 이하일 경우 80 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 까지도 허용

미국(ACGIH, BEI) : 혈중 연 농도 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 를 채택하고 있으며 이는 TLV-TWA 0.15 mg/m³에 해당. 1994년 ACGIH는 TLV-TWA를 0.05 mg/m³로 바꾸었으며 이에 해당하는 BEI는 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이다. BEI는 1995년에 채택.

미국(OHSA) : 혈중 연량과 ZPP를 6개월마다 검사를 시행할 것을 권고하고 있고, 6개월마다 실시하는 혈중 연 농도가 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상일 때는 두 번 이상 혈중 연 농도가 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 미만이 될 때까지 두 달마다 한 번씩 시행하고 연의 폭로 요인이 제거될 때까지는 최소한 한 달에 한 번 검사 시행.

만일 혈중 연이 60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상이거나 세 번의 검사로 평균 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상일 때는 매달 혈중 연을 검사하여 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 미만이 될 때까지 작업에 종사하지 못하게 함.

독일(BAT) : 혈중 연이 남자의 경우 70 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 45세 이하 여자의 경우 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 설정

영국 : 남자의 경우 70 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 가임 여성의 경우는 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 한계를

설정

스웨덴 : 혈중 연이 41 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 를 초과할 경우 연폭로에 대한 검사를 받아야 하며, 52 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (50세 이하의 여자는 31 $\mu\text{g}/\text{dl}$)를 초과할 때는 41 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (50세 이하의 여자는 25 $\mu\text{g}/\text{dl}$)가 될 때까지 작업에 종사하지 못하게 한다.

핀란드 : 혈중 연 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 를 한계치로 설정, 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상일 시는 그 작업에 종사하지 못하게 한다.

덴마크와 노르웨이 : 혈중 연 60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 를 한계치로 설정, 여성에 대한 특별 규정은 없다.

프랑스 : 혈중 연 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 를 한계치로 설정, 60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상 시는 그 작업에 종사하지 못하게 한다.

호주 : 혈중 연 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 를 한계치로 설정, 70 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상 시는 그 작업에 종사하지 못하게 한다.

7.3 향후 기준의 방향

우리 나라에서는 정상의 상한 수치로 40 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 이용하고 있으나 이 수치는 어린이에게는 극히 높은 수치이며 성인 근로자들에게도 최대 허용치에 가까운 것으로 인식되고 있다. 연 노출의 환경적인 근원(휘발유, 페인트, 가구, 장난감, 땀땀, 물 등)들이 감소 또는 제거됨에 따라, 혈중 연의 환경수치도 역시 감소하였다.

미국의 CDC에서 추천한 지침에 기초하면, “정상”이라고 간주될 수 있는 혈중 연의 최고값은 현재 9 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이다. 이는 특정한 과다 노출원이 없는 미국 내 성인과 어린이가 전형적으로 이 한계 이내에 있다는 사실을

반영한다(Mahaffey 등, 1982; US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control, 1991).

우리 나라의 연 노출 근로자들은 현재 혈중 연량 수준이 $40\mu\text{g}/100\text{ml}$ 만큼 높은 범위까지 허용되고 있으나 이 기준은 조만간 더 내려갈 것으로 생각된다.

현재 생물학적 노출기준은 주로 혈중연 농도를 기준으로 사용하고 있다. 그러나 최근의 많은 연구나 보고에 의하면 직업적 또는 환경적인 연노출이 중지된 상태에서도 높은 혈중연 농도를 유지하는 경우가 있다. 이들의 높은 혈중연 농도는 연의 체내부담의 과다, 특히 뱃속에 축적된 연량의 과다에 기인하고 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서 향후 연의 생물학적 노출 기준에는 과다한 체내 축적(특히, 뱃속 연량)량에 대한 기준을 설정하여 관리하는 것도 필요할 것으로 사료된다.

8. 건강관리

연중독은 연중독의 주관적인 증상과 객관적 징후가 비정상적인 검사소견들과 함께 나타나는 임상적 질병으로 흔히 정의된다. 따라서, 연중독의 진단은 명확한 질병이 없는 상황에서 내려져서는 안 된다. 이러한 정의의 수용은 임상적 질병으로 국한되기 때문에 근로자들의 보상을 위한 소송을 초래한다. 명확한 임상적 증상이 나타나기 전에 기능적 손상 및 주관적 건강상태가 어느 정도 저하되는 중간단계가 있다. 오늘날에는 WHO의 건강 정의인 “완전한 육체적, 정신적, 그리고 사회적 안녕의 상태”에 대한 요구의 증가로 이러한 중간단계도 연중독의 개념에 포함되는 것이 타당해 보인다. 이러한 무증상 연중독은 문제가 없는 것으로 인식되어서는 안 되며 이러한 질병인 인지된 때에는 예방과 치료를 위한 조치가 강구되어야 한다는 것이다.

그러나 연에 의한 영향의 서로 다른 단계들 사이에 명확한 경계가 없다는 것은 명확하다. 현대 과학기술은 우리에게 건강 영향을 인지하지 못할 정도의, 정상치로부터 벗어난 경미한 이상치도 발견할 수 있는 검사방법을 제공했다. 이러한 비정상은 연중독의 증상으로 간주될 수 없다. 문제는 정상치로부터 어느 정도의 편차를 받아들일 수 없는지 정하는 것인데, 때때로 이것은 과학적 사실보다도 사회적 동의의 문제이다. 예상되는 바와 같이, 수용 가능한 변화와 수용 가능하지 않은 변화간의 경계를 정하는 것에 관한 논란은 항상 있어왔다. 이것은 정치적 의사 결정자(즉, 정부, 고용주, 근로자)들도 그들의 의견을 나타낼 기회를 가져야 하기 때문에, 전적으로 산업의학전문가의 문제는 아니다.

이 모든 것을 고려할 때 다음 3가지 범주의 구분이 유용할 것이다.

1. 수용가능성이 있는(acceptable) - 건강에 영향이 없거나 경미한 영향만 있는 경우로서, 경미한 영향은 적혈구 ALA dehydratase의 부분적 억제와 망상적혈구의 경미한 증가, ALA 배설 및 ZPP의 경미한 증가가 포함되는 단계임

2. 수용가능성이 없는 (unacceptable) - 요증 ALA와 코프로폴피린 (coproporphyrin) 배설의 명확한 증가, 경미한 빈혈, 전기생리학적 비정상과 동반된 피로, 권태, 식욕부진, 상복부 불쾌감, 창의력 저하 등의 경미한 증상이 있는 경우로 무증상 연중독으로 정의 될 수 있는 단계임

3. 임상적 연중독 (clinical poisoning) - 1단계는 혈중연 농도가 40 μ g/100ml 이하에 해당되며, 2단계는 혈중연 농도가 40 - 60 μ g/100ml 수준에 해당되며, 3단계는 70 μ g/100ml 이상에 해당된다. 각 단계의 혈중연 농도간에 민감도에 있어서 개인간 차이로 인하여 상당한 범위의 중복이 있고, 혈중 연 농도 70 μ g/100ml 이라는 절대적 경계는 없다.

8.1 건강관리 실무지침(한국산업안전공단, 1999)

8.1.1 건강진단주기

8.1.1.1 기본주기 및 대상자 :

연 또는 그 화합물(알킬 연은 제외)에 노출되는 작업부서 전체 근로자에 대한 특수건강진단 주기는 1년에 1회 이상으로 한다.

8.1.1.2 집단적 주기단축 조건 :

다음의 어느 하나에 해당하는 경우 당해 공정에서 당해 유해인자에 노출되는 모든 근로자에 대하여 특수건강진단 기본주기를 다음 회에 한하여 1/2로 단축하여야 한다.

(1) 당해 건강진단 직전의 작업환경 측정결과 연 또는 그 화합물의 농도가 노출기준 이상인 경우

(2) 연 또는 그 화합물에 의한 직업병 유소견자가 발견된 경우

8.1.1.3 배치전 건강진단후 첫 번째 특수건강진단 :

6개월 이내에 근로자 개별적으로 실시하되 배치전 건강진단 실시후 6개월 이내에 사업장의 특수건강진단이 실시될 예정이면 그것으로 대신할 수 있다.

8.1.2 건강진단 항목

8.1.2.1 필수항목

- (1) 직업력 및 폭로력 조사
- (2) 과거병력 조사 : 주요표적 장기와 관련된 질병력 조사
- (3) 자각증상 조사 : 문진표 작성내용 확인
- (4) 임상진찰 : 조혈기, 소화기, 정신신경계, 신장에 유의하여 진찰
- (5) 임상검사
 - 혈액학적 검사 : 혈색소량, 혈구용적치
 - 요검사 : 단백뇨
 - 간기능검사 : 혈청지오티, 혈청지피티, 감마지피티
- (6) 생물학적 노출지표검사 : 혈중 연

8.1.2.2 선택항목

- (1) 신기능검사 : 요침사 현미경 검사, 단백뇨 정량, 크레아티닌, 요소질소(BUN)
- (2) 빈혈검사 : 혈중 철, 총철결합능, 혈청 페리틴
- (3) 신경과 검사 : 신경전도검사
- (4) 생물학적 노출지표 검사 : 혈중 ZPP, 요중 델타-아미노레블린산, 요중 연

8.1.3 산업의학적 평가

8.1.3.1 건강관리구분

건강관리구분		건강관리구분 내용
A		건강관리상 사후관리가 필요없는자 (건강자)
C	C1	직업성 질병으로 진전될 우려가 있어 추적 관찰이 필요한 자 (요관찰자)
	C2	일반 질병으로 진전될 우려가 있어 추적 관찰이 필요한 자 (요관찰자)
D1		직업성 질병의 소견을 보여 사후관리가 필요한 자 (직업병 유소견자)
D2		일반 질병의 소견을 보여 사후관리가 필요한 자 (일반 질병 유소견자)
R		일반건강진단에서의 질환의심자 (제2차 건강진단 대상자)

※ C1 판정기준 : 다음의 첫째 또는 둘째에 해당하는 경우

첫째, (1) 임상검사 결과(빈혈검사 등) 참고치를 벗어나거나, 임상진찰 결과 신경계, 소화기, 조혈기, 신장 등의 이상증후를 보이고 (2) 작업장 기중 농도, 노출기간, 취급방법, 생물학적 노출지표검사 등을 고려할 때, 연 노출에 의한 것으로 추정되며 (3) D1에 해당되지 않고 관찰이 필요한 경우

둘째, 생물학적 노출지표검사 결과 생물학적 노출기준을 넘는 경우

※ D1 판정기준 : 다음의 첫째 또는 둘째에 해당하는 경우

첫째, (1) 임상검사 또는 임상 진찰결과, 신경계장해, 소화기장해, 빈혈, 신장장해 등이 있고 (2) 작업장 기중농도, 노출기간, 취급방법, 생물학적 노출지표 등을 고려할 때, 연 노출에 의한 것으로 추정되는 경우

둘째, 혈중 연 농도가 60 µg/100ml이상인 경우

8.1.3.2 업무수행 적합여부 평가

업무수행 적합여부 평가기준
- 건강관리상 현재의 조건하에서 작업이 가능한 경우 - 일정한 조건(환경개선, 개인보호구 착용, 건강진단 주기를 앞당기는 경우 등)하에서 현재의 작업이 가능한 경우 - 건강장해가 우려되어 한시적으로 현재의 작업을 할 수 없는 경우 (건강상 또는 근로조건 상의 문제를 해결한 후 작업복귀 가능) - 건강장해의 악화 혹은 영구적인 장해의 발생이 우려되어 현재의 작업을 해서는 안되는 경우

※ 업무수행 적합 여부 평가시 고려해야 될 건강상태

(개인의 건강상태 및 노출정도에 따라 3가지 범주 중 어느 하나로 판정)

- 연중독
- 조혈계 질환(빈혈, porphyria, thalassemia 등)
- 중추신경계, 말초신경계 질환
- 내분비계 질환(특히 당뇨, 심한 갑상선 기능항진증)
- 위장계 질환(재발성 소화기궤양 혹은 위염)
- 혈관계 질환

8.1.3.3 수시건강진단을 위한 참고사항

근로자가 식욕부진, 변비, 복부산통 등의 소화기 장애, 사지의 뻣근마비 또는 지각이상 등의 말초신경장애, 관절통, 근육통, 안면창백, 쇠약감, 권태감, 수면장애, 빈혈증세, 초조감 등의 증상 및 증세를 보여, 사업주가 수시 건강진단의 필요성에 대하여 자문을 요청한 경우 건강진단기관의 의사는 자문에 응하여야 하며, 수시건강진단의 필요성 여부에 대하여 사업주에게 자문결과서를 통보하여야 한다.

8.2 사후관리

번호	건강관리 조치내용 ¹⁾	참고사항
0	필요없음	
1	건강상담	상담내용기술
2	보호구 착용()	보호구의 점검 또는 교체 등 보호구 관리를 포함한다.
3	추적검사 ²⁾ ... 경 다음 항목에 대해 추적검사요 (검사항목 :)	건강관리구분 C1 또는 D1 해당자에 대해서 의사의 판단하에 추적검사 실시
4	근무중 치료	
5	근로시간 단축()	또는 연장근무 제한
6	작업전환	
7	근로금지 및 제한	치료완결후 의사지시로 복귀
8	직업병확진의뢰 안내 ³⁾ (건강진단기관이 안내한다)	건강관리구분 D1 해당자 중 직업병 확진이 필요한 경우, 특수건강진단 기관의사가 산재요양신청서를 대신 작성
9	기타()	

※ 1) : 건강관리조치는 중복하여 선택할 수 있다.

2) : 근로자 건강진단의 의사가 지시한 검사항목에 대하여 지시한 시기에 실시하여야 한다.

3) : 근로자 건강진단을 통하여 발견된 직업병 유소견자중 직업병 확진이 필요하다고 판단되는 경우에는 특수건강진단기관이 당해 근로자에 대한 산재요양신청서를 작성해주어 당해 근로자가 근로복지공단 해당지사에 요양신청토록 한다.

※ 배치전 건강진단에서는 업무수행 적합 여부 평가만을 실시한다.

※ 추적검사 : 혈중 연 농도가 40 µg/100ml 이상일 때에는 2번이상 혈중 연 농도가 40 µg/100ml 미만인 될 때까지 2개월마다 1번씩 시행하면서 노출감소를 유도

8.3 직업병 진단

8.3.1 업무관련성 평가

연중독의 진단은 어렵고, 때로 오진되는 일이 흔한 것도 사실이다. 연중독에 있어서 가장 흔히 범하는 실수는 연중독을 인지하지 못하는 것이다. 그러나 그 반대도 일어날 수 있다. 즉, 다른 질병이 연중독으로 오진될 수 있다.

정확한 진단을 위한 첫 번째 요구사항은 연의 존재를 확인하는 것이다. 두 번째는 연중독의 정량적 평가를 할 수 있을 정도의 상세하고 정확한 업무 관련 기왕력 청취이다. 다른 직업보다 중독을 보다 잘 일으킬 수 있는 특정 직업이 있다. 그러나 비직업적 노출도 간과되어서는 안 된다.

연 관련 검사 중에는 혈중연 농도가 가장 중요한데 이는 혈중연 농도가 증가하지 않았다면 현증의 연중독은 있을 수 없기 때문이다. 일반적으로 혈중연 농도가 높을수록, 연중독의 가능성이 높아진다. 연중독은 혈중연 농도가 60 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하에서는 발생하지 않는다는 표현은 연중독은 항상 그 농도 이상에서만 발생한다는 것을 의미하지는 않는다.

그러나, 정의에 의한 연중독의 모든 단계는 기능적인 손상을 전제하기 때문에 단순히 혈중연 농도가 증가된 것만으로는 연중독의 증거로 충분하지 않다. 관련성 있는 검사를 이용한 기능적 장애의 증거는 반드시 고려되어야만 한다. 대부분의 이러한 검사는 혈액학적 변화를 측정한다. 이들 중 혈청과 소변에서 ALA 농도, 요중 코프로포르피린, 혈색소, 망상적혈구수, 호염기성 점적혈구수가 이용된다. 연중독에서 적혈구 ALA 탈수효소(ALAD)의 활성도는 거의 완전히 차단된다. 또 다른 필수적인 소견은 FEP/ZPP의 증가이다. ALAD 활성도의 감소, ALA 배설량의 증가, ZPP 증가 등은 연중독의 특징이다. 비직업적 노출 근로자들에서 ZPP 수준은 80 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하이다. 직업적 노출이 중단되면, FEP의 증가소견은 현재의 혈중 연농도 수준에 비하여 오래 지속된다. 그 외 몇 가지 다른 검사들이 진단에 도움이 될 수 있다. 이러한 검사는 진단에 비특이적이고, 필수사항이 아니기 때문에, 진단적인 목적보다 설명적인 소견으로 간주될 수 있다. 이

러한 검사방법으로는 적혈구의 생존기간, 신경생리학적 검사, 신기능 검사와 정신과적 검사가 있다. 이에 반하여, 연연(鉛緣; Burtonian lead line)은 연중독의 증거는 아니다. 불행히도, 어떠한 검사도 연중독인지 아닌지에 대한 판정을 위한 명확한 수치적 경계치는 없다. 따라서, 연중독의 진단은 연노출의 병력, 전형적인 증상과 검사실 소견과 같은 다른 자료들을 참고하여 충분한 올바른 임상적 판단이 합쳐져서 이루어져야 한다.

8.3.2 감별진단

연중독과 감별진단이 필요한 질환들은 다음과 같은 것들이 있다. 연선통과 비슷한 복부질환으로는 급성맹장염, 위·십이지장 궤양, 급성 위장관염, 급성 포피리아증(acute porphyria)과 기생충 감염 등이 있다. 또한, 신장의 선통과 다른 물질로 인한 중독은 연선통과 혼동될 수 있다. 고려되어야 할 신경질환들 중에는 비소중독, 감염(Guillain-Barre syndrome), 당뇨와 영양실조와 같은 다른 원인으로 인한 다발성신경염(polyneuritis)이 중요하다. 연 뇌증은 뇌압 상승, 무균성 뇌막염, 뇌막의 감염, 종양, 기생충 감염 등의 다른 원인들과 혼동될 수 있다.

필요한 모든 검사들을 수행하면서, 연중독과 모든 이러한 질병들을 감별진단하는 것은 불가능하다. 급성 징후에 있어서 문제는 신속한 혈중연 분석 등 시간을 허비하지 않는 신속한 빠른 결정이 필요하다는 것이다. 그렇지 못할 경우 적절한 치료시기를 놓칠 수 있고 불필요하게 개복수술을 하는 경우도 있다. 이러한 미묘한 상황은 연취급 근로자들에서 연으로 인하여 발생할 수 있는 증상, 그러나, 다른 질병으로 인하여도 같이 나타날 수 있는 증상이 발생할 때 생길 수 있다. 이러한 사례에서는 혈중연 농도의 증가가 있고 마찬가지로 기능적 장애도 있다. 결과적으로, 이러한 질병의 배제 또는 확진을 위하여 필요한 검사들이 수행되어야 한다. 철분결핍 역시 적혈구에서 프로토폴피린(protoporphyrin) 증가의 원인이 될 수 있다.

때로 여러 종류의 이상한 증상을 보이는 환자에서 진단의 실패는 연중독을 의심하는 산업의학전문의를 당황하게 한다. 만약 약간의 연노출이 있

으면, 혈중연 농도는 증가되어 있을 수 있다. 이러한 상황에서 의사는 모든 설명 가능한 경우를 고려해야 하며, 그러한 환자는 약간 증가된 혈중연 농도만으로도 연중독의 경우에 준하여 진단되어질 수 있다. 이러한 실수를 막기 위하여, 연중독은 모든 종류의 이상한 증상을 가진 모호한 질병일 뿐만 아니라, 전형적인 소견을 가진 잘 정의된 질병이기도 한 것을 명심해야 한다. 가장 어려운 작업은 아마도 현재 질병의 원인으로 과거 연노출을 확인 또는 배제하는 것일 것이다. 연 노출 이후 수년이 지났을 때, 이러한 결정은 거의 불가능하다 (특히, 보상을 위한 소송이 있거나, 기록이 불완전할 경우). 모든 특이적 검사는 정상으로 돌아오고, 혈중연 농도 역시 정상이면, 비정상적 체내 연부담이 유일하게 남은 단서이다. 체내 연부담의 측정에는 CaEDTA (calcium disodium edetate)나 다른 착화제를 이용한 유발검사로 소변의 연 배설량을 측정하는 것이다. 이 검사법은 과거 고농도의 연 노출이 있었던 경우 증가된 체내 연부담을 증명하는데 적합한 방법이다. 최근에는 뱃속연량을 비침습적인 방법으로 측정할 수 있으므로 이를 이용한 체내 부담을 손쉽게 측정할 수 있다. 또한 ZPP의 수준도 연노출 중단 후 오래 동안 증가된 상태로 지속된다(Hryhorczuk 등, 1985; Saryan, 1988; 1989). 그러나 조심할 점은 이러한 검사는 단지 과거의 노출을 나타낼 뿐, 과거의 연중독을 의미하는 것은 아니다. 결과적으로 이러한 것은 우리가 찾고자하는 정보를 제공하지 못할 수 있다.

8.3.3 치료

연중독의 치료는 어른이나 어린이 모두에서 원칙적으로 연노출로부터 격리시키는 것이다. 착화요법은 어린이들에서 차선택으로 가끔 선택된다.

착화치료는 장기간 직업적 연 노출의 경우에는 일반적으로 사용되지 않는다.

착화요법은 체내 조직에 흡수된 연의 양을 감소시키기 위하여 특정 약물(경구용 알약 또는 주사)을 사용하는 것이다. 아주 심한 연중독의 치료를 위하여 이러한 종류의 치료의 효과는 입증되었다. 반면에, 착화제의 사용과

관련된 매우 위험한 부작용도 있음이 확인되었다. 가장 흔히 사용되는 착화제는 calcium disodium EDTA, calcium disodium versenate, 2,3-dimercaptosuccinic acid, 그리고 D-penicillamine (pencillamine or cupramine) 등이 있다.

OSHA 기준은 모든 근로자들에 대하여 예방적 착화요법을 금하고 있다. 예방적 착화요법은 연에 직업적으로 노출되는 근로자들에서 혈중 연 농도가 증가되는 것을 예방하기 위해 또는 안전하다고 생각되어지는 수준까지 혈중 연 농도를 낮추기 위하여 착화제나 이와 유사한 작용을 하는 약물을 이용하는 것이다. 병원에서 또는 의사에 의한 것이라고 해서 예방적 착화요법이 아닌 것은 아니다. 혈중 연 농도의 증가를 막기 위하여 또는 현재의 혈중 연 농도를 낮추기 위하여 일상적으로 착화요법을 시행하는 것은 어떠한 상황에서도 바람직하지 않다.

적절한 의학적 모니터링을 갖춘 임상적 환경에서 의사의 감독 하에서 시행될 경우에만 치료적 또는 예방적 착화요법의 사용을 허용된다. 치료적 착화요법은 두드러진 증상이 있는 심각한 연중독의 경우에 고려되어진다. 진단적 착화요법은 연중독의 진단에 도움을 주기 위하여 환자에게 일정량의 약을 복용한 후 일정기간 소변을 채취하는 것이다.

산업의학전문의가 착화요법을 시행하고자 하는 경우 환자에게 치료 시작 전 착화요법이 잠재적으로 위험한 치료라는 것을 알리고 동의를 구한후 시행하여야 한다.

착화치료는 혈중연 농도가 80 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상이고 명백한 증상이 동반되는 심각한 직업적 노출의 경우 처방될 수 있다. 그러나, 혈중연 농도가 30-50 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 수준인 경우 이러한 처방은 거의 필요성이 없다.

어린이의 치료는 특수 병원에서 행해져야 한다. 최근 미국 질병통제국에서는 어린이의 혈중연 농도가 45 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상인 경우만 착화요법을 하도록 제한하고 있다. 혈중연 농도가 70 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 이상의 수준은 의학적 응급으로 간주된다. 혈중연 농도가 25-44 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 수준에서는 착화요법 이전에 철저한 의학적 평가가 있어야 한다. 혈중연 농도가 25 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하

의 경우 착화요법의 필요성이 확립되지 않았으며, 이러한 어린이의 경우 허가된 임상적 시도의 경우를 제외하고는 착화요법을 해서는 안 된다. 다른 연구에서는 어린이의 착화요법은 25-40 µg/100ml 인 경우 연 유발검사 (EDTA challenge or provocation)를 이용한 평가를 하면서, 혈중연 농도가 40 µg/100ml 이상인 경우 시작할 수 있다고 하였다(Markowitz, 1991).

새로운 경구용 착화제인 2,3-dimercaptosuccinic acid (Succimer, DMSA)의 도입은 연중독에서 치료적 선택을 발전시켰다. 연구자들에 따르면, 이것은 독성이 적고, 아연, 구리와 철과 같은 필수 금속의 체내 저장량의 소실을 유발하지 않고, 게다가 투여하기도 쉽다고 한다.

9. 작업환경관리

모든 근로자들이 받아드릴 수 있고 회사의 지침이 될 수 있는 문서화된 작업환경 관리방안을 수립하여 공표하는 것이다. 여기에는 작업습관 개선, 환기, 공장의 정리정돈 및 관리, 근로자 교육, 작업환경 모니터링, 근로자 개인위생, 보호의복, 의학적 감시, 생물학적 모니터링(혈중연 농도와 ZPP 측정)을 포함하는 기술적 관리, 그리고 호흡용 보호구 착용법에 관한 내용이 포함되어야 한다.

9.1 대 치

예방의 가장 이상적인 방법은 독성이 약한 물질로 대체하는 것이다. 연의 경우 연 탄산염 페인트 (백납)를 대체함으로서 이 목적이 달성되었는데 오늘날 여러 나라들은 내부 페인트 재료로서 백납을 사용하지 말도록 규정하여 이제 거의 사용되지 않고 있다. 이러한 규정은 페인트공과 페인트 제조업자들을 연 노출을 감소시키고 페인트 조각을 섭취하여 발생할 수 있는 어린이 연중독을 감소시킨다. 더욱이 광명단 (Pb_3O_4)도 보다 독성이 약한 페인트로 점점 대체되고 있다.

도자기 산업에서도, 유약으로서 불용해성의 용융된 lead polysilicates의 도입은 비록 연중독의 위험을 완전히 제거하지는 못하였지만, 노출을 어느 정도 감소시켰다. 연에 기초한 접합물도 점차적으로 사라지고 있다. 그러나, 아직 대부분 많은 작업에서 연과 그 화합물이 대체되고 있지 못하다. 따라서 예방을 위한 다른 방법이 강구되어야 한다.

9.2 새로운 공장 또는 시설의 계획

일반적으로 오래된 공장은 새로운 공장보다 관리하기가 힘들다. 가장 좋은 방법은 새 공장의 설계단계에서 안전측면을 고려하는 것이다. 가능하다면 노출이 될 수 있는 모든 유해 인자들은 특수관리가 가능한 특정장소로 집중되어야 하며 공장주변으로 확산되지 않아야 한다. 먼지나 흡이 확

산되는 것을 예방하기 위하여 위험공정을 격리하거나 공정 내부를 음압으로 유지하는 것은 필요하다. 기계화와 자동화는 연에 노출되는 근로자 수를 감소시키며, 또한 연이 대기로 확산되는 것을 방지한다. 연 노출의 위험이 있는 모든 부서는 바닥을 평평하고 매끄럽게 설계해야 하며, 분진관리는 구석이나 모퉁이에 중점적으로 관리하여야 한다.

9.3 환 기

효과적인 국소환기는 작업장 내 공기 오염을 관리하기 위한 가장 좋은 방법중의 하나이다. 그러나, 환기된 공기는 재순환되거나 환경오염을 유발시킬 수 있는 식으로 버려져서는 안 된다. 전체환기도 또한 중요하다.

비록 연분진은 무겁지만, 호흡성 연분진은 오래 동안 공기 중에 떠있을 정도로 작은 입자로 이루어져 있다. 이러한 이유에서 배기후드는 작업대 아래보다는 위에 설치되는 것이 보다 효과적이다. 개방된 창문이나 문은 효과적인 환기를 저해할 수 있다. 환기, 여과 그리고 침전 장비는 최적으로 작동하기 위하여 정기적인 감시와 유지 및 보수가 되어 있어야 한다.

9.4 분진과 흙의 비산 방지

분진의 확산은 정기적으로 습식 청소를 하면 방지할 수 있다.

그러나 연과 그 화합물이 사용되는 부서에서 바닥을 거칠게 빗자루로 청소하는 행위는 위험하다. 만약 빗자루 청소가 필요하다면, 충분한 양의 기름 톱밥을 먼저 바닥에 뿌려야 한다. 바닥이나 벽, 선반에 있는 연분진을 날려버리기 위하여 압축공기를 사용하는 것도 엄격히 금지되어야 한다. 또한 유지보수 및 수리를 할 때뿐만 아니라 벽이나 구조물을 청소할 때에도 특수보호장비를 착용한 후 근무시간 이외에 수행하도록 하여야 한다. 성분이 확인되지 않은 페인트로 코팅된 금속의 용접과 관련된 작업은 페인트에 함유되어 있는 연에 대하여 분석이 되기 전까지는 실시하면 안 된다.

9.5 공장의 정리정돈(Housekeeping)

안전 및 보건에 대한 지속적인 감독 및 교육이 필요하다. 모든 근로자들에게 연에 의한 위험, 관련 증상, 적절한 주의사항에 대하여 알려야 하고 표준작업 방법이나 안전보건 규정이 준수되는지도 감독해야 한다.

연의 위험성이 존재하는 작업장에서 흡연, 식사 또는 음료수의 섭취를 금지하여야 한다. 샤워를 포함하는 세탁장은 규정에 의하여 관리되어야 하고, 각 근로자들에게 전신 작업복과 작업모를 지급해야 한다. 작업복은 매 교대 후 갈아입도록 하고 세탁해야 한다. 일상복과 작업복을 같은 옷장에 보관하면 안 되고 가급적이면 2개의 옷장이 있어 따로따로 보관하여야 한다.

공기 중 연농도가 허용기준(TLV)을 초과하는 경우, 연장근무는 추천되지 않는다.

근로자들은 공기 중 연농도가 특히 높은 장소나 작업은 가능한한 피하도록 교육되어야 한다. 옥외에서 용접일을 하는 경우 근로자는 항상 자신을 바람이 불어오는 방향에 위치하도록 하여야 한다.

9.6 공기중 연농도의 모니터링

산업안전보건법에 명시된 연(납), 4알킬연 업무를 행하는 옥내작업장의 연농도 모니터링은 작업과 설비가 정상적으로 가동되어 유해인자가 근로자에게 노출되는 정도로 정확히 평가할 수 있을 때 측정하며, 6월에 1회 이상 정기적 측정(전회 측정완료일로부터 3월 이상 간격)을 실시한다. 1일 작업시간 동안 6시간이상 연속측정하거나 작업시간을 등간격으로 나누어 6시간이상 연속 분리하여 측정하며, 단위작업장소에서 유해물질에 최고 노출된 근로자 2인 이상에 대해 동시 측정한다.

OSHA 연 기준(1990)에 따르면, 공기중 연농도는 적어도 매 6개월마다 적절한 방법을 이용하여 측정되어야 하며, 그 농도가 PEL을 초과하는 경우 적어도 7일 이상 간격을 두고 연속하여 측정된 표본이 기준치 이하일 때까지 매 3개월마다 측정하는 것으로 되어 있다.

9.7 개인보호구 착용

개인보호구는 작업장의 기술적 관리 대책이 미흡한 경우 허용기준을 초과하는 짧은 노출 또는 응급상황에서 사용되는 것이다. 즉, 호흡용 보호구는 단지 기술적 관리의 대용품이지 보호를 위한 일차적 방법으로 간주되어서는 안 된다.

시중에는 여러 종류의 보호구가 있다. 그러나 이들 모두가 적합한 것은 아니다.

우리 나라는 연(lead)만을 위한 호흡용 보호구의 규정은 없으나 일반적인 방진마스크의 규정은 다음의 표와 같다.

등급	특급	1급	2급
사용 장소	-베릴륨 등과 같이 독성이 강한 물질들을 함유한 분진등 발생 장소	-특급 마스크 착용 장소를 제외한 분진등 발생장소 -금속흡등과 같이 열적으로 생기는 분진 발생장소 -기계적으로 생기는 분진등 발생장소(규소 등과 같이 2급 마스크를 착용하여도 무방한 경우는 제외한다) -석면 취급장소	-특급 및 1급 마스크 착용 장소를 제외한 분진 등 발생장소

OHSA 기준(1990)은 다양한 조건에 사용될 수 있는 호흡용 보호구의 종류를 명기하고 있다(표 3).

표 3. 산업안전보건청(OSHA)의 무기연 기준에 규정된 연 에어로졸로부터 호흡보호

공기 중 납 농도 또는 이용 상태	필요 호흡기 ^a
0.5 mg/m ³ 미만(10×PEL). 고효율의 필터가 부착된 반면형 공기정화 호흡기. ^{b,c}	
2.5 mg/m ³ 미만(50×PEL). 고효율의 필터가 부착된 전면형 공기정화 호흡기. ^c	
50 mg/m ³ 미만(1000×PEL). 또는 (1) 강력한 고효율의 필터가 있는 공기정화 호흡기; ^c 또는 (2) 반면형 송기 호흡기가 양압모드에서 작동되어야 한다. ^b	
100 mg/m ³ 미만 (2000[Ts]PEL).	전면형 송기 호흡기와 함께 후드, 헬멧, 수트가 양압 모드에서 작동되어야 한다.
100 mg/m ³ 이상; 미지의 농도 또는 화재진압시	전면형 호흡기계가 자체 설비되어있어 양압모드에서 작동되어야 한다.

^a고농도에 유효한 호흡기는 낮은 납 농도에서도 이용될 수 있다.

^b납 에어로졸이 이용되는 농도에서 눈, 피부자극의 원인이 된다면 전면형이 필요하다.

^c고효율분진필터는 0.3μm 분진에 대한 99.97%의 효율을 의미한다.

9.8 직업적 노출의 의학적 관리

의학적 감시는 연에 대한 신뢰성 있는 노출검사를 통해서 근로자들의 생물학적 모니터링을 실시하는 것이다. 생물학적 모니터링은 환경 모니터링만큼 중요하며, 개인적 노출이나 현재의 기증 연농도 이외에 다른 위험 요인에 대한 정보를 제공하여 줄 수 있다. 이러한 위험 요인들은 직업적인 것 외의 원인, 체내 연부담량, 개인위생의 수준차, 보호구 착용, 작업 습관의 차이와 질병상태 등이다.

9.9 채용전 검사

연을 취급하는 작업에 종사하게 될 모든 근로자는 채용전 의학적 검사를 받아야 한다. 이 검사의 목적은 연에 대하여 보다 민감할 것으로 의심

되는 특성을 가진 근로자들을 노출로부터 피하게 하는 것이다. 이들 특성들에는 빈혈, 포피리아증(porphyria), 심혈관 질환, 반복성 소화성 궤양 또는 위염, 신경정신과적 질환, 신경쇠약, 신장 및 간질환 등의 여부이다.

채용전 검사에는 다음의 요소를 포함하는 것이 바람직하다.

과거 연노출과 관련된 직업적, 비직업적 병력; 개인적 습관(흡연과 위생); 과거 위장관, 혈액학적, 신장, 심혈관계, 생식계와 신경관련 질환; 이학적 검사(잇몸, 치아, 혈액학적, 위장관계, 신장, 심혈관계, 신경학적, 호흡기계); 혈압 측정; 혈중연 농도, ZPP, 혈색소와 혈구용적치, 적혈구수, 말초혈액 도말검사, 혈중요소질소(BUN), 혈청 크레아티닌 측정을 위한 혈액채취; 현미경적 검사를 포함한 소변검사 등.

과거 인지하지 못한 연노출은 후에 문제가 될 수 있으므로 채용 전 혈중연 농도의 확인은 특히 중요하다.

연 산업장에서 가임기 여성의 고용은 신중해야 한다. 연은 태반을 통과하며 모체의 혈중 연 농도는 태아에 영향을 줄 수 있다. 어린이는 저농도 연 노출에도 민감하며 태아는 특히 위험하다. 그러므로 어린이의 안전을 보장하기 위한 연 노출 수준이 적용되어야 한다

근로자들 남녀 모두를 위한 작업장 환경위생을 개선함으로써 태아에게 수용 불가한 연노출의 예방을 위한 노력이 시도되어야 하고, 태아에 대한 연노출의 위험성을 강조하는 보건교육을 해야 한다.

어린이의 혈중연 농도는 30 µg/100ml 이하로 유지되어야 하고 태어나 신생아의 혈중연 농도도 30 µg/100ml를 초과하여서는 안 된다. 또한 아기를 가지기를 원하는 남녀 모두는 혈중 연 농도 30 µg/100ml이 허용 가능한 최대 농도일 것이다(OSHA, 1990).

9.10. 관련 법규

산업안전보건법 제24조(보건상의 조치)/제39조(유해인자의 관리 등)

제41조(물질안전보건자료의 작성·비치등)

제42조(작업환경측정등)/제43조(건강진단)

산업안전보건법 시행규칙 제100조 (검사항목 및 실시방법 별표 13)

산업재해보상보험법시행규칙

제39조 (업무상 질병 또는 그 원인으로 인한 사망)

10. 환경노출

인간에 대한 총 연노출은 작업장에서 노출뿐만 아니라 일반환경에 존재하는 식품, 음료, 대기 등 배경 노출(background exposure)로 인한 노출의 합이다. 이런 이유로 배경 노출을 결정하는 요인들 및 그 요인들의 건강에 대한 영향을 아는 것은 중요하다. 이와 관련된 문제들은 다음과 같다.

1. 오염의 형태는 ?
2. 식품, 음료, 그리고 흡입 공기 중 노출은 증가하는지?
3. 연은 환경 노출로 인하여 인간에게 현재 축적되고 있는지?
4. 만일 축적되고 있다면, 그런 축적으로부터의 결과가 어떠한 건강이상을 초래하겠는가?
5. 만일 현재의 오염 추세가 계속된다면, 어떻게 될 것으로 예상되는지?

그러나 이러한 문제들의 답은 간단하거나 수월하지 않을 것이다.

10.1 오염물질의 형태

연은 지구상 어디에나 존재하는 원소이며 대기 중에 약 $0.0005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 추정되어진다. 그러나 인간의 활동으로 이러한 자연적 오염을 훨씬 초과하였다.

오염의 첫 번째 중요 시점은 연과 그 혼합물에 대한 요구가 증가된 산업 혁명이었다. 산업혁명의 결과 금속 연의 용해가 증가되었다. 18세기의 산업기술은 대기로 막대한 양의 연을 대기로 내보냈고 심각한 지역적 오염을 초래하였다. 19 세기 동안, 용해 과정이 다소 개선되었고, 20 세기에는 제련소 에어러졸(aerosol)로부터 연을 회수하기 위한 방법이 도입되었다.

결국, 연의 용해로부터의 오염은 일반적으로 감소되어졌다. 산업 혁명으로 인한 오염의 또 다른 요인은 연이 포함된 석탄연소의 증가가 기여를 한 것이다(Patterson, 1965).

오염 양상의 급격한 변화는 1920년대에 일어났으며 알킬 연 혼합물이 가솔린의 항녹킹제로서 사용된 것이 그 이유이다. 1933년에 10만톤, 1966년에 30만톤의 유연 가솔린이 지구 북반구에서 연소되었다. 1970년까지 유연 가솔린의 약 98%가 미국에서 소모되었다.

산업 혁명, 특히 알킬 연의 사용 때문에 증가되었던 대기오염의 연의 배출은 북반구의 만년설을 이용하여 연구되어졌다. 그린랜드의 만년설의 연도별 층의 연량은 1750년과 1935년 사이에서 약 400% 정도 증가하였는데, 이는 산업 혁명을 반영한다.

10.2 연의 순환

연은 환경에 고르게 분포되어있지 않다. 대기 중 연 농도는 대수적으로 증가하는데 원양이나 고산지대는 가장 낮으며, 해변, 도시근교, 도시중심부의 순서로 증가한다. 그러나, 연은 대기 중에서 서서히 감소된다. 자동차에 의해 방출되는 연량의 50%는 발생원에서 약 100 m 내에서 중력에 의해 제거된다. 나머지는 약 7일-30일 동안 대기 중에 떠 있다가 집합체로 혹은 낙하에 의해 점차 제거되는데 주로 비에 의해 제거된다. 토양 속의 연 함량은 아마도 공기 중 낙하에 의해 점점 증가되어질 것이다. 연의 일부분은 직접 또는 도시지역 내 배수로를 통하여 바다에 도달한다.

낙하에 의한 토양의 연 함량은 점차 증가하는 경향이다. 그러나 연은 토양에 용해도가 낮기 때문에 식물이 흡수하기는 어렵다. 몇 가지 식물은 자신의 뿌리를 통하여 연을 흡수할 수 있다. 풀은 초식 동물과 사람에게 연의 이동의 가장 중요한 원인이 된다. 배출되는 대부분의 연이 발생원 근처(고속도로, 시내 도심지역, 공장 지역)에서 침전되어진다.

10.3 노출의 원인

연에 대한 노출의 비정상적인 원인들이 존재할 때 총 노출은 음료수나 음식 그리고 호흡에 의해 높아진다. 음료수는 보통 강과 호수로부터 유래된다. 평균적으로 음료수는 인간의 총 연 노출 중 단지 적은 부분을 차지한다. 연은 물로부터 $2 \mu\text{g}/\text{day}$ 정도 인간에게 흡수된다. 그러나, 어린이들은 체중에 비해 더 많은 음료수를 마시기 때문에 음료수 내 연의 함량에 주의하여야 한다.

식품에 의한 인간의 연 노출은 식품 내 자연적 연 농도에 의한다. 또한 섭취 식품의 양에 의해 증가할지도 모른다. 식품의 자연적 연 농도는 약 $0.01 \mu\text{g}/\text{g}$ 미만이다(Patterson, 1965). 하루 평균 식이를 통한 연의 섭취는 약 $300 \mu\text{g}/\text{day}$ 정도라고 보고되고 있는데 1-3살의 어린이들은 하루 평균 $130 \mu\text{g}/\text{day}$ 정도를 섭취하며 이 정도는 성인보다 더 큰 비율이다. 장에서 총 흡수 비율이 평균 10% 정도이므로 식이 섭취를 통한 연의 흡수는 약 $30 \mu\text{g}/\text{day}$ 일 것이다.

공기 중 연에 대한 문헌은 방대하다. 가솔린의 연소시 가장 중요한 배출물의 직경은 $2-10 \mu\text{m}$ 정도의 물질(PbClBr)이다. 큰 주요 도시의 도심지와 번잡한 거리 그리고 고속도로의 근처는 가장 높은 연 농도를 나타낸다. 지역적으로 더 높은 농도는 연 제련소 주위이다. 미국의 비도시 지역의 공기 중 연 농도는 $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위이다. 이와는 대조적으로 도시 지역은 보통 평균적으로 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상을 나타내고 혼잡 시간 동안은 $14 - 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 변동한다. 미국과 다른 몇몇 나라에서는, 교통으로 인한 공기 중의 연 방출은 연이 함유된 가솔린의 점차적인 감소의 결과로 감소되었다. 공기중의 연으로부터 사람의 노출은 거주 장소와 생활장소에서 머무르는 시간에 따라 다양하다. 즉, 흡입하는 공기의 양과 공기중의 연 농도에 따라 다르다. 신체적 활동의 정도에 따라서도 노출에 차이가 있다. 휴식 시, 평균적인 사람은 약 $11 \text{ m}^3/24\text{hr}$ 를 흡입한다. 그러나 만일 8시간 동안 가벼운 작업을 수행하고, 또 다른 8시간 동안 가벼운 여가 활동을 했다면, 공기량은 23 L 까지 올라간다. 결국, 사는 지역과 활동의 정도에 의존한다. 연량은 휴식을 취하는 시골 사람들은 $1.1 \mu\text{g}$, 가벼운 작업에 종사하고 있는 사람들

은 57.0 μg 정도이다. 평균 37 % 흡수를 가정한다면, 0.4 - 21 $\mu\text{g/day}$ 에 상당할 것이다.

표 4. 기중 연의 다양한 실험적 조건 아래에서 연의 흡수와 신체활동

		연의 흡수, $\mu\text{g}/24\text{hr}$				
지역		음료수 (흡수된 양)	음식 (흡수된 양 10%)	흡입 공기 (흡수된 양 10%)	총계	대기로 부터 %
도시		2	30 (10-50)	1	33 (13-53)	3 (8-2)
교외	기중 연 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 호흡 $15\text{m}^3/24\text{hr}$	2	30 (10-50)	6	38 (18-58)	16 (33-10)
교외	기중 연 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 호흡 $23\text{m}^3/24\text{hr}$	2	30 (10-50)	8	40 (20-50)	20 (40-16)
도시	기중 연 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 호흡 $15\text{m}^3/24\text{hr}$	2	30 (10-50)	10	42 (2-62)	24 (45-16)
도시	기중 연 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 호흡 $\text{m}^3/24\text{hr}$	2	30 (10-50)	17	49 (26-69)	35 (59-2)

위의 표 4는 여러 가지 조건아래에서 전체 섭취를 위한 공기 중의 연의 상대적 중요성을 보여준다. 일반인들의 연의 흡수는 음식으로부터의 섭취하는 것이 주요한 요인이고, 음료수는 거의 기여하지 않으며, 흡입공기로부터의 섭취는 교통이 밀집된 지역에서 중요하다고 결론을 내릴 수 있다.

11. 국내사례연구

1972년 진해축전지에서 국내 처음으로 본격적인 연중독 조사가 있었으며, 장항제련 연중독(1978), 반월 연중독(1983), 모축전지 회사 집단 연중독 사건(1986) 등이 있었는데, 지금은 이차 제련 및 리사지 업종 고위험 근로자들의 연중독 사례들이 문제가 되고 있다. 이중 일부를 소개한다.

11.1 진해축전지 연중독

근로자 324명의 요중 coproporphyrin의 정성검사를 실시한 결과 58명(17.4%)에서 양성을 나타냈고 음성은 266명(82.6%)이었다. 음성자 중 무작위 추출을 하여 75명의 음성자를 선정하고 양성을 보인 58명 등 총 133명을 조사(노동청, 1972)하였는데 결과는 아래 표와 같다.

요중 coproporphyrin 정성검사	피검자수	혈중 연량 ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)
-	69	68.9 $\pm$ 32.6
trace	14	54.0 $\pm$ 16.3
+	12	100.9 $\pm$ 47.9
++	12	125.9 $\pm$ 37.2
+++	16	161.4 $\pm$ 47.2

11.2 반월 연중독

1983년 10월말 경 모 공업고등학교 야간부 3학년에 재학중인 학생이 심한 복통, 식욕부진, 위장장애 등을 주소로 C 대학병원 내과에 입원하였다. 일주일 간 입원 치료를 하였으나 증상은 호전되지 않았고 임상검사 상 혈액색소량이 감소되어 빈혈소견만이 있었을 뿐이었다. 이 환자는 C 대학병원 내과에 입원하기 전 인근 개인병원에서 몇 주간의 입원 및 통원치료를 받았으나 차도가 없었다. 내과 담당의사는 환자가 진통제를 투여해도 복통증상이 경감되지 않으며 환자가 9월초에 연화합물을 생산하는 중소기업에 취업한 적이 있다는 사실에 연중독을 의심하여 C 의대 산업의학연구소에 혈

액과 소변의 분석을 의뢰하였다. 그리하여 혈중 연량 $55.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 요중 ALA 35.6 mg/L , 혈중 ZPP $210.0 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이라는 결과를 통보받아 연중독으로 판정하고 환자에 대한 치료를 시작하였다.

한편, C 의대 산업의학연구소에서는 환자를 면담한 바 리사지(PbO)를 만드는 경기도 반월에 소재한 소규모 공장에서 환자와 같은 고등학교에 다니는 학생 12명이 고등학교 졸업 후 취업을 전제로 하여 모두 13명이 한 두 달 일했거나 조사 당시에도 일하고 있다는 사실을 확인하였다. 그래서 입원학생의 담임선생님을 통해 나머지 12명의 학생을 연구소로 내소토록 하여 검사를 한 결과 혈중 연량이 $51.8 - 97.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 의 범위를 보여 전원이 연중독으로 판명되었고 이들에 대한 조속한 조치를 노동부에 요구하였다.

노동부에서는 문제의 심각성을 인지하여 C 의대 산업의학연구소 연구원들과 공동으로 조사팀을 구성하여 문제가 된 사업장뿐만 반월 공단 지역의 연취급 사업장에 대한 일제 조사를 계획하였다. 조사팀은 노동부 지방사무소에 연취급 사업장을 파악하도록 하여 다른 11개 사업장의 명단을 보고 받았는데 조사를 나가본 결과 모두 연을 취급하지 않는 도금공장이나 기타 공장으로 판명되었다. 그래서 연취급 사업장을 제대로 파악하기 위하여 그 지역의 전화번호부와 상공인 명부 등에서 리사지 및 광명단을 생산하는 업체를 한 두 군대를 확인한 후 해당 사업장에서 동종업종의 명단을 얻어 조사를 실시하기로 하였다. 이와 같은 방법으로 6개의 리사지 및 광명단, 2차 제련 공장과 1개의 축전기 회사를 찾아내어 작업환경측정과 근로자들의 혈중 연량 등의 측정을 실시하였다. 기중연 농도는 $0.52-3.82 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 그 당시 허용농도를 훨씬 초과하였으며 직업병 판정자는 총 101명 중 33명(33%)으로 나타났다.

동아일보에서는 이러한 사실들을 특종으로 보도하여 사회적으로 큰 반향을 일으켰으며 그 후 사설과 해설기사 등을 통해 연중독의 위험성 및 이들 작업환경의 불량함과 정부당국의 조치촉구 등을 요구하였다. 이에 따라 노동부에서는 전국적으로 연취급 사업장에 대한 정밀조사를 해당 지역 전

문기관의 협조를 얻어 실시하게 되었다. 이와 같은 사회적 관심과 정부의 일련의 조치에 힘입어 1982년 2명에 불과하던 연중독 환자의 보고수는 1983년에는 60명이 노동부에 보고되었다(순천향대학교 산업의학연구소, 2000).

11.3 이차 제련 및 리사지 업종 고위험 근로자들의 연중독

반월 연중독 사건이후에 연에 대한 위험이 알려져서 과거보다는 연중독 예방을 위한 조치가 취해졌으나 이차 제련 공정이 원시적이고 공정 자체가 연노출이 많고 적절한 공학적 보호시설이 부족하여 이차 제련업에 근무하는 근로자들의 건강은 계속 악화되어 왔다. 많은 이차 제련회사들이 무허가로 5인 미만의 근로자들로 운영되어 아예 법적인 관리조차 받지 못하였던 점도 문제를 더욱 어렵게 하였다. 이차 제련업에 종사하는 근로자들은 제한된 범위 내에서 서로 한 회사에서 다른 회사로 전직하면서 길게는 약 25년에서 30년간 종사하는 경우가 많다. 이들 장기 근속 근로자들은 현재 약 50-100명으로 추정되며 아직도 현업에서 종사하고 있는 경우는 30여명 내외로 추산된다. 이들중 일부는 과거의 과다한 연폭로로 인하여 연중독 소견을 보여 상당기간 동안 연중독 요양관리를 받고 있다(순천향대학교 산업의학연구소, 2000). 특히 다음의 근로자 3인은 연중독 판정후 연폭로를 중단하고 산재 요양관리를 받기 시작한지 여러 해가 경과하여도 호전의 기미가 없는 경우들로서 요양기간 동안의 연폭로 지표의 변화는 아래와 같다.

* (1) 근로자 A

요양 시작일 : 1994. 9

주 진단명 : 만성 연중독, 신병증

요양중 추적검사 결과 :

검사일	93. 9	94. 6	95. 2	96. 4	97. 2	98. 2	99. 1	00. 2
혈중연	75.2	78.0	66.5	81.8	68.0	60.5	58.0	53.0
혈중 ZPPunit	89	143	128	138	119	90	93	76

* (2) 근로자 B

요양 시작일 : 1991. 10

주 진단명 : 만성 연중독, 신병증

요양중 추적검사 결과 :

검사일	94. 9	95. 2	96. 3	97. 6	98. 2	99. 1	00. 2
혈중연	67.6	71.7	72.9	72.0	62.0	56.6	52.9
혈중 ZPP unit	282	221	232	236	218	107	124

* (3) 근로자 C

요양 시작일 : 1993. 9

주 진단명 : 만성 연중독, 신병증

요양중 추적검사 결과 :

검사일	92. 5	94. 5	95. 2	95. 5	98. 1	99. 2	00. 2
혈중연	60.9	28.3	41.5	37.4	44.5	41.3	43.6
혈중 ZPP	121	108	105	159	128	175	110

일반적인 예로는 연작업을 그만두고 일정기간 경과하면 혈중 연량의 감소가 나타나고 종국에는 회복이 되는 것으로 알려져 있으나 본 근로자들은 연폭로 중단후의 경과가 다른 경우와 틀리다. 연에 의한 여러 증상 등으로 인하여 계속 요양관리를 받고 있으나 현재로서는 회복 가능성이 적고 악화되리라 예상하고 있다. 이들의 공통된 특징은 폭로중단 후에도 혈중 연량의 수치가 계속 높은 값을 나타낸다는 점이다. 이들 체내에서 소변으로 뱃속의 연이 계속 배설되고 있으나 뱃속의 연이 혈액으로 계속 방출되어 이렇게 높은 혈중 연량을 보이는 것이다. 이들에게서 XRF를 이용하여 뱃속의 연량을 측정하바 다른 근로자들보다 현저히 높은 것을 확인하였다.

		뱃속의 연량(ppm)		
	검사자수	평균	최저치	최고치
연작업자	124	53.8	0	337.6
비연작업자	31	5.6	0	16.8
요양관리자	뱃속의 연량(ppm)			
	근로자 A	303.3		
	근로자 B	337.6		
	근로자 C	240.0		

특히 두 사람(근로자 A, B)의 뱃속의 연량은 상상할 수 없을 정도로 높아 상당히 심각한 경우이다. 이들의 뱃속의 축적된 연량으로 미루어 앞으로 상당기간 뱃속에서 혈액으로 연이 방출되어 연중독 증상을 유발하리라 예상된다.

과거 H 전화국 소속 근로자가 연중독에 의한 신부전으로 사망한 경우가 있었는데 위의 3명은 체내 연량이나 폭로수준으로 보아 더 심각한 수준이다. 또한 앞으로 이들 근로자들이 회복되어 새로운 직업을 가질 가능성은 희박하다. 불행하게도 연중독을 치료하기 위한 최선의 치료제는 없으며 다만 혈중 연량이 너무 높고 증상이 심할 경우에는 Ca-EDTA나 D-penicillamine 같은 착화제로서 강제로 연을 체외로 배설시키는 방법밖에는 없다. 그러나 이런 착화제들은 우리 몸 속의 필수원소에 속하는 금속

들도 체외로 배설시키므로 선별적으로 사용하여야 한다. 특히 위의 3명의 근로자들은 뱃속에 너무 많은 연이 축적되어 지속적인 착화제 요법시 뱃속의 연이 혈중으로 너무 많이 방출되어 기존의 상태를 악화시킬 수 있는 위험이 있다. 본 저자의 추정으로는 이들 외에 더 많은 근로자들이 앞으로 발생할 가능성이 높다고 보고 있다. 과거 고농도 연작업을 하였던 40-50대 근로자들 중 위 3명의 근로자들과 비슷한 경과를 나타낼 경우가 상당수 있을 것이기 때문이다. 그러므로 연중독 가능성이 높은 근로자들의 동태파악과 건강수준의 확인이 필요하다. 이들의 상당수는 영세한 무허가 업체에서 근무하거나 이미 퇴사하여 건강이상으로 고통받고 있는 근로자들도 있을 것이다. 그러므로 이들에 대한 보다 적극적인 대책이 강구되어야 할 것이다.

참고문헌

- 노동청: 한국인의 연흡수에 의한 건강장해도의 판정기준에 관한 연구, 1972.
- 순천향대학교 산업의학연구소: 업종별보건관리 보고서, 2000
- 한국산업안전공단: 근로자건강진단실무지침, 1999
- Aub JC, et al: *Lead poisoning*, Baltimore, 1962, Williams & Wikims.
- Barltrop D: *Transfer of lead to the human foetus*. In Barltrop D, Burland WL, editors: *Mineral metabolism in pediatrics*, Philadelphia, 1969, FA Davis.
- Booker DV, et al: Uptake of radioactive lead following inhalation and injection, *Br J Radiol* 42:457, 1969.
- Boyland E, et al: The induction of renal tumours by feeding lead acetate to rats, *Br J Cancer* 16:283, 1962.
- Brandt AD, Reichenbach GS: Lead exposures at the government printing office, *J Ind Hyg Toxicol* 25:445, 1943.
- Cantarow A, Trumper M: *Lead poisoning*, Baltimore, 1944, Williams & Wilkins.
- Catton MJ, et al: Subclinical neuropathy in lead workers, *Br Med J* 2:80, 1970.
- Commission of the European Communities, Directorate-General for Employment, Industrial Relations and Social Affairs: *Health and safety at work in the european community*, Luxembourg, 1990(special issue 2/90 of Social Europe).
- Committee on Biologic Effects of Atmospheric Pollutants Division of Medical Sciences National Research Council: *Lead: airborne lead in perspective*, Washington, DC, 1972, National Academy of Sciences.
- Cramer K, Dahlberg L: Incidence of hypertension among lead workers.

- A follow-up study based on regular control over 20 years, *Br Ind Med* 23:101, 1966.
- Daines RH, et al: Air levels of lead inside and outside of homes, *Ind Med Surg* 41:26, 1972.
- Djuric D, et al: Environmental contamination by lead from a mine and smelter, *Arch Environ Health* 23:275, 1971.
- Finkel AJ, editor: *Hamilton and hardy's industrial toxicology*, 4th ed, Boston, 1983, John Wright/PSG.
- Freeman R: Chronic lead poisoning in children. A review of 90 children diagnosed in Sydney , 1948-1967. I. Epidemiological aspects, *Med J Aust* 1: 640, 1970.
- Habibi K: Characterization of particulate lead in vehicle exhaust - experimental techniques, *Environ Sci Tech* 4:239, 1970.
- Hammond PB, Aronsen AL: Lead poisoning in cattle and horses in the vicinity of a smelter, *Ann NY Acad Sci* 111:595, 1964.
- Hernberg S: Lead. In Aitio A, Riihimäki V, Vainio H, editors: *Biological monitoring and surveillance of workers exposed to chemicals*, Washington, DC, 1984, Hemisphere.
- Hernberg S: Lead In Zenz C, editor: *Occupational medicine: principles and practical applications*, ed 2, Chicago, 1988, Mosby.
- Hryhorczuk DO, et al: The fall of zinc protoporphyrin levels in workers treated for cronic lead intoxication, *J Occup Med* 27:816, 1985.
- Hunter D: *The disease of occupations*, ed 4, Aulesbury, 1969, English Universities Press by Hazell Watson & Viney.
- Jensen WN, Moreno GD, Bessis MC: A electron microscopic description of basophilic stippling in red cells, *Blood* 25:933, 1965.
- Kehoe RA: Occupational lead poisoning . 2. Chemical signs of the absorption of lead, *J Occup Med* 14:390, 1972.

- Lagerwerff JV, Specht AW: Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc, *Environ Sci Tech* 4:583, 1970.
- Lauwerys R, Rand R, Hoet P, editors: Industrial chemical exposure: *guidelines for biological monitoring*, Boca Raton, Fla, 1993, Lewis Publishers.
- Lee WR, Moore MR: Low level exposure to lead: the evidence for harm accumulate, *Br Med J* 301:504, 1990.
- Mahaffey KR: et al: National estimates of blood lead levels: United States, 1976-1980, *N Engl Med* 307:573, 1982.
- Markowitz ME, Rosen JF: Need for lead mobilization test in children with lead poisoning, *J Pediatr* 119:305 1991.
- Martinez EG, Junco-Munoz PR, Ballesteros MG, et al: Toxic effects of lead impurities found in aluminum factories, *Am J Ind Med* 2:161-165, 1981.
- McCallum RI, Sanderson JT, Richards AE: The lead hazard in shipbreaking: the prevalence of anemia in burners, *Ann Occup Hyg* 11:101, 1968.
- Morgan JM Hartley MW, Miller RE: Nephropathy in chronic lead poisoning, *Arch Intern Med* 118:17, 1966.
- Nozaki K: Method for studies on inhaled particles in human respiratory system and retention of lead fume, *Ind Health* 4:11, 1966.
- Niragu, JO: Saturnine gout among Roman aristocrats, *N Engl Med* 308:660, 1983.
- Nye LJJ: An investigation of the extraordinary incidence of chronic nephritis in young people in Queensland, *Med J Aust* 2:145, 1929.
- Palmisano PA, Sneed RC, Cassady G: Untaxed whiskey and fetal lead exposure, *J Pediatr* 75:869, 1969.

- Patterson CC: Contaminated and natural lead environments of man, *Arch Environ Health* 11:344, 1965.
- Pegues WL: Lead fume from welding on galvanized and zinc-silicate coated steels, *Am Ind Hyg Assoc J* 21:252, 1960.
- Robinson E, Ludwig FL: Particle size distribution of urban lead aerosols, *J Air Pollut Control Assoc* 17:644, 1967.
- Roels HA, et al: Response of free erythrocyte porphyrin and urinary δ -aminolevulinic acid men and woman moderately exposed to lead, *Int Arch Arbeitsmed* 34:97, 1975.
- Roy ML, et al: *Worker exposure to lead titanate zirconate at a company in Ontario, Canada. In Occupational health in the chemical industry*, Copenhagen, 1991, World Health Organization.
- Standstead HH, et al: Lead intoxication the thyroid, *Arch Intern Med* 123:623, 1969.
- Saryan LA: Blood lead monitoring for worker protection, *Battery Man* 30(6):25, 1988a.
- Saryan LA: Lead toxicity demands public health review, *ECON* 6(10):26, 1991a.
- Saryan LA: Protoporphyrin (FEP/ZPP) screening in industrial lead exposure, *Battery Man* 30(1):16, 1988b.
- Saryan LA: Surreptitious lead exposure from an Asian Indian medication, *J Anal Toxicol* 15:336, 1991b.
- Saryan LA: Testing brass and bronze foundry workers for lead exposure, *The Crucible* Jan/Feb 1988 and March/April 1988c, pp 2 and 6, respectively.
- Saryan LA: Testing for protoporphyrin (ZPP/FEP) in the brass and bronze foundry, *The Crucible*, p 6, Nov/Dec 1989.
- Schirmer J, Anderson HA, Saryan LA: Fatal pediatric poisoning from

- leaded paint - Wisconsin, 1990, *MMWR* 40:193, 1991, *JAMA* 265:2090, 1991.
- Schroeder HA, et al: Abnormal trace metals in man: lead, *J Chronic Dis* 14:408, 1961.
- Schroeder HA, Tipton IH: The human body burden of lead, *Arch Environ Health* 17:965, 1968.
- Selander S, Cramer K: Interrelationships between lead in blood, lead in urine, and ALA in urine during lead work, *Br J Ind Med* 27:28, 1970.
- Seppäläinen AM, Hernberg S: Sensitive technique for detecting subclinical lead neuropathy, *Br J Ind Med* 29:443, 1972.
- Sharp DS, et al: Blood pressure and blood lead concentration in bus drivers, *Environ Health Perspectives* 78:131, 1988.
- Sharp DS, et al: Influence of race, tobacco use, and caffeine use on the relationship between blood pressure and blood lead concentration, *Am J Epidemiol* 131:845, 1990.
- Silver W, Rodriguez Torres R: Electrocardiographic studies in children with lead poisoning, *Pediatrics* 41:1124, 1968.
- Six KM, Goyer RA: Experimental enhancement of lead toxicity by low dietary calcium, *J Lab Clin Med* 76:933, 1970.
- Six KM, Goyer RA: The influence of iron deficiency on tissue content and toxicity of ingested lead in the rat, *J Lab Clin Med* 79:128, 1972.
- Smith HD, et al: Sequela of pica with and without lead poisoning, *Am J Dis Child* 105:609, 1963.
- Stanton N, Saryan LA, Field PH: Protoporphyrin tests: extraction recommended, *Lab Report for Physicians* 8:76, 1986.
- Thomas Hy, et al: Blood lead of persons living near freeways, *Arch*

- Environ Health* 15:695, 1967.
- Tola S, et al: Parameters indicative of absorption and biological effect in new lead exposure: a prospective study, *Br J Ind Med* 30:134, 13, 1973.
- US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry: *The nature and extent of lead poisoning in children in the United states: a report to Congress*, 1988.
- US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control: Lead poisoning in children of battery plant employees – North Carolina, *Epidemiologic Notes and Reports* 26(29): 1977.
- US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control: *Preventing lead poisoning in young children*, 1991.
- US Department of the Interior: *Minerals yearbook for 1990, vol 1, Washington, DC, 1991, Government Printing Office.*
- US Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration: *Lead standard*, 20 CFR1910.1025(revised July 1 1990), Washington, DC, 1990, US Government Printing Office.
- US Environmental Protection Agency: Maximum contaminant level goals and national primary drinking water regulations for lead and copper, *Federal Register* 56:26469-26470, 1991.
- Waldron HA: The anemia of lead poisoning: a review, *Br J Ind Med* 23:83, 1966.