



### 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

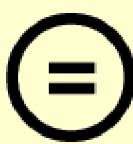
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원 저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리와 책임은 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



석사학위논문

산업안전보건법상 허용기준 설정대상 유해인자의  
우리나라 전체 작업환경측정결과(2013-2015)의  
농도분포 특성 분석



한성대학교 대학원  
기계시스템공학과  
산업위생공학전공  
임 유 택

석사학위논문

지도교수 박두용

산업안전보건법상 허용기준 설정대상 유해인자의  
우리나라 전체 작업환경측정결과(2013-2015)의  
농도분포 특성 분석

Characteristics of Concentration Distributions of Workplace  
Monitoring Data during 2013-2015 for Harmful Chemicals  
controlled by Permissible Exposure Limits under Korean OHS Act

2016년 12월 일

한성대학교 대학원  
기계시스템공학과  
산업위생공학전공  
임 유 택

석사학위논문

지도교수 박두용

산업안전보건법상 허용기준 설정대상 유해인자의  
우리나라 전체 작업환경측정결과(2013-2015)의  
농도분포 특성 분석

Characteristics of Concentration Distributions of Workplace  
Monitoring Data during 2013-2015 for Harmful Chemicals  
controlled by Permissible Exposure Limits under Korean OHS Act

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2016년 12월 일

한성대학교 대학원  
기계시스템공학과  
산업위생공학전공  
임유택

## 국 문 초 록

### 산업안전보건법상 허용기준 설정대상 유해인자의 우리나라 전체 작업환경측정결과(2013-2015)의 농도분포 특성 분석

한성대학교 대학원  
기계시스템공학과  
산업위생공학전공  
임 유 택

지난 3년간 산업안전보건법 시행규칙에 허용기준을 규정해 놓은 화학물질에 대하여 2013년부터 2015년까지 3년간 우리나라 전체 사업장의 작업환경측정 자료를 분석하였다.

허용기준 설정 물질 중 가장 측정이 많은 물질은 노말헥산으로 지난 3년간 16,386건이었다. 포름알데히드 11,297건, 트리클로로에틸렌 10,002건, 납 및 그 무기화합물 5,311건, 니켈(불용성 무기화합물) 4,520건, 디메틸포름알데히드 3,673건, 6가크롬 화합물(수용성) 2,310건, 벤젠 2,101건, 6가크롬 화합물(불용성) 937건, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 741건, 카드뮴 및 그 화합물 532건, 이황화탄소 94건 등이었다.

허용기준을 초과한 건수는 납 및 그 무기화합물이 16건으로 가장 많았고, 트리클로로에틸렌 11건, 포름알데히드 7건, 디메틸포름아미드 6건, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 4건, 노말헥산, 카드뮴 및 그 화합물, 벤젠, 6가크롬 화합물(불용성) 1건으로 나타났다. 측정건수 대비 허용기준을 초과한 비율은 톨루엔-2,4-디이소시아네이트가 3.2%로 가장 높았고, 납 및 그 무기화합물

1.8%, 카드뮴 및 그 화합물 1.1%, 디메틸포름아미드 1.0%, 트리클로로에틸렌 0.6%, 6가크롬 화합물(불용성) 0.4%, 포름알데히드 0.4%, 벤젠 0.2%, 6가크롬 화합물(수용성)과 노말헥산 0.04% 순으로 나타났다.

기하평균과 기하표준편차를 산출하여 허용기준을 초과할 확률을 추정한 결과, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트가 7.5%로 가장 높았다. 원자료에서 허용기준을 초과한 건수의 비율은 3.2%였으나 통계량으로 추정한 결과, 이보다 2배 이상 많은 7.5%가 초과위험이 있는 것으로 나타났다. 납 및 그 무기화합물은 6.3%로 단순 건수로 본 초과율 1.8%의 4배가 높게 나타났다. 디메틸포름아미드 5.8%도 단순 건수 초과율 1.0%보다 크게 높았고, 6가크롬 화합물(불용성) 4.2%도 0.4%의 10배, 카드뮴 및 그 화합물 3.3%은 건수 초과율의 1.1%의 3배, 포름알데히드 3.0%은 단순 건수 초과율의 0.4%보다, 벤젠과 트리클로로에틸렌 2.7%는 각각 0.2%, 0.6%보다, 6가크롬 화합물(수용성) 2.2%는 0.04%보다 크게 높아졌다. 그 외 니켈(불용성 무기화합물)은 0.5%, 이황화탄소 0.4%, 그리고 노말헥산은 0.3%로 나타났다.

【주요어】 허용기준, 노출기준, TLV, 작업환경측정결과, 허용기준설정물질

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구 배경 .....	1
제 2 절 연구 목적 .....	2
제 2 장 연구 방법 .....	3
제 1 절 연구대상 물질 .....	3
제 2 절 연구대상 자료 .....	3
제 3 장 연구 결과 .....	4
제 1 절 물질별 작업환경 농도 분포 .....	4
제 2 절 물질별 위험성 추정 .....	17
제 3 절 연구 대상의 노출기준 .....	18
제 4 절 허용기준 설정물질의 작업환경 농도 수준 .....	20
1) 원자료 분석결과 .....	20
2) 허용기준 1% 미만을 제외한 분석 결과 .....	20
제 5 절 허용기준 초과 건수 .....	23
1) 허용기준 50% 초과 건수 .....	23
2) 허용기준 초과 건수 .....	23
3) ACGIH-TLV 50% 초과 건수 .....	26
4) ACGIH-TLV 초과 건수 .....	26

제 6 절 측정 건수 대비 기준 초과 비율	29
1) 측정 건수 대비 허용기준 50% 초과 비율	29
2) 측정 건수 대비 허용기준 초과 비율	29
3) 측정 건수 대비 ACGIH-TLV 50% 초과 비율	32
4) 측정 건수 대비 ACGIH-TLV 초과 비율	32
제 7 절 통계량으로 추정한 허용기준 초과 확률	35
1) 허용기준 50% 초과 확률	35
2) 허용기준 초과 확률	35
3) ACGIH-TLV 50% 초과 확률	38
4) ACGIH-TLV 초과 확률	38
제 8 절 허용기준 1% 미만 값 제외한 자료 분석결과	41
1) 허용기준 50% 초과 확률	41
2) 허용기준 초과 확률	41
3) ACGIH-TLV 50% 초과 확률	44
4) ACGIH-TLV 초과 확률	44
제 9 절 초과 건수 비율과 초과 확률의 비교	47
1) 허용기준 초과 비율과 초과 확률의 비교	47
2) ACGIH-TLV 초과 비율과 초과 확률의 비교	47
제 10 절 원자료 통계량으로부터 초과 건수 추정	50
1) 허용기준 50% 초과 추정 건수	50
2) 허용기준 초과 추정 건수	50
3) ACGIH-TLV 50% 초과 추정 건수	53
4) ACGIH-TLV 초과 추정 건수	53
제 11 절 허용기준 1% 미만 제외자료 통계량으로부터 초과 건수 추정	56
1) 허용기준 50% 초과 추정 건수	56

2) 허용기준 50% 초과 추정 건수 .....	56
3) ACGIH-TLV 50% 초과 추정 건수 .....	59
4) ACGIH-TLV 초과 추정 건수 .....	59
제 12 절 추정 방식에 따른 기준 초과율 비교 .....	62
1) 허용기준 50% 초과율 추정 결과 비교 .....	62
2) 허용기준 초과율 추정 결과 비교 .....	62
 제 4 장 결 론 .....	65
 참 고 문 현 .....	67
 부 록 .....	69
 ABSTRACT .....	81

## 표 목 차

<표 1> 연구 대상의 고용노동부 허용기준 및 ACGIH-TLV .....	19
<표 2> 작업환경 측정결과 원자료 통계분석 결과(2013-2015년) .	21
<표 3> 허용기준의 1% 미만 값을 제외한 측정결과의 통계분석 결과(2013-2015년) .....	22
<표 4> 물질별 허용기준 50% 초과 건수 .....	24
<표 5> 물질별 허용기준 초과 건수 .....	25
<표 6> ACGIH-TLV 50% 초과 건수 .....	27
<표 7> ACGIH-TLV 초과 건수 .....	28
<표 8> 측정 건수 대비 허용기준 50% 초과 비율(%) .....	30
<표 9> 측정 건수 대비 허용기준 초과 비율(%) .....	31
<표 10> 측정 건수 대비 ACGIH-TLV 50% 초과 비율(%) .....	33
<표 11> 측정 건수 대비 ACGIH-TLV 초과 비율(%) .....	34
<표 12> 통계량으로 추정한 허용기준 50% 초과 확률(%) .....	36
<표 13> 통계량으로 추정한 허용기준 초과 확률(%) .....	37
<표 14> 통계량으로 추정한 ACGIH-TLV 50% 초과 확률(%) .....	39
<표 15> 통계량으로 추정한 ACGIH-TLV 초과 확률(%) .....	40
<표 16> 허용기준 50% 초과 확률 .....	42
<표 17> 허용기준 초과 확률 .....	43
<표 18> ACGIH-TLV 50% 초과 확률 .....	45
<표 19> ACGIH-TLV 초과 확률 .....	46
<표 20> 허용기준 초과 비율과 확률 비교(%) .....	48
<표 21> ACGIH-TLV 초과 비율과 확률 비교(%) .....	49

<표 22> 원자료 통계량으로부터 추정된 허용기준 50% 초과 추정 건수	51
<표 23> 원자료 통계량으로부터 추정된 허용기준 초과 추정 건수	52
<표 24> 원자료 통계량으로부터 추정된 ACGIH-TLV 50% 초과 추정 건수	54
<표 25> 원자료 통계량으로부터 추정된 ACGIH-TLV 초과 추정 건수	55
<표 26> 허용기준 1% 미만 값 제외자료 통계량으로부터 추정된 허용기준 50% 초과 추정 건수	57
<표 27> 허용기준 1% 미만 값 제외자료 통계량으로부터 추정된 허용기준 초과 추정 건수	58
<표 28> 허용기준 1% 미만 값 제외자료 통계량으로부터 추정된 ACGIH-TLV 50% 초과 추정 건수	60
<표 29> 허용기준 1% 미만 값 제외자료 통계량으로부터 추정된 ACGIH-TLV 초과 추정 건수	61
<표 30> 허용기준 50% 초과율 추정 결과 비교	63
<표 31> 허용기준 초과율 추정 결과 비교	64

## 그 림 목 차

[그림 1] 납 및 그 무기화합물의 로그-정규분포도	5
[그림 2] 니켈(불용성 무기화합물)의 로그-정규분포도	5
[그림 3] 디메틸포름아미드의 로그-정규분포도	6
[그림 4] 벤젠의 로그-정규분포도	6
[그림 5] 6가크롬 화합물(불용성)의 로그-정규분포도	7
[그림 6] 6가크롬 화합물(수용성)의 로그-정규분포도	7
[그림 7] 이황화탄소의 로그-정규분포도	8
[그림 8] 카드뮴 및 그 화합물의 로그-정규분포도	8
[그림 9] 톨루엔-2,4-디이소시아네이트의 로그-정규분포도	9
[그림 10] 트리클로로에틸렌의 로그-정규분포도	9
[그림 11] 포름알데히드의 로그-정규분포도	10
[그림 12] 노말헥산의 로그-정규분포도	10
[그림 13] Lead Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line	11
[그림 14] Nikel Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line	11
[그림 15] Dimethyl formamide Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line	12
[그림 16] Benzene Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line	12
[그림 17] Hexavalent chromium(insoluble) Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line	13

[그림 18] Hexavalent chromium(water soluble) Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line .....	13
[그림 19] Carbon disulfide Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line .....	14
[그림 20] Cadmium Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line .....	14
[그림 21] 2,4-TDI Logprobability Plot and Least-Squares Best-Fit Line .....	15
[그림 22] Trichloroethylene Log probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line .....	15
[그림 23] Formaldehyde Log probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line .....	16
[그림 24] Hexane Log probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line .....	16

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구 배경

고용노동부에서는 작업장에서 발생되는 유해인자로부터 근로자가 건강상의 장해를 입는 것을 방지하기 위하여 ‘화학물질 및 물리적 인자의 노출기준’을 고시하여 근로자의 건강을 보호하도록 하고 있다(고용노동부 2016). 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준은 고용노동부 고시로 법적 효력이 있는 것이 아닌 일종의 행정권고기준이라고 할 수 있다.

한편 고용노동부는 일부 유해인자에 대해서 산업안전보건법 제39조의2에 법적인 허용기준을 설정하고 있다. 이는 발암성 물질 등 근로자에게 중대한 건강장해를 유발할 우려가 있는 유해인자로서 대통령령으로 정하는 유해인자<sup>1)</sup>의 경우 시설 및 설비의 설치나 개선이 현존하는 기술로 가능하지 아니한 경우 또는 천재지변 등으로 시설과 설비에 대한 결함이 발생한 경우, 고용노동부령으로 정하는 임시 작업과 단시간 작업의 경우를 제외하고 작업장 내의 그 노출 농도를 고용노동부령으로 정하는 허용기준 이하로 유지하도록 하고 있다. 이와 같이 고용노동부에서 일부 화학물질에 대하여 법적인 허용기준을 설정한 이유는 노출기준이상의 농도에 노출될 경우 건강장해 위험이 높거나, 건강장해가 발생할 경우에 그 결과의 심각성이 중대하므로 사업장에서 반드시 노출기준 이하로 작업환경을 관리하도록 좀 더 강력한 제재를 하여 근로자의 건강을 보호하고자 한 것으로 보인다.

본 연구는 허용기준이 설정된 물질을 대상으로 우리나라 전체 사업장의 작업환경측정 결과를 취합하여 허용기준 설정 물질 취급 사업장 규모, 노출되는 근로자수, 그리고 노출수준 및 특성을 파악하여 향후 우리나라 산업보건 정책 및 작업환경관리 대책을 수립하는데 기초자료를 제공하고자 하였다. 이를 위해 법적 허용기준이 설정된 물질의 최근 3년간 전국의 작업환경측정 결과를 분석하였다.

1) 납 및 그 무기화합물, 니켈(불용성 무기화합물), 디메틸포름아미드, 벤젠, 2-브로모프로판, 석면, 6가크롬 화합물, 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 또는 톨루엔-2,6-디이소시아네이트, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 노말헥산

## 제 2 절 연구 목적

본 연구의 목적은 첫째, 산업안전보건법상 규정된 허용기준 설정 유해인자 의 작업환경측정결과를 분석하여 전국적으로 이들 물질의 노출 농도 특성을 파악하고자 하였다.

둘째, 작업환경측정 결과 자료를 바탕으로 이들 물질에 노출되는 근로자 수 (가능성, 또는 빈도)와 허용기준 초과 위험성을 파악하여 위험성을 산출하고자 하였다.

셋째, 2016.2.17. 산업안전보건법 시행규칙 개정으로 허용기준이 낮게 변경 되는 니켈(불용성 무기화합물), 벤젠, 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 트리 클로로에틸렌, 포름알데히드의 경우, 허용기준 변화로 인한 기준 초과 대상자 수 등을 예측하여 향후 집중적인 관리 대상 규모 등을 파악하고자 하였다.

이와 같은 분석을 통하여 기존 측정제도의 문제점과 자료의 활용 가능성 등을 파악하여 향후 이와 관련된 연구의 기초자료를 제공하고자 한다.

## 제 2 장 연구 방법

### 제 1 절 연구대상 물질

본 연구의 대상 물질은 우리나라 산업안전보건법 시행령 제31조에 허용기준이 설정된 물질 중에서 납 및 그 무기화합물, 니켈(불용성 무기화합물), 디메틸포름아미드, 벤젠, 6가크롬 화합물, 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 노말헥산 등이다.

허용기준이 설정되어 있으나 1일 작업시간 동안 6시간 이상 연속 측정하여 평가한 노출 농도 중 정량화된 측정 결과 값이 없고, ACGIH의 TLV가 제정되어 있지 않은 2-브로모프로판과 분석자가 직접 계수하여 분석하는 석면은 제외하였으며, 2016.2.17. 산업안전보건법 시행규칙 별표 11의3이 개정됨에 따라 추가된 툴루엔-2,6-디이소시아네이트도 연구 대상에서 제외하였다.

### 제 2 절 연구대상 자료

본 연구의 분석 자료는 2013년부터 2015년까지 산업안전보건공단이 지정 측정기관으로부터 취합한 작업환경측정 결과이다. 작업환경측정결과에서 사업장 및 공정 정보 등 개인 정보를 삭제한 물질별 측정 결과만을 받아 분석에 사용하였다.

## 제 3 장 연 구 결 과

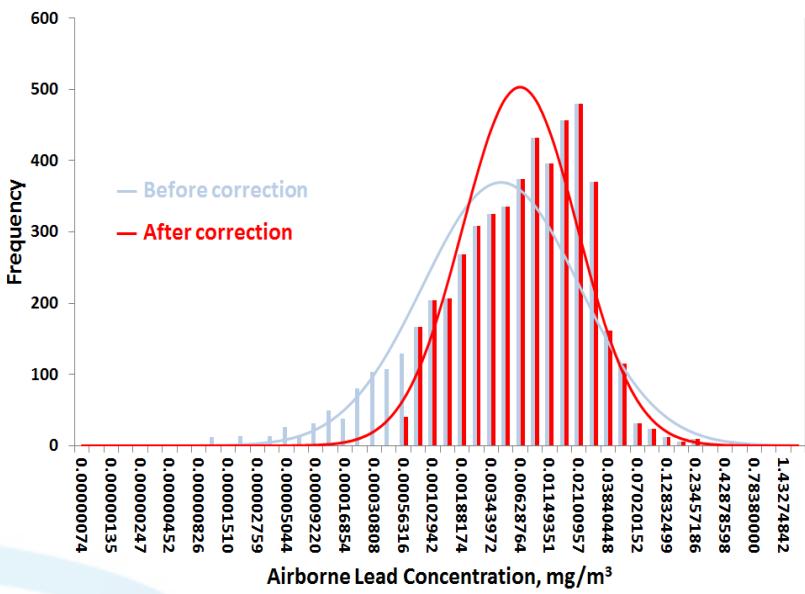
### 제 1 절 물질별 작업환경 농도 분포

단위작업장소에서 공기 중 유해인자의 농도는 대수정규분포 하는 것을 감안해서 본 연구에 사용되는 데이터를 로그변환(Log Transform)한 뒤 히스토그램과 로그-정규분포곡선을 그려보면 [그림 1]부터 [그림 12]와 같이 도수분포표보다 로그-정규분포곡선이 좌측으로 치우쳐 넓게 펴져있는 것으로 나타났다.

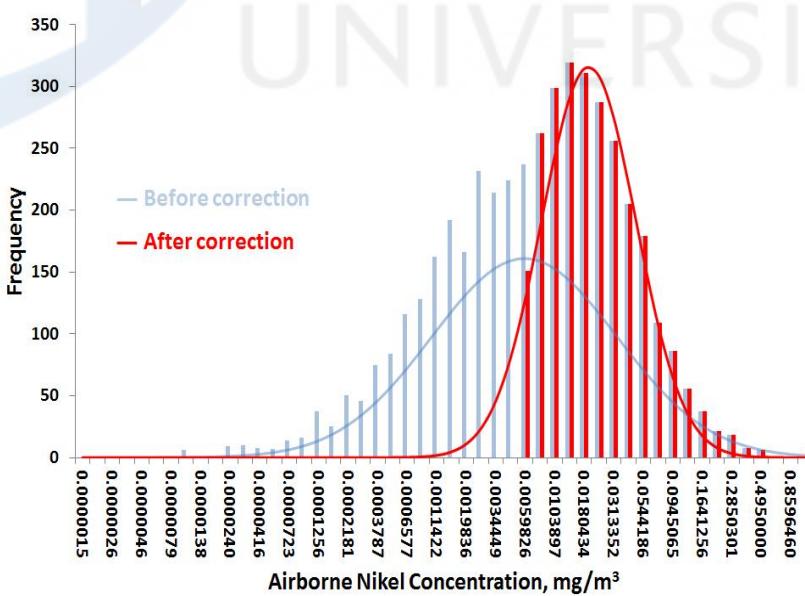
이러한 이유는 [그림 13]부터 [그림 24]와 보는 바와 같이 매우 낮은 농도 값들이 포함되어 있기 때문으로 보인다. 이와 같이 극단적으로 낮은 값은 검출한계 미만일 가능성이 많다. 그러나 실험실에는 분석값이 0 또는 (-) 값이 나오면 검출한계 미만(not detected, ND)로 표현하지만, 비록 오차일지라도 매우 낮은 수치가 나오면 그냥 보고(reporting)하는 경향이 있다. 검출한계 미만 오차는 매우 작아 전체 데이터의 평균값은 작게 하고 분산은 커지게 한다.

통계 분석을 실시함에 있어 평균과 분산이 잘 못 적용되는 경우 분석에 오류를 범할 수 있고, 이러한 오류를 피하기 위해 허용기준의 0.01배 미만인 값을 삭제하는 방법으로 데이터를 보정한 뒤 히스토그램과 로그-정규분포곡선을 그려보면 [그림 1]부터 [그림 12]와 같이 데이터 보정 전보다 로그-정규분포곡선이 히스토그램에 수렴하는 것을 알 수 있다.

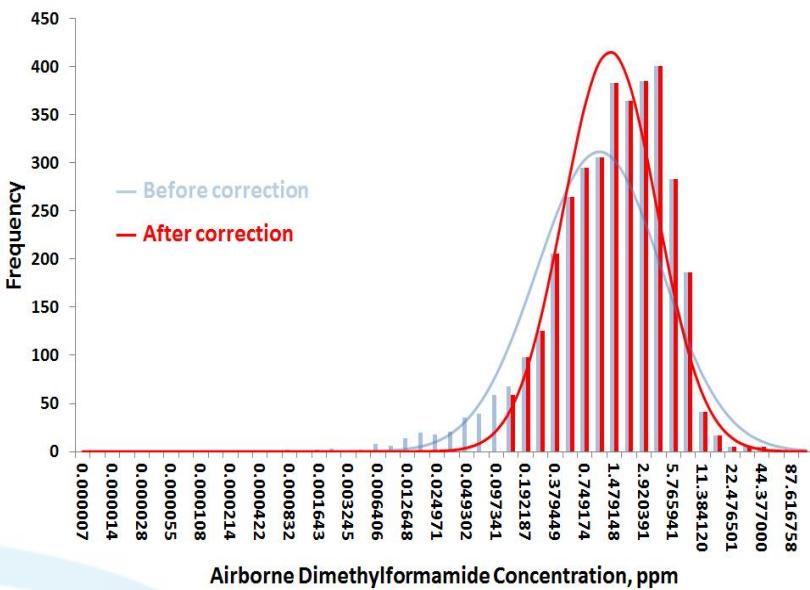
따라서 본 연구에서는 지정측정기관이 2013년부터 2015년까지 1일 작업시간 동안 6시간 이상 연속 측정하여 평가한 노출 농도 중 정량화된 측정 결과값에서 허용기준의 0.01배 미만의 값을 삭제하는 방법으로 데이터를 보정하여 통계량을 산출하고 이로부터 초과위험도 등을 분석하였다.



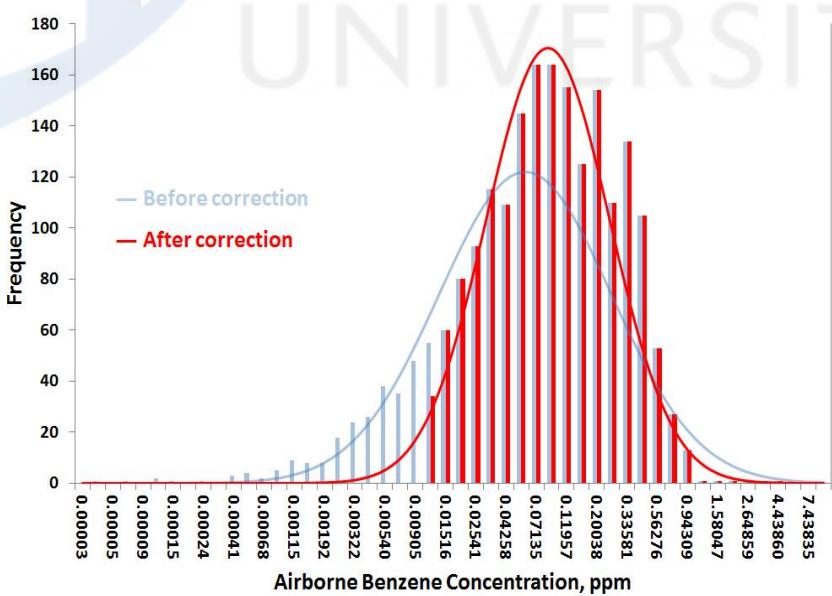
[그림 1] 납 및 그 무기화합물의 로그-정규분포도.



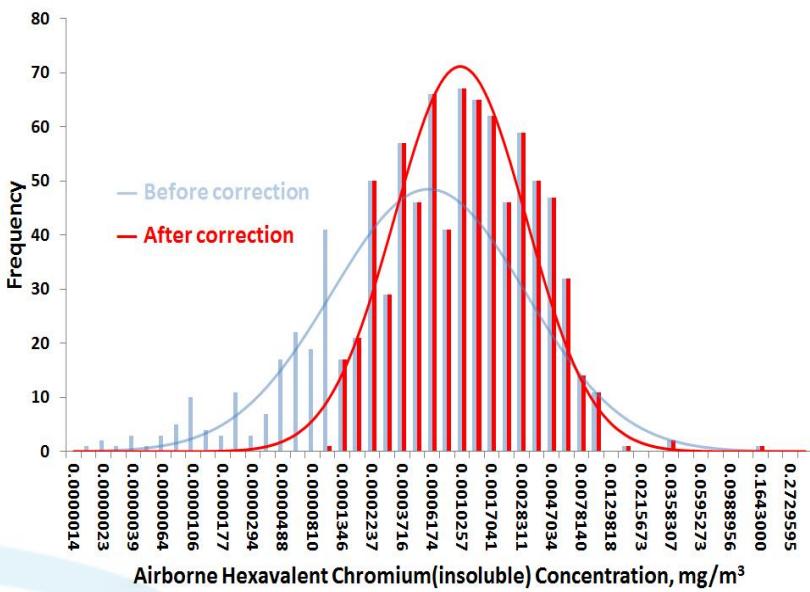
[그림 2] 니켈(불용성 무기화합물)의 로그-정규분포도.



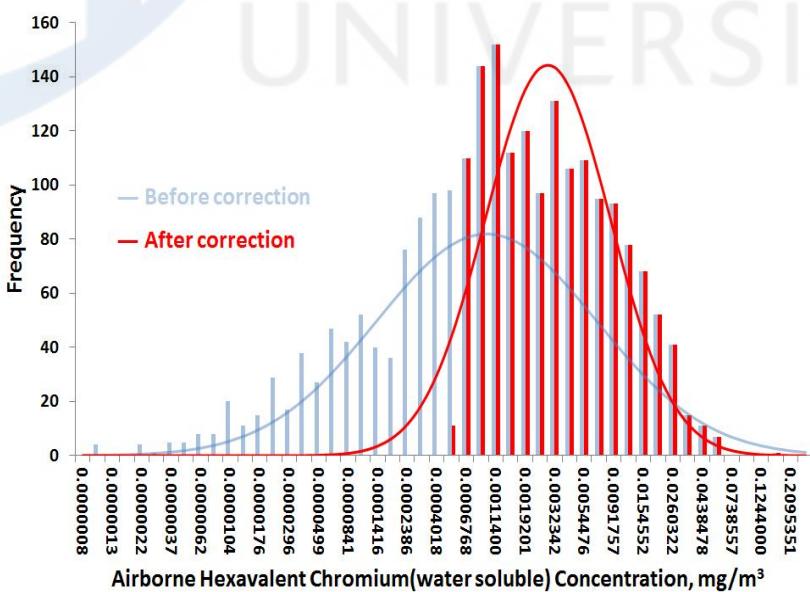
[그림 3] 디메틸포름아미드의 로그-정규분포도.



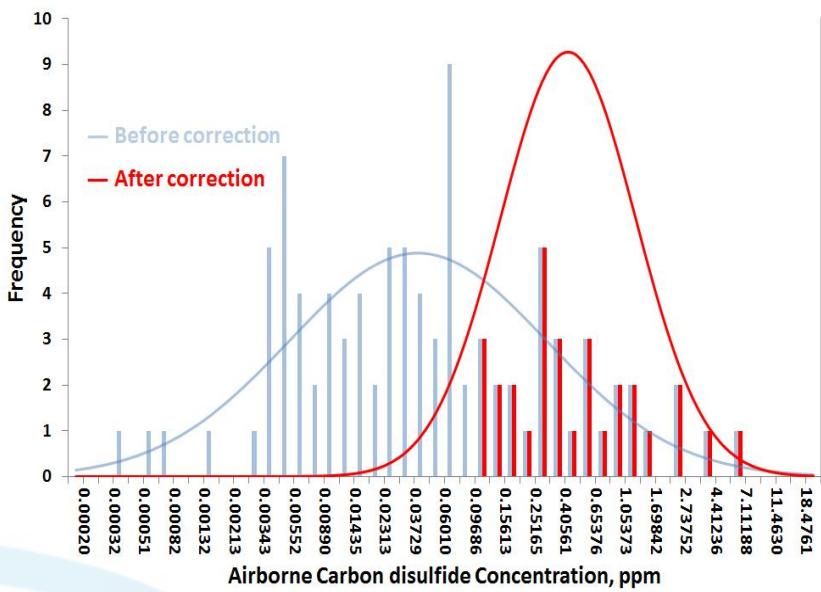
[그림 4] 벤젠의 로그-정규분포도.



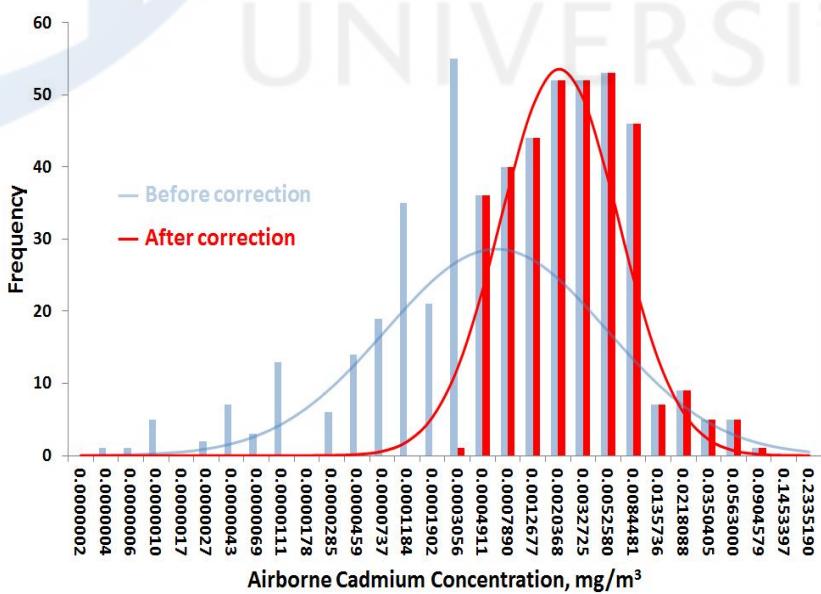
[그림 5] 6가크롬 화합물(불용성)의 로그-정규분포도.



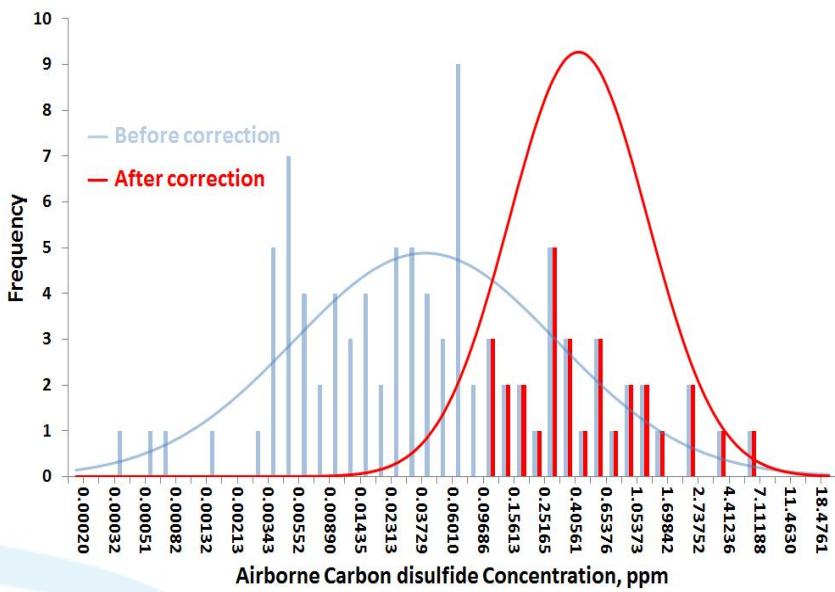
[그림 6] 6가크롬 화합물(수용성)의 로그-정규분포도.



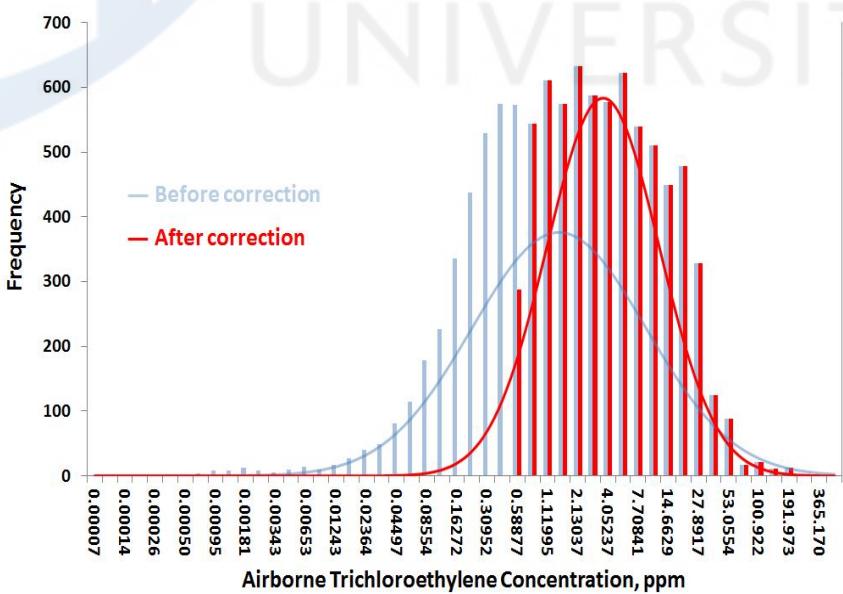
[그림 7] 이황화탄소의 로그-정규분포도.



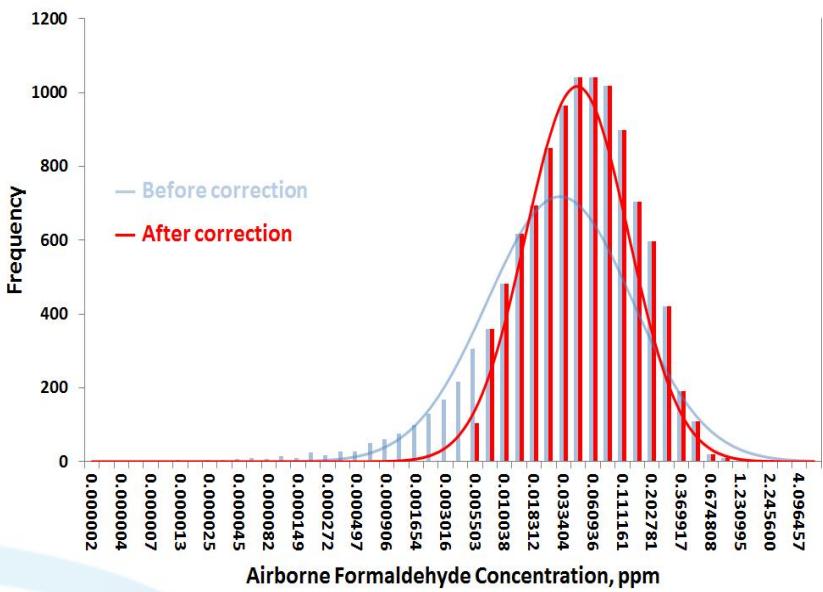
[그림 8] 카드뮴 및 그 화합물의 로그-정규분포도.



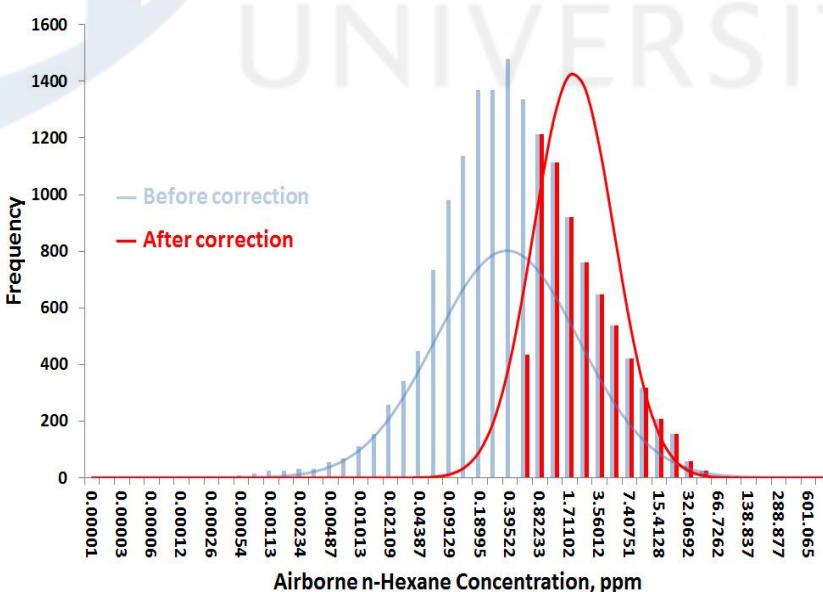
[그림 9] 툴루엔-2,4-디이소시아네이트의 로그-정규분포도.



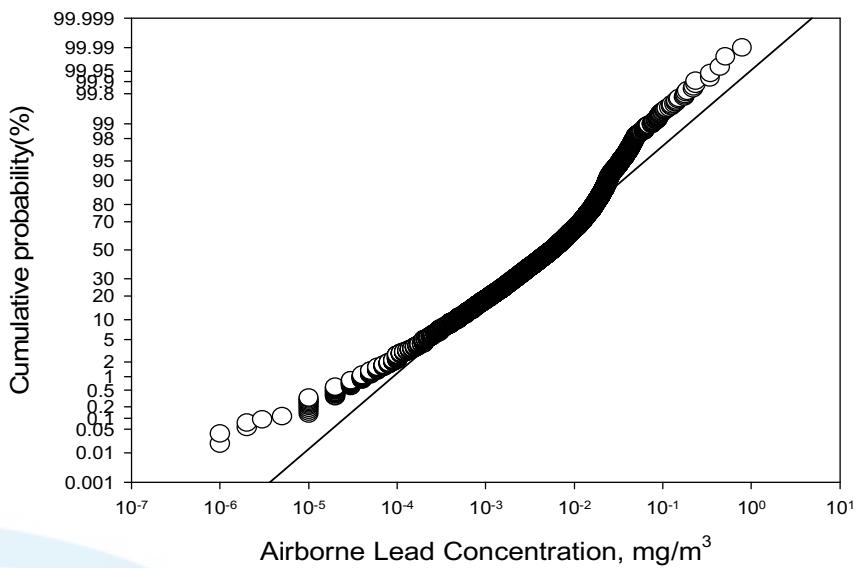
[그림 10] 트리클로로에틸렌의 로그-정규분포도.



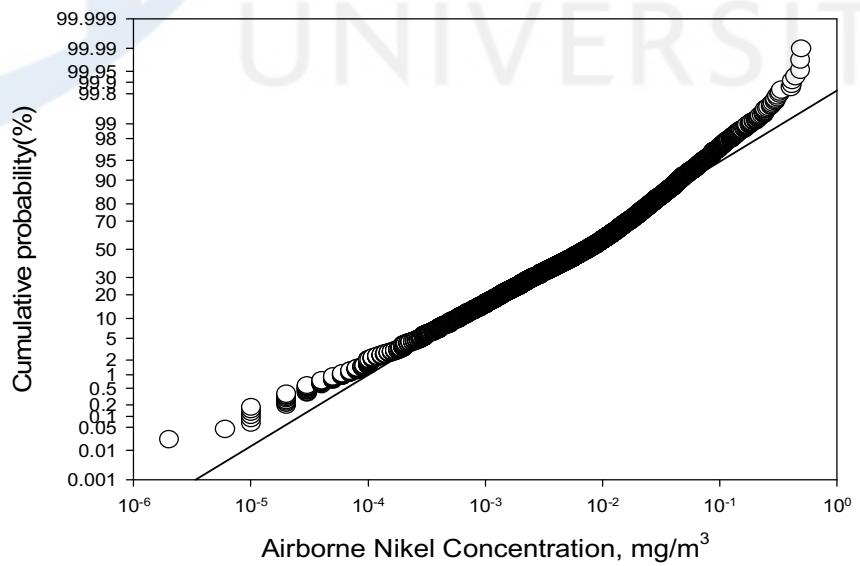
[그림 11] 포름알데히드의 로그-정규분포도.



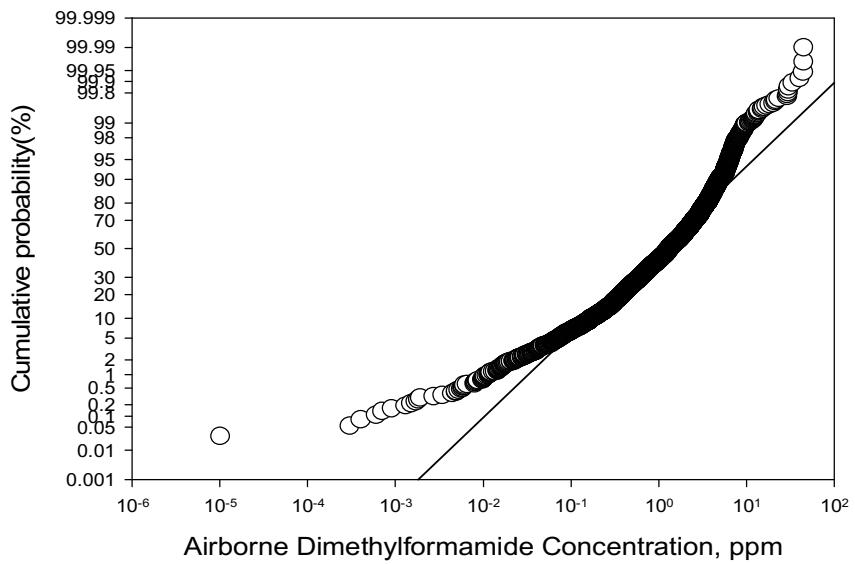
[그림 12] 노말헥산의 로그-정규분포도.



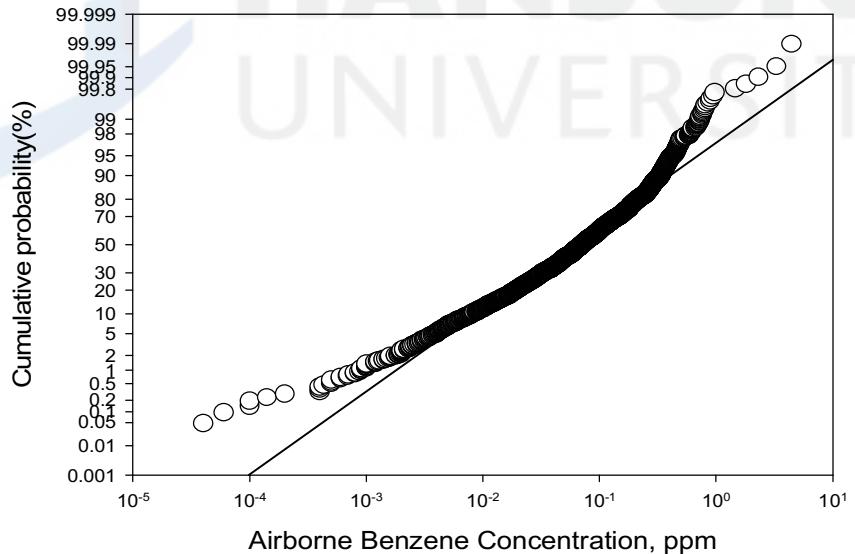
[그림 13] Lead Log-probability Plot  
and Least-Squares Best-Fit Line.



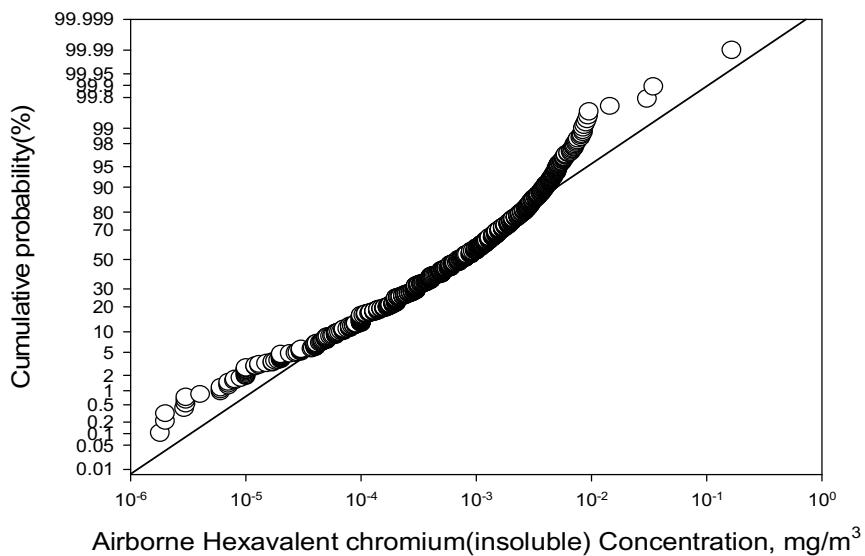
[그림 14] Nikel Log-probability Plot  
and Least-Squares Best-Fit Line.



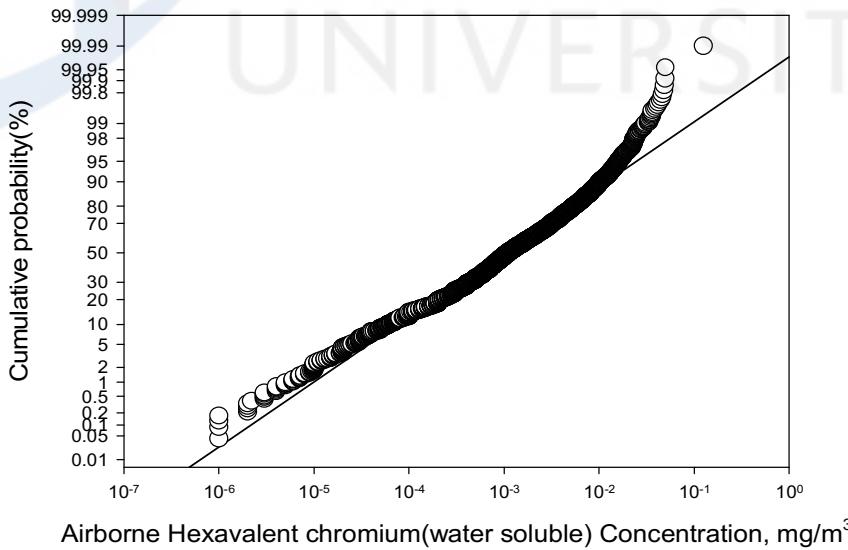
[그림 15] Dimethyl formamide Log-probability Plot  
and Least-Squares Best-Fit Line.



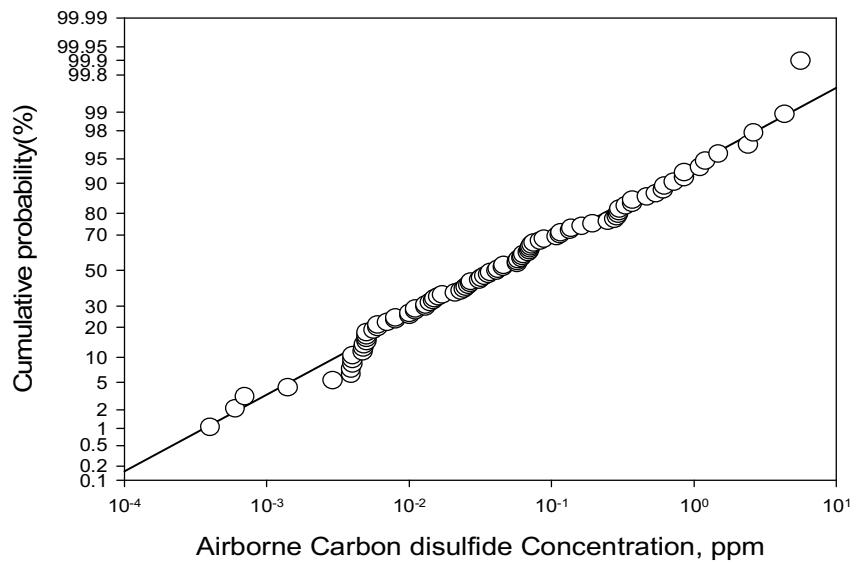
[그림 16] Benzene Log-probability Plot  
and Least-Squares Best-Fit Line.



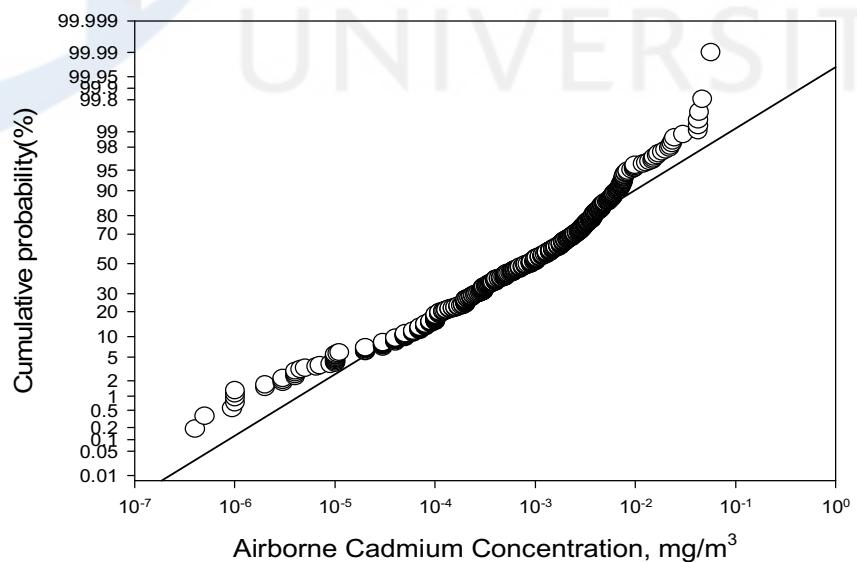
[그림 17] Hexavalent chromium(insoluble) Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line.



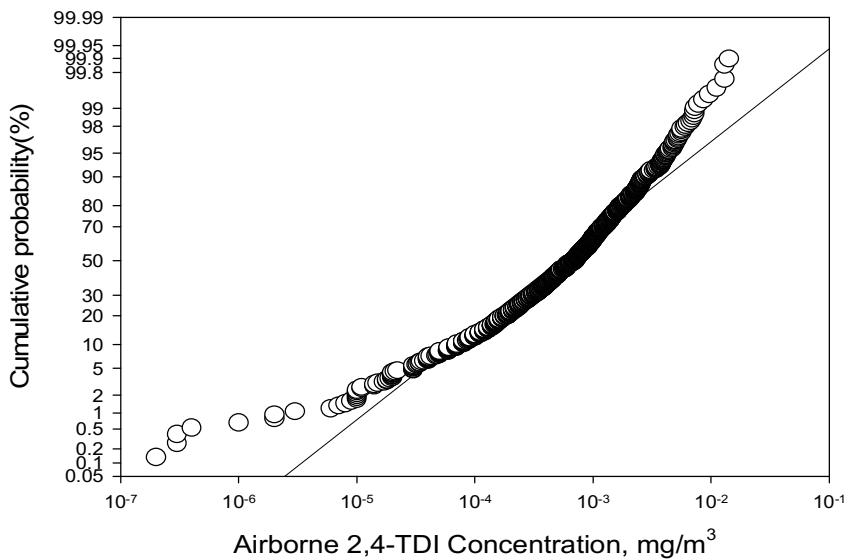
[그림 18] Hexavalent chromium(water soluble) Log-probability Plot and Least-Squares Best-Fit Line.



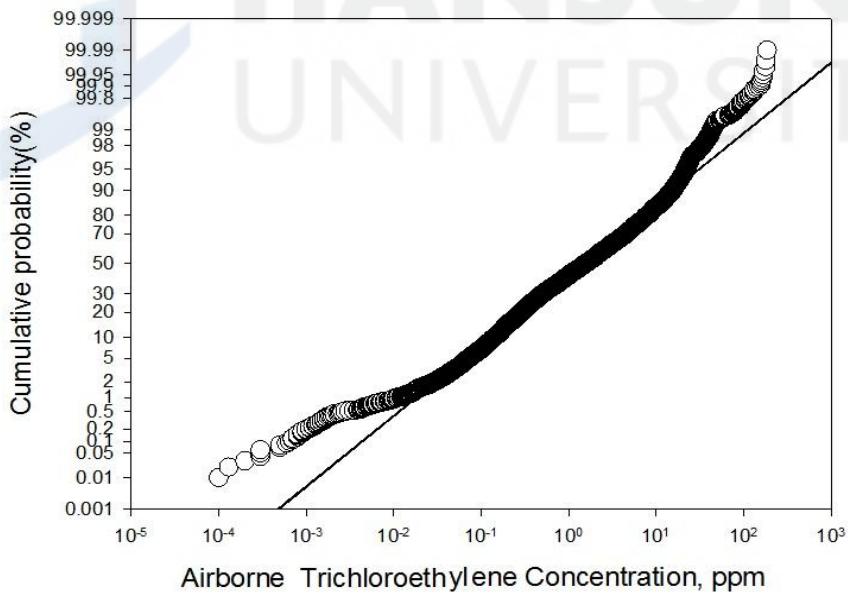
[그림 19] Carbon disulfide Log-probability Plot  
and Least-Squares Best-Fit Line.



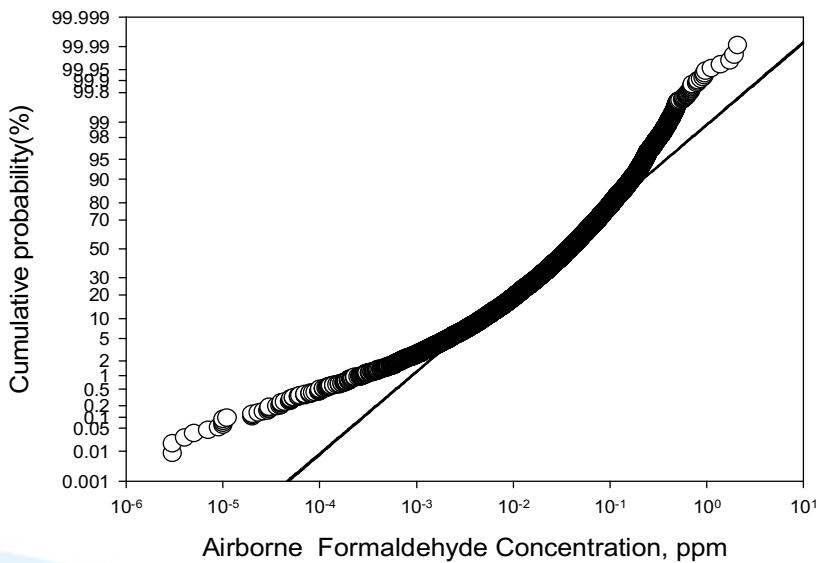
[그림 20] Cadmium Log-probability Plot and Least-Squares  
Best-Fit Line.



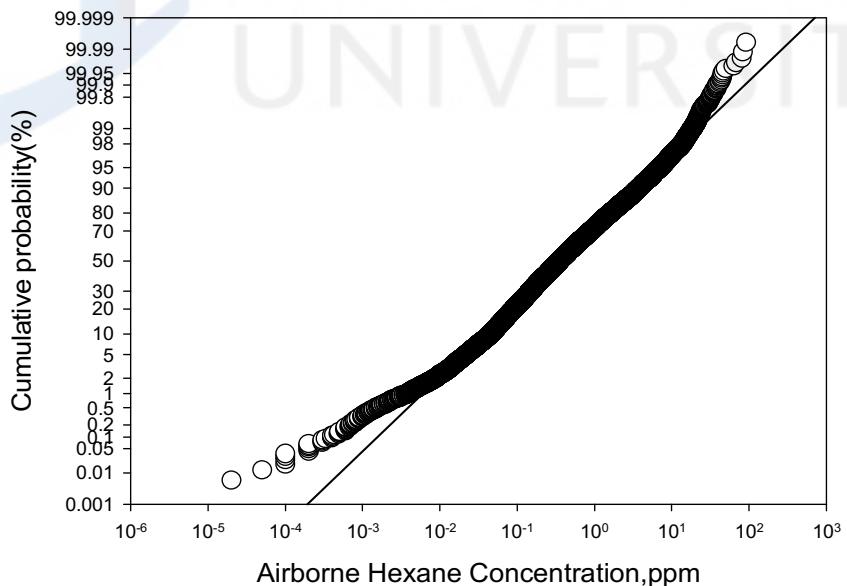
[그림 21] 2,4-TDI Logprobability Plot  
and Least-Squares Best-Fit Line.



[그림 22] Trichloroethylene Log probability Plot  
and Least-Squares Best-Fit Line.



[그림 23] Formaldehyde Log probability Plot  
and Least-Squares Best-Fit Line.



[그림 24] Hexane Log probability Plot  
and Least-Squares Best-Fit Line.

## 제 2 절 물질별 위험성 추정

우리나라 고용노동부 고시 ‘사업장 위험성평가에 관한 지침’ 제3조 제1항 제5호에는 “위험성 추정”이란 유해·위험요인별로 부상 또는 질병으로 이어질 수 있는 가능성(빈도)과 중대성(강도)의 크기를 각각 추정하여 위험성의 크기를 산출하는 것이라고 정의되어 있다. 즉, 위험성의 크기를 산출하기 위해서는 가능성(빈도)과 중대성(강도)의 크기로 어떤 값을 적용할 것인가에 대해 결정 할 필요가 있다.

가능성(빈도)의 크기는 지정측정기관에서 작업환경측정을 실시할 때 시료채취 근로자 수를 선정함에 있어 ‘작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시’ 제19조 규정에 따라 유해인자에 노출되는 근로자가 1명인 경우 1명에 대해서만 측정하는 것을 제외한 나머지의 경우 단위작업장소에서 최고 노출근로자 2명에 대해 동시에 측정하고, 동일 작업근로자가 10명을 초과하는 경우 매 5명마다 1명 이상 추가하여 측정하는 것을 감안하여 본 연구에 사용된 데이터의 개수로 적용하였다.

그리고 중대성(강도)의 크기는 ‘화학물질 및 물리적 인자의 노출기준’ 제2조 제1항 제1호에 “노출기준”이란 근로자가 유해인자에 노출되는 경우 노출기준 이하 수준에서는 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 기준이라고 명시되어 있는 것을 감안하여 허용기준을 초과한 비율을 중대성(강도)의 크기로 적용할 수 있을 것이다.

그러나 [그림 1]부터 [그림 12]의 히스토그램을 살펴보면 허용기준을 기점으로 그 빈도수가 급격히 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 우리나라 작업환경측정은 사업주가 지정측정기관을 선택하여 그 업무를 위탁할 수 있고, 지정측정기관이 실시하는 작업환경측정에서 유해인자의 노출 농도가 허용기준을 초과하면 고용노동부에서 실시하는 감독 대상 선정의 사유가 될 수 있고, 감독 시 사업주가 불이익한 처분을 받을 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 현실 여건을 감안할 때 지정측정기관에서 실시한 작업환경측정 결과 값이 왜곡될 수 있음을 고려해서 유해인자가 허용기준을 초과할 수 있는 확률을 산출하여 이를 중대성(강도)의 크기로 적용하였다.

### 제 3 절 연구 대상의 노출기준

우리나라 산업안전보건법 시행규칙(고용노동부령 제122호, 제150호) 별표 11의3과 2016년 ACGIH의 TLV에 명시된 본 연구 대상 유해인자의 노출기준은 <표 1>과 같다.

이를 비교해 보면 납 및 그 무기화합물, 디메틸포름아미드, 6가크롬 화합물(수용성), 6가크롬 화합물(불용성), 노말헥산의 허용기준은 ACGIH의 TLV와 동일하게 설정되어 있음을 알 수 있다.

그리고 니켈(불용성 무기화합물), 벤젠, 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드의 허용기준은 2016.2.17. 산업안전보건법 시행규칙이 개정됨에 따라 2016. 8. 18.부터 ACGIH의 TLV와 동일하게 변경되는 것을 알 수 있다.

그러나 톨루엔-2,4-디이소시아네이트는 ACGIH의 TLV가 0.001ppm으로 규정되어 있어서 우리나라 허용기준인 0.005ppm과 다르지만 2016.2.17. 산업안전보건법 시행령 개정 시 허용기준이 변경되지 않고 기준과 동일하게 유지되었음을 알 수 있다.

<표 1> 연구 대상의 고용노동부 허용기준 및 ACGIH-TLV

물질명	산안법 시행규칙상 허용기준		2016 ACGIH-TLV
	2015.1.16	2016.2.17. 개정 이후	
니켈(불용성 무기화합물)	0.5 mg/m <sup>3</sup>	0.2 mg/m <sup>3</sup>	0.2 mg/m <sup>3</sup>
벤젠	1 ppm	0.5 ppm	0.5 ppm
이황화탄소	10 ppm	1 ppm	1 ppm
카드뮴 및 그 화합물	0.03 mg/m <sup>3</sup>	0.01 mg/m <sup>3</sup>	0.01 mg/m <sup>3</sup>
트리클로로에틸렌	50 ppm	10 ppm	10 ppm
포름알데히드	0.5 ppm	0.3 ppm	C 0.3 ppm
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	0.005 ppm	동일	0.001 ppm
납 및 그 무기화합물	0.05 mg/m <sup>3</sup>	동일	0.05 mg/m <sup>3</sup>
디메틸포름아미드	10 ppm	동일	10 ppm
6가크롬 화합물(불용성)	0.01 mg/m <sup>3</sup>	동일	0.01 mg/m <sup>3</sup>
6가크롬 화합물(수용성)	0.05 mg/m <sup>3</sup>	동일	0.05 mg/m <sup>3</sup>
노말헥산	50 ppm	동일	50 ppm

## 제 4 절 허용기준 설정물질의 작업환경 농도 수준

### 1) 원자료 분석결과

2013년부터 2015년까지 지정측정기관에서 1일 작업시간 동안 6시간 이상 연속 측정하여 정량화한 데이터를 기준으로 볼 때 유해인자의 기초 통계량은 <표 2>와 같다. 노말헥산이 16,386개로 가장 많았고, 포름알데히드 11,297개, 트리클로로에틸렌 10,002개, 납 및 그 무기화합물 5,311개, 니켈(불용성 무기화합물) 4,520개, 디메틸포름알데히드 3,673개, 6가크롬 화합물(수용성) 2,310개, 벤젠 2,101개, 6가크롬 화합물(불용성) 937개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 741개, 카드뮴 및 그 화합물 532개, 이황화탄소 94개 순으로 나타났다. 유해인자의 반기별 상세 통계량은 <부록 표 1>부터 <부록 표 12>와 같다.

### 2) 허용기준 1% 미만을 제외한 분석 결과

2013년에서 2015년까지 3년간 측정결과 중에서 허용기준의 0.01배 미만인 값을 제외한 자료를 분석한 결과는 <표 3>과 같다. 포름알데히드가 10,129개로 가장 많았고, 트리클로로에틸렌 7,020개, 노말헥산 6,827개, 납 및 그 무기화합물 4,726개, 디메틸포름아미드 3,430개, 니켈(불용성 무기화합물) 2,611개, 벤젠 1,846개, 6가크롬 화합물(수용성) 1,553개, 6가크롬 화합물(불용성) 785개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 679개, 카드뮴 및 그 화합물 351개, 이황화탄소 30개 순으로 나타났다. 허용기준 0.01배 이하의 극히 낮은 측정값을 제외하여 노출가능성이 있는 측정값만 대상으로 유해인자에 노출되는 근로자수를 파악한 결과, 유해물질의 우선순위가 다르게 나타났다.

데이터 보정에 따른 유해인자의 반기별 상세 통계량은 <부록 표 13>부터 <부록 표 24>와 같다.

**<표 2> 작업환경 측정결과 원자료 통계분석 결과(2013-2015년)**

Substance	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
노말헥산	16,386	1.5395	4.3551	0.3674	5.8567	288.877	0.00002	0.351535
포름알데히드	11,297	0.0673	0.0919	0.0311	4.3981	2.2456	0.000003	0.03769
트리클로로에틸렌	10,002	5.3898	11.0066	1.4273	6.3968	191.973	0.0001	1.54675
납	5,311	0.0109	0.0219	0.0042	5.0481	0.7838	0.000001	0.00556
니켈	4,520	0.0188	0.0363	0.0059	5.6671	0.495	0.000002	0.00734
디메틸포름아미드	3,673	2.1324	2.8146	1.0461	4.2193	44.377	0.00001	1.302
6가크롬 화합물(수용성)	2,310	0.0037	0.0067	0.001	7.0105	0.1244	0.000001	0.0011
벤젠	2,101	0.1311	0.197	0.0591	4.3557	4.4386	0.00004	0.07076
6가크롬 화합물(불용성)	937	0.0017	0.0058	0.0006	5.1804	0.1643	0.0000018	0.0007
2,4-TDI	741	0.0012	0.0016	0.0005	4.7949	0.0141	0.0000002	0.00069
카드뮴	532	0.0028	0.0059	0.0006	8.0869	0.0563	0.0000004	0.00087
이황화탄소	94	0.3059	0.8212	0.0444	7.7125	5.6018	0.0004	0.04145

<표 3> 허용기준의 1% 미만 값을 제외한 측정결과의 통계분석 결과(2013-2015년)

Substance	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
포름알데히드	10,129	0.0748	0.0943	0.0441	2.8469	2.2456	0.00501	0.04459
트리클로로에틸렌	7,020	7.5848	12.5077	3.6477	3.3073	191.973	0.5005	3.3928
노말헥산	6,827	3.4465	6.2663	1.8908	2.6973	288.877	0.50056	1.5206
납	4,726	0.0122	0.0229	0.0062	3.2835	0.7838	0.00051	0.006975
디메틸포름아미드	3,430	2.2803	2.8553	1.3439	2.9449	44.377	0.101	1.447915
니켈	2,611	0.0313	0.0438	0.0196	2.4215	0.495	0.00501	0.0175
벤젠	1,846	0.1486	0.2041	0.0869	2.8652	4.4386	0.0101	0.08695
6가크롬 화합물(수용성)	1,553	0.0054	0.0076	0.0029	3.0213	0.1244	0.00051	0.00261
6가크롬 화합물(불용성)	785	0.002	0.0063	0.0009	3.485	0.1643	0.000104	0.001
2,4-TDI	679	0.0013	0.0016	0.0007	3.1809	0.0141	0.00001	0.00076
카드뮴	351	0.0041	0.0069	0.0021	3.0549	0.0563	0.000303	0.00212
이황화탄소	30	0.9013	1.2738	0.4791	2.9318	5.6018	0.108	0.3675

## 제 5 절 허용기준 초과 건수

### 1) 허용기준 50% 초과 건수

조사대상 화학물질의 2013년부터 2015년까지 우리나라 작업환경 측정자료 중에서 허용기준의 50%를 초과한 수는 <표 4>와 같이 납 및 그 무기화합물이 76개로 가장 많았고, 포름알데히드 68개, 디메틸포름아미드 60개, 트리클로로로에틸렌 54개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 15개, 노말헥산 10개, 벤젠 9개, 6가크롬 화합물(불용성) 8개, 6가크롬 화합물(수용성) 6개, 니켈(불용성 무기화합물) 4개, 카드뮴 및 그 화합물 3개 순으로 나타났고, 이황화탄소는 2014년 하반기에 1건이 허용기준의 50%를 초과하였다.

### 2) 허용기준 초과 건수

허용기준을 초과한 수는 <표 5>와 같이 납 및 그 무기화합물이 16개로 가장 많았고, 트리클로로로에틸렌 11개, 포름알데히드 7개, 디메틸포름아미드 6개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 4개, 노말헥산, 카드뮴 및 그 화합물, 벤젠, 6가크롬 화합물(불용성) 1개 순으로 나타났으며, 6가크롬 화합물(수용성)은 2014년 상반기에 1건 허용기준을 초과하였고, 니켈(불용성 무기화합물)과 이황화탄소는 허용기준을 초과하지 않았던 것으로 나타났다.

<표 4> 물질별 허용기준 50% 초과 건수

물질명	초과 건수						
	2013		2014		2015		평균
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
납 및 그 무기화합물	56	84	84	81	78	73	76
포름알데히드	89	77	83	65	46	49	68
디메틸포름아미드	64	55	53	62	70	53	60
트리클로로에틸렌	37	44	52	56	72	60	54
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	5	9	14	24	22	13	15
노말헥산	9	5	15	14	13	6	10
벤젠	10	6	9	14	7	6	9
6가크롬 화합물(불용성)	3	4	8	8	14	11	8
6가크롬 화합물(수용성)	3	2	6	5	15	6	6
니켈(불용성 무기화합물)	2	0	6	6	1	6	4
카드뮴 및 그 화합물	15	1	1	0	0	0	3
이황화탄소	0	0	0	1	0	0	0

<표 5> 물질별 허용기준 초과 건수

물질명	초과 건수						
	2013		2014		2015		평균
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
납 및 그 무기화합물	10	15	20	19	18	12	16
트리클로로에틸렌	2	2	4	8	27	20	11
포름알데히드	6	12	8	10	3	1	7
디메틸포름아미드	12	5	0	5	6	9	6
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	1	3	5	5	6	4	4
노말헥산	0	1	0	1	2	3	1
카드뮴 및 그 화합물	6	0	0	0	0	0	1
벤젠	0	1	3	1	0	0	1
6가크롬 화합물(불용성)	0	0	1	0	3	0	1
6가크롬 화합물(수용성)	0	0	1	0	0	0	0
니켈(불용성 무기화합물)	0	0	0	0	0	0	0
이황화탄소	0	0	0	0	0	0	0

### 3) ACGIH-TLV 50% 초과 건수

조사대상 화학물질의 2013년부터 2015년까지 우리나라 작업환경 측정자료 중에서 ACGIH-TLV의 50%를 초과한 수는 <표 6>과 같이 트리클로로에틸렌이 496개로 가장 많았고, 포름알데히드 227개, 납 및 그 무기화합물 76개, 벤젠, 디메틸포름아미드 60개, 니켈(불용성 무기화합물) 22개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 15개, 카드뮴 및 그 화합물 12개, 노말헥산 10개, 6가크롬 화합물(불용성) 8개, 6가크롬 화합물(수용성) 6개, 이황화탄소 2개 순으로 나타났다.

### 4) ACGIH-TLV 초과 건수

ACGIH-TLV를 초과한 수는 <표 7>과 같이 트리클로로에틸렌이 268개로 가장 많았고, 포름알데히드 44개, 납 및 그 무기화합물 16개, 벤젠 9개, 니켈(불용성 무기화합물) 7개, 디메틸포름아미드 6개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트, 카드뮴 및 그 화합물 4개, 이황화탄소와 노말헥산, 6가크롬 화합물(불용성) 1개 순으로 나타났고, 6가크롬 화합물(수용성)은 2014년 상반기에 1건 초과한 것으로 나타났다.

<표 6> ACGIH-TLV 50% 초과 건수

물질명	초과 건수						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
트리클로로에틸렌	390	373	543	483	545	481	469
포름알데히드	255	194	242	204	219	245	227
납 및 그 무기화합물	56	84	84	81	78	73	76
벤젠	57	65	56	63	63	54	60
디메틸포름아미드	64	55	53	62	70	53	60
니켈(불용성 무기화합물)	9	5	31	32	25	29	22
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	5	9	14	24	22	13	15
카드뮴 및 그 화합물	28	12	9	12	5	8	12
노말헥산	9	5	15	14	13	6	10
6가크롬 화합물(불용성)	3	4	8	8	14	11	8
6가크롬 화합물(수용성)	3	2	6	5	15	6	6
이황화탄소	1	5	0	3	2	2	2

<표 7> ACGIH-TLV 초과 건수

물질명	초과 건수						평균	
	2013		2014		2015			
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기		
트리클로로에틸렌	220	195	332	262	324	276	268	
포름알데히드	57	53	54	49	28	25	44	
납 및 그 무기화합물	10	15	20	19	18	12	16	
벤젠	10	6	9	14	7	6	9	
니켈(불용성 무기화합물)	5	2	10	10	3	9	7	
디메틸포름아미드	12	5	0	5	6	9	6	
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	1	3	5	5	6	4	4	
카드뮴 및 그 화합물	18	2	2	0	0	0	4	
이황화탄소	0	4	0	1	2	0	1	
노말헥산	0	1	0	1	2	3	1	
6가크롬 화합물(불용성)	0	0	1	0	3	0	1	
6가크롬 화합물(수용성)	0	0	1	0	0	0	0	

## 제 6 절 측정 건수 대비 기준 초과 비율

### 1) 측정 건수 대비 허용기준 50% 초과 비율

조사대상 화학물질의 2013년부터 2015년까지 우리나라 작업환경 측정자료 중에서 허용기준의 50%를 초과한 비율은 <표 8>과 같이 나타났다. 톨루엔-2,4-디이소시아네이트가 11.7%로 가장 높았고, 그 뒤로 디메틸포름아미드 9.7%, 납 및 그 무기화합물 8.6%, 6가크롬 화합물(불용성) 5.1%, 포름알데히드 3.6%, 트리클로로에틸렌 3.2%, 카드뮴 및 그 화합물 3.2%, 벤젠 2.5%, 6가크롬 화합물(수용성) 1.6%, 이황화탄소 1.1%, 니켈(불용성 무기화합물) 0.5%, 노말헥산 0.4% 순으로 나타났다.

### 2) 측정 건수 대비 허용기준 초과 비율

허용기준을 초과한 비율은 <표 9>와 같이 나타났다. 톨루엔-2,4-디이소시아네이트가 3.2%로 가장 높았고, 납 및 그 무기화합물 1.8%, 카드뮴 및 그 화합물 1.1%, 디메틸포름아미드 1.0%, 트리클로로에틸렌 0.6%, 6가크롬 화합물(불용성) 0.4%, 포름알데히드 0.4%, 벤젠 0.2%, 6가크롬 화합물(수용성)과 노말헥산 0.04% 순으로 나타났으며, 니켈(불용성 무기화합물)과 이황화탄소는 허용기준을 초과하지 않았던 것으로 나타났다.

<표 8> 측정 건수 대비 허용기준 50% 초과 비율(%)

물질명	초과 비율(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	4.4	10.5	11.7	18.9	12.7	10.7	11.7
디메틸포름아미드	9.0	10.0	8.5	10.9	10.7	9.4	9.7
납 및 그 무기화합물	9.6	9.6	8.6	8.5	7.7	8.0	8.6
6가크롬 화합물(불용성)	2.5	3.1	4.6	4.6	8.1	6.7	5.1
포름알데히드	5.4	4.9	4.9	3.3	2.2	2.1	3.6
트리클로로에틸렌	2.3	2.7	2.7	3.5	4.4	3.8	3.2
카드뮴 및 그 화합물	13.4	1.4	1.1	0	0	0	3.2
벤젠	4.1	1.9	2.6	3.7	1.6	1.6	2.5
6가크롬 화합물(수용성)	1.0	0.6	1.5	1.2	3.5	1.4	1.6
이황화탄소	0	0	0	5.9	0	0	1.1
니켈(불용성 무기화합물)	0.5	0	0.8	0.6	0.1	0.7	0.5
노말헥산	0.3	0.2	0.5	0.6	0.4	0.3	0.4

<표 9> 측정 건수 대비 허용기준 초과 비율(%)

물질명	초과 비율(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	0.9	3.5	4.2	3.9	3.5	3.3	3.2
납 및 그 무기화합물	1.7	1.7	2.1	2.0	1.8	1.3	1.8
카드뮴 및 그 화합물	5.4	0	0	0	0	0	1.1
디메틸포름아미드	1.7	0.9	0	0.9	0.9	1.6	1.0
트리클로로에틸렌	0.1	0.1	0.2	0.5	1.7	1.3	0.6
6가크롬 화합물(불용성)	0	0	0.6	0	1.7	0	0.4
포름알데히드	0.4	0.8	0.5	0.5	0.1	0	0.4
벤젠	0.0	0.3	0.9	0.3	0	0	0.2
6가크롬 화합물(수용성)	0	0	0.2	0	0	0	0.04
노말헥산	0	0.04	0	0.04	0.1	0.1	0.04
니켈(불용성 무기화합물)	0	0	0	0	0	0	0
이황화탄소	0	0	0	0	0	0	0

### 3) 측정 건수 대비 ACGIH-TLV 50% 초과 비율

조사대상 화학물질의 2013년부터 2015년까지 우리나라 작업환경 측정자료 중에서 TLV의 50%를 초과한 비율은 <표 10>과 같이 트리클로로에틸렌이 28.1%로 가장 높았고, 벤젠 17.0%, 카드뮴 및 그 화합물 13.9%, 이황화탄소 13.8%, 포름알데히드 12.0%, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 11.7%, 디메틸포름아미드 9.7%, 납 및 그 무기화합물 8.6%, 6가크롬 화합물(불용성) 5.1%, 니켈(불용성 무기화합물) 2.9%, 6가크롬 화합물(수용성) 1.6%, 노말헥산 0.4% 순으로 나타났다.

### 4) 측정 건수 대비 ACGIH-TLV 초과 비율

TLV를 초과한 비율은 <표 11>과 같이 트리클로로에틸렌이 16.1%로 가장 높았고, 이황화탄소 7.5%, 카드뮴 및 그 화합물 4.1%, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 3.2%, 벤젠 2.5%, 포름알데히드 2.4%, 납 및 그 무기화합물 1.8%, 디메틸포름아미드 1.0%, 니켈(불용성 무기화합물) 0.9%, 6가크롬 화합물(불용성) 0.4%, 6가크롬 화합물(수용성)과 노말헥산이 0.04% 순으로 나타났다.

<표 10> 측정 건수 대비 ACGIH-TLV 50% 초과 비율(%)

물질명	초과비율(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
트리클로로에틸렌	23.9	23.1	28.1	30.2	33.3	30.4	28.1
벤젠	23.3	21.0	16.0	16.7	14.6	13.9	17.0
카드뮴 및 그 화합물	25.0	16.2	9.6	14.0	6.0	9.8	13.9
이황화탄소	7.7	35.7	0	17.7	11.1	8.3	13.8
포름알데히드	15.6	12.4	14.4	10.3	10.5	10.5	12.0
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	4.4	10.5	11.7	18.9	12.7	10.7	11.7
디메틸포름아미드	9.0	10.0	8.5	10.9	10.7	9.4	9.7
납 및 그 무기화합물	9.6	9.6	8.6	8.5	7.7	8.0	8.6
6가크롬 화합물(불용성)	2.5	3.1	4.6	4.6	8.1	6.7	5.1
니켈(불용성 무기화합물)	2.4	1.1	4.2	3.2	2.4	3.2	2.9
6가크롬 화합물(수용성)	1.0	0.6	1.5	1.2	3.5	1.4	1.6
노말헥산	0.3	0.2	0.5	0.6	0.4	0.3	0.4

<표 11> 측정 건수 대비 ACGIH-TLV 초과 비율(%)

물질명	초과 비율(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
트리클로로에틸렌	13.5	12.1	17.2	16.4	19.8	17.5	16.1
이황화탄소	0	28.6	0	5.9	11.1	0	7.5
카드뮴 및 그 화합물	16.1	2.7	2.1	0	0	0	4.1
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	0.9	3.5	4.2	3.9	3.5	3.3	3.2
벤젠	4.1	1.9	2.6	3.7	1.6	1.6	2.5
포름알데히드	3.5	3.4	3.2	2.5	1.3	1.1	2.4
납 및 그 무기화합물	1.7	1.7	2.1	2.0	1.8	1.3	1.8
디메틸포름아미드	1.7	0.9	0.0	0.9	0.9	1.6	1.0
니켈(불용성 무기화합물)	1.3	0.5	1.3	1.0	0.3	1.0	0.9
6가크롬 화합물(불용성)	0	0	0.6	0	1.7	0	0.4
6가크롬 화합물(수용성)	0	0	0.2	0	0	0	0.04
노말헥산	0	0.04	0	0.04	0.06	0.1	0.04

## 제 7 절 통계량으로 추정한 허용기준 초과 확률

### 1) 허용기준 50% 초과 확률

조사대상 화학물질의 2013년부터 2015년까지 우리나라 작업환경 측정자료에서 산출된 기하평균과 기하표준편차를 이용하여 허용기준의 50%를 초과할 확률을 추정해 보면 <표 12>과 같이 툴루엔-2,4-디이소시아네이트가 15.9%로 가장 높았고, 디메틸포름아미드 13.8%, 납 및 그 무기화합물 13.6%, 6가크롬 화합물(불용성) 9.5%, 포름알데히드 7.9%, 벤젠 7.4%, 카드뮴 및 그 화합물 6.6%, 트리클로로에틸렌 6.2%, 6가크롬 화합물(수용성) 4.8%, 니켈(불용성 무기화합물) 1.5%, 이황화탄소 1.0%, 노말헥산 0.8% 순으로 나타났다.

### 2) 허용기준 초과 확률

허용기준을 초과할 확률은 <표 13>과 같이 툴루엔-2,4-디이소시아네이트가 7.5%로 가장 높았고, 납 및 그 무기화합물 6.3%, 디메틸포름아미드 5.8%, 6가크롬 화합물(불용성) 4.2%, 카드뮴 및 그 화합물 3.3%, 포름알데히드 3.0%, 벤젠과 트리클로로에틸렌 2.7%, 6가크롬 화합물(수용성) 2.2%, 니켈(불용성 무기화합물) 0.5%, 이황화탄소 0.4%, 노말헥산 0.3% 순으로 나타났다.

<표 12> 통계량으로 추정한 허용기준 50% 초과 확률(%)

물질명	초과 확률(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	9.9	16.9	16.4	17.1	18.1	13.1	15.9
디메틸포름아미드	14.0	10.6	14.5	14.5	13.8	14.5	13.8
납 및 그 무기화합물	13.4	13.8	14.7	14.7	12.5	12.3	13.6
6가크롬 화합물(불용성)	8.9	8.4	10.9	7.2	10.6	9.9	9.5
포름알데히드	9.9	7.9	8.9	7.1	7.4	7.2	7.9
벤젠	10.0	6.3	6.9	7.9	5.7	7.4	7.4
카드뮴 및 그 화합물	11.9	7.6	4.9	4.9	4.4	4.1	6.6
트리클로로로에틸렌	4.7	4.4	5.9	6.6	7.9	7.4	6.2
6가크롬 화합물(수용성)	3.9	4.9	3.8	4.4	6.4	4.9	4.8
니켈(불용성 무기화합물)	1.1	1.2	1.6	2.0	1.5	1.3	1.5
이황화탄소	0.03	4.9	0.1	4.8	0.5	0.1	1.0
노말헥산	1.1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.6	0.8

<표 13> 통계량으로 추정한 허용기준 초과 확률(%)

물질명	초과 확률(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	3.3	9.2	7.9	7.1	9.9	5.6	7.5
납 및 그 무기화합물	6.3	6.3	6.9	6.9	5.8	5.6	6.3
디메틸포름아미드	6.1	3.4	6.7	5.9	5.4	6.7	5.8
6가크롬 화합물(불용성)	3.2	3.4	5.6	2.9	5.0	3.9	4.2
카드뮴 및 그 화합물	7.1	4.2	2.3	1.9	2.0	1.7	3.3
포름알데히드	3.9	2.9	3.4	2.6	2.8	2.8	3.0
벤젠	3.9	1.9	2.6	3.3	1.9	2.8	2.7
트리클로로에틸렌	2.1	1.8	2.6	2.9	3.8	3.4	2.7
6가크롬 화합물(수용성)	1.6	2.2	1.6	2.0	3.3	2.1	2.2
니켈(불용성 무기화합물)	0.3	0.4	0.6	0.8	0.5	0.4	0.5
이황화탄소	0.01	2.4	0.02	2.7	0.1	0.01	0.4
노말헥산	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3

### 3) ACGIH-TLV 50% 초과 확률

조사대상 화학물질의 2013년부터 2015년까지 우리나라 작업환경 측정자료에서 산출된 기하평균과 기하표준편차를 이용하여 TLV의 50%를 초과할 확률을 추정해 보면 <표 14>와 같이 트리클로로에틸렌이 24.8%로 가장 높았고, 벤젠 16.4%, 카드뮴 및 그 화합물 16.1%, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 15.9%, 포름알데히드 14.5%, 디메틸포름아미드 13.8%, 납 및 그 무기화합물 13.6%, 이황화탄소 11.7%, 6가크롬 화합물(불용성) 9.5%, 니켈(불용성 무기화합물) 5.2%, 6가크롬 화합물(수용성) 4.8%, 노말헥산 0.8% 순으로 나타났다.

### 4) ACGIH-TLV 초과 확률

TLV를 초과할 확률은 <표 15>와 같이 트리클로로에틸렌이 14.7%로 가장 높았고, 카드뮴 및 그 화합물 9.3%, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 7.5%, 벤젠 7.4%, 납 및 그 무기화합물과 이황화탄소, 포름알데히드 6.3%, 디메틸포름아미드 5.8%, 6가크롬 화합물(불용성) 4.2%, 6가크롬 화합물(수용성) 2.2%, 니켈(불용성 무기화합물) 2.1%, 노말헥산 0.3% 순으로 나타났다.

<표 14> 통계량으로 추정한 ACGIH-TLV 50% 초과 확률(%)

물질명	초과 확률(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
트리클로로에틸렌	20.3	20.6	25.1	26.8	29.1	27.4	24.8
벤젠	20.9	16.4	15.6	16.4	14.2	15.9	16.4
카드뮴 및 그 화합물	23.6	17.1	12.9	15.4	12.1	12.5	16.1
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	9.9	16.9	16.4	17.1	18.1	13.1	15.9
포름알데히드	17.1	14.7	15.9	13.1	13.6	13.1	14.5
디메틸포름아미드	14.0	10.6	14.5	14.5	13.8	14.5	13.8
납 및 그 무기화합물	13.4	13.8	14.7	14.7	12.5	12.3	13.6
이황화탄소	2.0	27.8	3.1	21.5	13.8	3.1	11.7
6가크롬 화합물(불용성)	8.9	8.4	10.9	7.2	10.6	9.9	9.5
니켈(불용성 무기화합물)	4.0	4.1	5.1	6.2	5.3	4.8	5.2
6가크롬 화합물(수용성)	3.9	4.9	3.8	4.4	6.4	4.9	4.8
노말헥산	1.1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.6	0.8

<표 15> 통계량으로 추정한 ACGIH-TLV 초과 확률(%)

물질명	초과 확률(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
트리클로로에틸렌	11.7	11.5	14.7	15.9	17.9	16.9	14.7
카드뮴 및 그 화합물	15.6	10.6	7.1	7.8	6.6	6.4	9.3
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	3.3	9.2	7.9	7.1	9.9	5.6	7.5
벤젠	10.0	6.3	6.9	7.9	5.7	7.4	7.4
납 및 그 무기화합물	6.3	6.3	6.9	6.9	5.8	5.6	6.3
이황화탄소	0.6	18.1	1.3	14.5	6.2	1.1	6.3
포름알데히드	7.8	6.2	6.9	5.6	5.8	5.7	6.3
디메틸포름아미드	6.1	3.4	6.7	5.9	5.4	6.7	5.8
6가크롬 화합물(불용성)	3.2	3.4	5.6	2.9	5.0	3.9	4.2
6가크롬 화합물(수용성)	1.6	2.2	1.6	2.0	3.3	2.1	2.2
니켈(불용성 무기화합물)	1.5	1.6	2.2	2.7	2.1	1.9	2.1
노말헥산	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3

## 제 8 절 허용기준 1% 미만 값 제외한 자료 분석결과

### 1) 허용기준 50% 초과 확률

허용기준의 0.01배 이하의 값을 삭제한 보정 데이터에서 산출된 기하평균과 기하표준편차를 이용하여 허용기준의 50%를 초과할 확률을 추정해 보면 <표 16>과 같이 톨루엔-2,4-디이소시아네이트가 13.6%로 가장 높았고, 납 및 그 무기화합물 12.1%, 디메틸포름아미드 11.1%, 6가크롬 화합물(불용성) 7.9%, 트리클로로에틸렌 5.4%, 벤젠과 포름알데히드 4.9%, 카드뮴 및 그 화합물 3.9%, 6가크롬 화합물(수용성) 2.5%, 이황화탄소 1.5%, 노말헥산 0.5%, 니켈(불용성 무기화합물) 0.2% 순으로 나타났다.

### 2) 허용기준 초과 확률

보정 데이터의 허용기준을 초과할 확률은 <표 17>과 같이 톨루엔-2,4-디이소시아네이트가 4.5%로 가장 높았고, 납 및 그 무기화합물 4.0%, 디메틸포름아미드 3.1%, 6가크롬 화합물(불용성) 2.4%, 트리클로로에틸렌 1.4%, 벤젠과 포름알데히드 1.0%, 카드뮴 및 그 화합물 0.9%, 6가크롬 화합물(수용성) 0.5%, 이황화탄소 0.2%, 노말헥산 0.1%, 니켈(불용성 무기화합물) 0.01% 순으로 나타났다.

<표 16> 허용기준 50% 초과 확률 (허용기준 1% 미만 값 제외한 자료)

물질명	초과 확률(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	7.6	12.9	15.2	16.9	15.2	12.3	13.6
납 및 그 무기화합물	11.9	12.3	12.9	13.1	11.5	10.8	12.1
디메틸포름아미드	12.1	9.2	10.9	11.9	12.3	10.8	11.1
6가크롬 화합물(불용성)	5.4	5.7	6.8	5.7	9.5	8.9	7.9
트리클로로에틸렌	4.6	3.4	5.1	5.2	7.6	6.4	5.4
벤젠	7.1	4.8	5.1	5.7	3.4	4.0	4.9
포름알데히드	6.6	5.6	5.9	4.3	3.8	3.9	4.9
카드뮴 및 그 화합물	14.0	3.6	2.4	1.3	0.8	1.1	3.9
6가크롬 화합물(수용성)	2.2	2.2	1.3	2.4	4.4	2.7	2.5
이황화탄소	2.0	4.1	0.0	1.8	3.8	0.0	1.5
노말헥산	0.5	0.4	0.4	0.7	0.5	0.4	0.5
니켈(불용성 무기화합물)	0.2	0.1	0.7	0.2	0.1	0.2	0.2

<표 17> 허용기준 초과 확률 (허용기준 1% 미만 값 제외한 자료)

물질명	초과 확률(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	1.6	4.5	6.1	5.9	5.1	3.8	4.5
납 및 그 무기화합물	4.1	4.0	4.3	4.4	3.8	3.4	4.0
디메틸포름아미드	3.7	2.3	2.9	3.3	3.5	3.1	3.1
6가크롬 화합물(불용성)	1.0	1.3	2.7	1.4	3.0	2.6	2.4
트리클로로에틸렌	1.2	0.8	1.3	1.3	2.4	1.8	1.4
벤젠	1.8	1.0	1.1	1.4	0.5	0.8	1.0
포름알데히드	1.5	1.3	1.3	0.8	0.7	0.8	1.0
카드뮴 및 그 화합물	5.9	0.7	0.5	0.1	0.1	0.1	0.9
6가크롬 화합물(수용성)	0.4	0.4	0.2	0.5	1.0	0.5	0.5
이황화탄소	–	0.9	–	0.3	1.1	0	0.2
노말헥산	0.1	0.04	0.04	0.1	0.1	0.04	0.1
니켈(불용성 무기화합물)	0.01	0	0.1	0.01	0	0.02	0.01

### 3) ACGIH-TLV 50% 초과 확률

허용기준의 0.01배 이하의 값을 삭제하여 보정한 데이터에서 산출된 기하평균과 기하표준편차를 이용하여 TLV의 50%를 초과할 확률을 추정해 보면 <표 18>과 같이 이황화탄소가 48.4%로 가장 높았고, 트리클로로에틸렌 39.7%, 카드뮴 및 그 화합물 21.8%, 벤젠 15.9%, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 13.6%, 납 및 그 무기화합물과 포름알데히드 12.1%, 디메틸포름아미드 11.1%, 6가크롬 화합물(불용성) 7.9%, 니켈(불용성 무기화합물) 3.3%, 6가크롬 화합물(수용성) 2.5%, 노말헥산 0.5% 순으로 나타났다.

### 4) ACGIH-TLV 초과 확률

TLV를 초과할 확률은 <표 19>와 같이 이황화탄소가 24.8%로 가장 높았고, 트리클로로에틸렌 20.1%, 카드뮴 및 그 화합물 8.1%, 벤젠 4.9%, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 4.5%, 납 및 그 무기화합물 4.0%, 포름알데히드 3.4%, 디메틸포름아미드 3.1%, 6가크롬 화합물(불용성) 2.4%, 6가크롬 화합물(수용성) 0.5%, 니켈(불용성 무기화합물) 0.4%, 노말헥산 0.1% 순으로 나타났다.

<표 18> ACGIH-TLV 50% 초과 확률 (허용기준 1% 미만 값 제외한 자료)

물질명	초과 확률(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
이황화탄소	38.2	61.0	0	56.0	49.2	28.8	48.4
트리클로로에틸렌	37.5	33.7	39.7	39.7	43.6	42.1	39.7
카드뮴 및 그 화합물	37.8	23.0	15.9	16.1	10.8	14.5	21.8
벤젠	20.3	16.1	15.9	16.6	13.4	14.2	15.9
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	7.6	12.9	15.2	16.9	15.2	12.3	13.6
납 및 그 무기화합물	11.9	12.3	12.9	13.1	11.5	10.8	12.1
포름알데히드	14.9	13.4	14.0	10.9	10.2	10.2	12.1
디메틸포름아미드	12.1	9.2	10.9	11.9	12.3	10.8	11.1
6가크롬 화합물(불용성)	5.4	5.7	6.8	5.7	9.5	8.9	7.9
니켈(불용성 무기화합물)	2.7	1.6	5.9	3.4	2.4	3.4	3.3
6가크롬 화합물(수용성)	2.2	2.2	1.3	2.4	4.4	2.7	2.5
노말헥산	0.5	0.4	0.4	0.7	0.5	0.4	0.5

<표 19> ACGIH-TLV 초과 확률 (허용기준 1% 미만 값 제외한 자료)

물질명	초과 확률(%)						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
이황화탄소	–	37.1	–	30.2	29.1	7.1	24.8
트리클로로에틸렌	18.1	15.4	19.8	19.8	23.9	22.1	20.1
카드뮴 및 그 화합물	21.5	7.9	5.3	3.8	2.4	3.3	8.1
벤젠	7.1	4.8	5.1	5.7	3.4	4.0	4.9
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	1.6	4.5	6.1	5.9	5.1	3.8	4.5
납 및 그 무기화합물	4.1	4.0	4.3	4.4	3.8	3.4	4.0
포름알데히드	4.7	3.9	4.1	2.9	2.5	2.6	3.4
디메틸포름아미드	3.7	2.3	2.9	3.3	3.5	3.1	3.1
6가크롬 화합물(불용성)	1.0	1.3	2.7	1.4	3.0	2.6	2.4
6가크롬 화합물(수용성)	0.4	0.4	0.2	0.5	1.0	0.5	0.5
니켈(불용성 무기화합물)	0.3	0.1	1.2	0.5	0.2	0.5	0.4
노말헥산	0.1	0.04	0.04	0.1	0.1	0.04	0.1

## 제 9 절 초과 건수 비율과 초과 확률의 비교

### 1) 허용기준 초과 비율과 초과 확률의 비교

조사대상 화학물질의 2013년부터 2015년까지 우리나라 작업환경 측정자료 중에서 허용기준을 초과한 비율과 허용기준을 초과할 확률 그리고 데이터 보정에 따른 허용기준을 초과할 확률을 비교해 보면 <표 20>과 같이 허용기준을 초과한 비율 보다 허용기준을 초과할 확률이 전반적으로 높게 나타났고, 데이터 보정에 따른 허용기준을 초과할 확률은 보정 전 보다 낮아지는 것으로 나타났다.

### 2) ACGIH-TLV 초과 비율과 초과 확률의 비교

TLV를 초과한 비율과 TLV를 초과할 확률 그리고 데이터 보정에 따른 TLV를 초과할 확률을 비교해 보면 <표 21>과 같이 전반적으로 TLV를 초과한 비율보다 TLV를 초과할 확률과 데이터 보정에 따른 TLV를 초과할 확률이 높은 것으로 나타났고, 데이터 보정에 따른 TLV를 초과할 확률은 데이터 보정 전 보다 낮아지는 것으로 나타났다.

일부 유해인자의 허용기준과 TLV를 초과한 비율 보다 이를 초과할 확률이 낮게 나타난 것은 본 연구에서 지정측정기관에서 1일 작업시간 동안 6시간 이상 연속 측정하여 평가한 노출 농도 중 정량화된 결과 값만 사용하였기 때문에 실제 비율보다 낮게 평가된 것과, 2016.2.17. 산업안전보건법 시행규칙이 개정되기 전에는 허용기준보다 TLV가 낮게 설정되어 있었기 때문인 것으로 추정된다.

<표 20> 허용기준 초과 비율과 확률 비교(%)

물질명	0.5×허용기준 초과율			허용기준 초과율		
	초과 건수 비율	통계량으로 추정(확률)		초과 건수 비율	통계량으로 추정(확률)	
		원자료 기반	기준 미만 제외		원자료 기반	기준 미만 제외
납 및 그 무기화합물	8.6	13.6	12.1	1.8	6.3	4.0
니켈(불용성 무기화합물)	0.5	1.5	0.2	0	0.5	0.01
디메틸포름아미드	9.7	13.8	11.1	1.0	5.8	3.1
벤젠	2.5	7.4	4.9	0.2	2.7	1.0
6가크롬 화합물(불용성)	5.1	9.5	7.9	0.4	4.2	2.4
6가크롬 화합물(수용성)	1.6	4.8	2.5	0.04	2.2	0.5
이황화탄소	1.1	1.0	1.5	0	0.4	0.2
카드뮴 및 그 화합물	3.2	6.6	3.9	1.1	3.3	0.9
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	11.7	15.9	13.6	3.2	7.5	4.5
트리클로로에틸렌	3.2	6.2	5.4	0.6	2.7	1.4
포름알데히드	3.6	7.9	4.9	0.4	3.0	1.0
노말헥산	0.4	0.8	0.5	0.04	0.3	0.1

<표 21> ACGIH-TLV 초과 비율과 확률 비교(%)

물질명	0.5×TLV 초과율			TLV 초과율		
	초과 비율	통계량으로 추정(확률)		초과 비율	통계량으로 추정(확률)	
		원자료 기반	기준 1% 미만 제외		원자료 기반	기준 1% 미만 제외
납 및 그 무기화합물	8.6	13.6	12.1	1.8	6.3	4.0
니켈(불용성 무기화합물)	2.9	5.2	3.3	0.9	2.1	0.4
디메틸포름아미드	9.7	13.8	11.1	1.0	5.8	3.1
벤젠	17.0	16.4	15.9	2.5	7.4	4.9
6가크롬 화합물(불용성)	5.1	9.5	7.9	0.4	4.2	2.4
6가크롬 화합물(수용성)	1.6	4.8	2.5	0.04	2.2	0.5
이황화탄소	13.8	11.7	48.4	7.5	6.3	24.8
카드뮴 및 그 화합물	13.9	16.1	21.8	4.1	9.3	8.1
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	11.7	15.9	13.6	3.2	7.5	4.5
트리클로로에틸렌	28.1	24.8	39.7	16.1	14.7	20.1
포름알데히드	12.0	14.5	12.1	2.4	6.3	3.4
노말헥산	0.4	0.8	0.5	0.04	0.3	0.1

## 제 10 절 원자료 통계량으로부터 초과 건수 추정

### 1) 허용기준 50% 초과 추정 건수

본 연구에 사용된 유해인자의 데이터 개수와 허용기준의 50%를 초과할 확률을 곱하여 지난 3년간 허용기준의 50% 초과 가능 수를 추정해 보면 <표 22>와 같이 포름알데히드가 150개로 가장 높았고, 납 및 그 무기화합물 120 개, 트리클로로에틸렌 102개, 디메틸포름아미드 84개, 벤젠 26개, 노말헥산 23개, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 19개, 6가크롬 화합물(수용성) 18개, 6가크롬 화합물(불용성) 15개, 니켈(불용성 무기화합물) 12개, 카드뮴 및 그 화합물 6개 순으로 산출되었고, 이황화탄소는 2013년과 2014년 하반기에 각 1건 초과할 수 있는 것으로 추정되었다.

### 2) 허용기준 초과 추정 건수

허용기준 초과 가능 수를 추정해 보면 <표 23>과 같이 포름알데히드가 57 개로 가장 높았고, 납 및 그 무기화합물 56개, 트리클로로에틸렌 46개, 디메틸포름아미드 35개, 벤젠, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 9개, 6가크롬 화합물(수용성), 노말헥산 8개, 6가크롬 화합물(불용성) 7개, 니켈(불용성 무기화합물) 4개, 카드뮴 및 그 화합물 3개로 산출되었으며, 이황화탄소는 허용기준을 초과하는 위험성이 없는 것으로 추정되었다.

<표 22> 원자료 통계량으로부터 추정된 허용기준 50% 초과 추정 건수

물질명	추정된 초과 건수						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
포름알데히드	161	125	149	140	154	168	150
납 및 그 무기화합물	78	121	143	139	127	112	120
트리클로로에틸렌	76	70	115	105	130	116	102
디메틸포름아미드	100	58	91	82	90	82	84
벤젠	25	20	24	30	25	29	26
노말헥산	31	21	24	23	26	15	23
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	11	14	20	22	31	16	19
6가크롬 화합물(수용성)	12	16	16	18	28	20	18
6가크롬 화합물(불용성)	11	11	19	12	18	16	15
니켈(불용성 무기화합물)	4	5	12	20	16	12	12
카드뮴 및 그 화합물	13	6	5	4	4	3	6
이황화탄소	0	1	0	1	0	0	0

<표 23> 원자료 통계량으로부터 추정된 허용기준 초과 추정 건수

물질명	추정된 초과 건수						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
포름알데히드	64	45	57	52	59	66	57
납 및 그 무기화합물	37	55	68	66	59	51	56
트리클로로에틸렌	34	30	51	47	61	54	46
디메틸포름아미드	43	19	42	34	35	38	35
벤젠	10	6	9	12	8	11	9
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	4	8	10	9	17	7	9
6가크롬 화합물(수용성)	5	7	7	8	14	9	8
노말헥산	11	7	7	7	8	5	8
6가크롬 화합물(불용성)	4	5	10	5	9	6	7
니켈(불용성 무기화합물)	1	2	4	8	5	4	4
카드뮴 및 그 화합물	8	3	2	2	2	1	3
이황화탄소	0	0	0	0	0	0	0

### 3) ACGIH-TLV 50% 초과 추정 건수

지난 3년간 TLV의 50% 초과 가능 수를 추정해보면 <표 24>와 같이 트리클로로에틸렌이 415개로 가장 높았고, 포름알데히드 272개, 납 및 그 무기화합물 120개, 디메틸포름아미드 84개, 벤젠 57개, 니켈(불용성 무기화합물) 39개, 노말헥산 23개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 19개, 6가크롬 화합물(수용성) 18개, 6가크롬 화합물(불용성) 15개, 카드뮴 및 그 화합물 14개, 이황화탄소 2개 순으로 산출되었다.

### 4) ACGIH-TLV 초과 추정 건수

TLV 초과 가능 수는 <표 25>와 같이 트리클로로에틸렌이 246개로 가장 높았고, 포름알데히드 118개, 납 및 그 무기화합물 56개, 디메틸포름아미드 35개, 벤젠 26개, 니켈(불용성 무기화합물) 16개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 9개, 6가크롬 화합물(수용성)과 카드뮴 및 그 화합물, 노말헥산 8개, 6가크롬 화합물(불용성) 7개, 이황화탄소 1개 순으로 산출되었다.

<표 24> 원자료 통계량으로부터 추정된 ACGIH-TLV 50% 초과 추정 건수

물질명	추정된 초과 건수						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
트리클로로에틸렌	332	333	487	428	477	434	415
포름알데히드	280	231	268	260	284	307	272
납 및 그 무기화합물	78	121	143	139	127	112	120
디메틸포름아미드	100	58	91	82	90	82	84
벤젠	51	51	55	62	61	62	57
니켈(불용성 무기화합물)	15	18	38	62	55	44	39
노말헥산	31	21	24	23	26	15	23
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	11	14	20	22	31	16	19
6가크롬 화합물(수용성)	12	16	16	18	28	20	18
6가크롬 화합물(불용성)	11	11	19	12	18	16	15
카드뮴 및 그 화합물	26	13	12	13	10	10	14
이황화탄소	0	4	0	4	2	1	2

<표 25> 원자료 통계량으로부터 추정된 ACGIH-TLV 초과 추정 건수

물질명	추정된 초과 건수						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
트리클로로에틸렌	191	186	284	254	293	267	246
포름알데히드	127	97	117	111	122	133	118
납 및 그 무기화합물	37	55	68	66	59	51	56
디메틸포름아미드	43	19	42	34	35	38	35
벤젠	25	20	24	30	25	29	26
니켈(불용성 무기화합물)	6	7	16	28	22	17	16
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	4	8	10	9	17	7	9
6가크롬 화합물(수용성)	5	7	7	8	14	9	8
카드뮴 및 그 화합물	17	8	7	7	6	5	8
노말헥산	11	7	7	7	8	5	8
6가크롬 화합물(불용성)	4	5	10	5	9	6	7
이황화탄소	0	3	0	2	1	0	1

## 제 11 절 허용기준 1% 미만 제외자료 통계량으로부터 초과 건수 추정

### 1) 허용기준 50% 초과 추정 건수

허용기준의 0.01배 미만 값을 삭제한 보정 데이터의 2013년부터 2015년까지 허용기준의 50% 초과 가능 수를 추정해 보면 <표 26>과 같이 납 및 그 무기화합물이 96개로 가장 높았고, 포름알데히드 83개, 디메틸포름아미드 65개, 트리클로로에틸렌 63개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트, 벤젠 15개, 6가크롬 화합물(불용성) 9개, 6가크롬 화합물(수용성) 7개, 노말헥산 6개, 카드뮴 및 그 화합물 3개, 니켈(불용성 무기화합물) 1개 순으로 산출되었으며, 이황화탄소는 허용기준의 50%를 초과하는 위험이 없을 것으로 추정되었다.

### 2) 허용기준 50% 초과 추정 건수

보정한 데이터에서 허용기준 초과 가능 수는 <표 27>과 같이 납 및 그 무기화합물이 31개로 가장 높았고, 디메틸포름아미드 18개, 포름알데히드, 트리클로로에틸렌 174개, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 5개, 벤젠과 6가크롬 화합물(불용성) 3개, 6가크롬 화합물(수용성), 카드뮴 및 그 화합물, 노말헥산 1개 순으로 산출되었으며, 니켈(불용성 무기화합물)과 이황화탄소는 허용기준을 초과하는 위험이 없을 것으로 추정되었다.

<표 26> 허용기준 1% 미만 핵 제외자료 통계량으로부터 추정된 허용기준 50% 초과 추정 건수

물질명	추정된 초과 건수						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
납 및 그 무기화합물	62	96	114	112	102	87	96
포름알데히드	98	80	91	75	71	81	83
디메틸포름아미드	80	49	62	64	75	57	65
트리클로로에틸렌	46	37	69	61	93	74	63
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	8	10	17	21	23	13	15
벤젠	16	14	15	18	13	13	15
6가크롬 화합물(불용성)	6	6	9	8	14	13	9
6가크롬 화합물(수용성)	5	5	4	6	12	8	7
노말헥산	6	4	6	7	6	4	6
카드뮴 및 그 화합물	11	2	1	1	0	1	3
니켈(불용성 무기화합물)	0	0	3	1	1	1	1
이황화탄소	0	0	0	0	0	0	0

<표 27> 허용기준 1% 미만 핵 제외자료 통계량으로부터 추정된 허용기준 초과 추정 건수

물질명	추정된 초과 건수						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
납 및 그 무기화합물	21	31	38	37	34	27	31
디메틸포름아미드	24	12	17	18	21	16	18
포름알데히드	23	18	20	15	13	15	17
트리클로로에틸렌	12	8	17	16	29	21	17
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	2	3	7	7	8	4	5
벤젠	4	3	3	5	2	3	3
6가크롬 화합물(불용성)	1	1	4	2	4	4	3
6가크롬 화합물(수용성)	1	1	1	1	3	1	1
카드뮴 및 그 화합물	5	0	0	0	0	0	1
노말헥산	1	0	1	1	1	0	1
니켈(불용성 무기화합물)	0	0	0	0	0	0	0
이황화탄소	0	0	0	0	0	0	0

### 3) ACGIH-TLV 50% 초과 추정 건수

보정한 데이터의 지난 3년간 TLV 50% 초과 가능 수는 <표 28>과 같이 트리클로로에틸렌이 463개로 가장 높았고, 포름알데히드 203개, 납 및 그 무기화합물 96개, 디메틸포름아미드 65개, 벤젠 49개, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트, 니켈(불용성 무기화합물) 15개, 카드뮴 및 그 화합물 12개, 6가크롬 화합물(불용성) 9개, 6가크롬 화합물(수용성) 7개, 노말헥산 6개, 이황화탄소 2개 순으로 산출되었다.

### 4) ACGIH-TLV 초과 추정 건수

보정 데이터에서 TLV 초과 가능 수는 <표 29>와 같이 트리클로로에틸렌이 234개로 가장 높았고, 포름알데히드 57개, 납 및 그 무기화합물 31개, 디메틸 포름아미드 18개, 벤젠 15개, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트, 카드뮴 및 그 화합물 5개, 6가크롬 화합물(불용성) 3개, 니켈(불용성 무기화합물) 2개, 6가크롬 화합물(수용성)과 이황화탄소, 노말헥산 1개 순으로 산출되었다.

<표 28> 허용기준 1% 미만 핵 제외자료 통계량으로부터 추정된 ACGIH-TLV 50% 초과 추정 건수

물질명	추정된 초과 건수						평균
	2013		2014		2015		
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
트리클로로에틸렌	380	364	544	471	533	484	463
포름알데히드	222	190	215	192	190	210	203
납 및 그 무기화합물	62	96	114	112	102	87	96
디메틸포름아미드	80	49	62	64	75	57	65
벤젠	46	46	48	53	50	48	49
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	8	10	17	21	23	13	15
니켈(불용성 무기화합물)	6	4	23	21	15	18	15
카드뮴 및 그 화합물	29	11	9	10	6	8	12
6가크롬 화합물(불용성)	6	6	9	8	14	13	9
6가크롬 화합물(수용성)	5	5	4	6	12	8	7
노말헥산	6	4	6	7	6	4	6
이황화탄소	1	5	0	4	3	1	2

<표 29> 허용기준 1% 미만 핵 제외자료 통계량으로부터 추정된 ACGIH-TLV 초과 추정 건수

물질명	추정된 초과 건수						평균	
	2013		2014		2015			
	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기		
트리클로로에틸렌	184	166	271	234	292	254	234	
포름알데히드	69	56	63	50	47	54	57	
납 및 그 무기화합물	21	31	38	37	34	27	31	
디메틸포름아미드	24	12	17	18	21	16	18	
벤젠	16	14	15	18	13	13	15	
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	2	3	7	7	8	4	5	
카드뮴 및 그 화합물	16	4	3	2	1	2	5	
6가크롬 화합물(불용성)	1	1	4	2	4	4	3	
니켈(불용성 무기화합물)	1	0	5	3	2	3	2	
6가크롬 화합물(수용성)	1	1	1	1	3	1	1	
이황화탄소	0	3	0	2	2	0	1	
노말헥산	1	0	1	1	1	0	1	

## 제 12 절 추정 방식에 따른 기준 초과율 비교

### 1) 허용기준 50% 초과율 추정 결과 비교

지난 3년간 허용기준의 50%를 초과에 대한 위험성은 <표 30>과 같이 실제 허용기준의 50%를 초과한 수 보다 허용기준의 50% 초과 가능 수와 데이터 보정에 따른 허용기준의 50% 초과 가능수가 더 높은 것으로 나타났다.

다만, 노말헥산, 니켈(불용성 무기화합물), 카드뮴 및 그 화합물, 이황화탄소는 실제 허용기준의 50%를 초과한 수보다 데이터 보정에 따른 허용기준 50% 초과 가능 수가 낮은 것으로 나타났다.

유해인자별 허용기준의 50% 초과에 대한 위험성의 크기는 납 및 그 무기화합물, 포름알데히드, 디메틸포름아미드, 트리클로로에틸렌이 높게 나타났다.

### 2) 허용기준 초과율 추정 결과 비교

허용기준 초과에 대한 위험성 또한 <표 31>와 같이 실제 허용기준을 초과한 수 보다 허용기준 초과 가능 수와 데이터 보정에 따른 허용기준 초과 가능 수가 더 높은 것으로 나타났다.

다만, 노말헥산과 6가크롬 화합물(수용성)은 데이터 보정 시 허용기준 초과 가능 수가 실제 허용기준을 초과 한 수 보다 낮은 것으로 나타났다.

유해인자별 허용기준 초과에 대한 위험성 크기는 납 및 그 무기화합물, 디메틸포름아미드, 포름알데히드, 트리클로로에틸렌이 높게 나타나 해당 유해인자에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

<표 30> 허용기준 50% 초과율 추정 결과 비교

물질명	원자료의 실제 초과 건수	추정된 초과 건수	
		활용자료	
		원자료	허용기준 1% 이상 자료
납 및 그 무기화합물	456	721	572
포름알데히드	409	896	491
디메틸포름아미드	357	507	381
트리클로로에틸렌	321	618	377
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	87	118	92
노말헥산	62	138	32
벤젠	52	154	90
6가크롬 화합물(불용성)	48	89	62
6가크롬 화합물(수용성)	37	110	39
니켈(불용성 무기화합물)	21	70	5
카드뮴 및 그 화합물	17	35	14
이황화탄소	1	1	0

<표 31> 허용기준 초과율 추정 결과 비교

물질명	원자료의 실제 초과 건수	추정된 초과 건수	
		활용자료	
		원자료	허용기준 1% 이상 자료
납 및 그 무기화합물	94	335	190
트리클로로에틸렌	63	274	103
포름알데히드	40	340	108
디메틸포름아미드	37	214	100
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	24	56	30
노말헥산	7	44	3
카드뮴 및 그 화합물	6	18	19
벤젠	5	58	19
6가크롬 화합물(불용성)	4	39	7
6가크롬 화합물(수용성)	1	50	0
니켈(불용성 무기화합물)	0	24	3
이황화탄소	0	0	0

## 제 4 장 결 론

지난 3년간 산업안전보건법 시행규칙에 허용기준을 규정해 놓은 화학물질에 대하여 2013년부터 2015년까지 우리나라 전체 사업장의 작업환경측정 자료를 취합하여 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 허용기준 설정 물질 중 가장 측정이 많은 물질은 노말헥산으로 지난 3년간 16,386건이 측정되었다. 포름알데히드 11,297건, 트리클로로에틸렌 10,002건, 납 및 그 무기화합물 5,311건, 니켈(불용성 무기화합물) 4,520건, 디메틸포름알데히드 3,673건, 6가크롬 화합물(수용성) 2,310건, 벤젠 2,101건, 6가크롬 화합물(불용성) 937건, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 741건, 카드뮴 및 그 화합물 532건, 이황화탄소 94건 등이었다.

2. 허용기준의 0.01배 미만인 측정값을 제외하면 포름알데히드가 10,129건으로 가장 많았고, 트리클로로에틸렌 7,020건, 노말헥산 6,827건, 납 및 그 무기화합물 4,726건, 디메틸포름아미드 3,430건, 니켈(불용성 무기화합물) 2,611건, 벤젠 1,846건, 6가크롬 화합물(수용성) 1,553건, 6가크롬 화합물(불용성) 785건, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 679건, 카드뮴 및 그 화합물 351건, 이황화탄소 30건으로 나타났다.

3. 허용기준을 초과한 건수는 납 및 그 무기화합물이 16건으로 가장 많았고, 트리클로로에틸렌 11건, 포름알데히드 7건, 디메틸포름아미드 6건, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트 4건, 노말헥산, 카드뮴 및 그 화합물, 벤젠, 6가크롬 화합물(불용성) 1건으로 나타났다. 측정건수 대비 허용기준을 초과한 비율은 툴루엔-2,4-디이소시아네이트가 3.2%로 가장 높았고, 납 및 그 무기화합물 1.8%, 카드뮴 및 그 화합물 1.1%, 디메틸포름아미드 1.0%, 트리클로로에틸렌 0.6%, 6가크롬 화합물(불용성) 0.4%, 포름알데히드 0.4%, 벤젠 0.2%, 6가크롬 화합물(수용성)과 노말헥산 0.04% 순으로 나타났다.

4. 기하평균과 기하표준편차를 바탕으로 허용기준을 초과할 확률을 산출한 결과, 툴루엔-2,4-디이소시아네이트가 7.5%로 가장 높았다. 원자료에서 허용기준을 초과한 건수의 비율은 3.2%였으나 통계량으로 추정한 결과, 이보다 2배 이상 많은 7.5%가 초과위험이 있는 것으로 나타났다. 납 및 그 무기화합

물은 6.3%로 단순 건수로 본 초과율 1.8%의 4배가 높게 나타났다. 디메틸포름아미드 5.8%도 단순건수 초과율 1.0%보다 크게 높았고, 6가크롬 화합물(불용성) 4.2%도 0.4%의 10배, 카드뮴 및 그 화합물 3.3%은 건수 초과율의 1.1%의 3배, 포름알데히드 3.0%은 단순 건수 초과율의 0.4%보다, 벤젠과 트리클로로에틸렌 2.7%는 각각 0.2%, 0.6%보다, 6가크롬 화합물(수용성) 2.2%는 0.04%보다 크게 높아졌다. 그 외 니켈(불용성 무기화합물)은 0.5%, 이황화탄소 0.4%, 그리고 노말헥산은 0.3%로 나타났다.



## 참 고 문 헌

### 1. 국내문헌

- 고용노동부. (2013). 『산업안전보건법-법률 제11862호』 . 과천: 고용노동부.
- 고용노동부. (2013). 『작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시-고용노동부고시 제2013-39호』 . 과천: 고용노동부.
- 고용노동부. (2015). 『산업안전보건법 시행규칙-고용노동부령 제122호』 . 세종: 고용노동부.
- 고용노동부. (2016). 『산업안전보건법 시행규칙-고용노동부령 제150호』 . 세종: 고용노동부.
- 고용노동부. (2016). 『사업장 위험성평가에 관한 지침-고용노동부고시 제2016-17호』 . 세종: 고용노동부.
- 고용노동부. (2016). 『화학물질 및 물리적 인자의 노출기준-고용노동부고시 제2016-41호』 . 세종: 고용노동부고용노동부. (2016). 『산업안전보건법 시행규칙-대통령령 제26985호』 . 세종: 고용노동부.
- 백남원. (1995). 『產業衛生學概論』 . 서울: 신광출판사.

## 2. 국외문헌

ACGIH. (2016). *TLV & BEL*. Cincinnati: ACGIH.

Nelson A. Leidel, Kenneth A. Busch, Jeremiah R. Lynch. (1977).

*OCCUPATIONAL EXPOSURE SAMPLING STRATEGY*

*MANUAL*. Cincinnati: Public Health Service.



## 부 록

**<부록 표 1> 납 및 그 무기화합물의 통계량**

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	581	0.0106	0.0180	0.0040	5.1757	0.2339	0.000001	0.0048
2013_02	880	0.0110	0.0197	0.0043	4.9816	0.3436	0.00001	0.00595
2014_01	974	0.0114	0.0180	0.0047	4.8944	0.233	0.000001	0.006465
2014_02	948	0.0117	0.0237	0.0046	4.9714	0.4412	0.00001	0.00605
2015_01	1015	0.0101	0.0205	0.0038	5.2243	0.5071	0.000003	0.0048
2015_02	913	0.0102	0.0285	0.0038	5.0249	0.7838	0.00001	0.0049
3 Years	5,311	0.0109	0.0219	0.0042	5.0481	0.7838	0.000001	0.00556

**<부록 표 2> 니켈(불용성 무기화합물)의 통계량**

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	377	0.0180	0.0412	0.0057	5.1760	0.44	0.00003	0.0069
2013_02	438	0.0148	0.0246	0.0049	5.6697	0.237	0.00002	0.00618
2014_01	745	0.0203	0.0430	0.0052	6.1022	0.4107	0.00001	0.0055
2014_02	1,005	0.0204	0.0398	0.0063	6.0218	0.495	0.000002	0.00875
2015_01	1,037	0.0182	0.0300	0.0064	5.4413	0.4856	0.00001	0.0084
2015_02	918	0.0190	0.0355	0.0061	5.3493	0.324	0.00001	0.00728
3 Years	4,520	0.0188	0.0363	0.0059	5.6671	0.495	0.000002	0.00734

<부록 표 3> 디메틸포름아미드의 통계량

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	712	2.2252	3.3030	1.0437	4.2936	44.377	0.0003	1.32665
2013_02	549	1.9836	2.1729	1.0861	3.3920	15.03	0.0115	1.14011
2014_01	626	1.9368	1.8935	0.9178	4.9244	9.2893	0.0013	1.32745
2014_02	568	2.2235	2.6466	1.1559	4.0022	28.9395	0.0009	1.40085
2015_01	652	2.2182	2.8050	1.1459	3.8557	44.2086	0.006	1.406395
2015_02	566	2.1864	3.6084	0.9525	4.8031	43.81378	0.00001	1.14015
3 Years	3,673	2.1324	2.8146	1.0461	4.2193	44.377	0.00001	1.302

<부록 표 4> 벤젠의 통계량

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	245	0.1553	0.1645	0.0757	4.3491	0.8961	0.00014	0.097
2013_02	310	0.1405	0.1900	0.0730	3.5291	2.3078	0.001	0.07845
2014_01	350	0.1415	0.3283	0.0552	4.4528	4.4386	0.0004	0.05935
2014_02	377	0.1311	0.1780	0.0512	5.0483	1.4558	0.00004	0.0633
2015_01	431	0.1156	0.1312	0.0578	3.9274	0.8843	0.0004	0.071
2015_02	388	0.1164	0.1289	0.0533	4.6608	0.73	0.00006	0.0726
3 Years	2,101	0.1311	0.1970	0.0591	4.3557	4.4386	0.00004	0.07076

<부록 표 5> 6가크롬 화합물(불용성)의 통계량

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	121	0.0015	0.0015	0.0008	3.9814	0.007	0.000004	0.001
2013_02	131	0.0013	0.0015	0.0006	4.8465	0.0093	0.000006	0.0007
2014_01	175	0.0023	0.0124	0.0005	6.8115	0.1643	0.0000018	0.00076
2014_02	173	0.0013	0.0017	0.0005	4.9042	0.0091	0.000003	0.0005
2015_01	173	0.0018	0.0039	0.0006	5.6504	0.0343	0.000002	0.0007
2015_02	164	0.0017	0.0021	0.0007	4.3779	0.0095	0.00001	0.00085
3 Years	937	0.0017	0.0058	0.0006	5.1804	0.1643	0.0000018	0.0007

<부록 표 6> 6가크롬 화합물(수용성)의 통계량

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	313	0.0036	0.0057	0.0011	5.8478	0.0357	0.000004	0.0011
2013_02	328	0.0034	0.0056	0.0009	7.5039	0.0478	0.000001	0.001
2014_01	410	0.0033	0.0082	0.0009	6.5645	0.1244	0.000001	0.001085
2014_02	404	0.0035	0.0057	0.0009	6.9387	0.0363	0.000001	0.00105
2015_01	433	0.0044	0.0078	0.0010	8.4800	0.0494	0.000001	0.0012
2015_02	422	0.0038	0.0060	0.0011	6.6051	0.0421	0.000002	0.00129
3 Years	2,310	0.0037	0.0067	0.0010	7.0105	0.1244	0.000001	0.0011

<부록 표 7> 이황화탄소의 통계량

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	13	0.0901	0.2319	0.0167	5.1938	0.8505	0.004	0.01
2013_02	14	0.6802	1.1566	0.1410	8.6301	4.301	0.005	0.206
2014_01	8	0.0515	0.0654	0.0161	6.2933	0.16277	0.0014	0.0155
2014_02	17	0.5346	1.3324	0.0619	13.8563	5.6018	0.0004	0.071
2015_01	18	0.3625	0.7832	0.0936	4.6596	2.60829	0.006	0.0699
2015_02	24	0.0849	0.1635	0.0243	5.0699	0.615	0.0007	0.024
3 Years	94	0.3059	0.8212	0.0444	7.7125	5.6018	0.0004	0.04145

<부록 표 8> 카드뮴 및 그 화합물의 통계량

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	112	0.0057	0.0111	0.0009	10.8843	0.0563	0.00000094	0.00114
2013_02	74	0.0024	0.0038	0.0006	9.9953	0.0243	0.0000004	0.00075
2014_01	94	0.0020	0.0038	0.0005	7.9635	0.0297	0.000001	0.0005
2014_02	86	0.0022	0.0024	0.0009	5.4517	0.00983	0.000004	0.001275
2015_01	84	0.0015	0.0019	0.0005	7.5270	0.0077	0.000001	0.000635
2015_02	82	0.0018	0.0021	0.0006	6.3820	0.0083	0.000003	0.00088
3 Years	532	0.0028	0.0059	0.0006	8.0869	0.0563	0.0000004	0.00087

<부록 표 9> 툴루엔-2,4-디이소시아네이트의 통계량

Period	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	114	0.0009	0.0011	0.0005	3.5054	0.0096	0.00001	0.000615
2013_02	86	0.0012	0.0021	0.0004	6.4733	0.013	0.0000003	0.000515
2014_01	120	0.0012	0.0014	0.0005	5.0562	0.0072	0.000001	0.000665
2014_02	127	0.0014	0.0019	0.0007	3.7703	0.0141	0.00001	0.00077
2015_01	173	0.0012	0.0015	0.0005	5.8385	0.0073	0.0000002	0.000731
2015_02	121	0.0011	0.0017	0.0005	4.3136	0.01293	0.000008	0.00064
3 Years	741	0.0012	0.0016	0.0005	4.7949	0.0141	0.0000002	0.00069

<부록 표 10> 트리클로로에틸렌의 통계량

Period	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	1,631	4.3031	8.5150	1.0491	6.6320	185.2423	0.0001	0.9973
2013_02	1,616	4.1765	7.6156	1.1351	6.1209	108.743	0.0008	1.18305
2014_01	1,936	5.1258	8.3183	1.5029	6.0737	94.7728	0.0002	1.5975
2014_02	1,600	5.4336	9.2815	1.6324	6.1149	109.15	0.00013	1.89365
2015_01	1,637	7.0142	15.6378	1.7724	6.5278	178.2945	0.0012	1.95935
2015_02	1,582	6.3474	14.1781	1.6231	6.6046	191.973	0.0003	1.8365
3 Years	10,002	5.3898	11.0066	1.4273	6.3968	191.973	0.0001	1.54675

<부록 표 11> 포름알데히드의 통계량

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	1,635	0.0785	0.1149	0.0363	4.4228	2.2456	0.000003	0.0426
2013_02	1,571	0.0736	0.1100	0.0342	4.0926	2.083	0.00002	0.0411
2014_01	1,686	0.0740	0.0895	0.0353	4.2467	0.70711	0.00001	0.0426
2014_02	1,981	0.0639	0.0938	0.0290	4.3479	1.73	0.00001	0.03616
2015_01	2,091	0.0608	0.0717	0.0290	4.4367	0.6837	0.000003	0.03555
2015_02	2,333	0.0592	0.0736	0.0269	4.6209	1.384	0.000004	0.0328
3 Years	11,297	0.0673	0.0919	0.0311	4.3981	2.2456	0.000003	0.03769

<부록 표 12> 노말헥산의 통계량

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	2,862	1.6305	3.5800	0.4045	6.0617	45.8309	0.0002	0.40105
2013_02	2,347	1.4712	3.6356	0.3433	6.0925	83.053	0.0001	0.33745
2014_01	3,147	1.5227	3.6540	0.3845	5.5586	44.6245	0.0002	0.3693
2014_02	2,478	1.6612	6.8807	0.3587	6.0247	288.877	0.0001	0.3435
2015_01	3,131	1.5141	3.7327	0.3562	5.8982	63.1119	0.00005	0.337
2015_02	2,421	1.4280	4.0706	0.3518	5.5356	91.3303	0.00002	0.3269
3 Years	16,386	1.5395	4.3551	0.3674	5.8567	288.877	0.00002	0.351535

<부록 표 13> 납 및 그 무기화합물의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	519	0.0119	0.0187	0.0058	3.4369	0.2339	0.00051	0.0061
2013_02	780	0.0124	0.0205	0.0065	3.2200	0.3436	0.00052	0.00715
2014_01	883	0.0126	0.0185	0.0067	3.2165	0.233	0.00051	0.0076
2014_02	849	0.0131	0.0247	0.0068	3.2110	0.4412	0.00051	0.0075
2015_01	890	0.0115	0.0216	0.0058	3.3918	0.5071	0.00051	0.0063
2015_02	805	0.0115	0.0301	0.0058	3.2483	0.7838	0.00051	0.0063
3 Years	4,726	0.0122	0.0229	0.0062	3.2835	0.7838	0.00051	0.006975

<부록 표 14> 니켈(불용성 무기화합물)의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	212	0.0306	0.0517	0.0181	2.4310	0.44	0.0051	0.01505
2013_02	236	0.0260	0.0292	0.0182	2.2193	0.237	0.0051	0.01729
2014_01	387	0.0375	0.0542	0.0210	2.7176	0.4107	0.0051	0.0174
2014_02	617	0.0321	0.0471	0.0200	2.4198	0.495	0.00501	0.0178
2015_01	629	0.0288	0.0346	0.0196	2.2792	0.4856	0.00503	0.0185
2015_02	530	0.0315	0.0425	0.0195	2.4574	0.324	0.00501	0.01715
3 Years	2,611	0.0313	0.0438	0.0196	2.4215	0.495	0.00501	0.0175

<부록 표 15> 디메틸포름아미드의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	661	2.3929	3.3704	1.3489	3.0604	44.377	0.101	1.5487
2013_02	530	2.0531	2.1797	1.2248	2.8767	15.03	0.1074	1.2232
2014_01	563	2.1492	1.8810	1.3701	2.8598	9.2893	0.101	1.5677
2014_02	539	2.3408	2.6668	1.4171	2.8983	28.9395	0.1046	1.4999
2015_01	607	2.3781	2.8428	1.4451	2.9044	44.2086	0.1031	1.6701
2015_02	530	2.3326	3.6837	1.2539	3.0377	43.81378	0.1218	1.285405
3 Years	3,430	2.2803	2.8553	1.3439	2.9449	44.377	0.101	1.447915

<부록 표 16> 벤젠의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	226	0.1680	0.1651	0.1006	2.9784	0.8961	0.0103	0.105
2013_02	288	0.1509	0.1933	0.0901	2.7985	2.3078	0.012	0.0919
2014_01	302	0.1632	0.3486	0.0838	2.9694	4.4386	0.0103	0.077915
2014_02	322	0.1527	0.1841	0.0825	3.1283	1.4558	0.0101	0.08165
2015_01	374	0.1324	0.1330	0.0854	2.6251	0.8843	0.0106	0.07948
2015_02	334	0.1345	0.1301	0.0846	2.7639	0.73	0.0102	0.0908
3 Years	1,846	0.1486	0.2041	0.0869	2.8652	4.4386	0.0101	0.08695

<부록 표 17> 6가크롬 화합물(불용성)의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	110	0.0016	0.0015	0.0011	2.6288	0.007	0.00012	0.001095
2013_02	112	0.0015	0.0015	0.0009	2.9381	0.0093	0.00011	0.00105
2014_01	135	0.0029	0.0141	0.0005	5.0176	0.1643	0.00011	0.0011
2014_02	140	0.0016	0.0018	0.0009	3.0315	0.0091	0.000104	0.0008
2015_01	143	0.0022	0.0042	0.0010	3.3498	0.0343	0.00011	0.00106
2015_02	145	0.0019	0.0021	0.0011	3.1788	0.0095	0.00011	0.0012
3 Years	785	0.0020	0.0063	0.0009	3.4850	0.1643	0.000104	0.001

<부록 표 18> 6가크롬 화합물(수용성)의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	224	0.0050	0.0062	0.0026	3.0599	0.0357	0.00051	0.0024
2013_02	218	0.0050	0.0063	0.0027	3.0376	0.0478	0.00051	0.0023
2014_01	283	0.0048	0.0096	0.0024	2.8633	0.1244	0.00051	0.002
2014_02	264	0.0053	0.0064	0.0029	2.9825	0.0363	0.00051	0.00251
2015_01	278	0.0068	0.0089	0.0036	3.1311	0.0494	0.00051	0.003415
2015_02	286	0.0055	0.0066	0.0031	2.9672	0.0421	0.00051	0.00317
3 Years	1,553	0.0054	0.0076	0.0029	3.0213	0.1244	0.00051	0.00261

<부록 표 19> 이황화탄소의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	2	0.4923	0.5066	0.3376	3.6940	0.8505	0.134	0.49225
2013_02	8	1.1730	1.3552	0.6900	3.1233	4.301	0.115	0.85
2014_01	2	0.1498	0.0184	0.1492	1.1308	0.16277	0.1368	0.149785
2014_02	8	1.1117	1.8270	0.5847	2.7825	5.6018	0.193	0.41645
2015_01	6	0.9862	1.1765	0.4857	3.7360	2.60829	0.108	0.28085
2015_02	4	0.3901	0.2300	0.3242	2.1569	0.615	0.114	0.415755
3 Years	30	0.9013	1.2738	0.4791	2.9318	5.6018	0.108	0.3675

<부록 표 20> 카드뮴 및 그 화합물의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	76	0.0084	0.0126	0.0032	4.1859	0.0563	0.00031	0.00285
2013_02	46	0.0038	0.0043	0.0023	2.8297	0.0243	0.0004	0.002215
2014_01	59	0.0031	0.0044	0.0016	3.0723	0.0297	0.000303	0.0015
2014_02	63	0.0029	0.0024	0.0021	2.4236	0.00983	0.00033	0.00217
2015_01	55	0.0023	0.0019	0.0015	2.5895	0.0077	0.00031	0.0017
2015_02	52	0.0027	0.0021	0.0020	2.4223	0.0083	0.00035	0.00237
3 Years	351	0.0041	0.0069	0.0021	3.0549	0.0563	0.000303	0.00212

<부록 표 21> 툴루엔-2,4-디이소시아네이트의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	106	0.0010	0.0011	0.0006	2.6482	0.0096	0.00006	0.000695
2013_02	78	0.0013	0.0022	0.0006	3.3578	0.013	0.00006	0.000605
2014_01	109	0.0012	0.0014	0.0006	3.7650	0.0071	0.00001	0.00073
2014_02	122	0.0015	0.0019	0.0008	3.1961	0.0141	0.00006	0.000795
2015_01	155	0.0014	0.0015	0.0008	3.0980	0.0073	0.000059	0.00087
2015_02	109	0.0013	0.0018	0.0007	3.0891	0.01293	0.00006	0.00073
3 Years	679	0.0013	0.0016	0.0007	3.1809	0.0141	0.00001	0.00076

<부록 표 22> 트리클로로에틸렌의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	1,014	6.7912	10.0137	3.4067	3.2580	185.2423	0.50274	3.07085
2013_02	1,080	6.1420	8.6683	3.0936	3.1587	108.743	0.5008	2.73865
2014_01	1,369	7.1525	9.1559	3.6989	3.2033	94.7728	0.5005	3.386
2014_02	1,185	7.2560	10.1744	3.6834	3.2334	109.15	0.5022	3.4581
2015_01	1,221	9.3304	17.5154	4.0698	3.5493	178.2945	0.5023	4.1941
2015_02	1,151	8.6388	16.0331	3.9206	3.3782	191.973	0.5016	3.6928
3 Years	7,020	7.5848	12.5077	3.6477	3.3073	191.973	0.5005	3.3928

<부록 표 23> 포름알데히드의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	1,491	0.0859	0.1178	0.0494	2.9249	2.2456	0.00508	0.04958
2013_02	1,425	0.0809	0.1130	0.0460	2.8998	2.083	0.00503	0.04726
2014_01	1,537	0.0809	0.0907	0.0479	2.8767	0.70711	0.00505	0.0489
2014_02	1,754	0.0719	0.0969	0.0421	2.8159	1.73	0.005013	0.04211
2015_01	1,861	0.0680	0.0728	0.0422	2.7255	0.6837	0.00501	0.04303
2015_02	2,061	0.0667	0.0752	0.0400	2.8327	1.384	0.00503	0.03974
3 Years	10,129	0.0748	0.0943	0.0441	2.8469	2.2456	0.00501	0.04459

<부록 표 24> 노말헥산의 통계량(데이터 보정)

Priod	N	AM	SD	GM	GSD	MAX	MIN	MEDIAN
2013_01	1,298	3.3817	4.7575	1.9114	2.6854	45.8309	0.5008	1.5692
2013_02	960	3.3540	5.1287	1.9077	2.6460	83.053	0.503	1.6055
2014_01	1,331	3.3508	5.0755	1.8629	2.6831	44.6245	0.50056	1.496
2014_02	988	3.8917	10.5122	1.9756	2.7888	288.877	0.5035	1.5506
2015_01	1,294	3.4185	5.2457	1.8662	2.7208	63.1119	0.50224	1.44645
2015_02	956	3.3382	5.9938	1.8335	2.6605	91.3303	0.501	1.5035
3 Years	6,827	3.4465	6.2663	1.8908	2.6973	288.877	0.50056	1.5206

## ABSTRACT

Characteristics of Concentration Distributions of Workplace Monitoring Data during 2013–2015 for Harmful Chemicals controlled by Permissible Exposure Limits under Korean OHS Act

Lim, Yu-Taek

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

This study analyzed the workplace monitoring data for harmful chemicals controlled by permissible exposure limits under Korean OHS Act during 2013–2015 in Korea.

It was found that the number of samples of n-hexane was, the highest one, 16,386. The number of samples for formaldehyde was 11,297; trichloroethylene 10,002, Lead and its' inorganic compound 5,311, Nickel(insoluble inorganic) 4,520, Dimethylformaldehyde 3,673, Chromium hexavalent(soluble) 2,310, Benzene 2,101, Chromium hexavalent(insoluble) 937, Toluene-2,4-Diisocyanate 741, Cadmium and its compound 532, and Carbon disulfide 94.

The number of cases exceeded the Korean Occupational Exposure Limit (K-OEL) for Lead and its' inorganic compound was 16, which was the highest. The number of cases exceeded the K-OEL for Trichloroethylene

was 11 cases; Formaldehyde 7 cases; Dimethylformamide 6 cases; Toluene-2,4-Diisocyanate 4 cases; n-Hexane, Cadmium and its compound, Benzene, Chromium hexavalent(insoluble) 1 case.

Excess ratio over K-OEL to number of samples for Toluene-2,4-Diisocyanate was 3.2%; Lead and its' inorganic compound 1.8%; Cadmium and its compound 1.1%; Dimethylformamide 1.0%, Trichloroethylene 0.6%, Chromium hexavalent(insoluble) 0.4%, Formaldehyde 0.4%, Benzene 0.2%, Chromium hexavalent(soluble) and n-Hexane 0.04%.

Based on geometric mean(GM) and geometric standard deviation (GSD), excess probabilities over K-OEL were calculated. It was 7.5% for Toluene-2,4-Diisocyanate, which is higher than excess ratio, 3.2%; Lead and its' inorganic compound 6.3% (higher compared to excess ratio 1.8%); Dimethylformamide 5.8%(excess ratio 1.0%); Chromium hexavalent(insoluble) 4.2%(excess ration 0.4%), Cadmium and its compound 3.3%(excess ratio 1.1%), Formaldehyde 3.0% (excess ratio 0.4%), Benzene and Trichloroethylene 2.7% (excess ratios 0.2% and 0.6% respectively); Chromium hexavalent(soluble) 2.2%(excess ratio 0.04%)

**【Keywords】** Permissible Exposure Limit, PEL, TLV, Korean Workplace Monitoring date