

## 생물학적 모니터링(Biological Monitoring)

영남대학교 의과대학 예방의학교실

김 창 윤

### 서 론

산업보건의 목표는 유해한 인자에 대한 근로자의 폭로수준을 어떤 부작용이나 독작용도 일으키지 않는 범위내로 낮추는 데 있다. 이 과정 중 가장 우선되는 것은 폭로를 평가하는 것인데 전통적으로 작업장의 공기를 채집하고 측정하여 폭로(external dose)를 평가하였으나 최근 분석화학의 발달과 더불어 실질적인 개인의 폭로를 평가하는 데 있어서 작업환경 측정과 함께 생물학적 시료(biologic media)의 측정에 대한 관심이 증대되었고, 실제 인체에 흡수된 화학물질의 양을 측정(internal dose)하는 것이 작업장의 공기를 채집하여 측정하는 것보다 독작용을 예견하는 데 더 좋은 지표로 간주되고 있다.

전자를 환경 모니터링(environmental monitoring)이라고 한다면 이에 대한 상대적인 개념으로 후자를 생물학적 모니터링(biological monitoring)이라고 할 수 있는데 본 중설에서는 인체에 유해한 화학물질에 폭로되는 근로자들에 대한 직업병의 예방과 건강관리가 강조되는 시점에서 이러한 목적을 달성하는 중요한 접근방법이 될 것으로 생각되는 생물학적 모니터링에 대해서 몇 가지 관점에서 서술하고자 한다.

### 생물학적 모니터링의 정의

EEC(European Economic Community), NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health), 그리고 OSHA(Occupational Health and Safety Administration)이 공동 후원한 세미나에서 모니터링을 '올바른 조치를 할 수 있는 조직적이고 반복적인 건강과 관련된 활동'이라고 정의하고, 동시에 생물학적 모니터링은 '적절한 참고치와 비교하여 폭로와 건강위해도를 평가하기 위해 조직, 분비물, 배설물, 호기내의 유해한 화학물질이나 그 대사물들을 측정하고 평가하는 것'으로 정의하였다.

생물학적 모니터링은 처음에는 작업자의 생체시료(혈액, 요, 호기 등)중의 화학물질, 또는 그 대사산물의 정량치로 부터 작업자가 섭취한 작업환경중의 유해 화학물질(internal dose, body burden)을 구해서 진정한 폭로정도, 유해 화학물질의 섭취량을 평가하고, 생체 영향을 추정하는 것으로 폭로 모니터링이라고 하였다. 최근 유해물질의 인간에 대한 초기의 영향을 측정하고, 폭로의 정도, 건강위험도를 평가하여 건강장애의 예방에 도움이 되도록 하는 영향 모니터링도 생물학적 모니터링 안에 추가하게 되었다. 미국

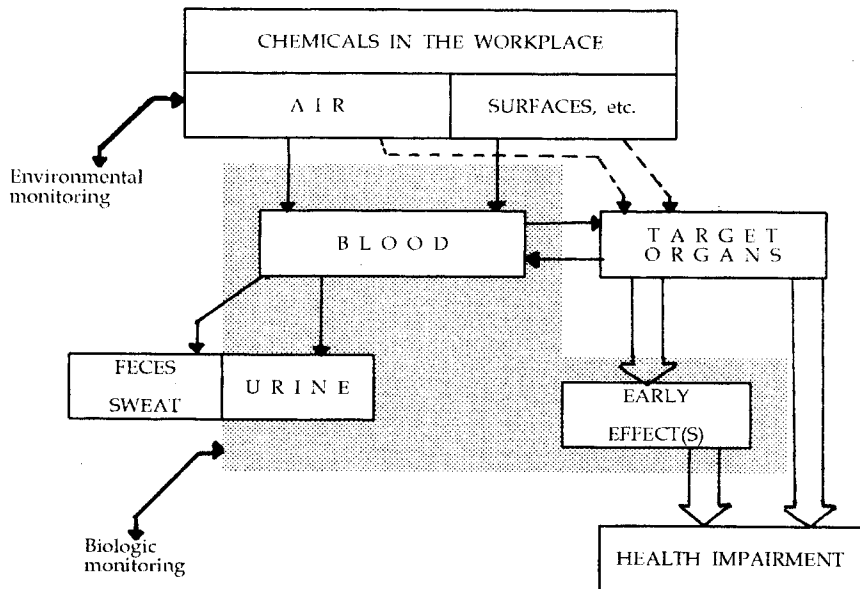


Fig. 1. The relationships between the kinetics, effects of chemicals, and biologic monitoring. The thin arrows indicate pathways of the chemicals; the bold arrows, the effects of the chemicals.

ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서는 body exposure라는 의미로 양 또는 폭로 모니터링을 생물학적 폭로 모니터링이라고 정의하였는데, Zielhuis와 Henderson은 이를 간단히 biologic monitoring이라는 단어를 사용하고 있다. 그들은 internal dose를 측정함으로써 외부폭로(ambient exposure)의 평가와 함께 건강에 대한 위험도를 평가할 수 있다고 생각했기 때문이다. 한편 Vera Thomas는 최근 biological monitoring을 dose monitoring(양 모니터링)과 effect monitoring(영향 모니터링)으로 나눌 것을 제안하고 있다. 현재는 전자를 생물학적 폭로 모니터링(biological exposure monitoring)이라고 부르고, 후자를 생물학적 영향 모니터링(biological effect monitoring)이라고 정의

하고 있다.

### 생물학적 모니터링의 역사

미국에서는 ACGIH에서 biological monitoring에 대한 committee를 1981년에 발족시켜, 1984년에 6종류의 공업 화학물질에 대해 구체적인 Biological Exposure Indices(BEIs, 생물학적 폭로지표)를 정하였는데 그후 매년 지표를 추가하여 1991년에는 확정치 26물질, 잠정치 8물질 등 총 34종류의 물질에 대해 그 기준을 정하고 있다.

한편 독일에서는 German Research Society(GRS)에서 1981년 BAT(Biologische Arbeitsstoff-

tolernazwerte, 작업물질의 생물학적 허용치)를 연, 트리클로로 에틸렌, 톨루엔에 대해 권고했는데, 1988년에는 29종류의 화학물질에 대한 BAT를 권고하고 있다.

일본에서는 일본산업위생학회에 생물학적 모니터링 연구회가 1986년에 발족되어 참고치에 대해 검토해 왔으며 1988년 및 1989년 일본 위생회에 '사람에서의 유해 화학물질의 생물학적 모니터링 workshop'이 발족되었다.

1989년 8월 하와이에서 열린 미일 과학 협력 세미나에서 직업적 폭로에 있어서 생물학적 모니터링에 대한 회의가 개최되어 생물학적 모니터링의 이념, 연구, 실용화를 위한 구체적인 토의를 하였다.

### 환경 모니터링과 생물학적 모니터링

전통적으로 근로자들이 직업적으로 화학물질에 폭로되는 것을 작업장내의 공기중의 화학물질을 측정하여 추정하였다. 이런 환경 모니터링은 분석적인 면이나 규제하는 측면에서 현재 또는 미래에도 폭로를 추정하는 데 가장 많이 사용하는 방법이 될 것이다. 공기시료에 대한 분석방법은 많이 발전되었으며 비교적 균질하고 단순한 구성이어서 분석이 비교적 쉽다. 또한 이런 환경에 대한 측정은 오래동안 시행되어 왔기 때문에 많은 화학물질에서 폭로-효과 또는 폭로-반응의 관계에 대해 밝혀져 있다. 아울러 전통적으로 많은 나라에서 사용되어져 왔기 때문에 규제의 기초가 되어 있다.

반면에 생물학적 모니터링은 환경 모니터링에 비해 좋은 점들을 가지고 있는데 제일 중요한 것은 체내에 흡수된 화학물질의 양을 측정할 수 있다는 것이다. 공기중의 화학물질의 농도가

체내에 흡수된 화학물질의 양과 일치하지 않는 여러가지 이유가 있다. 공기중의 화학물질의 양은 시간에 따라 혹은 위치에 따라 변화될 수 있다. 작업량은 흡입하는 공기량에 현격한 변화를 줄 수 있고 흡입되는 화학물질의 양은 흡입된 공기량과 직접적인 관련성을 가질 수 있다. 입자의 크기나 공기 역동적인 특징, 화학물질의 용해도, 호흡기 외에 다른 경로로의 흡수(피부나 소화기), 보호구의 착용, 개인의 습관, 작업장 외의 다른 장소에서의 폭로, 체내의 조직이나 장기의 축적에 의한 효과 등이 공기중 화학물질이 체내에 흡수 또는 침입하는 데 영향을 미치는 중요한 요인이 될 수 있다. 특히 체내에 화학물질이 축적되는 것을 확인할 수 있는 유일한 방법이 생물학적 모니터링이라는 것이 중요한 특징이며 폭로의 측정과 체내 화학물질의 축적을 추정하는 데는 산업 위생학적인 환경 모니터링과 생물학적 모니터링을 함께 시행하므로써 상호 보완적으로 가장 좋은 결과를 얻을 수 있다고 볼 수 있다.

### 생물학적 모니터링의 장, 단점과 전제조건

#### 1. 생물학적 모니터링의 장점

폭로와 건강 위험도를 평가하는 데 있어서 환경 모니터링에 비해 생물학적 모니터링이 가진 장점들을 열거하면

1) 폐를 통한 흡수 뿐만 아니라 소화기와 피부를 통한 흡수 등 모든 경로에 의한 흡수를 측정할 수 있다.

2) 직업적인 폭로에 의한 것 외에도 일반환경에서 식사와 관련해서 오락활동 등을 통한 폭로도 측정할 수 있다.

3) 화학물질의 흡수, 분포, 생물학적 전환, 배설에 있어서 개인적인 차이를 고려할 수 있다.

4) 감수성이 있는 개인들을 생물학적 모니터링을 통해 발견할 수 있다는 점이다.

## 2. 생물학적 모니터링의 단점

첫째 위의 조건들을 만족시키는 산업장에서 사용하고 있는 화학물질은 수중에 불과하므로 생물학적 모니터링으로 산업장의 화학물질에 대한 폭로와 그에 따른 건강 위험도를 평가하는 데는 제한점이 있다. 둘째 쉽게 흡수되지 않고 접촉되는 부위에서 주로 건강장해를 일으키는 화학물질(예, 여러 종류의 폐 자극물질)에 대해서 생물학적 모니터링을 적용할 수 없다는 점이다.

## 3. 생물학적 모니터링을 위한 전제조건

의미있는 생물학적인 모니터링이 되기 위해서는 다음의 조건들이 갖추어져야 한다.

1) 생물학적인 모니터링의 대상이 되는 물질 혹은 그 대사물이 조직이나 체액 속에 채집하기 적절하게 존재해야 한다.

2) 정확하고 실용적인 분석방법이 사용가능해야 한다.

3) 측정이 정확해야 한다.

4) 그 결과가 건강 위험도를 측정할 수 있어야 한다.

5) 생물학적인 지표로서 민감도 및 특이도가 충분해야 한다.

6) 생물학적인 시료의 채집이 근로자의 건강에 위험하지 않아야 한다.

7) 정기적인 스크린을 위한 생물학적 지표로 선정된 것은 보관해도 충분히 안정한 물질이어야 한다.

## 생물학적 모니터링의 분류와 목적

### 1. 생물학적 폭로 모니터링(biological exposure monitoring)

생물학적 폭로 모니터링(ACGIH) 또는 생물학적 모니터링(Zielhuis)의 목적은 1) 혈액중의 유해물질(중금속, 유기용제 등), 2) 호기중의 유기용제, 3) 요중 중금속, 유기용제 자체 또는 그 대사산물 등을 측정하여, 작업자 개개인의 생체장해에 대비함과 동시에 개인 및 작업자 집단의 유해 화학물질의 섭취량을 측정하여 평가하는 것이다. 즉 작업자의 외부환경의 폭로량(external dose)에 대한 작업자의 생체내 실질적으로 흡수된 유해물질의 양(internal dose)을 측정하고 평가하는 것이다. 또한 유해물질의 섭취, 생체내 분포, 생체내 변환, 축적, 배설 등 사람의 유해 화학물질에 대한 작용을 나타낸 것이므로 'toxicokinetics'의 파라메터라고 할 수 있다.

### 2. 생물학적 영향 모니터링(biological effect monitoring)

작업자가 생체장해를 일으키기 전 단계의 초기 영향을 찾아내어 건강장해의 예방에 기여하는 것이 생물학적 영향 모니터링의 목적이다. 초기 영향은 유해물질의 사람에 대한 작용이라는 의미에서 'toxico-dynamics'의 하나의 파라메터로 생각된다. 초기 영향은 유해 화학물질에 특이적이고, 환경 및 생체 위험도에 대해 예방적 의미가 있으므로 모니터링에 속한다고 할 수 있다. 예를들면 연폭로 작업자에 있어서 델타아미노레블린산 탈수효소의 활성이 저하됨으로써 델타아미노레블린산이 요중으로 배설된다. 또 프로토펠피린 IX에 철이 결합하여 heme이 합성되는 데 연은 heme의 합성효소(ferrochelatase) 농도가 상승하고, 요중으로 코프로 폴피린이 배설된

다. 즉 이와같은 폴피린 대사장애에 의해 생기는 생체의 조기 영향을 파악하고 평가하는 것을 생물학적 영향 모니터링이라 한다. 이에반해 연중독에 의한 빈혈의 유무를 조사하는 것은 건강진단에 의해 유해인자에 폭로로 인한 생체장애의 유무를 조사하는 것이므로 건강감시(health surveillance)의 대상이 된다.

생물학적 영향 모니터링에서 고려해야할 점은 개인의 감수성의 차이를 고려해야 한다는 것과 건강감시와 비교해서 생물학적 영향 모니터링에 속할 수 있는 기준으로 그 변화가 가역적인 것이어야 한다는 점이다. 그러나 종종 영향을 측정하는 일은 건강감시의 일환으로 간주되는 경우가 있는 데 이는 근로자의 건강을 보호하기 위한 일련의 과정속에 생물학적 모니터링과 건강감시가 있기 때문이며 이에 대한 구분은 인위적인 것으로 주장되기도 한다.

### 생체내의 화학물질의 축적에 대한 측정

많은 화학물질들은 인체내의 여러 다른 부위에 분포하게 된다. Lipid-soluable한 용제들은 신체내 지방에, 카드뮴은 간과 신장에, 메틸수은은 뇌에, 연은 뼈에 주로 축적되며 대부분의 분진은 주로 폐에 축적된다. 이러한 화학물질을 혈액이나 요에서 측정하는 것은 체내 축적 전체를 반영하지 못하므로 측정되는 장기에서 직접적으로 화학물질의 양을 측정하려는 접근이 시도되고 있다.

간과 신장에서 카드뮴의 양을 측정하는 neutron-activation법과 뼈속의 납이나 신장내의 카드뮴 양을 측정하는 데 사용되는 x-ray fluorescence법, 그리고 철을 함유하는 미립자들의 양을 측정하는 데 사용되는 magnetopneumography 등이 생체내의 화학물질의 축적을 측정하는 데 가장 많이

사용되는 방법이다.

### 생물학적 모니터링에 있어서 오차의 원인과 질 관리

생물학적 모니터링에 있어서도 다른 실험적인 분석에서와 같은 특수한 오차의 원인들을 가지고 있다.

오차의 원인은 생리학적, 동력학적, 환경적인 것으로 구분되며 가장 많은 오차의 원인은 시료를 채집하는 단계에서의 오염이다.

#### 1) 생리학적, 환경적 변이의 원인(Physiologic and Environmental Sources of Variation)

체위나 일간의 변화, 소변의 양, 식사, 환경오염(음식물, 식수, 공기), 흡연, 개인적인 생리적 다양성 등이 생물학적 모니터링에 있어서 고려되어야 할 변이의 원인이 될 수 있다.

#### 2) 동력학적인 변이의 원인(Kinetic Sources of Variation)

체액속에 있는 외부에서 흡수된 화학물질의 농도는 폭로와 관련하여 변화를 보이므로 시료를 채집하는 시간이 매우 중요하다. 흡수경로, 호흡이나 땀, 대·소변 등을 통한 체외로의 배출, 체내의 대사에 필요한 시간 등을 잘 고려하여 시료를 채집하는 시간을 결정하여야 한다.

#### 3) 시료의 채집과 보관과 관련된 변이(Variations Associated with Specimen Collection and Storage)

증발, 화학적인 변질, 침전과 흡착(absorption), 오염(contamination) 등이 시료의 채집 및 보관과 관련되어 발생할 수 있는 변이의 원인이다. 이 중에서 오염은 작업장의 공기내에서, 실험실내에서 혹은 근로자의 피부나 옷, 시료를 보관하는 용기, 분석장비 등으로 부터 발생될 수 있다.

시료와 관련해서는 혈액보다는 요를 사용할 때 오염의 원인이 높기 때문에 근로자가 샤워한 후 옷을 갈아 입고 시료를 채취하는 것이 좋다. 니켈, 카드뮴, 망간, 코발트는 일회용 스테인레스 스틸 주사침으로 부터 혈액내로 용해될 수 있기 때문에 원칙적으로 금속에 대한 생물학적 모니터링에는 혈액은 플라스틱 도관을 통해 얻는 것이 좋다. 유리나 여러 종류의 플라스틱 제품에는 많은 금속을 포함하고 있으므로 이것들이 혈액, 요, 물 등에 용해될 수 있으므로 미리 산으로 오염물질을 제거한 후 사용하는 것이 좋다.

#### 4) 질관리(Quality Assurance)

질관리란 실험결과와 신뢰성을 높이기 위한 모든 시도들을 말하는 데 크게 두가지로 구분된다. 한가지는 내부 질관리(internal quality control)인데 분석결과를 발표할 수 있을 만큼 신뢰할 수 있느냐를 결정하기 위한 실험실내의 과정인데 분석할 때마다 대조시료를 항상같이 분석하여 과거의 것과 비교한다. 또다른 하나는 외부 질관리(external quality control)인데 실험실의 분석의 질을 외부기관에 의해 평가받는 것이다. 우리나라에서도 1994년부터 작업환경 측정기관이나 특수건강진단기관에 대해 산업보건연구원에 의한 일부 중금속 및 유기용제와 그 대사물에 대한 외부 질관리가 시행되고 있다.

### 결과의 해석

생물학적 모니터링의 결과는 적절한 참고치와 비교하여 평가할 수 있다. 생물학적 모니터링에서는 두 종류의 다른 참고치를 고려할 수 있다. 직업적으로 폭로되지 않는 집단을 위한 참고치와 직업적으로 폭로되는 집단을 위한 Biologic Action Limits(BALs)다.

1) 직업적으로 폭로되지 않는 인구집단의 참고치

직업적으로 폭로되지 않는 건강한 정상인에서의 화학물질의 양은 여러 인구집단에 따라 달라질 수 있고 시간에 따라서도 많이 변화된다. 최근 이런 직업적으로 폭로되지 않는 사람들의 참고치는 발암물질에 대한 생물학적 모니터링이 증가되면서 점차 중요하게 되었다. 왜냐하면 발암성 물질에 폭로되지 않는 것은 완전하게 안전하다는 것을 의미하는 데 이것은 아주 낮은 수준에 폭로되는 것까지도 평가할 수 있기 때문이다.

#### 2) Biologic Action Limits(BALs)

최근 수년간 여러 나라에서 BALs를 제정했는데 그중 ACGIH의 Biological Exposure Index (BEI)와 Deutsche Forschungsgemeinschaft의 일반적인 화학물질에 대한 Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte(BAT), 발암물질에 대한 Expositionsequivalente für Krebs erzeugende Arbeitsstoffe(EKA)이다.

BAL 치는 작업조건에서 수용할 수 있는 대표치이다. 두가지 접근방법에 의해 유도되었는데 직접적인 dose-effect analysis와 dose-response analysis에 의해 산출한 것과 작업장내의 공기와 비교해서 얻은 것이다. 전자의 방법은 폭로된 근로자들에 대한 추구 연구에서 유도한 것인 데 결과를 얻기가 힘들기 때문에 수종에 대해서만 제안되고 있다.

세계보건기구는 연, 수은, 카드뮴, 약간의 용제와 살충제에 대한 기준을 제시하고 있다.

대부분의 BAL 치는 기존의 작업장내 공기 기준에서 간접적으로 정해지는 데 ACGIH의 threshold limit values(TLVs)나 독일의 Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen(MAK) 혹은 Technische Richtkonzentrationen(TRK) 등으로 부터다. 단 순

수하게 실용적인 측면에서 훌륭한 산업위생학적인 실행을 시도하고 있는 상황에서 BAL 치를 정하는 방법인 데 British Health and Safety Executive(HSE)에서 피부로 흡수되는 몇가지 화학물질에 대해 이 접근법이 사용되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 BAL 치는 순수하게 건강에 기준을 둔 것은 드물고 건강외에 기술적인 면, 경제적인 면, 행정적인 면 등 다른 면들을 함께 고려하여 설정한 것이므로 가장 민감한

인구 집단의 사람들에 대해서는 위험도 받아들이는 것으로 설정되어 있다. 이상적으로는 행정적인 기준을 초과되어서는 안되는 농도만 설정할 것이 아니라 언제, 어떻게, 얼마나 자주 측정하며 정해진 수준이상일 때 무엇을 하여야 하는가에 대한 지침을 포함하는 것이어야 하는 데 European Economic Community의 혈중 연에 대한 기준과 영국의 HSE 지침이 이런 접근방법을 사용하고 있다.

Table 1. Biologic Action Limits by Different Organizations

EXPOSURE	MEASURED PARAMETER	ACGIH	HSE	DFG	IOH
Acetylcholinesterase inhibitors	E-acetylcholinesterase	30% drop		30% drop <sup>ab</sup>	30% drop
Aluminum	U-AI			200 µg/L <sup>a</sup>	6µmol/L
Aniline	U-p-aminophenol U-Aniline	50 mg/g creat <sup>a</sup>		1 mg/l <sup>ab</sup>	
Arsenic	U-As +As <sup>v</sup> +MMA+DMA U-As +As <sup>v</sup>		230 µmol/mol creat <sup>c</sup>		
Benzene	U-Phenol B-Benzene	50 mg/g creat <sup>a</sup>			0.07 µmol/L 0.2µmol/L <sup>d</sup> , 0.02µmol/L <sup>e</sup>
p-tert-Butylphenol	U-PTBP			2 mg/L <sup>a</sup>	
Cadmium	U-Cd B-Cd	10 µg/g creat 10µg/L	10 µmol/mol creat	15 µg/L 15 µg/L	50 nmol/L 100 nmol/L
Carbon disulfide	U-TTCA	5 mg/g creat <sup>a</sup>		8 mg/L <sup>a</sup>	4.0 mmol/mol creat <sup>a</sup>
Carbon monoxide	Hb-CO End-exhaled air-CO	8% <sup>a</sup> 40 ppm <sup>a</sup>		5%	5% <sup>a</sup>
Carbon tetrachloride	B-CCl <sub>4</sub>			70 µg/L <sup>ab</sup>	
Chlorobenzene	U-4-Chlorocatechol			300 mg/g creat <sup>a</sup> 70 mg/g creat <sup>a</sup>	
Chlorophenols	U-Tri-+tetra-+pentachlorophenols				2.0 µmol/L <sup>f</sup>
Chlorophenoxy acids	U-2,4-D+Dichlorprop+MCPA+Mecoprop				14 µmol/L <sup>g</sup>
Chromium	U-Cr	10 µg/g creat <sup>h</sup> 30 µg/g creat <sup>f</sup>		40 µg/L <sup>ai</sup>	1.0 µmol/L <sup>a</sup>
Cobalt	U-Cobalt			60 or 300 µg/L <sup>j</sup>	600 nmol/L <sup>f</sup>
Dimethylformamide	U-methylformamide	40 mg/g creat <sup>a</sup>			650 µmol/L <sup>f</sup>

Table 1. (cont'd) Biologic Action Limits by Different Organizations

EXPOSURE	MEASURED PARAMETER	ACGIH	HSE	DFG	IOH
Ethylbenzene	U-Mandelic acid	1.5 g/g creat <sup>f</sup>			
Fluorides	U-F	10 mg/g creat <sup>a</sup>		7mg/g creat <sup>a</sup>	200 μmol/L <sup>a</sup>
	U-F	3 mg/g creat <sup>f</sup>		4 mg/g creat <sup>c</sup>	100 μmol/L <sup>k</sup>
Furfural	U-furoic acid	200mg/g creat			
Halothane	U-trifluoroacetic acid			2.5 mg/L <sup>a,d</sup>	
Hexachlorobenzene	P/S-Hexachlorobenzene			150 μg/L	
n-Hexane	U-Hexanedione				
	U-Hexanedione+Dihydroxyhexanon	5 mg/g creat <sup>a</sup>		9 mg/L <sup>a</sup>	5 μ mol/L <sup>g</sup>
Lead	B-Pb	50 μg/100ml	70 μg/100ml <sup>1</sup>	70 μg/100ml <sup>m</sup>	50 μg/100ml
	U-Pb	150 μg/g creat			
	B-ZPP	100 μg/100ml <sup>n</sup>			
Lindane	V-Lindane			20 μg/L <sup>a</sup>	
	P/S-Lindane			25 μg/L <sup>a</sup>	20 nmol/L
Mercury(inorganic)	U-Hg		120 μmol/mol creat	200 μg/L	250 nmol/L <sup>o</sup>
	B-Ug			50 μg/L	125 nmol/L
Methanol	U-Methanol	15 mg/L <sup>s</sup>			
	U-formiate	80 mg/g creat <sup>h</sup>			240 mmol/mol creat <sup>h</sup>
Methylbutylketone	U-Hexanedione+Dihydroxyhexanon			9 mg/L <sup>a</sup>	
Methylenedianiline	U-MDA		50 μmol/mol creat <sup>c</sup>		
Methylethylketone	U-Mek	2 mg/L <sup>a</sup>		5 mg/L <sup>a</sup>	
Methylenebis(2-chloroaniline)			30 μmol/mol crea		
Nickel	U-Ni				1.3 μmol/L
Nitrobenzene	U-p-Nitrophenol	5 mg/g creat <sup>f</sup>			
Parathion	U-p-Nitrophenol	0.5 mg/g creat <sup>h</sup>		0.5 mg/L <sup>b</sup>	
	E-Cholinesterase	30% drop		30% drop <sup>b</sup>	
Pentachlorophenol	U-PCP	2 mg/g creat <sup>h</sup>			
	P-PCP	5 mg/L <sup>a</sup>			
Phenol	U-Phenol	250mg/g creat <sup>a</sup>		300 mg/L <sup>a</sup>	
2-Propanol	U-Acetone			50 mg/L <sup>a</sup>	
	B-Acetone			50 mg/L <sup>a</sup>	
Selenium	U-se				1.25 μmol/L <sup>g</sup>
Styrene	U-Mandelic acid	800 mg/g creat <sup>a</sup>		2 g/L <sup>a</sup>	
		300 mg/g creat <sup>e</sup>			
	U-PGA	240 mg/g creat <sup>a</sup>			
		100 mg/g creat <sup>e</sup>			
	U-Mandelic acid+PGA			2.5 g/L <sup>a</sup>	1.2 mmol/L <sup>g</sup>



Table 1. (cant'd) Biologic Action Limits by Different Organizations

EXPOSURE	MEASURED PARAMETER	ACGIH	HSE	DFG	IOH
Tetrachloroethylene	End-exhaled air-PER B-PER	10 ppm <sup>a</sup> 1 mg/L <sup>g</sup>		1 mg/g L <sup>a</sup>	6 μmol/L <sup>g</sup>
Toluene	U-Hippuric acid B-Toluene	2.5 g/g creat <sup>a</sup>		1.7 mg/L <sup>a</sup>	2.0 μmol/L <sup>g</sup>
1,1,1-Trichloroethane	End-exhaled air-1,1,1-trichloroethane B-1,1,1-Trichloroethane B-Trichloroethanol	40 ppm <sup>g</sup> 1 mg/L <sup>f</sup>		550 μg/L <sup>b,c</sup>	20 μmol/L <sup>g</sup>
Trichloroethylene	U-TCA B-Trichloroethanol U-TCA+TCEthanol	100mg/g creat <sup>p</sup> 4 mg/L <sup>f</sup> 300mg/g creat <sup>f</sup>	60 mmol/mol creat <sup>c</sup>	100 mg/L <sup>a,b</sup> 5 mg/L <sup>a,b</sup>	300 μmol/L <sup>b</sup> 1 mmol/L <sup>b</sup>
Xylenes	U-Methylhippuric acids	1.5g/g creat <sup>a</sup>		2 g/L <sup>a</sup>	10 mmol/L

- a End of shift
- b In continuous exposure, after several shifts, at the end of the exposure
- c 90% value of HSE laboratory results
- d 1 hour after end of exposure
- e Prior to next shift
- f End of shift at end of workweek
- g Before the shift at end of workweek
- h Increase during shift
- i Does not apply to exposure to welding fumes
- j Depending on the cobalt compound
- k Morning specimen after 2 free days
- l 40μg/100ml for women of childbearing age
- m 30μg/100ml for women < 40 years of age
- n After 1 month of exposure
- o Morning specimen
- f End of workweek

ACGIH=American Conference for Government Industrial Hygienists(1992);HSE=Health and Safety Executive, UK(1991), DFG=Deutsche Forschungsgemeinschaft(1992), IOH=Institute of Occupational Health, Finland(1992). The status of the different BAL values is different, from legally binding statutes to unofficial guidelines. The BAL values are given in units used in the original documents.

### 윤리적 문제

생물학적 모니터링에 참여하는 산업의학전문 의사, 산업위생사 등이 흔히 간과하기 쉬운 두 가지 윤리적인 측면을 꼭 고려해야 한다. 첫 번째로 모니터링은 근본적으로 의학적·생물학적 접근이기 때문에 비록 의학 아닌 다른 부문에서 시료의 분석이나 환경 모니터링에서 주된 역할을 할 수 있지만 생물학적 모니터링 자료의 해석은 의학 및 중독학 전문가에 의해서 이루어져

야 한다. 이 부문에 관여하는 산업의는 근로자들의 건강관리에 책임이 있기 때문에 근로자들이 폭로되는 유해인자에 대한 평가를 위한 지식과 시설을 갖추고 있어야 한다.

또한 근로자 개인의 건강 위험도에 대해 그들의 건강관리를 담당하는 의사가 정보를 주어야 하며 산업체에 미치는 기술적, 경제적 영향에 관계없이 근로자의 건강을 안전하게 유지할 책임이 있다. 개개인의 자료는 신빙성을 가져야 하며, 또한 이런 개인의 자료는 경영자나 근로

자 모임에 알려져야 한다.

또 한가지 측면은 측정하고자 하는 변수의 선택에 관한 것인데 특수한 목적을 달성하기에 가장 적절한 변수를 선택해야 한다. 단순한 변수면 더욱 좋지만 그렇지 못한 경우는 최선의 결과를 얻을 수 있는 장비와 인력이 확보되어야 한다.

## 결 론

산업장에서 유해인자인 화학물질에 폭로되는 근로자들에게서 발생하는 건강장애를 예방하기 위한 일련의 노력들 즉 환경 모니터링, 생물학적 모니터링, 건강감시 중 생물학적 모니터링을 환경 모니터링 및 건강감시와 관련하여 서술해 보았다. 생물학적 모니터링이 가지고 있는 많은 장점에도 불구하고 몇가지 중요한 제한점으로 인해 적은 수의 화학물질에 대해서만 실제로 활용되고 있는 실정이다. 향후 산업장에서 사용되는 많은 화학물질에 대한 중독학적 이해가 향상되어 생물학적 모니터링이 산업장 근로자들의 건강장애를 예방하는 데 더 중요한 역할을 담당하게 될 수 있도록 많은 연구와 노력을 경주해야겠다.

## 참 고 문 헌

1. Aitio A, Riihimki V, Liesivuori J, Jrvialo J, Hernberg S : Biologic monitoring. In Zenz C, Dicjerson OB, Horvath EP : Occupational medicine. Mosby-Year Book Inc. St. Louis, 1994, pp.132-158.
2. Lauwerys RR : Objectives of biological monitoring in occupational health practice. In Itio A, Riihimaki V, Vainio H : Biological monitoring and surveillance of workers exposed to chemicals. Hemisphere Publishing Corporation. Washinhton, 1984, pp.3-6.
3. Zielhuis RL : Theoretical and practical considerations in biological monitoring. In Aitio A, Riihimaki V, Vainio H : Biological monitoring and surveillance of workers exposed to chemicals. Hemisphere Publishing Corporation. Washington, 1984, pp.7-16.
4. Telas, Hernberg S : Strategies of biological monitoring. In McDonald TC : Recent advances in occupational health. Churchill Livingstone. Edinburgh, 1981, pp.185-197.
5. Bernard A, Lauwerys R : General principles for biological monitoring of exposure to chemicals. In Ho MH, Dillon NK : Biological monitoring of exposure to chemicals, organic compounds. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1987, pp.1-16.
6. Baselt RC : Biological monitoring methods for industrial chemicals. Biomedical Publications. 1980, pp.1-4.
7. Rempel DM, Rosenberg J, Harrison RJ : Biological monitoring. In LaDou J : Occupational medicine. Appleton & Lange. East Norwalk, 1990, pp. 459-466.
8. Nelson N : Some recent events in biological monitoring : Introduction. Ann. Rev. Public Health 4:363-365, 1983.
9. Linch AL : Biological monitoring for industrial chemical exposure control. CRC Press, Inc. Boca Raton, 1980, pp.1-4.
10. 全國勞動衛生團體連合會 : 有機溶劑 健康診斷のすすやち. (社)全國勞動衛生團體連合會

- 事務局. 東京, 1990, pp.76-106
11. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) : Threshold limit values and biological exposure indices for 1991-1992. Cincinnati, 1991, pp.58-72.
  12. Zeilhuis RL, Henderson P : Definition of monitoring activities and their relevance for the practice of occupational health. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 57:249-257, 1986.
  13. Waritz RS : Biological markers of chemical exposure, dosage, and burden. In Cralley LJ, Cralley LV, Bus JS : *Patty's industrial hygiene and toxicology*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1995, pp79-114.
  14. Murthy LI, Halperin WE : Medical screening and biological monitoring. *JOEM* 37:170-184, 1995.
  15. Kneip TJ, Crable JV : *Methods for biological monitoring: A manual for assessing human exposure to hazardous substances*. American Public Health Association, Washington, 1988, pp3-119.
  16. World Health Organization : *External quality assessment of health laboratories*. Copenhagen, 1981.
  17. Occupational medicine and hygiene laboratory, Health and Safety Executive : *Guidance on laboratory techniques in occupational medicine*, Her Majesty's Stationary Office London 1991.
  18. Armstrong R, Chettle DR, Scott MC : Repeated measurements of tibia lead concentration by in vivo x-ray fluorescence in occupational exposure. *Br J Ind Med* 49:14, 1992.
  19. Aito A, Järvisalo J : Biological monitoring of occupational exposure to toxic chemicals. Collection, processing and storage of specimens. *Pure Appl Chem* 56:549, 1984.
  20. Robertson DE : Role of contamination in trace element analysis of sea water. *Anal Chem* 40: 1067, 1968.
  21. Zielhuis RL : Biological monitoring. *Scan J of Work Environment & Health* 4:1-18, 1978.
  22. Aito A : Sources of error and quality control in biological monitoring. In Aito A, Riihimaki V, Vainio H : *Biological monitoring and surveillance of workers exposed to chemicals*. Hemisphere Publishing Corporation. Washington 1984, pp263-272.
  23. World Health Organization : *Recommended health-based limits in occupational exposure to heavy metals*. Report of a WHO study group. WHO technical report series No 647, Geneva, 1980, p116.