2021년 연구보고서

화학물질 노출 농도 결정 요인으로서 작업공정 및 활동 영향 분석

OSHRI

산업재해예방
안전보건공단
산업안전보건연구원

연구보고서

화학물질 노출 농도 결정 요인으로서 작업공정 및 활동 영향 분석

이나루·이도희·이혜진

산업재해예방
안전보건공단
산업안전보건연구원

요 약 문

● **연 구 기 간** 2021년 01월 ~ 2021년 11월
● **핵 심 단 어** 공정, 납 노출 농도, 노출 농도 결정인자
● **연구과제명** 화학물질 노출 농도 결정요인으로서 작업공정 및 활동 영향 분석

1. 연구배경

• 화학물질의 노출 농도는 특정한 용도로 사용 혹은 공정에 따라 달라지므로, 관심을 가져야 할 '노출 상황'에 대해 화학물질관리 정책을 이행할 필요가 있음. 본 연구에서는 화학물질 노출 측정 결과를 해석할 때 필요한 맥락 정보를 확인하고, 국내에서 측정한 공기 중 납 농도를 공정과 활동에 따라 분류하여 공정 및 활동에 따라 어떤 특징을 보이는지 살펴보고자 함

2. 주요 연구내용

○ 연구결과

• 사업장 납은 금속 납, 납 화합물, 납 외에 여러 성분이 같이 존재하는 UVCB (Chemical Substance of Unknown or Variable Composition, Complex Reaction Products and Biological Materials) 형태로 사용되고 있음. 금속을 사용하는 공정은 용해 및 주조, 압출, 연마가 일반적임. 공기 중 납의 발생 형태는 납이 용해되어 미스트 형태가 가능하나 납의 끓는 점 이상으로 취급하는 경우는 거의 없음. 연마 및 분말 취급 공정에서는 납 분진이 발생하였고 스프레이 경우 납이 미스트 형태로 발생함

• 화학물질의 공기 중 노출 농도 결정인자로 활동(공정)요인, 물질특성요인, 국소제어 기술, 발생원 분리, 희석, 작업자 분리, 개인행동, 표면 오염, 호흡보호구 요인이 있음. 노출 농도 결정인자를 이해하는 것은 공기 중 화학물질이 발생하고 전달되고 감소하는 과정을 이해하는 것을 의미함

• 유럽 연합에서 화학물질 등록 법률 이행을 위해서, 공기 중 노출 농도 결정요인 중 하나인 공정을 28개의 "PROC"으로 분류해서 사용함. 그러나 "PROC"은 공기 중 화학물질이 방출되는 원리에 근거한 것이 아니라 경험에 근거하여 만들어졌고, PROC끼리 서로 배타적이 아니라서 분류에 차이가 생기는 경우가 많음. ART 모델의 "활동"은 공기 중 방출되는 화학물질의 성상을 기준으로 활동에서 일어나는 에너지의 크기와 종류를 근거로 하여 22개로 분류하였음

• 작업환경측정 신뢰성 평가 납 취급 사업장의 노출 농도는 국내에서 보고된 사업주 보고 작업환경측정 자료 결과와 현격히 차이가 났음. 유럽연합의 2008년 자발적인 납 위해도 평가(안)에서는 납의 소비가 많은 곳 중 1차 제련, 2차 제련 납 산화물과 안정제, 납 결정유리, 세라믹 그릇 생산하는 곳에는 납 0.05 ㎎/㎥을 초과하는 경우가 많았으며, 납의 소비가 적은 곳 중에는 청동 및 황동 주조 공장, 납 총알 사용하는 곳에서 납 0.05 ㎎/㎥을 초과하는 경우가 많다고 보고함

• 작업환경측정 신뢰도 평가 사업의 납 취급 사업장 분석 결과, 납괴·아연, 납 스크랩, 동합금 잉곳 용해·주조, 압출·압연, 도장, 안정제 투입 및 포장 공정에서 납 노출 농도가 0.05 ㎎/㎥을 초과하는 것으로 나타남. 특히 밧데리 제조 및 폐밧데리 재활용 공정에서도 납 노출 농도가 0.05 ㎎/㎥을 초과함

○ 시사점

• 사업장 공정 및 활동의 표준화는 화학물질 노출에 관심을 가져야 할 상황을 체계적으로 확인할 수 있게 함. 납의 경우 용해·주조, 연마, 분말 취급, 압

연·압출, 도장 공정과 밧데리 제조 및 폐밧데리 재활용 공정이 노출 농도가 높을 가능성이 있음

• 화학물질의 노출 농도는 공기 중 노출 농도의 결정요인이라고 알려진 발생과 노출 감소 여러 요인으로 해석되어야 함

3. 연구 활용방안

○ 제 언

• 연구 결과를 통해 국내 납 취급 사업장 중에서 노출 기준을 초과하는 사업장이 다수 있을 것으로 판단되므로, 노동자의 납에 의한 건강장해를 예방하기 위해 적극적인 정부의 정책 이행이 필요함

○ 활 용

• 본 연구는 국가 작업환경측정 데이터베이스 관리에 활용될 수 있음

• 본 연구는 납 노출 사업장 관리를 위한 정책 개발의 기초 자료로 활용될 수 있음

4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 이나루 (화학물질연구센터 소장)

■ Tel: 042-869-0310

■ E-mail: naroolee@kosha.or.kr

목 차

I. 서 론 ····· 1

II. 연구방법 ····· 7

1. 문헌 고찰 ····· 9
2. MEASE 모델로 납 노출 공정의 금속 농도 추정 ····· 9
3. 국내 납 노출 공정 표준화 및 노출 농도 ····· 12

III. 연구결과 ····· 15

1. 납의 특성 ····· 17
2. 작업장 화학물질의 공기 중 노출 농도 결정인자 ····· 22
3. ‘활동’ 혹은 ‘공정’분류에 대한 문헌 고찰 ····· 33
4. 작업장 납 노출에 대한 문헌 고찰 ····· 42
5. 국내 납 노출 공정 및 노출 농도 ····· 50
6. MEASE를 이용한 납 사용 공정 금속 농도 추정 ····· 61

목 차

IV. 결론 ····· 65

1. 요약 ····· 67
2. 제언 ····· 68

참고문헌 ····· 71

Abstract ····· 73

표 목차

〈표 Ⅱ-1〉 금속 및 무기물질 노출 평가를 위한 MEASE 모델의 변수 설명 ··· 10
〈표 Ⅱ-2〉 금속/무기물질의 PROC 선택 가이드 ··· 12
〈표 Ⅱ-3〉 MEASE 모델 위험 관리 조치
(Risk management measure, RMMs) ··· 14
〈표 Ⅲ-1〉 유럽연합에서 제안한 SWED ··· 27
〈표 Ⅲ-2〉 ECETOC TRA PROC 분류와 설명 ··· 35
〈표 Ⅲ-3〉 ART 활동 분류 ··· 39
〈표 Ⅲ-4〉 납 금속 1차 생산 공정의 혈중 납과 공기 중 납 농도
(2008, 납위해도평가 보고서) ··· 44
〈표 Ⅲ-5〉 납 금속 2차 생산 공정의 혈중 납과 공기 중 납 농도
(2008, 납위해도평가 보고서) ··· 45
〈표 Ⅲ-6〉 납판 생산 공정의 혈중 납과 공기 중 납 농도
(2008, 납위해도평가 보고서) ··· 45
〈표 Ⅲ-7〉 밧데리 생산 공정의 혈중 납과 공기 중 납 농도
(2008, 납위해도평가 보고서) ··· 46
〈표 Ⅲ-8〉 납 산화물과 안정제 생산 공정의 공기 납과 혈중 납 농도
(2008, 납위해도평가 보고서) ··· 46
〈표 Ⅲ-9〉 납 결정 유리 생산의 공기 납과 혈중 납 농도
(2008, 납위해도평가 보고서) ··· 47
〈표 Ⅲ-10〉 혈중 납 농도(1981-2003 결과), 공기 중 농도
(스페인 타일 산업) (2008, 납위해도평가 보고서) ··· 47

표 목차

〈표 Ⅲ-11〉 혈중 납 농도(1981-2003 결과), 공기 중 농도 (스페인 타일 산업) (2008, 납위해도평가 보고서) ····· 48
〈표 Ⅲ-12〉 용해, 주물 및 주조 (PROC 23, M2, 납 99% 이상) ····· 50
〈표 Ⅲ-13〉 용해, 주물 및 주조 (PROC 23, M2, UVCB 납) ····· 52
〈표 Ⅲ-14〉 밧데리 제조 및 폐밧데리 재활용 ····· 54
〈표 Ⅲ-15〉 압연 및 압출 (PROC 24, M6, 납 순도) ····· 55
〈표 Ⅲ-16〉 연마 (PROC 24, S2) ····· 56
〈표 Ⅲ-17〉 스프레이 (PROC 7, L1/P2, 도료 41% 납화합물) ····· 58
〈표 Ⅲ-18〉 분말 등 상온에서 취급 (PROC 26, P3 및 P4, 납 화합물) ····· 59
〈표 Ⅲ-19〉 기타 ····· 60
〈표 Ⅲ-20〉 MEASE PROC 23의 금속 노출 농도 추정 ····· 62
〈표 Ⅲ-21〉 MEASE PROC 24(분진날림 높음 조건)의 금속 노출 농도 추정 ·· 62
〈표 Ⅲ-22〉 MEASE PROC 26(분진날림 높음 조건)의 금속 노출 농도 추정 ·· 63
〈표 Ⅲ-23〉 MEASE PROC 7(분진날림 중간 조건)의 금속 노출 농도 추정 ·· 64

Ⅰ. 서 론

Ⅰ. 서 론

유해한 화학물질에 노출되면 건강장해가 발생할 가능성이 커진다. 전통적으로 작업장의 유해한 화학물질에 대해 측정을 하여 화학물질 노출 정도를 파악하였다. 그리고 측정 결과를 직업적 노출기준과 비교하여 조치 필요 여부를 판단하였다. 유해한 화학물질 관리의 최종 목표는 건강장해가 발생하지 않도록 화학물질을 안전하게 사용하는 것이다.

화학물질의 유해성은 그 화학물질이 가지고 있는 본질적인 특성이기 때문에 변하지 않는다. 다만, 화학물질의 유해성이 건강영향의 모든 측면에서 애초에 평가되지 않기 때문에 유해성에 대한 정보는 해당 독성 자료가 생산되면 바뀔 수 있다. 화학물질의 특정 용도로의 사용 금지가 아닌 한, 화학물질의 유해성을 관리하여 건강영향의 가능성을 낮출 수 없다. 화학물질의 특정 용도의 사용 금지는 국가 혹은 국제적인 기구의 정책 수립을 통해 이루어지므로 화학물질 관리에서 노출 관리와는 다른 영역에 있다.

화학물질의 노출 수준은 작업장의 특정 공정 내에서 일 간 변이가 있을 수 있고, 여러 명의 작업자가 작업을 한다면 작업자 간 변이도 있을 수 있다. 또, 같은 공정이라도 작업장 간 변이도 있을 수 있다. 즉, 화학물질의 노출 수준은 언제, 어디서, 어떤 상황에서 누구를 대상으로 측정하였는지에 따라 달라진다. 화학물질의 노출 수준을 해석하기 위해서는 맥락 정보가 필요하다. Gomez는 노출 결정인자에 대한 정보가 없는 노출 측정값은 의미가 없다고 평가하였다(1994).

화학물질의 노출 결과를 서로 비교하고 품질을 평가하기 위해서도 맥락 정보가 필요하므로, Marquart 등(1997)은 화학물질 작업장 노출 측정 결과 보관 및 교환을 위해 필요한 핵심 정보에 대한 유럽의 제안을 발표하였다. 이 문헌에서는 작업장 노출 자료에 대해 검증, 조화, 교환을 위해서 노출 데이터

베이스가 갖춰야 하는 최소한의 정보, 10개 군을 제시하였다. 10개 군은 장소(건물, 자동차 등 활동이 이루어지는 공간), 작업장(활동이 이루어지는 지역), 활동, 생산품, 화학물질, 노출 변경요인(노출 결과에 영향을 주는 작업장 요인), 측정 전략, 측정 절차, 결과, 참고문헌이다. 작업자 활동 정보를 나타낼 때 직무명은 시간과 문화에 따라 다르므로 ILO에서 정한 직업분류, 직무명, 작업명을 나타내도록 권고하였다. 노출 변경 요인으로는 노출의 패턴(연속, 주기적, 간헐적)과 통제 패턴(밀폐, 국소 배기, 분리, 전체환기), 개인보호구, 밀폐공간 여부 등이다.

화학물질 노출 측정 결과를 해석하기 위해 필요한 맥락 정보에 대한 연구가 지속적으로 이루어졌으며, Tielemans 등(2008)이 흡입 노출 평가를 위한 노출 모델에서 변경 요인을 정의하면서 맥락 정보를 체계적으로 정리하였다. 화학물질 노출 결과를 맥락으로 이해하려고 하는 것은 화학물질 노출 결과에 영향을 미치는 여러 요인들을 이해하기 위해서다. 결국 맥락 정보는 화학물질 노출 모델의 구성 요소가 될 수 밖에 없다.

Tielemans 등(2008)은 노출모델에서 노출 결정인자를 포함하려고 노력하였으나, 여전히 개인 노출 수준과 노출 결정인자의 정량적인 관계를 정하는 것은 어려운 일이라고 지적하였다. 그러나 흡입노출 과정을 이해하기 위한 접근 방법 중 하나로 발생원-수용체(Source-receptor) 모델을 사용하고, 결정적인 노출 변경 요인을 설명하려고 하였다. Schneider 등이 상호 독립적인 원칙에 근거한 노출 요인 사용을 제안하였고, Cherrie와 동료들은 이 접근을 발전시켜 기계적(Mechanistic) 모델을 개발하였다. 기계적인 모델에 근거하여 Stoffenmanager가 개발되었고, 또 Schneider 등은 피부 노출에 대해 개념적인 접근을 할 때 기계적 모델을 사용하였다.

작업자에 대한 화학물질 노출모델의 발달은 유럽연합의 화학물질 등록, 평가, 허가, 제한에 관한 법률(REACH) 시행에 의해 촉구되었다. REACH 법률에 의해 유해한 화학물질을 연간 10톤 이상 제조하거나 수입하는 자는 '화학물질 안전성 보고서'를 작성해야 하는데, 이 때 특정 용도로 화학물질이 안전

하게 사용되고 있는지를 확인하기 위해서는 화학물질 노출 모델이 필요하기 때문이다. 화학물질 노출 수준을 평가하기 위해서는 직접적인 노출 측정이 선호되나, 기술적인 이유로 직접적인 노출 측정이 불가능하거나 작업장에서 화학물질을 사용하는 모든 조건에서 직접적인 노출 측정을 하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 스크리닝 도구로서 화학물질 노출 모델은 현실적으로 유용할 수 있다.

REACH 법률의 화학물질의 안전한 사용을 확인할 의무를 이행하기 위해 ECETOC TRA가 개발되었다. ECETOC TRA 개발의 목표는 '관심을 가져야 할 노출 상황'을 찾아내는 도구를 만드는 것이었다(Money 등, 2007). ECETOC TRA 작업자 흡입 노출 모델은 '공정 분류'를 의미하는 'PROC'에서 시작한다. ECETOC TRA 노출 모델의 신뢰성과 정확도를 검증할 때 어떤 공정(PROC) 조건에서 노출 측정값과 추정값이 비교되었는지가 중요한 논의사항이다. 즉, 공정 종류에 따라 ECETOC TRA 노출 추정값을 신뢰할 수 있는지 없는지가 달라진다.

Marquart 등(2011)은 화학물질 노출에 영향을 미치는 '활동'을 활동 동안 전이되는 에너지의 종류 및 양, 사용 크기, 제품과 인접한 공기 사이의 접촉 정도에 따라 '활동'을 분류하였고, 이를 'Advanced REACH tool (ART)' 노출 모델에 활용하였다.

'활동'이나 '공정'은 공기 중 화학물질 농도를 결정하는 결정인자이나 아직까지 노출모델이나 노출 측정에서 활용할 수 있도록 표준화가 이루어지지 않았기 때문에 다양한 연구들이 이루어지고 있다.

국내에서는 사업주에 의한 작업환경측정이 산업안전보건법에 의해 주기적으로 이루어지고, 사업주가 정부에 보고한 작업환경측정 결과 데이터베이스는 화학물질 규제 정책 연구에 사용되고 있다. 작업환경측정 결과 데이터베이스는 주로 노출기준 초과 여부나 노출 수준을 파악하는 용도로 사용하고 있다. 그러나 이러한 연구들에서 작업환경측정 결과가 맥락 정보와 함께 해석되지는 않고 있다. 국외의 연구들을 볼 때 화학물질의 노출 농도는 특정한 용도

로 사용 혹은 공정에 따라 달라진다. 즉, 관심을 가져야 할 '노출 상황'에 대해 정부가 살펴보고 화학물질관리 정책을 이행할 필요가 있다.

본 연구에서는 화학물질 노출 측정 결과를 해석할 때 필요한 맥락 정보를 문헌 고찰을 통해 확인하고자 한다. 또, 국내에서 공공기관이 사업장을 대상으로 측정한 공기 중 납 측정 결과를 공정과 활동에 따라 분류하여 공정과 활동에 따라 어떤 특징을 보이는지 살펴보고자 한다. 국내외 문헌고찰을 통해 공기 중 납 농도가 높거나 혈중 납 농도가 높은 활동을 확인하고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

Ⅱ. 연구 방법

1. 문헌 고찰

납의 특성은 REACH 법률 이행을 위한 컨소시움이 만든 REACH Metals Gateway (http://reach-metals.eu) 정보와 납 및 그 화합물의 ECHA 등록 정보(echa.europa.eu)를 활용하여 고찰을 하였다. 주로 ECHA에 등록된 납 및 그 화합물과 납 UVCB 물질의 정의 및 공정, 등록된 사용 용도를 조사하였다.

작업장 화학물질의 공기 중 노출 농도 결정인자는 주로, Tielesmans 등(2008)의 논문에서 발췌하였다. Tielesmans 등(2008)은 그 동안 작업장 화학물질의 공기 중 노출에 영향을 미치는 인자에 관한 논문을 고찰 한 후 노출 변경요인을 제안하였다.

작업환경 화학물질의 흡입 노출과 관련하여 '활동' 및 '공정'을 분류한 것은 ECETOC TRA의 PROC와 Marquart 등(2011)이 제안한 '활동군'이 대표적이다. 이 두 가지 공정 분류를 주로 고찰하였다.

작업장 납 노출에 관한 문헌은 국내 보고서, 유럽 연합의 '납 및 그 화합물의 자발적 위해도 평가(안)'을 참고하였다. 또, 미국의 작업장 납 노출에 관한 문헌을 참고하였다.

2. MEASE 모델로 납 노출 공정의 금속 농도 추정

MEASE는 금속 및 무기물질에 대한 직업적 흡입과 피부 노출을 평가하기 위해 특별히 개발된 1단계 스크리닝 도구이다. 흡입노출에 대해 ECETOC TRA 모델의 특정 PROC 접근법을 사용하며 3개의 '퓨가서티 군'에서 초기 노출 추정값을 선택한다. MEASE의 PROC 21-27a의 초기 추정값은 금속산업의 노출 자료를 기준으로 하여 개발되었다. MEASE의 피부 노출은 EASE

시스템에서 사용된 분류 체계를 따르나 노출 추정치는 몇몇 금속의 모니터링 자료에 근간을 두고 있다. 특정한 금속 물질 특성과 공정 특성이 사용 조건과 위험 관리 조치에서 고려되었고, 금속 노출 추정치가 나타난다. MEASE는 REACH 법률 이행을 위해 금속과 무기 물질의 직업적 노출 평가를 위해 보수적인 노출 추정치를 제공하는 도구이다 (Vetter 등, 2014).

MEASE에서 ECETOC TRA에 비해 추가된 위험 관리 조치는 밀폐, 전체 환기, 습식 제어, 노동자 분리이다. “조건 종류(산업용/전문가용)”은 “공정크기(산업용/전문가용)”으로 이름이 바뀌었다. PROC1과 전문가용 사용의 조합은 적용 범위 밖이다. “공정 온도”에 대한 결정은 “높여진 온도‘ 혹은 ”뜨거운 공정“(PROC 22, 23, 25, 27a)에서 사용된다. ECETOC TRA와는 달리, PROC 24의 퓨가서티는 공정 온도에 따라 다르지 않다. 고체의 경우 매우 낮은 퓨가서티 추가적인 분류가 무기 고체의 수용액에 대해 적용가능하다. 이 도구가 용해 공정이나 물질의 물리적 형태가 변화하는 경우에 적용되면 MEASE는 원료 취급에 대해 추가적인 단계를 도입할 것을 권고한다.

본 연구에서는 MEASE 모델을 이용하여 납 사용 공정에 대해 금속 노출 농도를 추정하였다.

〈표 Ⅱ-1〉 금속 및 무기물질 노출 평가를 위한 MEASE 모델의 변수 설명

	결정 인자	분류	노출 경로
물리적 특징	분자량	직선관계	흡입
	퓨가서티	4개의 밴드	흡입
	혼합물 중 함량	4개의 밴드, ECETOC과 동일	흡입 + 피부
사용 조건	공정 분류	28 PROC	흡입
	공정 크기	산업용 및 전문가용	흡입
	노출 시간	4개의 밴드, ECETOC과 동일	흡입 + 피부

	결정 인자	분류	노출 경로
	사용 패턴	넓은 분산, 비분산/매트릭스 포함, 닫힌 시스템	피부
	접촉 수준	광범위, 간헐적, 부수적, 없음	피부
	통제 패턴	직접 혹은 직접 취급 아님	피부
위험 관리 조치 (흡입)	밀폐/포위	상한 및 하한, 중위값	흡입
	포괄적인 국소 배기 장치	상한 및 하한, 중위값 + ECETOC TRA 효율	흡입
	외부의 국소 배기 장치 (발생원에 가까운 포위식 후드 그러나 밀폐는 아님)	상한 및 하한, 중위값	흡입
	내부의 국소 배기 장치 (밀폐 후드와 고정된 국소배기장치 혼합)	상한 및 하한, 중위값	흡입
	전체 환기	상한 및 하한, 중위값	흡입
	오염 물질의 습식 제어 (방출 후)	상한 및 하한, 중위값	흡입
	제어 스프레이 (방출점에서 습식)	상한 및 하한, 중위값	흡입
	포괄적인 억제	상한 및 하한, 중위값	흡입
	노동자 분리	상한 및 하한, 중위값	흡입
개인 보호구	호흡기 보호	APF 4, 5, 10, 20, 40	흡입
	장갑	예/아니오, 90% 효율	피부

3. 국내 납 노출 공정 표준화 및 노출 농도

국내 납 노출 공정을 표준화하고 공기 중 노출 농도를 조사하기 위해 안전보건공단에서 실시한 2019년 및 2020년 작업환경측정 신뢰도 평가 자료를 사용하였다. 2019년 작업환경측정 신뢰성 평가 자료 중 납 측정 사업장은 78개소이고 이중 납땜 측정 작업장 16개소와 작업환경측정 당시 납을 사용하고 있지 않았던 4개소를 제외한 58개소를 대상으로 하였다. 2020년 작업환경측정 신뢰성 평가 자료 중 납 측정 사업장은 70개소이고 이중 납땜 측정 작업장 11개소와 작업환경측정 당시 납을 사용하고 있지 않았던 6개소를 제외한 53개소를 대상으로 하였다.

작업환경측정 신뢰성 자료는 작업자 개인에 대해, MCE 여과지를 이용해 6시간이상 시료채취를 하고, ICP를 이용해 분석한다.

공정 및 활동 표준화를 위해 MEASE 모델의 금속/무기물질의 PROC 선택 가이드를 이용하였고, 이 가이드에 나와 있지 않은 공정은 ECETOC TRA PROC 분류를 따랐다.

활동을 분류하기 위해 Marquart 등(2011)의 활동분류를 개정한 Advanced REACH Tool (ART)에 대한 TNO 보고서(2013)의 활동분류를 사용하였다. 이 보고서에서 Fransman등은 기존의 Marquart 등(2011)의 활동분류에 금속과 관련한 활동을 추가하였다.

〈표 Ⅱ-2〉 금속/무기물질의 PROC 선택 가이드

<table>
<tr><td colspan="3">금속산업의 경우 일반적인 공정은 용해로, 기계적 처리(예:롤링), 금속 분말의 포장/포장풀기이다. 이러한 공정은 공정 크기에서 변주가 되나, 공통적으로 나타난다.</td></tr>
<tr><td colspan="3">화학물질, 혼합물질, 물체, 제품 취급</td></tr>
<tr><td>물리적 형태</td><td>금속/무기화합물-특정 공정</td><td>PROCs</td></tr>
<tr><td>덩어리 물체</td><td rowspan="4">광석, 농축물, 원료 금속산화물 및 스크랩 취급, 금속 제품 및 무기화합물 포장/금속 및 무기화합물 운송. 포장, 포장풀기 및 무게 재기</td><td>21</td></tr>
<tr><td>분말</td><td>26</td></tr>
<tr><td>수용액</td><td>8a, 8b, 9</td></tr>
<tr><td>액체, 가스</td><td>8a, 8b, 9</td></tr>
<tr><td>분말</td><td>혼합 및 융합</td><td>5</td></tr>
</table>

수용액 액체, 가스		
뜨거운 야금 공정		
물리적 형태	**금속/무기화합물-특정 공정**	**PROCs**
관련없음	산화물 생산을 포함한 제련, 용해로, 정제, 코크스오븐 활동과 소결	22
	용해된 고체의 모래 거푸집 주조 및 다이 캐스팅, 용해된 고체의 드로싱, 용융아연도금	23
	용접, 납땜, 가우징, 브레이징, 불꽃 절단	25
	뜨거운 야금술 공정(원자화, 건식분산)으로 금속 분말 생산	27a
습식 야금 공정		
물리적 형태	**금속/무기화합물-특정 공정**	**PROCs**
덩어리 물체 분말 수용액	금속 정제/습식 분말 생산 (전기영동, 습식분산), 야금 과정, 침출 과정	27b
덩어리 물체 분말 수용액	용액에서 금속 표면 처리: 산 연마, 양극 산화	13
물질, 혼합물, 물체, 완제품의 기계적 처리		
물리적 형태	**금속/무기화합물-특정 공정**	**PROCs**
덩어리 물체, 마찰 정도에 따라 “덩어리 물체, 고체의 저, 중, 고 분진날림 결정	수동 절단, 톱질, 절단 밀링, 펀칭, 물질/완제품의 조립 또는 분해, 폴리싱, 기계가공, 낮은 온도 조작, 기계적 절단, 저분진 발생 그라인딩	21
	형성/롤링, 연삭, 기계적 절단, 드릴링 또는 샌딩, 고온 압출에 의해 물질에 적용되는 상당한 열 에너지 또는 운동 에너지	24
분말	성형, 압착, 압축, 펠렛화	14
	볼밀 가공	26
추가 금속/무기화합물 특이적 공정		
물리적 형태	**금속/무기화합물-특정 공정**	**PROCs**
추가적인 공정이 있을 수 있고, 여기에 제시된 것은 제안의 형태임		
공정 보다 밀폐 정도에 따라 달라지는 노출 공정		
모두	노출 가능성이 없는 닫힌 공정	1
	간헐적으로 통제되는 노출이 있는 연속적 닫힌 공정	2
	닫힌 배치 공정 (합성 혹은 형성)	3
	노출이 일어날 수 있는 배치 및 다른 공정 (합성)	4

〈표 Ⅱ-3〉 MEASE 모델 위험 관리 조치 (Risk management measure, RMMs)

MEASE에서 위험 관리 조치의 효율은 Fransman 등 (2008) 연구 결과에 의한 것이다. 1단계의 노출 평가에서는 하한 신뢰 한계를 사용하길 권고한다. 산업 환경이 아닌 경우 RMM은 효과가 적어서 전문가 작업에는 25 %의 효율이 적용된다.	
NO RMM	위험 관리 조치가 없음
밀폐 (Enclosure)	방출원에 대해 물리적 덮음이나 밀폐
포괄적 LEV	국소 배기 시설이 방출원 가까이에 있고 방출원을 향해 있으나 자세한 정보가 없음. 이 RMM은 기본 TRA 효율값을 가짐
외부적 LEV	방출원을 완전히 둘러싸지 않고 근접해 설치한 포착형 후드
내부적 LEV	고정된 LEV가 있고, 방출원을 둘러쌈
전체 환기	자연 및 기계 환기이나 방출원 주위에 국소화 되어 있지 않음. 희석이나 대치 환기 목적임
본질적인 억제 기술	아래에 명시한 억제 기술이 아닌 경우. 억제는 방출을 억제하기 위해 활동이나 공정에 첨가제를 넣는 기술
습식 억제	방출이 일어난 후에 오염물질의 억제
제어 스프레이	입자를 응집시키기 위해 방출 시점에 공정을 습식으로 만드는 습식 시스템 (습식 그라인, 습식 드리링)
작업자 분리	작업자에서 작업 환경 내에 개인적인 밀폐 공간을 제공

Ⅲ. 연구 결과

Ⅲ. 연구 결과

1. 납의 특성

1) 납의 종류 및 용도

납 및 그 화합물은 금속 납, 납 및 그 화합물, UVCB 형태의 납으로 구분할 수 있으며 특성 및 용도는 다음과 같다.

금속 납(Cas No. 7439-92-1)은 납이 포함된 밧데리 생산, 납 판 생산, 용융 아연도금강 생산, 다양한 납 제품(주조, 압연 및 압출 제품, 탄약, 납 총알) 생산, 납이 들어간 강철 생산, 납 분말 생산, 납 산화물 제조, 안정제 생산, 밀폐 공정에서 열 전달 용액으로 용해된 납 사용, 실험실 용도로 사용, 납이 들어간 구리 합금 생산에 사용하고, 전문가용으로는 납땜에서 사용한다. 일반적인 금속 납의 경우 납 함유량은 80.0 ~ 99.99 % 이며, 안티몬, 주석, 구리, 알루미늄, 아연, 철 등이 불순물로 존재한다.

납(Pb)의 원자 질량은 207.2이고, 끓는점은 1740 ℃이고, 녹는점은 327.5 ℃이고 밀도는 11.34 g/㎤ 이고, 물에 불용성이다.

납 화합물 중 산화납은 유리, 세라믹, 프리트 및 폭발물의 생산, 제련 응용, 납 기반 배터리 생산, 흡착제에서 중간체로 사용된다. 또, 실험실 시약과 같은 전문적인 용도로도 사용된다. REACH 법률에 따라 등록된 납 화합물은 다음과 같다.

- Dioxobi(stearato)trilead (Cas No 12578-12-0) : PVC 가공에 사용
- Fatty acids c16-18 lead salts(Cas No 91031-62-8) : PVC 가공에 사용
- Lead dichloride (Cas No 7758-95-4)
- Lead monoxide (Cas No 1317-36-8) : 납(산) 밧데리 생산에 사용, 폭발물

제조에 사용, 흡착제 하위사용자, 세라믹웨어 생산에 사용, 촉매로 사용, 세라믹 유리 생산에 사용, 안정제 생산에 사용, 중간제로 사용, 실험실에서 사용

- Lead oxide sulphate (Cas No 12036-76-9) : 코팅제, 페인트 생산에 사용, 폴리머 생산에 사용)
- Orange lead(lead tetroxide)(Cas No 1314-41-6) : 크리스탈 유리 생산에 사용, 세라믹 웨어 생산에 사용, 납(산) 밧데리 생산에 사용, 안정제 생산에 사용, 납 흡착제로 사용, 안정제 생산에 사용)
- Pentalead tetraoxide sulfate (Cas No 12065-90-6) ; PVC 가공에 사용 납 밧데리 생산에 사용, 안정제 생산에 사용
- [Phtalato(2-)]dioxotrilead (Cas No 69011-06-9) ; PVC 가공에 사용
- Sulfurous acid lead salt dibasic (Cas No 62229-08-7) : PVC 가공에 사용, 코팅제, 잉크에 사용)
- Tetralead trioxide sulphate (Cas No 12202-14-4) : 코팅제, 잉크로 사용, 납 밧데리 생산에 사용, 안정제 생산에 사용, 반응제로 사용
- Trilead dioxide phosphonate (Cas No 1214-20-7) ; 코팅제로 사용, 고무 제품 생산에 사용, PVC 가공에 사용

광재 및 찌꺼기(무기 UVCB)와 같은 15개의 복잡한 물질은 납을 생산하고 변형할 때 부산물로 생산된다. REACH 법률에 따라 등록된 무기 UVCB는 다음과 같다.

- 납 정제 연통 분진 (EC 273-809-1)은 납을 포함한 물질의 정제 및 제련의 부산물로 생성된다. 납 정제 연통 분진에는 납, 구리, 아연, 주석, 카드뮴, 안티몬이 합금 형태나 산화물, 황화물, 황산염과 같은 화합물 형태로 존재한다.
- 납 합금, 베이스, 주석, 찌꺼기 (Cas No: 6901-60-5, EN 273-701-4)는 납-주석 기반의 합금 생산과정 중 용해된 금속 표면에서 생성된다. 납 합금, 베이스, 주석, 찌꺼기는 납, 주석, 나트륨, 구리 등이 합금 형태나 산화물과 규산염과 같은 화합물 형태로 존재한다. 납-주석 합금을 만들기 위해 사용

하는 스크랩을 포함하여 납을 포함한 물질의 재활용이나 1차 물질이 발생원이다. 이 물질은 납-주석 합금 생산 동안에 높여진 온도 및 땜납 욕조(200-300 ℃)나 땜납 철사에서 이러한 합금을 사용하는 동안에 용해된 금속 표면에서 산화로 만들어진다.

- 납 안티몬 찌꺼기 (Cas 69029-51-2, EN 273-795-7)는 안티몬 납의 표면에서 형성된 거품이며, 주로 납 산화물 및 가성 소다와 함께 비산나트륨과 안티몬 나트륨으로 구성되어 있다. 안티몬, 주석, 혹은 비소를 제거하기 위해 용해된 연괴에 수산화나트륨을 첨가할 때 생산된다. 용해된 원재료는 케틀에서 휘저어져서 오랫동안 산화상태의 400 ℃와 600 ℃ 사이에서 식혀진다. 질산나트륨과 수산화나트륨의 용해된 혼합물에 용해된 연괴를 첨가하면 일단 산화가 일어나고 비산나트륨 및 안티몬 나트륨 등이 침전된다. 이 과정은 해리스 공정이라고 하면 납을 연화시킨다는 의미이다.
- 연괴 (Cas No : 97808-88-3, EC 308-011-5)는 납의 1차 생산 동안에 생성된 혼합 금속 물질이다. 그러나 납을 포함한 물질의 2차 제련에서도 생성될 수 있다. 이 물질은 납을 고농도로 포함하고 있으며 다른 금속이 물질의 근원에 따라 여러 농도로 존재할 수 있다. 연괴를 제조한 후에 금속 정제가 필요하다. 용해된 연괴는 고체, 인곳 형태로 주조되거나 용해된 상태에서 바로 정제될 수 있다. 연괴에는 안티몬, 구리, 주석이 포함되어 있고, 낮은 농도로 비소 등이 포함되어 있다.
- 납 찌꺼기 (Cas No. 69029-52-3, EC 273-796-2)은 정제 과정에서 용해된 납 상층에 형성된 고체 덩어리이다. 납 찌꺼기에는 납, 구리, 아연, 안티몬이 합금 형태나 산화물, 황화물, 황산염과 같은 화합물 형태로 존재한다. 납 찌꺼기는 납 스크랩을 포함한 중간물과 연괴에서 만들어진다. 용해된 원재료는 케틀에서 휘저어지고 연속적으로 450 ℃, 350 ℃까지 식혀진다. 용해된 납에서 낮은 용해도를 가지는 구성성분들은 상층에서 침전된다.
- 안티몬이 풍부한 납 찌꺼기 (Cas No 69029-45-4, EC 273-791-5)는 1차와 2차 연괴의 건식 야금 동안에 안티몬, 주석, 비소를 제거할 때 공기와

산소로 산화를 시키면 생성된다. 안티몬이 풍부한 납 찌꺼기에는 산화물 형태나 합금 형태로 납, 안티몬 등의 금속이 들어 있다.

- 비스무트가 풍부한 납 찌꺼기 (Cas No 69029-46-5, EC 273-792-0)는 비스무트를 제거하기 위해 칼슘과 마그네슘이 용해된 연괴에 첨가되면 형성된다. 비스무트가 풍부한 납 찌꺼기에는 납, 아연, 은, 비스무트 등이 합금이나 산화물 형태의 혼합물로 존재한다. 원재료인 연괴는 파크스 공정을 거쳐 은을 없애고 진공 증류를 통해 아연을 없앤다. 비스무트가 풍부한 납 찌꺼기는 녹는점이 더 높아야 형성된다. 공정 온도는 300-500 ℃ 이다. 걷어낸 찌꺼기를 염화납, 염소 가스 등을 이용해 산화시킨다. 칼슘 및 마그네슘 산화물이 찌꺼기를 걷어내면 제거된다.
- 구리가 풍부한 납 찌꺼기 (Cas No 69227-11-8, EC 273-925-2)는 1차와 2차 연괴의 건식 야금 동안에 구리를 제거할 때 생성된다. 구리가 풍분한 납 찌꺼기에는 구리, 납 등이 합금이나 산화물 형태의 혼합물로 존재한다. 연괴의 건식 야금 정제 동안에 구리가 처음 제거되는 원소이다. 용해된 원료가 케틀에서 휘저어지면 온도는 330-450 ℃로 식혀진다.
- 납 마트(Matte) (Cas No 84195-51-7, EC 282-356-9)는 황이 많은 납 함유 물질의 1차와 2차 제련 동안의 용해된 금속 황화물 단계에서 최초로 형성되는 고체이다. 납 이외에 구리, 아연, 철, 니켈, 은, 금. 안티몬, 비소, 카드뮴 등이 포함되어 있다.
- 납 반사로 제련 슬래그 (Cas No 69029-58-9, EC 273-800-2)는 납 광석, 납 스크랩, 납 제련 찌꺼기 부산물이다. 슬래그에서는 베이스 금속 뿐 아니라 납도 고농도로 포함되어 있다. 납 제련 슬래그는 납을 포함한 물질이 발생원이고 산화상태에서 용광로나 반사로에서 만들어진다.
- 납 제련 슬래그 (Cas No 69029-84-1, EC 273-825-9)는 납 제련 동안에 녹는점이 높은 불순물을 제거할 때 생성되는 철규산염 슬래그이다. 납 제련 슬래그는 환원 상태에서 만들어진다.

- 안티몬과 납이 풍부한 슬라임과 슬러지 형태의 납 스크랩 (Cas No 102110-60-1, EC 310-061-8)은 재활용 납(산) 밧데리에서 회수된 납이 포함된 물질로부터 황산염이 대부분인 수용성 알칼리 침출로 만든다.
- 납 비피 (Cas No 84195-61-9, EC 282-366-3)는 재활용물질에서 얻어지는 납 및 그 합금 제련에서 나오는 물질이다. 주로 비소, 납, 철을 가지고 있다.
- 납 밧데리 재가공 폐기물 (Cas No 94551-99-2, EC 305-445-7)는 사용된 납(산) 밧데리에서 납을 회수할 때 만들어진다.
- 아연, 은이 제거된 스킴 (Cas No 69029-60-3, EC 273-802-3)은 고체 아연을 은 및 금이 많은 용해된 연괴에 첨가할 때 만들어진다. 아연, 은이 제거된 스킴에는 금속 형태의 납 및 은-아연 합금이 많다.

2) 납의 건강 영향

납의 공기 중 ACGIH TLV 및 국내 노출 기준은 0.05 ㎎/㎥ 이다. 이 값은 혈액장애, 신경전도 속도 감소, 말초 신경병증, 신장 기능 이상, 정자 형성, 임신 기간 중 납에 노출된 어린의 지적 발달 손상을 감소시키기 위해 제안된 납 및 그 무기화합물의 직업적 노출기준이다.

유럽연합 법적 기준은 0.15 ㎎/㎥이나 혈중 납 농도 40 ㎍/㎗와 공기 중 농도 0.075 ㎎/㎥ (TWA)에서 감시를 하라고 한다.

이후에, ECHA의 납 및 그 화합물에 대한 과학적 보고서(2019)에서 혈 중 납 농도에 대해 150 ㎍ Pb/ℓ을 기준으로 제안했다. 150 ㎍ Pb/ℓ을 달성하기 위해 직업적 노출기준 (TWA로) 30 ㎍/㎥로 설정할 것을 제안했다.

2. 작업장 화학물질의 공기 중 노출 농도 결정인자

Marquart 등(2011)은 '화학물질 노출모델에서 노출 결정인자를 포함하려고 했으나, 여전히 개인 노출 수준과 노출 결정인자의 정량적인 관계를 정하는 것은 어려운 일이다'고 하였다. 흡입노출 과정을 이해하기 위한 접근 방법 중 하나로 발생원-수용체(Source-receptor) 모델을 사용하고, 결정적인 노출 변경 요인을 설명하려고 하였다. Schneider 등이 상호 독립적인 원칙에 근거한 노출 요인 사용을 제안하였고, Cherrie와 동료들은 이 접근을 발전시켜 기계적(Mechanistic) 모델을 개발하였다. 기계적인 모델에 근거하여 Stoffenmanager가 개발되었고, 또 Schneider 등은 피부 노출에 대해 개념적인 접근을 할 때 기계적 모델을 사용하였다. Tielemans 등(2008)은 발생원-수용체(Source-receptor) 모델을 좀 더 알기 쉽게 설명하였다. 발생원-수용체 모델을 이해하고, 변경 요인을 이해하면, 작업장 화학물질의 공기 중 노출 농도 결정인자를 이해할 수 있다. 다음은 Tielemans 등(2008)의 논문에서 공기 중 노출 농도 결정인자를 이해하기 위해 필요한 지식을 발췌하였다.

1. 발생원- 수용체 모델

발생원-수용체(Source-receptor) 모델은 발생원, 발생원에서 수용체로 오염물질이 이동하는 부분, 수용체로 구성되어 있다. 이 모델에서 오염물질이 이동하는 기전, 원래 물질에서 가스나 증기 분자, 고체가 분리가 일어나는 현상, 오염물질의 이동, 오염물질이 가라앉는 현상(국소 배기, 청소), 수용체가 흡수하는 4가지을 포함하고 있다. 이 들을 변경요인(Modifying- factors)이라 하고 정량화하여 설명하고 있다.

1) 발생원

발생원 부분은 유해물질이 공기 중으로 방출되는 동안의 활동을 말한다. 발생원은 정지되어 있거나 이동성일 수 있다. 발생원의 세기는 활동의 특징과 생산품의 모양에 따라 달라진다. 활동과 관련하여 모재에 속박된 에너지 이동이 물질이 모재에서 떨어져 공기 중으로 부유하게 한다. 일단 분자나 입자가 모재에서 분리되면, 유도된 공기 이동이 발생원에서 유리된 물질을 이동시킨다. 이론적으로 발생원은 확산하여 국소화되기 어려울 수 있다

(예를 들어 기계에서 누출이 일어나서 방출되는 경우). 물질을 쏟거나 표면의 오염은 표면 부분에 포함된다.

2) 부분 (Compartment)

국소 통제 영향 지역

발생원 주위로 가상의 경계가 제안된다. 이 경계는 '국소 통제 영향 지역(Local control influence region)'이라 한계를 정하고 주어진 국소 통제 시스템의 영향을 받는 지역을 대표한다. LCIR 경계는 물질을 가지고 있는 물리적 장벽(예를 들어 스크린, 공기 중 제어 스프레이) 및 국소 배기 시스템의 영향 범위에 의해 결정된다.

근접계 및 원거리장

근접계 부분은 작업장 머리 방향으로 1 m 이내의 공기부피로 개념화된다. 원거리장은 실내의 나머지 부분이다. NF-FF 개념은 박스 안의 박스로 생각할 수 있다.

농도는 발생원으로부터 거리가 멀어질수록 감소한다. 혼합은 방향성없이 일어나서, 작업공간에서 공기 흐름은 공기의 난류 흐름에서 일어난다. 현재의 개념에서 농도 차이는 두 개의 부분으로 덩어리지어 생각한다. 이 과정이 잘 이해되지는 않으나 Cherrie의 이론적인 작업에서 실내의 크기 및 전체 환기의 효과에 대해 일반적인 가정이 만들어졌다. 작업자가 발생원에 아주 근접해서 일하는 노출평가에서 완전한 혼합 가정에서 오류가 발생할 수 있다.

발생원 밀폐 및 개인 밀폐 : 밀폐로 추가적인 부분이 정의된다.

표면

표면(작업대, 벽, 개인 의류)이 일반적인 침착으로 인해 화학물질로 오염될 수 있다. 침착은 오염물질의 영구적인 손실이다. 침착은 이동 장비, 작업자 이동에 의해 재부유하거나 증발하여 NF나 FF로 이동될 수 있다. 표면으로부터 오염물질의 이동 속도는 예측하기 어렵고 청소 절차 등과 같은 요인에 달려있다.

수용체

LCIR을 떠나는 화살표는 국소 통제 조치에 의해 제거되는 오염물질의 양 손실을 가르킨다. 발생원으로부터 방출된 오염물질의 속도는 분당 질량으로 표현된다. 방출된 오염물질의 일부분이 LCIR을 떠나고 이동속도는 순수한 발생원 산출속도이다.

난류와 큰 회오리는 공기 중 오염물질을 직접 NF나 FF로 이동시킨다. 발생원 밀폐나 개인 밀폐가 존재하면 발생원은 FF에서 정의된다.

2. 근본적인 노출 결정인자

9개의 변경 요인이 모델 부분과 관련하여 제시된다. 발생원 부분에서 2개이고, 나머지는 각각 1개씩이다. 발생원 부분은 잠재적 활동 방출(H) 및 잠재적 물질 방출(E)이다. 잠재적 활동 방출은 전이된 에너지 정류와 양, 그리고, 크기(사용된 생산품 양) 및 제품 및 공기 인터페이스 (예를 들어 오염물질 수준)에 의해 결정된다. 잠재적 물질 방출은 물질의 본질적인 방출 가능성 (입자의 경우 분진날림, 액체의 경우 휘발성)이다.

1) 잠재적 활동방출 변경 요인(MF)

전이되는 에너지 종류 및 양, 크기, 제품 및 공기 인터페이스, 3개의 결정인자 군으로 특징지을 수 있다. 전이 에너지 형태는 매우 다양하고 5개 종류로 나뉘어진다.

A. 전이 에너지 종류

- 원동력 : 제품이나 오염물질이 묻은 물체의 이동과 관련된 방출. 묶인 물질 간 마찰에 의한 운동은 제외한다.
- 중력과 충돌 힘 : 주로 낙하 동안 관련된 힘과 표면의 최종 충돌에 의해 일어남
- 마찰 : 묶인 물질 간 마찰와 마찰에 의해 유도된 충돌이 일어나는 활동 동안 일어나는 방출
- 압력 저하와 분산력 : 주로 압력이 가해진 발생원이나 고의 혹은 비의도적으로 공기 중으로 분산되는 기술에 의해 일어난 방출
- 열 : 제품의 온도 혹은 제품을 둘러싼 열에 의한 방출 (주로 증기)

B. 활동의 크기

크기에 대한 영향은 활동의 종류와 물질에 따라 달라진다. 예를 들어 크기는 제품의 가공속도(㎏, ℓ/hr)로 표현된다. 혹은 표면 오염물질은 다른 활동에 의해 결정된다. 전이 에너지 수준은 개인의 행동이나 숙련도에 영향을 받는다.

C. 제품 대 공기 인터페이스

물질이 인접한 공기와 상호하는 정도에 관련된 활동을 기술한다. 제품을 의도적으로 공기를 통해 이동시키거나 표면을 가로질러 위치를 재배치하면 상호작용이 표면적, 표면 특성, 기술 및 전이 특성에 영향을 받는다.

2) 잠재적 물질 방출 변경요인

A. 입자상 물질 : 분진날림

- 입자 크기 (분포)
- 응집/응결/부서짐 정도
- 제품의 수분
- 결합한 물질의 표면 변화 등

B. 액체 : 휘발도
- 부분 증기 압력, 공기 확산 계수

3) 국소 제어

A. 국소 배기 장치
- 배기 시스템의 종류 (국소 배기 시스템 종류, 제어 속도, 발생원과 후드의 거리)
- LEV 향상 요인 (캡슐에 넣음, 공기 공급 등)
- 사용의 결정적인 조건 (좋은/나쁜 작업 방식)
- 시스템의 유지

B. 억제 기술
- 공기 중 제어 스프레이 종류
- 습식에 대한 완전성 (사용된 물 속도 양, 노즐 각도)
- 향상 기술 (미세한 원자화, 정전기 전하, 폼, 계면활성제, 안개

C. 화학적 안정화
- 화학적인 기술 종류(억제제의 휘발성)
- 결정적인 조건 (사용한 양)

D. 물리적 안정화
- 물리적 기술의 종류 (오일, 톱질 분진)
- 결정적인 조건 (사용한 양)

4) 분리 (segregation)
- 분리의 종류 (커튼, 스크린, 별도 공간, 호일이나 타플린으로 덮음)
- 분리 정도 (부분/전체, 배출 환기가 있는 공간/없는 공간)

5) 희석
A. 실내
- 환기 종류 및 디자인 (자연, 기계, 특별한 환기(부스, 워크 인 캐비넷))
- 환기 공기 송도 및 실내 공간 크기 (공기 교환 횟수)
- 조건 (공기가 작업자 가까이/멀리, 이동 활동, 발생원과 작업자 간의 방해물)
- 환기 시스템 작동/관리

B. 실외
- 기상 조건 (바람 속도, 바람 방향, 대기 안정도)

6) 분리 (seperation)
- 분리의 종류 (닫힌 공간/캐빈, 오픈 부스/캐빈)
- 분리 정도 (부분/전체, 캐빈에 대한 공기 공급 유무)

7) 개인 행동
- 작업자-발생원 방향 (머리 위 작업, 발생원에 대한 작업자 자세, 일할 때 방향)
- 작업자-발생원 거리 (수동/자동, 가까이서 하는 정밀 작업, 도구 손잡이 길이)

8) 표면 오염
- 표면의 위치 (의류, 작업 표면 가까이)
- 오염물질 수준 (습식/분진이 많은 의류 및 표면)
- 방해 (바짝 마름, 대류, 진동, 운송 수단)

9) 호흡 보호구
- 호흡보호구 종류
- 결정적인 사용 조건 (밀착 정도)
- 관리

공기 중 흄은 작업 동안 성상이 바뀌는 과정이므로 기존의 노출결정인자와 다른 노출결정인자를 가진다. Sailabht 등(2018)은 용접흄 발생에 영향을 주는 노출 결정인자로 전류 및 전압, 전극 종류, 쉴딩 가스를 보고하고 기존 ART 모델을 변형하여 weldART 모델을 제안하였다.

유럽 연합에서는 작업자 노출 시나리오를 작성할 때 조사해야 할 항목에 대해 Specific Workers Exposure Determinants라고 명명하고 그 내용을 제안하고 있다.

〈표 Ⅲ-1〉 유럽연합에서 제안한 SWED

1	작업 확인	
1.1	작업공정명	해당 작업을 지칭하는 공정명 작성
1.2	공정이나 작업에 대한 설명	사용 도구. 공정에 설치된 장비 및 작업 방법 상세히 작성
1.3	공기 중 발생 형태	분진, 미스트, 흄, 증기, 가스 중에서 선택
1.4	사용 중인 화학물질 용도	화학물질 원재료, 세척제 등 고시에 따른 용도로 표기
1.5	관련된 공정이나 작업 범주 선택	공정이나 작업을 표준화하고, 노출 모델을 사용하기 위해 첨부 목록 확인 후 작성
1.5.1	관련된 PROC	첨부 한글자료에서 확인
2	공정 조건	
2.1	혼합물 중 평가 대상 물질	대상 물질명 및 CAS No
2.1.1	혼합물 중 평가 대상 물질 함량	0-100% 중 숫자로 표시
2.2	화학물질의 물리적 형태	고체, 액체, 가스 중 선택
2.2.1	화학물질의 물리적 형태에 대한 상세 정보	고체 (분말, 펠렛, 괴 확인), 액체(고체가 용해된 부유액, 페이스트, 슬러리), 기체 (액체화된 기체, 기체), 용해된 금속
2.3	해당 공정 작업시간	시간 (0-24시간 중) 혹은 분 (0-60분 중)
2.3.1	해당 공정 작업시간에 대한 상세정보	연속 혹은 간헐적 작업 표시
2.4	안전보건관리 체계	효과적인 유지 보수 및 청소 여부
2.5	실내 전체 환기 유무 (기본은 3ACH)	창문 개폐 및 기계적 전체 환기 유무
2.5.1	실내 전체 환기에 대한 상세 정보	전체 환기 형태 및 전체 환기 ACH 숫자로 표시
2.6	국소배기 시설 유무	국소배기 시설 유무
2.6.1	국소배기 시설에 대한 상세 정보	Yes 인 경우 후드 형태와 국소배기 효율 명시(제어풍속 명시)
2.7	호흡보호구 사용 유무	호흡보호구 사용 유무
2.7.1	호흡보호구 사용에 대한 상세 정보	Yes 인 경우 호흡보호구 종류 및 착용상태
2.8	장갑이나 기타 피부 보호구 사용 유무	피부 노출에 대한 보호구 사용 유무

2.8.1	피부 보호에 대한 상세 정보	Yes 인 경우 보호구 종류
2.9	눈/얼굴 보호 장비 사용	고글이나 보안면 사용 우뮤
2.9.1	눈/얼굴 보호 장비 상세 정보	Yes 인 경우 보호구 종류
2.10	사용 장소	실내/실외 표시
2.10.1	사용 장소에 대한 상세 정보	실내인 경우 체적 30, 100, 1000 ㎥ 범주에서 선택
2.11	공정 온도	℃ 숫자로 표시
3	추가 정보	
3.1	발생원의 밀폐 유무	밀폐 유무
3.1.1	발생원의 밀폐 정도	느슨한 뚜껑이 있거나 작업 중에는 안 여는 경우 낮은 수준(90%), 서로 밀착되어 연결된 경우 중간 수준 (99%), 밀폐된 것이 절대 열리지 않는 경우 (99.9%)
3.2	고체 억제 기술	고체에 대해 억제기술 사용 유무
3.2.1	고체 억제 기술에 대한 상세 정보	방출 시 습윤 상태로 사용, 물 커튼을 이용하는 사례 등
3.3	작업자 포위(Enclosure)	작업자 포위 여부
3.3.1	작업자 포위에 대한 상세 정보	환기시스템 여부와 개방 정도
3.4	작업자와 발생원 간의 거리 가까움	작업자와 발생원 간의 거리가 1m 이내인 경우
3.4.1	작업자와 발생원 간의 거리에 대한 상세 정보	
3.5	증기회수 장치 유무	
3.6	글러브 백/박스 유무	
3.6.1	글러브 백/박스에 대한 상세 정보	환기나 음압 여부 등
3.7	하방 측류 부스 사용 유무	
3.7.1	하방 측류 부스에 대한 상세 정보	
3.8	발생원 분리	밀폐를 하지 않았지만, 발생원이 분리된 경우
3.8.1	발생원 분리에 대한 상세 정보	분리 정도와 환기 여부
3.9	발생원과 건물 사이의 거리	외부인 경우 발생원이 건물과 가까운가?
3.9.1	발생원과 건물 사이의 거리에 대한 상세 정보	
4	작업에 대한 상세 정보(해당 작업 시에만 표시)	
4.1	목재를 파쇄하거나 연마하는 경우	목재를 더 작은 조각으로 깨거나 마찰력 때문에 연마되는 활동

4.1.1	취급 형태	스크루(나사) 설치, 수동 톱, 체인톱, 밀링 등 작업에 대한 정보
4.1.2	공정의 밀폐 정도	개방형인지 밀폐형인지에 대한 정보
4.2	돌을 파쇄하거나 연마하는 경우	돌을 더 작은 조각으로 깨거나 마찰력 때문에 연마되는 활동
4.2.1	취급 형태	기계적 파쇄, 수동연마, 착암기 사용, 휴대용 그라인더 사용 등 작업에 대한 정보
4.2.2	공정의 밀폐 정도	개방형인지 밀폐형인지에 대한 정보
4.3	고체 연마가공하는 경우 (분사 연마)	고속으로 표면을 향해 연마 물질을 나아가게 해서 코팅이나 오염물질을 제거하는 표면 처리 기술
4.3.1	처리하는 표면	표면적에 대한 정보
4.3.2	연마 형태	건식 혹은 습식 여부
4.3.3	연마 방향	연마방향이 사방인지, 수평 혹은 하방 한 방향인지
4.4	오염된 고체에 충돌하는 경우	가루나 입자로 오염된 물체에 도구로 충돌하거나 세게 쳐서 입자가 재부유하게 하는 활동
4.4.1	충돌한 물체의 오염 수준	먼지가 어느 정도인지에 대한 정보 (예: 많은 양(0.5kg 이상)의 분진으로 덮인 물체, 주위의 분진 발생작업에 의해 표면이 분진으로 덮인 물체, 눈에 보일 정도의 얇게 덮인 먼지층, 세척기계를 거쳐 오염이 적은 물체 등)
4.4.2	고체에 대한 충돌의 힘	보통 수준 (수동) 혹은 기계적 충돌
4.5	오염된 고체 혹은 페이스트 취급	가루나 입자로 오염된 표면, 물체, 페이스트 취급이나 이동. 노출은 표면, 물체, 페이스트에 오염된 것으로 추정
4.5.1	취급하는 고체에 대한 오염물의 정도	오염물이 상당히 두꺼운지, 눈에 보이는 정도인지(예: 많은 양(0.5kg 이상)의 분진으로 덮인 물체, 주위의 분진 발생작업에 의해 표면이 분진으로 덮인 물체, 얇게 덮인 먼지층, 세척기계를 거쳐 오염이 적은 물체 등)
4.5.2	오염물 취급이 늘 있는 일인지, 물리적 에너지를 사용하는 지 여부	

4.6	입자를 스프레이 도포	압력 차이를 이용해서 표면에 가루를 의도적으로 분산시키는 스프레이 활동
4.6.1	스프레이 형태	분체 도장인지, 송풍기 사용하여 분진을 만드는지
4.6.2	스프레이 방향	사방으로 스프레이, 혹은 수평 혹은 하방만인지
4.7	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질의 이동/교반	가루를 이동하여 휘저어서 분진이 공기 중에 비산하게 하는 활동
4.7.1	제품의 양	10g 이상에서 1000kg 까지 중 얼만큼인지
4.7.2	휘젓는 정도	압축공기 사용, 압축 공기는 사용하지 않지만 높은 수준, 수작업 등 낮은 수준
4.7.3	작업과 관련하여 공정의 밀폐 정도	개방형인지 아님 구멍이 있더라도 밀폐되어 있는지
4.8	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질의 이송	분진을 보관소에서 다른 보관소로 흐르게 하면서 이동시키는 활동. 제품은 높은 곳에서 낮은 곳으로 중력 때문에 떨어지거나 수평적으로 이동하거나 호스나 튜브의 압력을 통해 이송될 수 있음
4.8.1	분말 이송 속도	kg/min, g/min
4.8.2	낙하 분말 취급시 주의 정도	진공 이송인 경우 개방 정도
4.8.3	분말 이송에 대한 낙하 높이	0.5m 미만 혹은 이상
4.8.4	분말 이송 공정에 대한 밀폐 정도	개방형인지 밀폐가 되어 있는지 정보
4.9	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질의 압축	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질이 압착(compacttion or crushing)되어 눌리는 활동
4.9.1	압축 속도	kg/min, g/min
4.9.2	분말 압축하는 공정에 대한 밀폐 정도	개방형인지 밀폐가 되어 있는지 정보
4.10	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질의 파쇄	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질이 마찰력 때문에 작은 부분으로 부서지는 활동
4.10.1	파쇄 속도	kg/min, g/min
4.10.2	공정에 대한 밀폐 정도	개방형인지 밀폐가 되어 있는지 정보
4.11	액체를 표면에 스프레이함	액체를 표면에 분사시키기 위해 원자화 시키는 활동. 스프레이 기술은 농약, 바이오사이드, 페인트 분산을 위해 사용될 수 있음

4.11.1	표면에 액체 스프레이 할 때 속도	L/min
4.12.1	표면에 액체 스프레이 할 때 방향	사방으로 스프레이, 혹은 수평 혹은 하방만인지
4.12.3	표면에 액체 스프레이 할 때 기술	압축 공기 속도
4.12	액체를 공기 중으로 스프레이함	액체를 공기 중에 분사시키기 위해 원자화시키는 활동. 스프레이 기술은 농약, 바이오사이드, 페인트 분산을 위해 사용될 수 있음
4.12.1	액체를 공기 중으로 스프레이 할 때 적용 크기	넓은 면적 혹은 좁은 면적
4.13	개방된 액체 표면과 개방된 저장조와 관련된 활동	액체를 통이나 다른 저장소에서 취급. 액체는 상대적으로 휘저어 지지 않거나(수동 저기, 통에 담그기) 섞이지(가스 버블링, 베슬에서 기계적 혼합) 않을 수 있음
4.13.1	개방된 표면적	숫자로 표시
4.14	액체로 오염(처리)된 물체(고체)를 취급	액체로 오염되거나 처리된 물체를 취급
4.14.1	오염되거나 처리해야 하는 표면적	숫자로 표시
4.14.2	액체로 오염된 물체의 밀폐 정도	90% 이상, 혹은 10% 미만인지
4.15	액체를 펼침(스프레딩 작업)	액체를 표면에 펼치는 활동
4.15.2	액체를 표면에 펼칠 때 속도(면적/시간)	
4.16	액체를 고속 공정에서 사용	회전하는 도구로 액체를 첨가하는 고에너지 활동(예: 금속가공유)
4.16.1	고속 공정과 관련된 활동의 큰 규모인가?	
4.16.2	고속 공정에서 밀폐 정도	개방형인가? 밀폐형인가?
4.17	액체를 이동시키는 활동 (하역)	액체 흐름을 저장소에서 다른 것으로 옮기는 활동
4.17.1	액체를 이동시키는 속도	분당 속도
4.18	액체를 이동시키는 활동 (낙하)	액체 흐름을 저장소에서 다른 것으로 옮기는 활동. 높은 곳에서 낮은 곳으로 떨어지거나 미끄러짐
4.18.1	액체 이송 속도	분당 속도

4.18.2	공정의 밀폐 정도	개방형인가? 밀폐형인가?
4.18.3	적용 종류	후두둑낙하(splash loading)인가? 수중에서 낙하(Submerged loading)인가?
5	측정자료에 대한 정보	
5.1	측정 유해인자	
5.1.1	측정 시간 (분)	
5.1.2	유량	
5.1.3	측정방법	
5.1.4	TWA 농도	
5.1.5	STEL 농도	

3. ‘활동’ 혹은 ‘공정’ 분류에 대한 문헌 고찰

Gomez는 노출 결정인자에 대한 정보가 없는 노출 측정값은 의미가 없다고 평가하였다(1994). 특히, 노출 결정인자가 효과적으로 역할을 하기 위해서는 코드화되어야 한다고 주장하면서 업종과 작업을 코드화하는 방법을 제안하였다. 표준산업분류는 대개 4자리(처음 두 자리는 넓은 산업분류 3번째 자리는 주요 산업군, 네 번째 자리는 특정 산업을 가리킴)로 이루어져 있는데, 노출 해석에 의미를 가지고 사용되기 위해서는 7개자리의 표준산업분류가 필요하다고 제안하였다. 노출 결정인자로서는 직업이 중요한데, 현재는 직업 정도가 코드화 되고 있다고 평가하였다

Rajan 등(1997)에 의하면, ‘공정’은 직업노출 측정의 핵심 정보 요소이다. 노출 데이터베이스는 일반적으로 활동, 공정 등을 산업 코드 및 직업 코드를 통해 분류하는데, 이러한 코드는 ‘활동 방출의 결정인자와 직접적으로 관련이 없다’고 평가하였다.

HSE(2008)는 노출 창출 기전으로 12개의 ‘공정’을 기술하였다. ‘발생원’은 완전히 서로 배타적이지는 않다. HSE는 방출을 나타내는 물리적 공정을 충분히 묘사하지는 못했다. 예를 들어, 뜨거운(및 찬) 공정’을 ‘뜨거운 발생원-흄이 발생, 팽창, 차가워져 대기와 혼합된다. 찬 발생원- 오염물질은 가라 앉는다’고 하였다.

HSE(2008)는 ‘공정’을 공기 중 오염물질이 발생하는 방법이라고 정의하였다. 발생원은 공정에서 오염물질이 발생하는 곳이다. 공정을 이해한다는 것은 발생원의 근원을 이해한다는 것을 의미한다. 일반적인 공정 12개- ‘도구와 부품 회전’, ‘뜨거운(및 차가운) 공정’, ‘고체, 액체 및 분말 자유 낙하’, ‘이동(Displacement)’, ‘스프레이 및 발파’, ‘고체를 파열시킴’, ‘충돌 및 진동’, ‘꽉 채움’, ‘손으로 다루기’, ‘기계 가공’, ‘마모’, ‘쓸어내기’-를 기술하였다.

ECHA가 개발한 PROC은 일반적인 직업 노출을 반영한다. PROC은 REACH에서 물질의 사용을 표준화하기 위해 개발한 사용자 기술 시스템의 일부이다, 즉 공급망 내에서 화학물질 사용에 대한 의사소통을 돕기 위해 만들어졌다. PROC 분류는 공정에 적용된 에너지 형태와 양, 물질의 표면 및 오염물질의 수준과 기대되는 공학적 대책의 원칙에 따라 나눠진다. 현재까지 28개의 PROC이 개발되어 있다.

잠재적 활동 방출은 에너지 전이 종류, 사용량과 제품과 공기의 인터페이스에 따라 여러 종류가 있다. '활동'은 공정 단계를 다른 것과 차별화시키는 취급 특성을 갖는 특정한 공정 단계라고 정의한다. 도료 생산 공정을 단순화하여 예를 든다면, 액체를 혼합기 안으로 펌프질 하는 활동(1), 고체를 첨가하는 활동(2), 믹서에서 혼합하는 활동(3), 최종적으로 캔을 채우는 활동(4)이다. 발생 기전을 정량화하는 모수의 특정 결합이 활동군을 결정한다. '오염된 물체 취급' 활동 군과 '액체제품의 흩뿌리기'는 같은 발생 기전이나 양이 다르기 때문에 다른 활동 군이 된다. Maruart 등(2011) 및 Fransman 등(2013)은 표와 같이 활동군의 분류를 제안하였다.

〈표 Ⅲ-2〉 ECETOC TRA PROC 분류와 설명

ECHA GUIDANCE		
Code	Name	Explanations and examples
PROC0	기타	다음 중 어떤 PROC으로도 분류할 수 없는 경우 선택. 공정에 대한 설명을 추가로 기술하여야 함
PROC1	노출 가능성이 없는 밀폐된 공정에서 화학물질 생산 및 정제하거나, 또는 동등한 용기 조건에서의 공정	물질을 제조하거나 혼합물을 생산하는 섹터에서의 공정 또는 화학산업에서 적용되는 것과 같은 밀폐 공정과 같은 조건을 가진 공정의 일반적 속성을 기술한 것임. 닫힌 샘플링을 포함한 닫힌 상태에서의 운반도 포함됨. 시스템에 주입/배출하기 위한 열린 상태에서의 운반은 포함되지 않음.
PROC2	통제 가능한 간헐적 노출 가능성이 있는 밀폐된 연속 공정에서 화학물질 생산 및 정제하거나, 또는 동등한 용기 조건에서의 공정	물질을 제조하거나 혼합물을 생산하는 섹터에서의 공정(수동 조작을 제한적으로 포함하고 있는 연속 공정)
PROC3	통제 가능한 간헐적 노출 가능성이 있는 화학산업에서 밀폐된 배치공정에서의 생산 또는 조제, 또는 동등한 용기 조건에서의 공정	물질을 제조하거나 혼합물을 생산하는 섹터에서의 공정(수동 조작을 제한적으로 포함하고 있는 배치 공정)
PROC4	노출이 발생할 우려가 있는 화학물질 생산 공정	통제가능한 노출이 간헐적으로 발생하는 일부 닫힌 배치 공정
PROC5	배치공정에서의 혼합 또는 배합	최종 사용 뿐만 아니라, 제조의 한 과정으로 실시하는 고체/액체 물질의 혼합 또는 배합을 포함. 기존 Vessel 주입/배출과 샘플링은 PROC에는 포함되지 않음.
PROC6	롤러성형 작업	상승된 온도에서의 넓은 면적을 가공. 예시: 직물, 고무, 또는 종이 롤러성형. 주위온도보다 높은 온도에서의 폴리머나 유사체를 대상으로 한 열린 공정. 상당한 노출 가능성

ECHA GUIDANCE		
Code	Name	Explanations and examples
PROC7	산업 스프레잉 작업	액체나 분말에 적용 가능한 공기 확산 기술(다른 말로는 공기 압축, 수압, 원심분리를 통한 공기 중으로의 확산(원자화)). 표면 코팅을 위한 단일 물질/혼합물 분사, 접착제, 광택제/세척제, 공기 케어 상품, 블라스팅을 포함.
PROC8a	비지정 장소에서 단일/혼합물질의 운반(주입/배출)	노출을 저감하기 위해 지정된 공학적 제어가 없는 상태에서 대량의 화학물질을 관, 용기, 기계, 설비 등으로부터/등으로 운반하는 일반적인 작업이 해당. '운반'에는 싣고, 채우고, 버리고, 자루에 담고, 중량을 재는 작업이 포함됨.
PROC8b	지정 장소에서 단일/혼합물질의 운반(주입/배출)	노출을 저감하기 위해 지정된 공학적 제어가 있는 상태에서 대량의 화학물질을 관, 용기, 기계, 설비 등으로부터/등으로 운반하는 일반적인 작업이 해당: 대량(10kg 이상)의 물질을 운반할 수 있도록 특별히 디자인되고 가동되는 장소에서 물질운반이 이뤄지고, 화학물질에의 노출이 주로 운반 그자체가 아니라 결합/해체 작업 시 발생하는 경우를 말함. 예시: tanker loading bays, 드럼 채우기. '운반'에는 싣고, 채우고, 버리고, 자루에 담고, 중량을 재는 작업이 포함됨.
PROC9	작은 용기로의 단일/혼합물질의 운반(계량을 포함한 지정된 충전라인)	증기와 에어로졸 배출과 누출 최소화를 모두 만족하도록 특별히 디자인된 충전라인. 샘플링 작업 또한 포함.
PROC10	롤러 및 브러시 작업	튐으로 인해 노출될 가능성이 있는 표면에의 페인트, 코팅, 리무버, 접착제, 세척제 사용을 포함. 이 PROC은 손잡이가 긴 도구를 사용하여 표면을 청소하는 작업 등에도 적용 가능.
PROC11	비산업 스프레잉 작업	액체나 분말에 적용 가능한 공기 확산 기술(다른 말로는 공기 압축, 수압, 원심분리를 통한 공기 중으로의 확산(=원자화)). 표면 코팅을 위한 단일 물질/혼합물 분사, 접착제, 광택제/세척제, 공기 케어 상품, 블라스팅을 포함. "비산업" 표기는 PROC7에서 언급한 조건과 구분하기 위함이며, 비산업적 공간에서 사용되는 경우에 한해서만 이 PROC을 적용할 수 있다는 의미는 아님.

ECHA GUIDANCE		
Code	Name	Explanations and examples
PROC12	거품 제조를 위한 발포제 사용	액체혼합물 내에 기체버블을 생성시켜 거품을 만들기 위한 물질 사용. 연속/배치공정 모두 가능.
PROC13	담금 및 주입 방식으로 제품 취급	담그고, 붓고, 적시고, 씻어내는 방식으로 제품을 처리; 이런 처리작업이 이뤄지고 난 물체의 취급작업 또한 포함(예시: 조에서 꺼내거나, 조에 넣거나, 건조 이후, 도금). 이렇게 처리된 제품의 내용년수(유효 수명)는 별도로 보고되어야 함.
PROC14	정제, 압축, 압출, 펠렛화, 그래뉼화	이후의 사용을 위해 정제된 형태로 물질/혼합물을 가공하는 것을 포함.
PROC15	실험실 시약으로 사용	실험실에서 적은양(작업장 내 1L 또는 1kg 이하 비치)의 물질 사용. 이보다 더 큰 규모로 사용하는 것은 산업용으로 분류되어야 함. 품질 제어 공정에서의 사용 또한 포함.
PROC16	연료로 사용	밀폐공간에서 이동하는 경우 등 노출가능성이 제한된 곳에서의 고체/기체 연료(첨가제 포함)의 사용. 이 경우 PROC8과 PROC9를 할당할 필요 없음. 배출가스에의 노출은 포함되지 않음.
PROC17	금속가공 공정 내 높은 에너지 조건에서 윤활작업	열린계, 또는 세미-닫힘계인 움직이는 기계/장비에서의 윤활작업. 증기와 에어로졸에 상당한 노출 가능성
PROC18	높은 운동에너지 조건에서의 일반적 그리징/윤활작업	높은 운동 에너지 조건에서 윤활제 또는 윤활유를 사용하는 공정(수작업 포함). 단, 충전 작업은 포함되지 않음.
PROC19	손이 접촉되는 수작업	손과 상완의 노출이 예상되는 작업; 개인보호구를 제외하고는 지정된 도구나 특정 노출제어가 이뤄지지 않음. 예시로 건설업에서 수작업으로 실시하는 시멘트와 소석고 혼합이나 염모제와 표백제의 혼합이 있음.
PROC20	작은 기기에서 기능성액체 사용	일상에서의 액체의 열/압력 교환과 같은 기능성 액체를 포함한 시스템을 채우거나 비우는 것을 포함함(밀폐 시스템에서의 이동 포함). 예시: 모터나 엔진오일 주입/배출, 브레이크액, 가전. 이 경우, PROC8과 PROC9를 적용할 필요 없음.

ECHA GUIDANCE		
Code	Name	Explanations and examples
PROC21	적은 에너지로 물질 조작/취급	수동 커팅, 저온 롤링, 물질/제품의 조립/해체와 같은 활동을 포함함. 대형(금속) 물질을 취급/운반하는 때에도 사용.
PROC22	상당히 상승한 온도에서의 미네랄과 금속 제조 및 가공	주물/태핑/부유물 제거 공정을 제외한 용광로, 정제소, 오븐에서 이뤄지는 공정의 일반적 속성을 말함. 온도가 낮아져 차가워진 물질을 취급하는 작업은 PROC21이나 PROC26으로 분류할 수 있음.
PROC23	상당히 상승한 온도에서의 열린 공정 및 운반공정	용광로, 정제소, 오븐에서 이뤄지는 주물/태핑/부유물 제거 공정의 일반적 속성을 말함. 또한 자갈/습식 그래뉼조에 녹은 고체를 고온 담금 갈바나이징(철 표면의 방수법 중 아연 피복법의 일종)하는 공정을 포함.
PROC24	물질 또는 제품에 높은 (기계)에너지를 가하는 작업	물질에 가해진 상당한 열 또는 운동 에너지(예: 고온 롤링/포밍, 그라인딩, 기계적 절단, 드릴링, 샌딩, 스트리핑)
PROC25	그 밖에 금속과 관련한 고온 작업	용접, 납땜, 가우징, 브레이징(경납땜: 모재가 아닌 납재만을 용융시켜 접합하는 방식), 불꽃 절단
PROC26	주위온도에서의 고체 무기물 취급	분진이 발생할 수 있는 형태의 광석, 정광, 금속 및 고체 무기물의 취급 및 운반. 대형 물질의 취급은 PROC 21에 해당.
PROC27a	금속분말 생산(건식공정)	금속공학적 공정(원자화, 건식 확산법)에 의한 금속 분말 제조
PROC27b	금속분말 생산(습식공정)	금속공학적 공정(전기분해, 습식 확산법)에 의한 금속 분말 제조
PROC28	기계 유지보수(청소/보수) - 수동작업	다른 PROC으로 분류되지 않는 유지보수 작업 (예: 본래 밀폐된 설비 내에서의 청소 작업 등)

〈표 Ⅲ-3〉 ART 활동 분류

번호	공정명	공정 설명	원리
S1	고체 파쇄 및 연마 (fracturing and abrasion of solid objects)	고체를 더 작은 조각으로 깨거나 마찰력때문에 연마되는 활동	1. 분쇄 2. 충돌 3. 연마
S2	연마가공 (abrasive blasting)	고속으로 표면을 향해 연마 물질을 나아가게 해서 코팅이나 오염물질을 제거하는 표면 처리 기술. ART는 연마 가공 동안 표면 코팅에서 나오는 노출만을 고려함(연마제 노출은 포함 안함)	1. 연마 2. 압력 차이
S3	오염된 고체에 충돌 (impaction on contaminated solid objects)	가루나 입자로 오염된 물체에 도구로 충돌하거나 세게 쳐서 입자가 재부유하게 하는 활동. 노출은 충돌되는 물체 혹은 표면에 있는 오염물질의 수준과 관련된다고 추정	1. 충돌
P1	오염된 고체 혹은 페이스트 취급(handling of contaminated solid objects or paste)	가루나 입자로 오염된 표면, 물체, 페이스트 취급이나 이동. 노출은 표면, 물체, 패이스트에 오염된 것으로 추정	1. 물체의 움직임
P2	입자를 스프레이 도포 (spray application of powders)	압력 차이를 이용해서 표면에 가루를 의도적으로 분산시키는 스프레이 활동	1. 압력 차이 2. 충돌
P3	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질의 이동 (movement and agitation of powders, granules or pelletized material)	가루를 이동하여 휘저어서 분진이 공기 중에 비산하게 하는 활동	1. 이동 2. 휘저음
P4	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질의 이송 (tranfer of powders, granules or pelletized material)	분진을 보관소에서 다른 보관소로 흐르게 하면서 이동시키는 활동. 제품은 높은 곳에서 낮은 곳으로 중력 때문에 떨어지거나 수평적으로 이동하거나 호스나 튜브의 압력을 통해 이송될 수 있음	낙하 1. 중력 2. 충돌 진공이송 1. 압력 차이 2. 충돌

번호	공정명	공정 설명	원리
P5	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질의 압축 (compressing of powders, granules or pelletized material)	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질이 압착(compacttion or crushing)되어 눌리는 활동	1. 압착
P6	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질의 파쇄 (fracturing of powders, granules or pelletized material)	가루, 입자, 펠릿 처리된 물질이 마찰력 때문에 작은 부분으로 부서지는 활동	1. 압착 2. 충돌 3. 마모
L1	액체를 스프레이함 (spray application of liquids)	액체를 표면이나 공기 중에 분사시키기 위해 원자화 시키는 활동. 스프레이 기술은 농약, 바이소사이드, 페인트 분산을 위해 사용될 수 있음	액체 표면 스프레이1. 압력차이 2. 증발 3. 충돌 액체를 공간에 스프레이1. 압력차이 2. 증발
L2	개방된 액체 표면과 개방된 저장조와 관련된 활동 (activities with open liquid surfaces and open reservoirs)	액체를 통이나 다른 저장소에서 취급. 액체는 상대적으로 휘저어 지지 않거나(수동 저기, 통에 담그기) 섞이지(가스 버블링, 베슬에서 기계적 혼합) 않을 수 있음	상대적으로 표면이 휘저어지지 않는 활동 1. 증발 휘저어지는 활동 1. 증발 2. 휘저음
L3	오염된 물체를 취급 (handling of contaminated objects)	액체로 오염되거나 처리된 물체를 취급	1. 증발
L4	액체를 펼침 (spreading of liquid products)	액체를 표면에 펼치는 활동	1. 증발
L5	액체를 고속 공정에서 사용 application of liquids in high speed processes	높은 곳에서 액체 흐름을 저회전하는 도구로 액체를 첨가하는 고에너지 활동(예: 금속가공유)장소에서 다른 것으로 옮기는 활동	1. 움직임 2. 휘저음 3.증발
L6	액체를 이동 (Transfer of liquid products)	낮은 곳으로 떨어지거나 미끌어지거나 압력으로 옮김	하역 1. 증발 떨어지는 액체 액체 1. 중력 2 충돌 3.증발

번호	공정명	공정 설명	원리
L7	액체를 태움 (burning of liquids)	액체를 태우는 활동. 태우는 공정은 온도 상승과 증기뿐 아니라 액체에서 반응도 생김	1. 태움 2.증발
M1	금속의 제련과 용해 (smelting and melting of metal)	금속이나 금속을 함유한 제품을 녹는점 이상으로 고온에서 가열하여 액체를 만듦	금속의 제련 1. 산화/태움 2. 대류 금속의 용해 1. 산화/태움 2. 대류
M2	용해된 금속의 주입 또는 두드림 (pouring or tapping of molten metal (including melt drossing and dipping in molten metal)	용해된 금속을 한 베슬에서 다른 것으로 이송시키거나 용해된 금속으로부터 제품을 취함	용해된 금속을 주입 또는 두드림 1.산화/태움 2. 대류 3. 이동 용해된 금속에 담금 1.산화/태움 2. 대류 3. 이동
M3	소결, 구이, 산화/연소 (sintering, roasting and oxidation/burning)	금속 분말이나 광을 가열하여 분말입자가 고체로 강한 결합을 이루도록 하는 활동	소결1.산화/연소 2. 대류 구이1.산화/연소 2. 대류 산화/연소1.산화/연소 2. 대류
M4	용해된 금속을 스프레이함 (spray application of molten metal)	용해된 금속을 표면에 금속 코팅을 만들기 위해 스프레이하는 활동	1.압력차이 2.산화/연소 3.충돌
M5	원자화 (atomisation)	용해된 금속 흐름을 금속 분말을 만들기 위해 원자화하는 활동	1.압력차이 2.산화/연소
M6	뜨거운 금속 물체를 압축, 충돌 혹은 경화 (compressing of, impaction on, or hardening of hot metal)	뜨거운 금속물체를 기계적인 힘을 받게 하여 압축하여 금속을 경화시킴	1. 충돌 2. 산화/연소 3.대류

4. 작업장 납 노출에 대한 문헌 고찰

1) 국내 작업장 납 노출 농도

최상준 등(2020)의 연구에 의하면 국내 납의 2015년, 2016년 작업환경측정 결과, '구조용 금속제품, 탱크 및 증기 발생기 제조업'의 납 노출이 가장 높았다. 이 산업의 기하노출평균은 2.9 ㎍/㎥이었다. 95퍼센타일 노출 수준은 50.55 ㎍/㎥였다. 이 산업 중 '주조' 공정이 가장 노출이 높았다. '주조' 공정을 가지고 있는 산업은 '1차 비철금속 제조업', '일차전지 및 축전지 제조업' 순이었다. 1차 비철금속 제조업의 기하노출평균은 2.27㎍/㎥이었다. 95퍼센타일 노출 수준은 39.64 ㎍/㎥였다.

최상준 등(2020)의 보고에 의하면 납의 공기 중 노출 농도에 대해 보고된 총 14개 문헌에서 '1차 금속 제조업 (490 ㎍/㎥)'이 가장 높았고, '일차전지 및 축전지 제조업(281.6 ㎍/㎥)', '내화 및 비내화 요업제품 제조업(256.3 ㎍/㎥)', '연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업(253.0 ㎍/㎥)', '무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업(103.1 ㎍/㎥)', '일반 목적용 기계 제조업 (66.0 ㎍/㎥)', 제강업(63.7 ㎍/㎥)' 순으로 공기 중 납 노출기준(50 ㎍/㎥)'을 초과하였다.

국내 2015년, 2016년 공기 중 납의 작업환경측정 결과와 문헌에서 보고하고 있는 납 노출 농도는 현저히 다르게 나타났다.

2) 미국 납 노출 농도

미국 작업장에서의 납 노출에 대해 보고한 2010년 이전의 문헌을 Koh 등(2015)이 고찰한 후 납 노출과 관련된 활동 및 산업을 보고하였다. 납 함유 페인트에서 공기 중 납의 가중 대수 평균값(WAM≥1970)은 348 ㎍/㎥ 이었다. 혈중 납의 WAM≥1970은 14 ㎍/㎗이었다. 여러 산업이 이 데이터베이스에

포함되지만 주된 작업은 납 함유 페인트 제거 작업이었다. 열을 사용한 금속 결합이나 절단 작업의 공기 중 납의 WAM≥1970은 727 ㎍/㎥ 이었다. 혈중 납의 WAM≥1970은 24 ㎍/㎗이었다. 1차 및 2차 금속 생산 산업(SIC33)의 공기 중 납의 WAM≥1970은 4~ 3100 ㎍/㎥였고, 혈중 납의 WAM≥1970은 모두 30 ㎍/㎗을 초과하였다. 밧데리 산업이 미국의 납 소비량을 90%을 차지했고 이들의 공기 중 납의 WAM≥1970은 55 ㎍/㎥이었고, 혈중 납의 WAM ≥1970은 42 ㎍/㎗이었다. 사격장에서 납 노출도 보고되었다.

3) 유럽연합 납 노출 시나리오

이 자료는 2008년에 발간한 유럽 연합의 자발적인 위험성 평가(안) 자료이다.

A. 납 금속 1차 생산

1차 납 금속 생산은 두 경우로 나뉜다. 소결과 고로와 관련된 두 단계의 건식 야금과 습식제련공정이다. 습식제련공정은 납이 포함된 물질의 용액에 전압을 걸어, 양극에 납금속이 축적되게 한다.

□ 공정

- 원재료 취급 : 광석 및 농축물 운반, 상차와 하차, 용광로 공급 혼합
- 소결 : 납 농축물이 건조되어 납산화물이 생성된다. 고로로 공급된다. 작업자는 공급 및 하차, 소결로 운전 등의 작업을 수행한다.
- 제련 : 납 산화물이 납 금속으로 로에서 환원된다. 유럽에서는 납과 아연이 동시에 추출되는데 납은 액체 형태이고, 아연은 증기형태이다. 자동공정에서는 노출이 안 되나 마지막 단계에서 용해된 납이 정제되는 저장용기로 이송될 때 노출이 가능하다.
- 정제 및 주물 : 정제는 연괴에서 금속 불순물을 제거하는 과정으로 용해된 납을 식히고 저으면 철, 구리가 제거된다. 비소, 안티몬, 주석 제거는 공기를 불어넣어 저으면 연화가 일어나 슬래그가 형성되면서 제거된다.

- 내부 운송
- 기타

〈표 Ⅲ-4〉 납 금속 1차 생산 공정의 혈중 납과 공기 중 납 농도 (2008, 납위해도평가 보고서)

	혈중 납 (㎍/㎗)		공기중 납 농도 (㎎/㎥)	
	90th percentile	Median	90th percentile	Median
원재료 취급	56	32	ND	ND
소결	39	28	0.454	0.040
제련	43	30	0.625	0.038
정제 및 주조	39	27	0.120	0.04
내부 운송	35	25	0.100	0.03
기타	40	27	0.192	0.017
모든 자료	40	28	0.139	0.040

B. 납 금속 2차 생산

2차 납 생산의 원료는 납을 포함하는 여러 종류의 물질(잿더미, 스키밍, 스크랩), 납(산)축전지이다. 유럽연합에서 2차 제련은 소형 로터리 고로에서 이루어진다.

□ 공정

- 원재료 취급 : 납(산) 밧데리에는 대략 40% 이상의 납 합금이 포함되어 있다. 밧데리를 부수면 황산이 누출되며, 대개 이 과정에서 분진이 발생한다.
- 자르기 및 분류 : 비어 있는 밧데리를 물로 씻어 내면, 물에 황산과 납산화물이 포함되어 있다. 이후에 플라스틱과 금속을 분리하여 사일로에 저장한다. 대개 이 과정은 자동화되어 접촉은 이루어지지 않는다.
- 탈황 : PbO- 페이스트로부터 황 제거
- 용해와 제련 : 그리드 용해, 제련 및 페이스트 환원
- 정제와 주조 : 납 정제, 인곳 주조
- 보관 및 운송 : 마감된 제품의 보관 및 내부 운송
- 기타 : 수리, 청소 및 관리

〈표 Ⅲ-5〉 납 금속 2차 생산 공정의 혈중 납과 공기 중 납 농도 (2008, 납위해도평가 보고서)

	혈중 납 (㎍/dℓ)		공기 중 납 농도 (㎎/㎥)	
	90th percentile	Median	90th percentile	Median
원재료 취급	50	30	0.539	0.067
자르고 분류	41	27	0.266	0.038
탈황	30	21	0.044	0.037
용해와 제련	53	34	0.739	0.066
정제와 주조	44	27	0.305	0.048
보관 및 운송	42	27	0.318	0.079
기타	46	27	0.244	0.038
비할당	34	24	1.074	0.250
모든 자료	46	28	0.363	0.053

C. 납판 생산

〈표 Ⅲ-6〉 납판 생산 공정의 혈중 납과 공기 중 납 농도 (2008, 납위해도평가 보고서)

	혈중 납 (㎍/dℓ)		공기 중 납 농도 (㎎/㎥)	
	90th percentile	Median	90th percentile	Median
원재료 취급	70	47	0.379	0.139
용해와 정제	58	41	0.855	0.136
밀링	48	29	0.309	0.053
톱질 및 슬리팅	54	31	1.902	0.062
보관 및 운반	43	21	0.079	0.039
기타	47	32	0.089	0.048
비할당	36	25	ND	ND
모든 자료	49	30	0.366	0.084

D. 밧데리 생산

〈표 Ⅲ-7〉 밧데리 생산 공정의 혈중 납과 공기 중 납 농도 (2008, 납위해도평가 보고서)

	혈중 납 (㎍/㎗)		공기 중 납 농도 (㎎/㎥)	
	90th percentile	Median	90th percentile	Median
플레이트 제조	51	33	0.280	0.065
플레이트 처리	46	32	0.762	0.199
조립	48	29	0.261	0.061
밧데리 구성	32	16	0.042	0.018
내부 이동	40	22	0.071	0.031
기타	44	24	0.074	0.025
비할당	ND	ND	0.513	0.214
모든 자료	47	28	0.329	0.063

플레이트 제조 : 그리드 주조, 산화물 생산, 혼합, 패스팅 및 경화 공정
플레이트 처리 : 탱크 형성, 플레이트 세척, 건조 및 커팅
조립 : 쌓기, 조립, 용접 및 결합 공정
밧데리 구성 : 산 채움, 구성(습식 밧데리), 마감
내부 이동 : 원재료 및 최종 제품 보관, 내부 이동

E. 납 산화물(리사지 및 광명단)과 안정제 화합물 생산

〈표 Ⅲ-8〉 납 산화물과 안정제 생산 공정의 공기 납과 혈중 납 농도 (2008, 납위해도평가 보고서)

	혈중 납 (㎍/㎗)		공기 중 납 농도 (㎎/㎥)	
	90th percentile	Median	90th percentile	Median
납산화물 생산	59	39	0.843	0.059
납 안정제 생산 (습식 공정)	55	35	0.010	0.004
납 안정제 화합물 생산 (건식/용융 공정)	42	22	ND	ND
구성된 안정제 제품의 혼합	50	30	1.684	0.720
내부 이동	45	23	0.270	0.138
기타	46	25	0.660	0.125
비할당	62	42	2.618	1.500
모든 자료	52	31	1.504	0.195

F. 납 결정 유리 생산

〈표 Ⅲ-9〉 납 결정 유리 생산의 공기 납과 혈중 납 농도 (2008, 납위해도평가 보고서)

	혈중 납 (㎍/dℓ)		공기 중 납 농도 (㎎/㎥)	
	90th percentile	Median	90th percentile	Median
원재료 취급	46	26	0.240	0.030
성형 공정	35	18	0.060	0.020
절단 공정	36	21	0.333	0.062
폴리싱 공정	31	16	0.027	0.016
기타	28	15	0.101	0.013
비할당	9	5	NA	0.010
모든 자료	35	18	0.240	0.034

G. 세라믹 그릇 생산

〈표 Ⅲ-10〉 혈중 납 농도(1981-2003 결과), 공기 중 농도 (스페인 타일 산업) (2008, 납위해도평가 보고서)

	혈중 납 (㎍/dℓ)		공기 중 납 농도 (㎎/㎥)	
	90th percentile	Median	90th percentile	Median
프릿 생산	ND	ND	ND	ND
안료 생산 및 취급	38	18	0.127	0.045
석판 인쇄	26	20	0.107	0.041
장식	17	10	0.120	0.040
유약칠	29	19	0.102	0.030
기타	30	14	0.063	0.022
비할당	14	5	0.125	0.055
모든 자료	30	14	0.103	0.033

H. PVC 가공

〈표 Ⅲ-11〉 혈중 납 농도(1981-2003 결과), 공기 중 농도 (스페인 타일 산업) (2008, 납위해도평가 보고서)

	혈중 납 (㎍/dℓ)	
	90th percentile	Median
원료 취급	30	25
혼합 공정	32	19
성형	25	15
기타	19	12
비할당	24	11
모든 자료	33	16

I. 해체와 스크랩 산업에서 노출

J. 기타

납 소비는 적지만, 잠재적으로 납 노출은 일어날 수 있다.

- 청동 및 황동 주조 공장 : 황동 주조 공장의 노출 농도가 공기 정화식 헬멧 외부의 납 농도는 0.192-1.547 ㎎/㎥ 이고, 헬멧 내부 농도는 〈0.079-0.154 ㎎/㎥ 이었다. 국소 배기의 효율이 조사된 연구에서 “쏟기”와 “로 운전”을 하는 노동자의 개인 노출 농도는 0.103 ㎎/㎥ 이었다.
- 스테인드글라스 작업장 : 스테인드 글라스를 준비할 때 납 노출농도는 0.01 -0.03 ㎎/㎥으로 낮게 나타났다.
- 납 총알 사용과 관련된 노출 : 납 총알 사용시 납 노출 농도가 연구에서 보고되는데 분말을 충전해 주는 사람은 0.660 ㎎/㎥ (0.112-2.238 ㎎/㎥), 공기총을 쏘는 사람은 0.622 ㎎/㎥ (0.426-0.968 ㎎/㎥) 이었다.
- 축전기 제조
- 안경사 : 저염합금가공을 사용하는 경우 납 노출이 일어날 수 있으나 그 노출 농도는 매우 낮았다.
- 안료 제조
- 토양 개선
- 소각장

- 방사선 치료 실드 제조
- 용접 흄
- 페인트 스프레이 : 유럽연합에서는 금지되어 노출시나리오가 가능하지 않다.
- 건설 노동자
- 철공 노동자
- 엔진 리콘디셔닝
- 목수
- 기념비적인 석조 노동자
- 에나멜링
- 전자 회로판 납땜
- 조선소 노동자 : 납페인트가 칠해 진 철판을 절단 및 리벳팅
- 쓰레기 재활용 노동자
- 타이어 장차기
- 인쇄 및 도료 제조

5. 국내 납 노출 공정 및 노출 농도

1) 금속 납을 용해, 주조하는 공정

순도가 높은 납을 원료로 하여 용해로에서 납을 녹인 후 제품을 주조하는 작업이다. ECETOC TRA 및 MEASE 모델 PROC 23로서 일반적으로는 '상당히 상승한 온도에서의 열린 공정 및 운반 공정'을 일컬으며, 금속과 관련하여서는 뜨거운 야금 공정이다. 예를 들어 용해된 고체의 모래 거푸집 주조 및 다이 캐스팅, 용해된 고체의 드로싱, 용융아연도금이 해당한다. ART의 활동으로는 '용해된 금속의 주입이나 두드림'으로 용해된 금속을 배슬에서 다른 곳으로 옮기거나 제품을 용해된 금속에서 빼내는 활동을 일컫는다.

용해로에는 국소 배기가 설치되어 있으나 드로스 제거 작업시 국소 배기가 미설치되어 있는 공정에서 노출 기준을 초과했다.

〈표 Ⅲ-12〉 용해, 주물 및 주조 (PROC 23, M2, 납 99% 이상)

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A11-1	솔더바 등 생산을 위해 출탕, 주입 및 부유물 제거		0.008
A11-2	솔더바 등 생산을 위해 출탕, 주입 및 부유물 제거		0.001
A18-1	용해 슬러지 관리		0.019
A18-2	용해 슬러지 관리		0.011
A24	자동 공정		〈0.001
A54-1	터빈 제조를 위해 납괴 용해	컨트롤 룸	0.013
A54-2	터빈 제조를 위해 납괴 용해	컨트롤 룸	ND
A56	전기로 투입 및 용해, 출탕		〈0.001
A59-1	납 용탕 관리		0.006
A59-2	납 용탕 관리		0.005
A66-1	용해로 불순물 점검		0.012

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A66-2	용해로 불순물 점검		0.008
A73-1	용해로에는 국소 배기, 드로스 제거 작업 시 국소 배기 미설치		0.190
A73-2	용해로에는 국소 배기, 드로스 제거 작업 시 국소 배기 미설치		0.188
A81-1	현장 작업은 샘플채취, 슬래그 제거	컨트롤 룸	0.003
A81-2	현장 작업은 샘플채취, 슬래그 제거	컨트롤 룸	0.002
B4-1	납괴로 광명단, 리사지 제조 (지게차)	자동	0.003
B4-2	납괴로 광명단, 리사지 제조 (지게차)	자동	0.002
B4-3	납괴로 광명단, 리사지 제조 (지게차)	자동	ND
B24-1	열처리된 코일 후 납조 슬러지 청조		0.008
B24-2	열처리된 코일 후 납조 슬러지 청조		0.061
B44-1	납괴 용해 연조에서 신성, 도금하여 금속선 생산		0.002
B44-2	납괴 용해 연조에서 신성, 도금하여 금속선 생산		0.002
B44-3	납괴 용해 연조에서 신성, 도금하여 금속선 생산		0.002
B44-4	납괴 용해 연조에서 신성, 도금하여 금속선 생산		0.002
B45-1	납괴 용해 연조에서 신성, 도금		0.003
B45-2	납괴 용해 연조에서 신성, 도금		0.003
B43	절단된 코일을 납조에서 열처리	490℃	0.008
B52-1	용융된 납을 금속판 표면에 디핑	350℃	0.015
B52-2	용융된 납을 금속판 표면에 디핑	350℃	0.012
B63-1	납괴를 용해하여 원심 성형	동주물	0.027
B63-2	납괴를 용해하여 원심 성형	동주물	0.013
B68-1	용융 아연 도금		0.002
B68-2	용융 아연 도금		0.001
A29-1	납괴 용해 후 분말 제조	PROC 27, M5	0.004
A29-2	납괴 용해 후 분말 제조	PROC 27, M5	0.004

2) UVCB 납을 용해, 주조하는 공정

납이 불순물로 포함되어 있거나 5-10% 함유한 동합금을 원료로 하여 용해로에서 납을 녹인 후 제품을 주조하는 작업이다. ECETOC TRA 및 MEASE 모델 PROC 23로서 일반적으로는 '상당히 상승한 온도에서의 열린 공정 및 운반 공정'을 일컬으며, 금속과 관련하여서는 뜨거운 야금 공정이다. 예를 들어 용해된 고체의 모래 거푸집 주조 및 다이 캐스팅, 용해된 고체의 드로싱, 용융아연도금이 해당한다. ART의 활동으로는 '용해된 금속의 주입이나 두드림'으로 용해된 금속을 배슬에서 다른 곳으로 옮기거나 제품을 용해된 금속에서 빼내는 활동을 일컫는다.

아연이나 납 스크랩 용해 혹은 동합금 잉곳을 용해하는 작업에서 노출 기준을 초과했다. 납이 1 % 미만으로 함유된 스크랩 용해, 주조에서는 납이 노출 기준을 초과하지 않는 것으로 보인다.

〈표 Ⅲ-13〉 용해, 주물 및 주조 (PROC 23, M2, UVCB 납)

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A15-1	황동 스크랩 등 용해 및 주조	납 0.2%	0.008
A15-2	황동 스크랩 등 용해 및 주조	납 0.2%	0.004
A30-1	구리합금 용해 및 주조	납 0.3%	0.001
A30-2	구리합금 용해 및 주조	납 0.3%	0.001
A30-3	구리합금 용해 및 주조	납 0.3%	0.001
A35-1	알루미늄 잉곳 용해, 불순물 제거	-	ND
A35-1	알루미늄 잉곳 용해, 불순물 제거		ND
A37-1	고철 용해, 샘플 채취 및 청소	-	0.022
A37-2	고철 용해, 샘플 채취 및 청소	-	0.019
A38	고철 용해, 래들에 담아 주조 이동	-	0.023
A39	고철 용해, 래들에 담아 주조 이동	-	0.002
A43-1	저망간압축 고철 용해	-	0.001
A43-2	저망간압축 고철 용해	-	0.001
A44-1	폐철 스크랩 용해, 출탕 품질확인	컨트롤 룸	0.009
A44-2	폐철 스크랩 용해, 출탕 품질확인	컨트롤 룸	0.005
A55-1	청동합금 용해, 주조	컨트롤 룸	0.022
A55-2	청동합금 용해, 주조	컨트롤 룸	0.016
A58-2	아연, 납 스크랩 용해, 출탕		0.076

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A60-1	동합금 스크랩 용해		0.032
A61-1	동합금 잉곳, 스크랩 용해, 주조		0.115
A61-2	동합금 잉곳, 스크랩 용해, 주조		0.137
A78-1	슬래그 용해, 주조		ND
A78-2	슬래그 용해, 주조		ND
A79-1	알루미늄 폐기물 용해, 주조		ND
A79-2	알루미늄 폐기물 용해, 주조		ND
A80	아연합금 용해, 주조		ND
A45-1	제강분진 용해, 산화아연 생산 (PROC22, M1)	자동화	0.001
A45-2	제강분진 용해, 산화아연 생산 (PROC22, M1)	자동화	ND
B8	청동, 황동, 알루미늄 및 고철 용해, 주입		0.037
B26-3	아연, 납스크랩을 전기로 용융, 주입		0.001
B27-1	구리 잉곳 및 고철 용해, 주입	밸브, 임펠러 생산	0.025
B27-2	구리 잉곳 및 고철 용해, 주입	밸브, 임펠러 생산	0.01
B28-1	동합금 잉곳 및 칩 용해, 주입	동밸브 생산	0.067
B28-2	동합금 잉곳 및 칩 용해, 주입	동밸브 생산	0.02
B29-1	동합금 잉곳 및 칩 용해, 주입	동밸브 생산	0.055
B29-2	동합금 잉곳 및 칩 용해, 주입	동밸브 생산	0.053
B30-1	동합금 잉곳, 폐고철 용해, 주입		0.061
B30-2	동합금 잉곳, 폐고철 용해, 주입		0.068
B30-3	동합금 잉곳, 폐고철 용해, 주입		0.076
B30-4	동합금 잉곳, 폐고철 용해, 주입		0.027
B31-1	황동 잉곳 용해, 주입		0.006
B31-2	황동 잉곳 용해, 주입		0.004
B56-1	황동 스크랩 용해, 주입	황동봉 생산	0.0059
B56-2	황동 스크랩 용해, 주입	황동봉 생산	0.0036
B59-1	비철 용해, 주조		0.0189
B59-2	비철 용해, 주조		0.0037
B59-3	비철 용해, 주조		0.0014
B59-4	비철 용해, 주조		0.0038

3) 밧데리 제조 및 폐밧데리 재활용 공정

밧데리 제조 및 폐밧데리 재활용 공정은 별도로 구분하였다. 밧데리 제조시 여러 공정에서 납이 노출 기준을 초과하고 있었다. 극판에 납봉으로 용접하는 공정과 그 이전에 극판 적재 관련한 여러 활동에서 납 분진이 노출 기준을 초과했다.

또, 폐 밧데리 및 납 분재를 투입하는 공정에서 납 노출 기준이 초과했다. 공정은 자동화되어 있으나 원재 투입 등 수동 작업을 하는 경우 노출 기준을 초과했다.

〈표 Ⅲ-14〉 밧데리 제조 및 폐밧데리 재활용

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A48-1	납 분말 제조(자동화), 유지 보수	PROC27a, M5	0.014
A48-2	연분 도포된 극판 수거 (수동)	PROC26, P1	0.044
A48-3	극판에 소형 용해로로 용접	PROC25, M2	0.039
A76-1	극판에 납봉으로 용접	PROC25, M2	0.246
A76-2	극판 적재	PROC26, P1	0.718
A51-1	폐밧데리 분쇄	PROC26, P1	0.006
A51-2	폐밧데리 분쇄	PROC26, P1	0.001
A51-3	용해, 컨트롤 룸	PROC22, M1	0.012
A51-4	용해, 컨트롤 룸	PROC22, M1	0.009
A51-5	제품 주물, 납괴 제조	PROC23, M2	0.012
A51-6	제품 주물, 납괴 제조	PROC23, M2	0.007
B13-1	극판스트랩 자동 도포 후 수동 해체	PROC26, P1	0.0651
B13-2	극판스트랩 자동 도포 후 수동 해체	PROC26, P1	0.0374
B36-1	배터리 제조 공정 설비 보수	PROC28	0.006
B36-2	배터리 제조 공정 설비 보수	PROC28	0.005
B41-1	폐밧데리, 납분재 용해, 원재 투입 수동 (공정 자동화)	PROC23, M2	0.091
B41-2	폐밧데리, 납분재 용해, 원재 투입 수동 (공정 자동화)	PROC23, M2	0.082
B55-1	폐밧데리 제련 연괴생산 (제련)	PROC23, M2	0.013
B55-2	폐밧데리 제련 연괴생산 (제련)	PROC23, M2	0.0253
B55-3	폐밧데리 제련 연괴생산 (주조)	PROC23, M2	0.03
B55-4	폐밧데리 제련 연괴생산 (주조)	PROC23, M2	0.0212

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
B64-1	폐밧데리 제련	PROC23, M2	0.006
B64-2	폐밧데리 제련	PROC23, M2	0.005
B65-1	축전지 제조. 연분과 첨가제 배합	PROC5, P3	0.017
B65-2	축전지 제조. 연분과 첨가제 배합	PROC5, P3	0.013
B69-1	극판에 납분말 도포, 적재	PROC26, P1	0.015
B69-2	극판에 스티커 부착	PROC26, P1	0.031
B69-3	극판에 납봉으로 용접 (자동)	PROC25, M2	ND

4-1) 압연, 압출 공정 (격발 시험 포함)

물질 또는 제품에 높은 (기계) 에너지를 가하는 작업이 ECETOC TRA PROC 24이다. 금속과 관련하여 형성/롤링, 연삭, 기계적 절단, 드릴링 또는 샌딩, 고온 압출에 의해 물질에 적용되는 상당한 열 에너지 또는 운동 에너지를 가하는 공정에 해당한다. ART에서는 고온 금속물체를 기계적인 힘으로 압축하여 금속을 경화하게 하는 활동으로 구분할 수 있다. 납 와이어를 열처리하는 공정에서 납의 노출 기준을 초과하였다.

〈표 Ⅲ-15〉 압연 및 압출 (PROC 24, M6, 납 순도)

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A2-1	캐스팅 제품(압연, 압출 고온)	99%	0.004
A2-2	캐스팅 제품(압연, 압출 고온)	99%	0.004
A25-1	사격장 격발 시험		〈0.001
A25-2	사격장 격발 시험		〈0.001
A35-3	강한 압력으로 봉재 제작		ND
A35-4	강한 압력으로 봉재 제작		ND
A75-1	사격장 격발 시험		0.001
A75-2	사격장 격발 시험		0.001
B25-1	총기 수락 검사	40%	0.003
B25-2	총기 수락 검사	40%	0.003
B46-1	압출 및 성형기로 와이어 취출	운전	0.024

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
B46-2	압출 및 성형기로 와이어 취출		0.015
B47-1	와이어 열처리		0.054
B47-2	와이어 열처리		0.031

4-2) 연마 작업

연마작업은 ECETOC TRA PROC으로는 압연, 압출과 같이 PROC 24에 해당하나 공기 중으로 비산되는 형태가 입자상 물질로 압연, 압출과 구분되어 따로 분류하였다. ART에서는 주로 연마가공을 따로 분류하고 있어 대부분 이에 해당하고, 일부 고체 파쇄와 연삭 공정이 이 구분에 해당 된다. 동, 알루미늄 제품을 탈사, 절단, 연마하는 공정, 납 광재 분쇄와 관련된 작업, 동합금 제품 쇼트, 절단, 연마, 열처리된 코일 면취 후 마무리, 도금 후 연마 등 다양한 연마 및 파쇄 공정에서 납 노출 기준을 초과했다.

〈표 Ⅲ-16〉 연마 (PROC 24, S2)

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A2-3	압출된 제품 사상	납 100 %	0.001
A2-4	압출된 제품 사상		0.005
A27-1	주물 제품 절단, 연마	고철	0.001
A27-2	주물 제품 절단, 연마	고철	0.001
A31-1	진동기계로 탈사, 절단, 연마	동, 알루미늄	0.167
A31-2	진동기계로 탈사, 절단, 연마	동, 알루미늄	0.042
A58-1	납 광재 분쇄시 출입, 정비작업	S1	0.179
A59-3	열처리된 코일의 가공(면취)	납 100 %	0.025
A59-4	열처리된 코일의 가공(면취)	납 100 %	0.018
A59-5	열처리된 코일 면취 후 고주파 가공	납 100 %	0.001
A59-6	열처리된 코일 면취 후 고주파 가공	납 100 %	0.003
A60-2	동합금 제품 쇼트, 절단, 연마	동합금	0.096

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A61-3	동합금 제품 쇼트, 절단, 연마	동합금	3.423
A61-4	동합금 제품 쇼트, 절단, 연마	동합금	0.265
B5-1	납함유제품을 연마기로 표면처리	연마, 사상	0.008
B5-2	납함유제품을 연마기로 표면처리	연마, 사상	0.008
B6-2	PVC 제품 절단 (LEV 없음)		0.029
B24-3	열처리된 코일 면취 후 마무리	면취	0.01
B24-4	열처리된 코일 면취 후마무리	면취	0.061
B26-1	아연, 납 광재 분쇄, 분리	S1	0.004
B26-2	아연, 납 광재 분쇄, 분리	S1	0.007
B33-1	청동 제품 드릴, 면취		0.002
B33-2	청동 제품 드릴, 면취		0.004
B51-1	황동제품 연마		0.02
B51-2	황동제품 연마		0.004
B51-3	황동제품 연마		0.008
B51-4	황동제품 연마		0.0017
B66-1	주물품(납6%) 연마		0.012
B66-2	주물품(납6%) 연마		ND
B60-1	제품 도금 후 연마(그라인더)		0.3304
B60-2	제품 도금 후 연마(그라인더)		0.2478

5) 스프레이 공정

산업에서 스프레이 작업을 하는 경우 ECETOC TRA PROC 7에 해당한다. 납을 포함한 도료는 액체를 스프레이하기도 하고 분말을 스프레이하기도 하므로 그 성상에 따라 ART에서는 다르게 활동을 분류한다. 유럽 연합에서는 납을 포함한 도료를 사용하지 않기 때문에 노출 시나리오에 이 공정이 없었으나 국내에서는 여전히 납을 포함한 도료를 사용하고 있고 정압기 부속품을 도장 하거나 건설용 마스트 도장 하는 경우 납 노출 기준을 초과하고 있었다. 또 표면에 수작업으로 도료 분체를 코팅하는 경우는 노출 기준을 초과하고 있었다.

〈표 Ⅲ-17〉 스프레이 (PROC 7, L1/P2, 도료 41% 납화합물)

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A1-1	일부 개방된 도장부스에서 스프레이 도장	L1	0.037
A1-2	일부 개방된 도장부스	L1	0.007
A7	부식 방지 스프레이 도장	L1	0.0012
A16	정압기 부속품을 스프레이 도장	L1	0.125
A40-1	분체도장 : 스프레이 분사	P2	ND
A40-2	분체도장 : 스프레이 분사	P2	ND
A49	도료 분무	L1	〈0.001
A50	부스형 국소 배기 설치 (간헐적 작업)	L1	〈0.001
A67-1	수동으로 분체도장	P2	0.001
A67-2	수동으로 분체도장	P2	ND
B9-2	건설용 마스트, 리프트 도장 부스 도색	L1	0.1489
B12	분체도장	P1	0.0156
B14-1	기계 등 하도, 상도 분무 도장	L1	0.0051
B14-2	기계 등 하도, 상도 분무 도장	L1	0.004
B42	철심에 납 함유 접착제를 스프레이	L1	0.001
B49	도장, 배합 작업	L1	0.0231
B53-1	표면에 도료분체를 코팅, 수작업	P2	0.609
B53-2	표면에 도료분체를 코팅, 수작업	P2	과포집
B67	부품에 스프레이 도장	L1	ND
B70	미세한 도료 표면에 입히고 온도 높임	P2	ND

6) 납 포함 분말 투입 및 포장

납 포함 분말을 원료로 투입하거나 포장하는 공정은 ECETOC TRA PROC 26에 해당한다. MEASE에서는 PROC26을 광석, 농축물, 원료 금속산화물 및 스크랩 취급, 금속 제품 및 무기화합물 포장/금속 및 무기화합물 운송. 포장, 포장풀기 및 무게 재기로 설명하고 있다. PROC5 혼합 및 융합은 배치 과정에서 혼합으로 구별할 수 있다. PVC 안정제를 계량하거나 투입할 때 납 노출기준을 초과하였다.

〈표 Ⅲ-18〉 분말 등 상온에서 취급 (PROC 26, P3 및 P4, 납 화합물)

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A4	발포안정제(40%) 배합, 혼합(오픈)	PVC 샤시	0.084
A8-1	도료 (납24%) 포장		ND
A8-2	도료(납25%) 포장		ND
A9-1	안정제 원료 투입 및 안정제 포장	안정제 제조	0.056
A9-2	안정제 원료 투입 및 안정제 포장	안정제 제조	0.008
A11-3	분말 (납 37%) 배합 숄더 크림 생산		0.001
A11-4	분말 (납 37%) 배합 숄더 크림 생산		ND
A23	PVC 안정제 투입	PVC 가공	0.066
A28-1	폐납(99%) 선별	P1	0.007
A28-2	폐납(99%) 선별	P1	0.003
A29-3	납 분말 포장 출고	P3	0.010
A36-1	PVC 안정제 투입		0.002
A36-3	PVC 안정제 투입		0.005
A46-1	아연괴생산- 필터프레스 슬러지제거	P3	ND
A46-2	아연괴생산- 필터프레스 슬러지제거	P3	ND
A62-1	리사지 마대 투입		0.006
A62-2	안료 반응기 투입		0.006
A62-3	안료 반응기 투입		0.005
A68-1	볼밀과 배소로에 폐기물 투입		ND
A68-2	볼밀과 배소로에 폐기물 투입		ND
A70-1	제강분진(슬래그)를 원료로 투입		0.028
A70-2	제강분진(슬래그)를 원료로 투입		0.006

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A77-1	착색제 포대로 투입	크롬산연	ND
A77-2	착색제 포대로 투입	크롬산연	ND
B2-1	크롬산납을 원료로 배합	간헐적 작업	ND
B2-1	크롬산납을 원료로 배합	간헐적 작업	ND
B6-1	원재료, 안정제 투입	PVC 가공	0.01
B10	안정제, 안료 배합	간헐적	0.002
B11-1	원재료, 안정제 혼합기에 혼합	PVC 가공	0.033
B11-2	원재료, 안정제 혼합기에 혼합	PVC 가공	0.0019
B15	PVC 안료를 배합 후 코팅기로 전달	생산량 적음	ND
B50	납과 왕사 혼합하여 도금에서 불순물 제거 및 온도 조절	간헐적	0.006
B58-1	안정제를 계량후 배합	플라스틱 가공	0.0705

7) 기타

기타는 위의 6개 공정에 해당하지 않는 납 취급 공정을 분류하였다. 다양한 공정이 있었으나, 납 노출 기준을 초과하는 경우는 없었다.

〈표 Ⅲ-19〉 기타

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
A34-1	소각시설 운전	PROC4, P1	ND
A34-2	소각시설 운전	PROC4, P1	ND
A34-3	소각시설 운전	PROC4, P1	ND
A34-4	소각시설 운전	PROC4, P1	ND
A36-2	PVC 제품 생산- 압출	PROC14, P5	0.001
A36-4	PVC 제품 생산- 압출	PROC14, P5	0.002
A36-5	PVC 제품 생산- 압출	PROC14, P5	0.003
A19-1	동합금봉 가공 후 취급	PROC21, P1	0.005
A19-2	동합금봉 가공 후 취급	PROC21, P1	0.004
A47-1	태양광와이어 생산- 납 코팅	PROC 2, 자동	ND
A47-2	태양광와이어 생산- 납 코팅	PROC 2, 자동	ND
A47-3	태양광와이어 생산- 납 코팅	PROC 2, 자동	ND
B34-1	80℃ 용해로에서 납합금 용해, 주입(차폐	PROC25, M2	ND

사업장	공정 내용	비고	농도 (㎎/㎥)
	물 제작), 간헐적		
B34-2	80℃ 용해로에서 납합금 용해, 주입(차폐물 제작), 간헐적	PROC25, M2	ND
B1-1	실험실에서 납 사용	PROC15	ND
B1-2	실험실에서 납 사용	PROC15	
B11-5	실험실에서 안정제 성분 실험	PROC15	0.0004
B32-1	실험실 시약 사용	PROC15	ND
B32-2	실험실 시약 사용	PROC15	ND
B37-1	PCB 기판 파쇄 공정 점검	PROC2	0.002
B37-2	PCB 기판 파쇄 공정 점검	PROC2	0.001
B40	부식 방지 위해 브러쉬 도색	PROC10, L4	ND
B54-1	제품 표면 이물질을 쇼트볼 및 탈사	PROC21, S3	0.0035
B54-2	제품 표면 이물질을 쇼트볼 및 탈사	PROC21, S3	0.0029

6. MEASE를 이용한 납 사용 공정 금속 농도 추정

MEASE 모델을 이용하여 납 사용 공정의 금속 농도를 추정해 보았다. PROC23, PROC24(분진날림 높음 조건), PROC26(분진날림 높음 조건) 공정을 금속 함량 및 노출 시간의 여러 조건에서 모델링을 한 결과 분말취급이 가장 높았고, 다음이 연마, 마지막이 용해·주조 공정이었다. 납의 측정 결과 역시 분말 취급이나 연마에서 노출 기준 초과가 용해·주조보다 빈번히 나타났다.

스프레이 공정에서는 앞의 3공정보다 노출 추정 농도가 더 높았다. 액체의 경우 더 높게 나타나는데, 스프레이 공정에 대한 조치가 더 엄격히 요구된다. 유럽연합에서는 납 도료를 더 이상 사용하지 않는데, 국내는 여전히 사용되고 있고, 스프레이 공정에서 납 노출을 줄이기 위해서는 도료 중 최소한의 납만 함유 할 수 있도록 납 함량 규제를 이용할 수도 있다.

MEASE 모델을 통해, 해당 PROC에서 노출 감소를 위한 조치에 대해 모의 실험을 해 볼 수 있다.

〈표 Ⅲ-20〉 MEASE PROC 23의 금속 노출 농도 추정 (단위 : ㎎/㎥)

함량	작업시간	LEV 없음	외부 국소배기시설
〉 25	〉240분	2	0.5
	60-240분	1.2	0.3
	15-60분	0.4	0.1
	〈 15분	0.2	0.05
5-25 %	〉240분	1.2	0.3
	60-240분	0.72	0.18
	15-60분	0.24	0.06
	〈 15분	0.12	0.03
1-5 %	〉240분	0.4	0.1
	60-240분	0.24	0.06
	15-60분	0.08	0.02
	〈 15분	0.04	0.01
〈 1 %	〉240분	0.2	0.05
	60-240분	0.12	0.03
	15-60분	0.04	0.01
	〈 15분	0.02	0.005

〈표 Ⅲ-21〉 MEASE PROC 24(분진날림 높음 조건)의 금속 노출 농도 추정 (단위 : ㎎/㎥)

함량	작업시간	LEV 없음	외부 국소배기시설
〉 25	〉240분	5.5	1.375
	60-240분	3.3	0.825
	15-60분	1.1	0.275
	〈 15분	0.55	0.138
5-25 %	〉240분	3.3	0.825
	60-240분	1.98	0.495
	15-60분	0.66	0.165
	〈 15분	0.33	0.083
1-5 %	〉240분	1.1	0.275
	60-240분	0.66	0.165

함량	작업시간	LEV 없음	외부 국소배기시설
	15-60분	0.22	0.055
	〈 15분	0.11	0.028
〈 1 %	〉240분	0.55	0.138
	60-240분	0.33	0.083
	15-60분	0.11	0.028
	〈 15분	0.055	0.014

〈표 Ⅲ-22〉 MEASE PROC 26(분진날림 높음 조건)의 금속 노출 농도 추정 (단위 : ㎎/㎥)

함량	작업시간	LEV 없음	외부 국소배기시설
〉 25	〉240분	10	2.5
	60-240분	6	1.5
	15-60분	2	0.5
	〈 15분	1	0.25
5-25 %	〉240분	6	1.5
	60-240분	3.6	0.9
	15-60분	1.2	0.3
	〈 15분	0.6	0.15
1-5 %	〉240분	2	0.5
	60-240분	1.2	0.3
	15-60분	0.4	0.1
	〈 15분	0.2	0.05
〈 1 %	〉240분	1	0.25
	60-240분	0.6	0.15
	15-60분	0.2	0.05
	〈 15분	0.1	0.025

〈표 Ⅲ-23〉 MEASE PROC 7(분진날림 중간 조건)의 금속 노출 농도 추정 (단위 : ㎎/㎥)

함량	작업시간	LEV 없음	외부 국소배기시설
〉 25	〉240분	20	5
	60-240분	12	3
	15-60분	4	1
	〈 15분	2	0.5
5-25 %	〉240분	12	3
	60-240분	7.2	1.8
	15-60분	2.4	0.6
	〈 15분	1.2	0.3
1-5 %	〉240분	4	1
	60-240분	2.4	0.6
	15-60분	0.8	0.2
	〈 15분	0.4	0.1
〈 1 %	〉240분	2	0.5
	60-240분	1.2	0.3
	15-60분	0.4	0.1
	〈 15분	0.2	0.05

Ⅳ. 결론

Ⅳ. 결론

1. 요약

화학물질의 노출 농도는 특정한 용도로 사용 혹은 공정에 따라 달라지므로, 관심을 가져야 할 '노출 상황'에 대해 화학물질관리 정책을 이행할 필요가 있다. 국내에서 유해 화학물질에 대한 흡입 노동자 노출 평가는 직접 측정(작업환경측정)으로 이루어지고 있으나 대부분 측정 결과가 노출 기준 미만으로 나타나고 있고, 공정이나 활동이 표준화되어 코드화 되지 않아 관심을 가져야 할 '노출 상황'이 무엇인지 파악하지 못하고 있다. 본 연구에서는 안전보건공단이 측정한 납을 대상으로 공정 및 활동 표준화를 하고 농도를 조사하였다. 사업장 납은 금속 납, 납 화합물, 납 외에 여러 성분이 같이 존재하는 UVCB 형태로 사용되고 있었다. 금속을 사용하는 공정은 용해 및 주조, 압출, 연마 등이 일반적인 것으로 유럽연합에서 보고하였다. 공기 중 발생형태는 납이 용해되어 미스트 형태가 가능하나 납의 끓는 점 이상으로 취급하는 경우도 거의 없다.. 연마 및 분말 취급 공정에서는 분진이 발생하였고 스프레이 경우 미스트 형태로 발생한다.

화학물질의 공기 중 노출 농도 결정인자로 활동(공정)요인, 물질특성요인, 국소제어 기술, 발생원 분리, 희석, 작업자 분리, 개인 행동, 표면 오염, 호흡보호구 요인이 있다고 Marquart 등(2011)이 보고하였다. 노출 농도 결정인자를 이해하는 것은 공기 중 화학물질이 발생하고 전달되고 감소하는 과정을 이해하는 것을 의미한다.

유럽 연합 화학물질 등록 법률 이행을 위해서, 공기 중 노출 농도 결정요인 중 하나인 공정을 28개의 "PROC"으로 분류해서 사용한다. 그러나 "PROC"은 공기 중 화학물질이 방출되는 원리에 근거한 것이 아니라 경험에 근거하여 만들어져 서로 배타적이 아니라서 분류에 차이가 생기는 경우가 많다. ART

모델의 “활동”은 공기 중 방출되는 화학물질의 성상을 기준으로 활동에서 일어나는 에너지의 크기와 종류를 근거로 하여 22개로 분류하였다.

국내 납 취급 사업장의 납 작업환경측정 자료는 국내에서 보고된 다른 자료의 노출 결과와 현격히 차이가 났다. 유럽연합의 2008년 자발적인 납 위해도 평가(안)에서는 납의 소비가 많은 곳 중 1차 제련, 2차 제련 납 산화물과 안정제, 납 결정유리, 세라믹 그릇 생산하는 곳에는 납 0.05 ㎎/㎥을 초과하는 경우가 많았으며, 납의 소비가 적은 곳 중에는 청동 및 황동 주조 공장, 납 총알 사용하는 곳에서 납 0.05 ㎎/㎥을 초과하는 경우가 많다고 보고하였다

작업환경측정 신뢰도 평가 사업 중 납 취급 사업장 분석 결과, 납괴·아연, 납 스크랩, 동합금 잉곳 용해· 주조, 압출·압연, 도장, 안정제 투입 및 포장 공정에서 납 노출 농도가 0.05 ㎎/㎥을 초과하는 것으로 나타났다. 특히 밧데리 제조 및 폐밧데리 재활용 공정에서도 납 노출 농도가 0.05 ㎎/㎥을 초과하였다.

2. 제언

유해한 화학물질에 대해 노출 평가를 하는 목적은 노출을 확인하여 기준값 이하로 노출을 관리하기 위함이다. 작업장은 환경과 생산의 변동성이 커 한 번의 노출 평가가 전체를 대표하기 어렵다. 따라서 노출 결과는 기준값 초과 여부 이전에 어떤 상황에서 노출 평가가 이루어졌는지 확인되어야 한다. 유럽연합에서는 이러한 논의를 거쳐 노동자 노출에 영향을 미치는 인자를 Specific Worker Exposure Determinants (SWED)라고 명명하고 템플릿을 제공하고 있다. 이 SWED 템플릿을 우리도 화학물질 노출 평가에 활용하여 노출 결과를 노출결정인자 맥락에서 해석할 필요가 있다.

문헌 고찰 및 작업환경측정 신뢰성 평가 결과, 작업장에서 납을 취급하는 경우 특정한 공정에서 노출 농도가 높다고 보고되고 있다. 납의 공기 중 노출 기준은 국내는 0.05 ㎎/㎥이지만, 유럽연합의 법적 노출기준은 0.15 ㎎/㎥이다. 납의 국내 노출 기준은 매우 낮은 농도로 사업장에서 노출 기준 이하로

유지하기 어려울 수 있다. 그러나 사업장에서 보고한 작업환경측정 결과에서는 이러한 현상이 잘 나타나지 않고 있다. 정부가 주요 납 취급 공정에 대해 노출 상황을 정확히 파악하고 노출을 감소시킬 수 있는 적극적인 정책을 이행하길 바란다.

작업장 화학물질 노출 자료로 데이터베이스를 만들 때 활동이나 공정의 표준화는 필요한 일이나 현재 국내 작업환경측정 자료의 공정은 표준화되어 있지 못하다. 작업장에서 실제 작업을 보면 여러 작업으로 이루어졌으나 공기중 화학물질이 비산되는 경우는 비교적 쉽게 찾아낼 수 있다. 기본적으로 작업을 표준화하는 것은 ART의 22개 활동으로 표준화가 가능하다. 그러나 현재 국내에서도 화학물질 등록에 따른 노출 시나리오가 작성되고 있으므로 이와의 호환을 고려한다면 ECETOC TRA의 PROC 28개를 공정 표준화에 사용하기를 제안한다. 특히, 금속산업의 경우 MEASE PROC 가이드를 이용한다면 더 쉽게 공정을 표준화할 수 있다.

참고문헌

최상준, 박동욱, 정지연, 고동희, 임성국, 임대성. 작업환경측정 대상정보 표준화연구(II). 2018 산업안전보건연구원

최상준, 박동욱, 서성철, 고동희, 김환철, 박주현. 국내 직업성질환 역학 연구를 위한 과거노출 추정. 2020. 산업안전보건연구원

Tielemans E, Schneider T, Goede H, Tischer M, Warren N, Kromhout H, van Tongeren M, van Hemmen J, Cherrie JW. Conceptual model for assessment of inhalation exposure: defining modifying factors. Ann Occup Hyg. 2008;52(7):577-586

Marquart H, Schneider T, Goede H, Tischer M, Schinkel J, Warren N Fransman W, Spaan S, van Tongeren M, Kromhout H, Tielemans E, Cherrie JW. Classification of occupational activities for assessment of inhalation exposure. Ann Occup Hyg. 2011;55(9):989-1005

ASailabaht A, Wan F, Cherrie J. Extension of the advanced REACH Tool(ART) to include welding fume exposure. Int J Environ Res Public Health. 2018.;15:2199

Marquart H, Scheffers T. Wold baek T. European proposal for core information for the storage and exchange of workplace measurement on chemical agents. Applied Occup Env Hyg. 1997

Koh DH, Locke SJ, Chen YC, Purdue MP, Friesen MC. Lead exposure in US worksites: A literature review and development of an occupational lead exposure database from the published literature. Am J Ind Med. 2015;58:605-616

Voluntary risk assessment lead and lead compounds. 2008

Fransman W, Cherrie JW, van Tongeren M, Schneider T, Tischer M, Schinkel J, M,arquart H, Warren N, Spankie S, Kromhout H, Tielemans E. Development of a mechanistic model for the Advanced REACH Tool (ART). 2013. TNO

Gómez MR. Recommendations for methods to code industry and job task in routinery collected exposure data. Am Ind Hyg Assoc. 1994;55:743-746

Abstract

Process or activities as determinants of inhalation exposure of chemicals in workplaces; lead and its compound

Since the exposure concentration of chemical varies depending on the use or process, it is necessary to implement chemical management policies for exposure situations that should be of interest. In this study, it would be identified the contextual information necessary in interpreting the results of chemical exposure measurements. Also, lead concentration in measured in domestic would be classified by the process and activities.

Lead is used in the form of metal lead, lead compounds, and chemical substances of unknown or variable composition (UVCB substances). Processes using lead are common for dissolution, casting, extrusion and polishing.

Factors determining the exposure concentration of chemicals in the air inculde activity factors, material characteristics factors, local control technology, source separation, dilution, workers separation, personal behavior, surface contamination and respiratory protection. Understanding exposure concentration determinants means understanding the process

of generating, delivering and decreasing chemicals in the air.

For the implementation of the European Union Chemical Registration Act, 28 “PROC” were classified and used. However, “PROC” is often different in classification because it is not based on the principle of releasing chemicals in the air but is not exclusive based on experience. The “activity” of the ART model was classified into 22 based on the size and type of energy occurring in the activity based on the properties of chemical substnaces released in the air.

The data used in this study showed higher lead concentration than lead of work environment database. The European Union’s voluntary lead risk assessment(draft) in 2008 reported that lead concentration in primary smelting, secondary smelting, lead oxide stabilizers, lead crystalline glass, and ceramic bowl, bronze foundry and lead bullets often exceeded 0.05 ㎎/㎥. The lead concentration in lead lump, lead scrap, copper alloy ingot smelting and casting, extrusion, roll pressing, lead painting, stabilizer injection and packaging in work environment measurement reliability evaluation project exceeded 0.05 ㎎/㎥.

Conclusions: Standardization of workplace processes and activities allows us to systematically identify situations in which we should be interested in exposure to chemicals. In the case of lead, there is a possibility that the concentration of exposure is high in smelting, casting, polishing, powder handling, roll pressing, extrusion, spraying, battery manufacturing and waste battery recycling processes.

Key words: Lead, Process, Activity, MEASE, SWED

연구진

연 구 기 관 : **산업안전보건연구원**

연구책임자 : 이나루 (산업화학연구실 화학물질연구센터소장)

연 구 원 : 이도희 (산업화학연구실 연구원)

연 구 원 : 이혜진 (산업화학연구실 연구위원)

연구기간

2021. 1.1 ~ 2021. 11. 30

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

화학물질 노출 농도 결정 요인으로서 작업공정 및 활동 영향 분석
(2021-산업안전보건연구원-811)

발 행 일 : 2021년 11월 30일
발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아
연구책임자 : 산업안전보건연구원 이나루
발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원
주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400
전 화 : (042) 869-0310
팩 스 : (042) 863-9001
Homepage : http://www.kosha.or.kr/oshri
I S B N : 979-11-92138-36-7