

AIHA IHSTAT을 활용한 노출기준 미만 작업공정의 통계적 노출 위험 평가: 제과업 밀가루 분진 노출 사례

강지현¹ · 김동영² · 황규석³ · 함승헌^{1,2,4*}

¹가천대학교 의과대학 길병원, ²가천대학교 보건대학원 산업및환경보건전공,

³어진산업보건연구회, ⁴가천대학교 의과대학 직업환경의학과

Statistical Assessment of Exposure Risk: An AIHA IHSTAT Approach to Flour Dust Exposure in the Bakery Industry

Jihyun Kang¹ · Dongyoung Kim² · Gyuseok Hwang³ · Seunghon Ham^{1,2,4*}

¹Gachon University Gil Medical Center

²Department of Occupational and Environmental Health, Graduate School of Public Health, Gachon University

³Eojin Occupational Health Society

⁴Department of Occupational and Environmental Medicine, Gil Medical Center, Gachon
University College of Medicine

ABSTRACT

Objectives: The current system for occupational environment monitoring in South Korea largely evaluates whether measured values exceed the occupational exposure limit (OEL). This study examined uncertainty in exposure data distributed near the action level (50% of OEL) but without exceeding the OEL, and explored statistical assessment as a supplementary tool for exposure management.

Methods: Sixteen workplace monitoring data points for flour dust (inhalable fraction) were collected twice a year over eight years (2018–2025) from a single similar exposure group (SEG) in the mixing process of a large-scale bakery workplace and analyzed using AIHA IHSTAT Macro-free v2.0. The OEL was 0.5 mg/m³. Concentrations ranged from 0.3076 to 0.4569 mg/m³. Lognormal fit, the 95th percentile, exposure category, acceptability, and a 250-day simulation were examined.

Results: The log-transformed data did not provide evidence against lognormality (W=0.920), although statistical power was limited at n=16. Although all 16 measurements were below the OEL, the estimated 95th percentile fell between 50% and 100% of the OEL, classifying the SEG as AIHA Category 3 with a 'Tolerable' decision. A simulation applying UTL95.95 produced one stochastic realization with 27 days (10.8%) above the OEL out of a 250-day work year. This count is not a deterministic annual forecast.

Conclusions: Workplaces with exposures continually hovering around the action level may warrant supplementary statistical review even when all observations are below the OEL. Periodic monitoring and workplace inspection may be considered for these 'Tolerable' SEGs. Multi-site validation and comparison with alternative methods are needed before policy application.

Key words: Action level, exposure assessment, IHSTAT, lognormal distribution, similar exposure group

*Corresponding author: Seunghon Ham, Tel: 032-458-2634, E-mail: shham@gachon.ac.kr
Department of Occupational and Environmental Medicine, Gachon University Gil Medical Center, 21, Namdong2daero774-gil,
Namdong-gu, Incheon, 21565, Republic of Korea
Received: May 10, 2026, Revised: July 28, 2026, Accepted: August 24, 2026

 Ji-Hyun Kang <http://orcid.org/0000-0002-6459-9337>

 Dong-Young Kim <http://orcid.org/0009-0003-7070-0803>

 Gyu-Seok Hwang <http://orcid.org/0000-0001-8221-5248>

 Seunghon Ham <http://orcid.org/0000-0002-5167-9661>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

우리나라의 현행 작업환경측정 제도는 실측된 측정 결과가 법적 노출기준(occupational exposure limit, OEL)을 초과했는지 여부만을 평가하는 이분법적 구조에 머물러 있다(Hwang, 2019). 현행 제도하에서는 측정값이 노출기준의 50%(Action Level)를 상회하여 OEL에 근접하더라도, 측정값이 단 한 번도 OEL을 넘지 않았다면 해당 공정은 법적으로 완벽한 '정상 사업장'으로 간주된다(Park et al., 2015). 이러한 규제 순응 중심의 평가는 매일 변화하는 작업 환경의 통계적 변동성을 반영하지 못하며, 근로자의 잠재적 노출 가능성을 예측하는 데 근본적인 한계를 지닌다(Clerc & Vincent, 2014).

특히, 유해인자 노출이 수년간 OEL의 경계에 근접하여 유지되는 사업장의 경우, 현행 기준으로는 추가적인 안전 조치나 관리 감독의 대상에서 제외되는 심각한 사각지대에 놓이게 된다. 따라서 단순 측정치의 법적 기준치 이하 여부를 넘어, 누적된 장기 데이터를 바탕으로 초과 노출 확률을 예측하는 통계적 접근이 필요하다(Rappaport & Selvin, 1987).

Table 1. AIHA exposure category assessment results

Parameter	Value
OEL (mg/m ³)	0.5
Number of samples (n)	16
Maximum (mg/m ³)	0.457
Minimum (mg/m ³)	0.308
Geometric mean (GM)	0.393
Geometric std. deviation (GSD)	1.132
Lognormality test (W-Test)	Passed (W=0.920, Yes)
Estimated arithmetic mean (MVUE)	0.396
95th percentile	0.482
UTL95,70	0.498
UTL95,95	0.540
Percent above OEL (%>OEL)	2.602%
LCL95% (%>OEL)	0.422%
UCL95% (%>OEL)	11.252%
Likely AIHA category	Category 3 (ORANGE)
Acceptability decision	Tolerable (ORANGE)

Note: LCL/UCL are confidence limits for the exceedance fraction; UTL95,70 and UTL95,95 are upper tolerance limits containing 95% of the population at 70% and 95% confidence, respectively.

이 연구에서는 2018년부터 2025년까지 8년간 동일한 공정에서 측정된 16개의 측정 데이터를 바탕으로, 미국 산업위생학회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)의 통계 모델링 도구인 IHSTAT(Bullock & Ignacio, 2006)을 적용하여 상위 노출구간과 통계적 불확실성을 보완적으로 평가하고, 현행 제도를 보완할 수 있는 실무적 관리 방안을 제시하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

연구대상 사업장의 업종은 제과업, 대상 공정은 계량 및 배합공정으로 빵을 만드는 주 원료인 밀가루와 다른 원료를 계량한 후 배합하는 근로자가 작업하고 있었다. 주된 유해인자는 곡분분진(입자상)이었으며, 흡입성 분진으로 측정하여 고용노동부의 노출기준인 0.5 mg/m³을 적용하였다.

이 연구는 A 사업장의 특정 공정 내 단일 유사노출그룹(similar exposure group, SEG)을 대상으로 수행되었다. 해당 공정은 2018년부터 2025년까지 8년간 생산량, 환기 설비, 작업 방식 등에 유의미한 변동 없이 일정하게 유지되었으며, 매년 2회씩 동일한 방법으로 총 16개의 작업환경측정 데이터를 수집하였다.

대상 물질의 노출기준은 0.5 mg/m³이며, 16개의 수집된 실측 데이터는 최솟값 0.3076 mg/m³에서 최댓값 0.4569 mg/m³ 사이에 분포하였다. 데이터의 통계적 분석에는 AIHA에서 제공하는 산업위생 통계 분석 프로그램인 IHSTAT Macro-free v2.0 버전을 활용하였다(Lee & Ceballos, 2020).

평가 모델은 작업장 오염물질의 노출 데이터가 이상적인 로그정규분포(lognormal distribution)를 따른다는 대전제를 바탕으로 일 년(250일)간의 노출 프로파일을 시뮬레이션한다(Rappaport & Selvin, 1987). 수집된 데이터를 입력하여 적합도 검정을 실시하였으며, AIHA 가이드라인에 따라 95번째 백분위수(95th percentile) 추정치를 기반으로 노출 등급(Likely AIHA Category)과 수용가능성(Acceptability Decision)을 판정하였다(Bullock & Ignacio, 2006).

상한신뢰한계(upper confidence limit, UCL)는 평균이나 노출기준 초과분율과 같은 모수 추정치의 신뢰구간 상한이다. 반면 상한허용한계(upper tolerance limit, UTL)는 모집단의 일정 비율을 포함하도록 설정한 단측 허용한계이다. UTL95,95와 UTL95,70은 모집

Table 2. Repeated exposure measurements of the target SEG(2018–2025)

No.	Date	Concentration(mg/m ³)	OEL(mg/m ³)	OEL ratio(%)
1	2018-H1	0.3594	0.5	71.9
2	2018-H2	0.4569	0.5	91.4
3	2019-H1	0.4417	0.5	88.3
4	2019-H2	0.4267	0.5	85.3
5	2020-H1	0.3975	0.5	79.5
6	2020-H2	0.4042	0.5	80.8
7	2021-H1	0.3076	0.5	61.5
8	2021-H2	0.3615	0.5	72.3
9	2022-H1	0.4269	0.5	85.4
10	2022-H2	0.3487	0.5	69.7
11	2023-H1	0.4452	0.5	89.0
12	2023-H2	0.4550	0.5	91.0
13	2024-H1	0.4026	0.5	80.5
14	2024-H2	0.4255	0.5	85.1
15	2025-H1	0.3422	0.5	68.4
16	2025-H2	0.3344	0.5	66.9

* Note: H1 = First half of the year; H2 = Second half of the year.

단의 최소 95%가 포함되는 상한을 각각 95%와 70%의 신뢰수준으로 제시한다. 따라서 Table 1의 LCL95% 및 UCL95%는 초과분율의 신뢰한계이며, UTL95,70 및 UTL95,95는 95번째 백분위수의 허용한계이다.

III. 연구 결과

수집된 16개의 측정 데이터에 대하여 IHSTAT 대시

보드를 통한 분포 적합성을 검증한 결과, W-Test를 통과하여 해당 데이터가 모델의 기본 가정인 로그정규분포를 신뢰수준 내에서 적절히 따르고 있음이 확인되었다(Rappaport & Selvin, 1987). 또한 데이터의 산포도를 나타내는 기하표준편차(GSD) 역시 3.0 이하로 산출되어, 지난 8년간 해당 공정의 작업 환경이 유의미한 변화 없이 안정적으로 통제 및 유지되었음을 통계적으로 입증하였다.

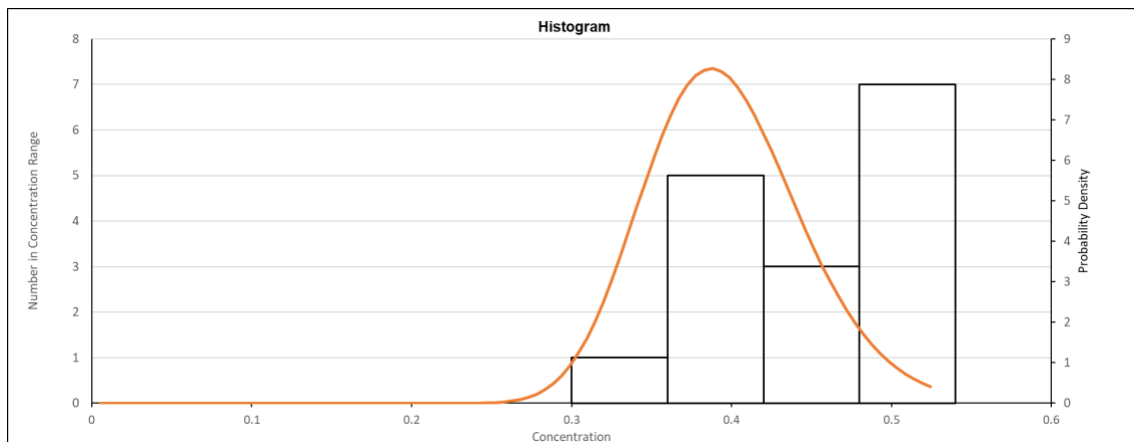


Figure 1. Distribution of the 16 Repeated exposure measurements, overlaid with the idealized lognormal probability density function. The bars represent the frequency of measured concentrations, and the orange line indicates the probability density

Table 3. IHSTAT 1-year exposure simulation results under three statistical models

Model	GM	GSD	Predicted OEL exceedance days(out of 250)	Exceedance rate(%)
Idealized Lognormal	0.393	1.132	3	1.2
UTL95,70	0.400	1.140	14	5.6
UTL95,95	0.415	1.170	27	10.8

Note: The displayed counts are one stochastic simulation realization and may change when the workbook is recalculated; they should not be interpreted as deterministic annual forecasts.

16개의 실측치만으로는 드러나지 않았던 연간 노출 위험을 구체적으로 평가하기 위해, 연간 250일 작업 기준의 '1년 노출 시각화(visualizing one year of exposures)' 시뮬레이션을 수행하였다. 해당 시뮬레이션은 표본 수에 따른 통계적 불확실성을 반영하기 위해 이상적인 로그정규분포 모델 및 상한허용한계(UTL)를 적용한 세 가지 모델로 비교 분석되었다.

첫째, 불확실성을 고려하지 않고 이상적인 로그정규분포만을 가정한 기본 모델에서는 기하평균(GM) 0.393, 기하표준편차 1.13으로 산출되었으며, 연간 250일 중 3일(1.2%)이 노출기준(OEL)을 초과할 것으로 예측되었다. 둘째, 추정된 95번째 백분위수에 대하여 70%의 신뢰수준을 적용한 모델(UTL95,70)에서는 기하평균이 0.400, 기하표준편차가 1.14로 상승하였으며, 예측된 노출기준 초과 발생일은 14일(5.6%)로 나타났다. 마지막으로 가장 보수적인 접근 방식인 95번째 백분위수 추정치에

95%의 신뢰수준을 적용한 모델(UTL95,95)을 분석한 결과, 기하평균은 0.415, 기하표준편차는 1.17까지 증가하였으며, 시뮬레이션 결과 연간 27일(10.8%)에서 노출기준을 초과하는 것으로 산출되었다.

총 16회의 현장 측정 데이터에서 노출기준 초과 건수가 '0건'이었음에도 불구하고, 통계적 신뢰구간을 적용하여 실제 1년 단위의 작업일로 확장하여 평가할 경우 현행 제도상 '정상'으로 분류되는 사업장에서도 실제 근로자는 연간 상당한 빈도로 기준치를 초과하는 유해 인자에 노출될 수 있음을 시각적이고 정량적으로 시사하는 결과이다(Clerc & Vincent, 2014).

가장 핵심적인 지표인 AIHA 노출 등급(category) 판정 결과, 16개의 실측치 자체는 모두 법적 노출기준인 0.5 mg/m^3 미만이었으나, 95번째 백분위수 추정치는 OEL의 50%에서 100% 구간에 속하는 Category 3 (ORANGE)으로 분류되었다(Bullock & Ignacio, 2006).

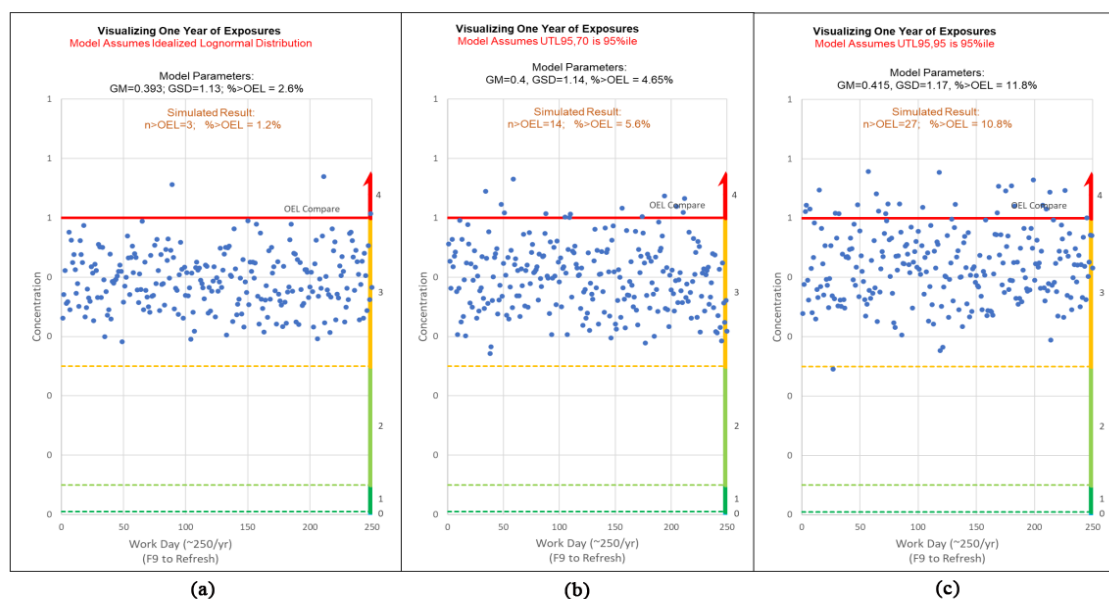


Figure 2. IHSTAT one-year exposure simulation results comparison under three statistical models: (a) Idealized lognormal distribution, (b) UTL95,70, and (c) UTL95,95

이를 바탕으로 한 최종 수용 가능성 판정(Acceptability Decision)에서는 대상 공정이 노출기준을 초과할 통계적 확률이 5%에서 30% 사이에 존재하는 ‘허용 가능(Tolerable, ORANGE)’ 상태인 것으로 나타났다(Hewett & Bullock, 2014).

IV. 고 찰

이 연구의 결과는 단일 SEG에서 모든 관측값이 노출기준 미만이었다고 상위 노출구간과 표본 불확실성을 함께 검토할 필요가 있음을 보여준다. IHSTAT 결과는 현행 법적 판정을 뒤집는 독립적 근거가 아니라, 추가 측정과 현장 확인의 우선순위를 정하는 선별지표로 해석하는 것이 타당하다. 대상 공정은 지난 8년간 총 16회의 측정에서 단 한 번도 0.5 mg/m^3 를 초과하지 않았으므로, 현행 법제도 안에서는 완벽하게 관리되고 있는 ‘정상 사업장’으로 분류된다(Hwang, 2019). 그러나 AIHA의 산업위생 통계적 접근을 적용한 결과는 이와 상반된 경고를 나타낸다(Vadali et al., 2009).

이 공정이 판정받은 ‘허용가능’ 등급은 결코 현장 상태가 온전히 안전함을 보장하는 것이 아니다. AIHA 가이드라인에 따르면 이는 해당 SEG에 필수적인 모니터링 계획이 엄격하게 수립되어 있다는 가정하에(assuming the SEG has a required monitoring plan) 예외적으로 수용할 수 있는 조건부 상태를 의미한다(Bullock & Ignacio, 2006). 즉, 측정치들이 $0.3076\text{--}0.4569 \text{ mg/m}^3$ 수준에 밀집하여 법적 한계치를 간신히 넘지 않고 있을 뿐, 작업자 개인별 변동성, 계절적 온도 변화에 따른 변이, 생산량 증감, 환기 설비의 노후화 등 미세한 조건 변화에 의해 언제든지 초과 노출이 발생할 수 있는 잠재적 위험 상태에 놓여 있는 것이다. 따라서 정기 측정, 작업 관행과 공학적 관리의 현장점검, 필요시 의학적 감시 또는 생물학적 모니터링을 고려할 수 있으며, 이러한 조치는 법적 부적합 판정과 구분되는 예방적 관리로 이해해야 한다.

특히 주목해야 할 점은 이 연구의 시뮬레이션 결과가 보여주는 ‘불확실성의 누적 효과’이다. 이상적 로그정규분포 모델에서는 연간 3일의 노출기준 초과가 예측되었으나, 통계적 불확실성을 반영할수록 초과 일수가 14일, 나아가 27일 까지 증가하는 패턴이 관찰되었다. 이는 측정 횟수가 제한적인 실제 현장에서 표본 크기의 한계가 초래하는 통계적 불확실성이 실제 노출 위험을 얼마

나 과소평가할 수 있는지를 정량적으로 보여주는 증거이다. 단순 실측값에만 의존해 정상 판정을 내리고 사후 관리의 우선순위에서 배제하는 현행 관행은 이러한 노출기준에 근접한 공정들의 위험성을 방치하는 결과를 낳는다(Clerc & Vincent, 2014).

이러한 문제는 비단 이 연구의 대상 공정에만 국한되지 않는다. 산업안전보건법에 따른 작업환경측정은 연 2회, 각 측정 시 단 1-2회의 시료채취가 이루어지는 것이 일반적이다. 즉, 연간 250일의 근로일 중 극히 일부만 표본으로 추출되며, 이 표본이 노출기준 미만이라는 이유만으로 해당 공정의 연간 노출 프로파일 전체를 ‘안전’으로 간주하는 것이다. 노출 데이터가 로그정규분포를 따른다는 산업위생학의 기본 가정(Rappaport & Selvin, 1987)을 수용한다면, 단기 측정치가 노출기준 미만이라 하더라도 장기 노출 프로파일의 일부에서는 초과 노출이 발생할 수 있음을 인정해야 한다. 이 연구는 이를 실증적 데이터와 통계적 시뮬레이션을 통해 구체적으로 입증한 것이다.

노출 가능성을 객관적으로 예측하고 선제적으로 대응하기 위해서는 IHSTAT과 같은 통계적 신뢰도 평가 기법의 도입이 필수적으로 요구된다(Lavoué et al., 2019; Lee & Ceballos, 2020). IHSTAT은 기존 작업환경측정 데이터를 추가 비용 없이 재분석할 수 있는 도구로, 별도의 현장 측정 없이도 잠재적 노출 위험을 정량화할 수 있다는 실무적 장점이 있다. 이미 축적된 장기 측정 데이터를 보유한 사업장이라면, 즉시 IHSTAT 분석을 적용하여 해당 공정의 AIHA Category와 수용 가능성을 확인하는 것이 가능하다.

AIHA 전략은 SEG 노출분포의 95번째 백분위수를 노출기준과 비교하여 상위 작업일의 노출을 다룬다. 대안으로는 사전정보와 전문가 판단을 반영하는 베이지안 의사결정 분석(Banerjee et al., 2014; Hewett & Bullock, 2014)과 웹 기반 Expostats(Lavoué et al., 2019) 등이 있다. 베이지안 접근은 적은 수의 표본에서 기존 지식을 결합할 수 있지만 사전분포 설정과 전문적 해석이 필요하다.

과거 고용노동부 일부 지방관서에 작업환경 개선을 활성화하기 위해 시범적으로 운영하였던 ‘작업환경측정 모니터링위원회’의 평가 과정에 이러한 통계적 노출 예측 모델링을 보완적으로 연계하는 방안을 검토할 수 있다(Hwang, 2018). 모니터링위원회는 외부 전문가가 참여하여 작업환경측정 결과에 따른 사업장의 개선 결

과와 계획을 객관적으로 검증하는 역할을 수행한다. 단순 실측치가 노출기준을 초과한 사업장뿐만 아니라, 이 연구 사례와 같이 통계적 모델링 결과 연간 초과 노출 위험이 상존하는 ‘허용 가능’ 등급의 잠재적 고위험 사업장까지 모니터링위원회의 심사 및 관리 대상으로 포함시켜 시범사업을 확대 운영한다면, 현행 제도의 사각지대를 해소하고 실질적이고 선제적인 작업환경 개선을 이끌어내는 실효성 있는 정책 대안이 될 수 있다 (Banerjee et al., 2014; Torres et al., 2014). 다만 제도적 적용에 앞서 다수 사업장과 유해인자를 포함한 검증이 선행되어야 한다.

나아가, 이 연구는 한국의 작업환경측정 제도가 단순한 규제 준수(compliance) 중심에서 예방적 위험 관리(risk management) 중심으로 전환해야 함을 시사한다. AIHA의 노출 평가 전략(exposure assessment strategy)은 단일 측정치의 노출기준 초과 여부를 넘어, SEG 단위의 통계적 노출 프로파일 분석, 베이지안 의사결정 분석(Bayesian decision analysis), 그리고 이를 기반으로 한 선제적 관리 조치를 권고하고 있다 (Bullock & Ignacio, 2006). 이러한 접근 방식은 근로자의 실제 노출 위험을 보다 현실적으로 평가하고, 건강 장애가 발생하기 전에 선제적으로 개선 조치를 취할 수 있게 한다. 한국의 산업위생 실무에서도 이러한 통계적 노출 평가 체계의 보완적 적용 가능성을 검토할 필요가 있다. 따라서 현행 제도의 한계를 보완하고 근로자의 실질적 건강 장애를 예방하기 위해, 해당 공정에 대하여 AIHA 가이드라인이 권고하는 다음의 후속 조치(action / follow-up)를 고려할 수 있다.

첫째, 통계적 불확실성을 통제하기 위한 정기적 모니터링 계획 수립 및 엄격한 이행이 필요하다(Lavoué et al., 2019). 둘째, 현장 점검 강화를 통해 작업 조건의 미세한 변화에 의한 초과 노출 가능성을 최소화해야 한다(Clerc & Vincent, 2014). 셋째, 대상 근로자에 대한 의학적 감시(medical surveillance)를 병행하여 건강 장애를 조기에 발견·예방해야 한다(Steenland & Deddens, 2004). 넷째, 한국 실정에 맞는 노출 예측 모델 개발을 통해 고위험 사업장의 조기 발굴 및 관리 체계를 구축해야 한다(Kim et al., 2014).

이 연구는 몇 가지 한계를 지닌다. 첫째, 단일 사업장의 단일 공정을 대상으로 한 case report이므로 연구 결과의 일반화에 주의가 필요하다. 둘째, IHSTAT의 로그정규분포 가정이 모든 노출 데이터에 적용될 수 있는

것은 아니며, 실제 현장에서는 다양한 외란 요인에 의해 분포 가정이 위배될 수 있다. 셋째, 이 연구에서는 IHSTAT의 결과를 중심으로 논의를 전개하였으나, 보다 정교한 노출 예측을 위해서는 베이지안 통계 기법이나 몬테카를로 시뮬레이션 등의 추가 분석 방법론 적용이 필요할 수 있다. 특히 시료 수가 총 16개로는 W-test의 검정력이 낮아 실제 가정 위배를 탐지하지 못할 수 있고, 95번째 백분위수와 UTL 추정치의 불확실성이 커질 수 있다. 또한 8년에 걸친 반기 자료의 계절성·근로자간/내 변이를 IHSTAT이 분리하지 못한다는 점이 있지만 그럼에도 불구하고, 이 연구는 현행 제도의 구조적 한계를 명확히 지적하고, 통계적 도구를 활용한 실증적 대안을 제시했다는 점에서 의의가 있다.

V. 결 론

이 연구는 장기간 측정값이 노출기준의 50%를 초과하면서 기준치에 인접하게 나타나는 공정에 대하여, 단일 실측값에 의존한 일차원적 적합 판정을 지양하고 통계적 모델링을 통한 사전 예방적 관리가 필요함을 시사하였다. 분석 대상 공정은 16개 시료가 모두 노출기준 미만을 기록했음에도 통계적 모델링을 통해 초과 위험이 내재된 ‘허용 가능’으로 평가되었다. 따라서 기존 제도에 덧붙여, IHSTAT과 같은 통계적 노출 평가 도구를 작업환경측정 결과의 보조적 해석 수단으로 도입하고, 95번째 백분위수와 UTL 근거로 한 계층적 노출 관리 체계를 구축함으로써 현행 이분법적 판정의 사각지대를 보완할 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 2026년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2026-25535455).

References

- Banerjee S, Ramachandran G, Vadali M, Mulhausen J. Bayesian hierarchical framework for occupational hygiene decision making. *J Occup Environ Hyg* 2014;11(8):554-567
- Bullock WH, Ignacio JS. A strategy for assessing and

- managing occupational exposures. 2nd ed. Fairfax, VA: AIHA; 2006
- Clerc F, Vincent R. Assessment of occupational exposure to chemicals by air sampling for comparison with limit values: the influence of sampling strategy. *Ann Occup Hyg* 2014;58(4):437-451
- Hewett P, Bullock WH. Rating locomotive crew diesel emission exposure profiles using statistics and Bayesian decision analysis. *J Occup Environ Hyg* 2014;11(8):D115-D126
- Hwang G. Study on the promoting the improvement of work environment by the monitoring committee for work environment measurement. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2018;28(2):158-165
- Hwang G. Study on the improvement of reliability assessment of work environment measurement in Korea. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2019;29(1): 50-56
- Kim S, Jang J, Kim K. Development and validation of exposure models for construction industry: Tier 1 model. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2014;24(2): 208-218
- Lavoué J, Joseph L, Knott P, Davies H, Labrecque F, Bouchard P. Expostats: a Bayesian toolkit to aid the interpretation of occupational exposure measurements. *Ann Work Expo Health* 2019;63(2):125-140
- Lee EG, Ceballos DM. Adoption of exposure assessment tools to assist in providing respiratory protection recommendations. *Ann Work Expo Health* 2020; 64(5):547-560
- Park J, Ham S, Kim S, Lee K, Ha K, et al. Study on the chemical management-1. Chemical characteristics and occupational exposure limits under Occupational Safety and Health Act of Korea. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2015;25(1):45-57
- Rappaport SM, Selvin S. A method for evaluating the mean exposure from a lognormal distribution. *Am Ind Hyg Assoc J* 1987;48(5):374-379
- Steenland K, Deddens JA. A practical guide to dose-response analyses and risk assessment in occupational epidemiology. *Epidemiology* 2004; 15(1):72-79
- Torres C, Jones R, Boelter F, Poole J, Lao J. A model to systematically employ professional judgment in the Bayesian decision analysis for a semiconductor industry exposure assessment. *J Occup Environ Hyg* 2014;11(8):D127-D138
- Vadali M, Ramachandran G, Mulhausen J. Exposure modeling in occupational hygiene decision making. *J Occup Environ Hyg* 2009;6(7):415-426

<저자정보>

강지현(실장, 박사과정), 김동영(석사과정), 황규석(박사), 함승현(교수)