



## 작업장에서 사용하는 폼아미드(Formamide)의 근로자 건강 유해성과 위험성 평가

†김현영

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원  
(2016년 3월 4일 접수, 2016년 4월 8일 수정, 2016년 4월 9일 채택)

## Worker Health Hazard and Risk Assessment of Formamide using in Workplaces in South Korea

†Hyeon-Yeong Kim

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health  
Agency

(Received March 4, 2016; Revised April 8, 2016; Accepted April 9, 2016)

### 요약

폼아미드(formamide)는 암모니아 냄새의 무색 액체로 흡입 시 자극성이 강하며, 급성독성 LD<sub>50</sub> 5,577 mg/kg (랫드), 표적장기(간장) 전신독성의 무유해영향농도(NOAEL)는 113 mg/kg/day 및 생식독성물질(1B)로 작업환경 노출기준은 10 ppm이었다. 폼아미드 취급사업장에 대한 작업환경 측정결과는 25개 시료 모두가 노출기준보다 매우 낮은 농도를 보였다. 그러나 작업강도, 국소배기장치의 가동 및 보호구(방독마스크)의 착용 여부 등 작업환경에 따라 노출농도가 변할 수 있어 가상 노출 시나리오별 노출량을 산출한 결과 노출량은 5.16 mg/m<sup>3</sup>, 1.72 mg/m<sup>3</sup>, 0.43 mg/m<sup>3</sup>으로 산출되었다. 이를 전신독성 및 생식독성의 유해성을 고려한 위험성을 평가한 결과 평균값은 0.02-0.58, 누적 90% 값은 0.02-0.66, 95% 값은 0.02-0.69로 모두 1보다 낮은 대체로 안전한 값으로 산출되었다. 단, 작업 상황에 따라 순간적 고농도에 노출될 위험도 있으며, 간독성 및 생식독성 물질이기에 건강장해 예방을 위해 노출되지 않도록 취급 시 주의가 요망된다.

**Abstract** - Formamide is a colorless fluid with ammonia odor, and irritable when inhaled. It has LD<sub>50</sub> value of > 5,577 mg/kg in rats for acute oral toxicity and NOAEL of 113 mg/kg/day for target organ (liver) of whole body toxicity. It is also known as reproductive toxicant (1B) and TWA(Time Weighted Average) for it is 10 ppm. Workplace measurements of work places dealing with formamide showed the ppm of all 25 samples was very lower than WEL. However, the exposure concentration can change, depending on workplace condition such as the intensity of work, operating local ventilation system, and wearing protection equipment (Respirators). Therefore, considering it with the risk of whole body toxicity and reproductive toxicity, exposure quantity of each imaginary scenario was calculated at 5.16, 1.72, and 0.43 mg/m<sup>3</sup>. The average value was calculated at 0.02-0.58, 0.02-0.66 at 90 percent of cumulative distribution, 0.02-0.69 at 95 percent of cumulative distribution. Therefore, it was generally evaluated to be safe because all values were below 1. However, caution is required to prevent health hazard because it has hepatotoxicity and reproductive toxicity and risk of a high level momentary exposure, depending on the condition of workplace

**Key words** : formamide, hazards, risk assessment, dose-response

†Corresponding author:1989135@kosha.or.kr  
Copyright © 2016 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

산업의 발전과 함께 다양한 화학물질이 사용되고 있으며, 최근 국내에 사용되는 화학물질의 수만도 5만 종이 넘고 매년 400여 종의 신규화학물질이 개발되고 있다. 이들 중 만성독성시험을 포함 유해·위험성이 충분히 밝혀진 물질은 수천 종에 불과하며, 작업환경 노출기준이 설정되어 있는 물질은 700여 종, 취급 화학물질 중 정기건강진단 대상 물질은 200여 종에 지나지 않는다. 즉, 많은 화학물질이 그 유해·위험성을 모른 채 사용되고 있는 것이 현실이다. 특히 새로이 개발되어 사용되는 물질, 새로운 방식으로 사용되는 물질에 대하여는 유해·위험성이 충분히 밝혀지기까지는 많은 시간과 비용이 투자되어야 한다. 따라서 최근 화학물질에 대한 유해·위험성평가가 중요해지고 있는데 그 이유는 취급 근로자의 건강장해 예방을 위하여 유해물질의 분류, 작업환경 노출기준의 설정 등 작업환경 관리방안을 도출하는 과학적 근거를 마련하는데 있기 때문이다. 물론 화학물질 자체의 독성과 위험성 관리는 작업장내의 화학물질관리로 이루어 질수 있지만 실질적으로 근로자들이 화학물질에 노출되어 나타나게 되는 건강장해를 예방하기 위해서는 물질의 특성, 개인별 편차, 작업방법, 노출농도, 노출기간 등 작업환경 특성에 따라 다르게 나타나므로 이러한 유해·위험 특성을 고려한 평가를 통한 작업환경관리가 필요하다 [1]. 따라서 산업안전보건법에서는 화학물질로 인한 근로자 건강장해 예방을 위하여 산업안전보건법 제39조 “유해인자의 관리”에 근거하여 동법 시행규칙 제81조 “유해인자의 분류·관리”, “노출기준의 설정”, 동법 제40조 “화학물질의 유해성·위험성 조사” 동법 제41조 “물질안전보건자료의 작성·비치” 등 법적 근거로 하여 유해·위험성 미확인 물질로부터 근로자의 건강을 보호하기 위한 조치의 일환으로 볼 수 있다[2]. 이러한 관점에서 유해·위험성 미확인 물질로부터 근로자의 건강장해를 예방하기 위해서는 이의 물질을 취급하는 작업장에 대하여 각종 유해·위험성 자료를 토대로 유해·위험요인의 예측(Anticipation)과 인지(Recognition), 노출수준 및 물질 자체의 유해성 평가(Evaluation) 그리고 유해·위험성의 관리(Control)의 위험성 평가(Risk assessment)의 절차를 통하여 근로자 건강보호를 위한 과학적인 판단 근거(Decision Making)를 마련해 줄 수 있을 것이다. 이를 위해 첫째로는 위험성의 확인(Hazard identification)에 있다. 이를 통해 화학물질과 사람에 대한 건강영향의 관련성(link)이 있는가? 둘째는 용량-반응평가(Dose-response assessment)

를 통해 노출수준과 사람에 미치는 건강 영향의 상관관계는 어떠한가?, 셋째는 노출평가(Exposure assessment)를 통해 작업환경에서 사람에 노출되는 화학물질의 노출수준은 어느 정도인가? 그리고 넷째로는 위험성 결정(Risk characterization)으로 위험성의 전반적 수준은 얼마나 되는가? 이다. 이러한 과정에 따라 유해·위험성 미확인 물질에 대해 유해·위험성을 평가하여 산업재해 예방 및 근로자의 건강장해 예방에 자료로 활용하고자 한다.

본 연구에서는 산업현장에서 다양하게 사용되는 화학물질 중 사용량이 많으며 독성이 강하게 예측되고 취급부주의 경우 사람에 노출되어 건강장해를 일으킬 수 있는 폼아미드(formamide, CAS No. 75-12-7)를 유해·위험성 평가의 물질로 하였다. 이를 위해 폼아미드 자체의 유해성(hazards)을 조사하고, 국내 사용량 및 취급 사업장에 대한 작업환경 측정을 통해 용량-반응(Dose-Response) 및 위험성을 평가(Risk Assessment)를 통해 작업환경 관리능도의 적정성을 검토하고 폼아미드 취급에 의한 건강장해 예방을 위한 자료로 활용하고자 하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 대상물질의 선정

유해성이 강하고 비산이 쉬워 취급 부주의 시 근로자에 노출되어 건강장해 우려가 있는 화학물질로, 이의 안전 확보를 위해 취급 사업장 조사와 작업환경 측정, 그리고 위험성 평가의 필요성이 있는 폼아미드를 연구대상 물질로 하였다.

### 2. 국내 취급 사업장 및 사용량 조사

국내 폼아미드 취급 사업장수, 취급 량 등은 한국산업안전보건공단(2009) 및 환경부 화학물질관리센터(2010) 자료[3, 4]를 이용하였다.

### 3. 유해성 조사(Hazard Identification)

폼아미드의 유해성 조사는 OECD의 Screening Information Data Set (SIDS), IARC (International Agency for Research on Cancer), IPCS (International Program on Chemical Safety) 등 국제기구에서 발간되는 화학물질 유해성·위험성 평가 보고서, 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH) 및 환경보호청(EPA)의 Integrated Risk Information System (IRIS), 일본 후생노동성, 유럽화학물질청(ECHA) 등 각 기관의 데이터베이스 등을 검색하여 폼아미드에 대한 유해성을 조사하였다.

#### 4. 유해성 결정(Dose-response assessment; 용량-반응평가)

폼아미드 인체에 미치는 유해영향을 인체독성 시험자료 혹은 동물독성시험자료를 활용, 정량적으로 평가하여 작업장에서 화학물질 노출로 인한 근로자 위험성 결정에 활용될 독성값인 무유해영향농도(NOEL), 최소유해영향농도(LOAEL), 혹은 대안 값을 제안하였고, 발암, 비발암성에 대한 유해성을 조사하였다. 따라서 평가대상 화학물질에 대하여 독성학적 역치(threshold)의 유·무를 평가하여 독성학적 역치가 있는 경우(비발암성 물질의 경우) 무유해영향농도, 최소유해영향농도의 역치가 없는 경우(발암성 물질의 경우) 발암잠재력(CPF)을 추정하는 방법 등을 활용 하였다.

#### 5. 노출량 평가(Exposure Assessment)

국내 폼아미드 취급 사업장(화학물질 제조사 1개소, 15회 측정, 제약회사 1개소, 10회 측정)의 주요 취급공정을 대상으로 작업환경측정을 실시하였다. 이는 폼아미드 취급 사업장의 노출대상 및 노출경로 파악을 위한 노출시나리오를 설정하고 현장조사 및 노출시나리오 별 노출량을 평가하고자 하였다. 이를 위해 취급량과 취급공정, 국소배기장치 설치 및 가동여부, 취급근로자 수 조사, 작업환경 측정을 실시했다. 사전에 취급사업장수 및 취급량 (또는 유통량)은 고용노동부의 “작업환경질태조사(5년 주기)”와 환경부의 “화학물질유통량조사(4년 주기)” 자료를 활용하였으며, 주요 취급공정에서의 노출수준은 표본으로 선정한 사업장을 대상으로 고용노동부 고시 제2011-55호 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시에 따라 작업환경 측정을 하였다.

#### 6. 위험성 결정(Risk Characterization)

독성 값 및 노출평가에서 산출된 근로자 노출량을 근거로 폼아미드 노출에 따른 근로자 집단에서 유해반응의 발생률(위험도)을 산출하고 유해성·위험성 평가 기법 중 하나인 몬테카를로 분석방법(Monte Carlo simulation)을 적용하여 유해성을 평가하여 작업환경 관리기준의 적절성을 판단하였다. 또한 본 연구에서 폼아미드 취급 근로자의 총 노출량을 산출하기 위해 사용된 몬테카를로 분석방법은 작업환경 노출 조건에 따라 실제 근로자에게 노출량이 달라지는 점은 고려 이의 결과를 예측하기 위해 확률 모형(stochastic model)을 이용하였다. 즉, 폼아미드를 취급하는 작업환경의 유해성, 노출농도 및 분포, 마스크 착용여부, 노출시간에 따른 위험성을 고려 노출변수에 따른 수치적(numerical) 난수를 반복

적으로 발생해 시뮬레이션을 통한 폼아미드의 총량을 구하는 방법을 사용하였다.

### III. 연구결과 및 고찰

#### 1. 국내 취급 사업장 및 유통량 조사

폼아미드는 Carbamaldehyde, Methanamide, Formimidic acid로도 명명되며, 종이, 접착제의 유연제나 의약품, 살충제, 살진균제, 헤테로고리 화합물의 제조, 플라스틱 제조 및 공정 과정에서 용매, 그리고 cyanic acid, triazoles, 비타민, 염색약 등의 중간체로 사용된다. 국내 폼아미드의 제조 및 취급 사업장은 총 9곳이며 그 중 화학물질 도매업 4개 업체, 의약품 및 향생물질 제조업 3개 업체, 화학물질 제조업, 합성염료 제조업 각각 1개 업체로 확인되었다[4].

#### 2. 유해성 조사(Hazard Identification)

폼아미드는 상온에서 암모니아 냄새를 내는 무색의 액체, 인화점은 154 °C, 끓는점 210.5 °C 이다. 21 °C 에서 증기압은 1 mmHg, 25 °C에서 용해도는 100 g/ 100 ml, 옥탄올·물분배계수(log Kow)는 -1.51, 분자량은 46.05로 상온 상압에서 안정하며 열, 화염, 스파크 및 기타 점화원은 피해야 한다. 또한 염기, 금속, 산화제 등과 혼합을 금지하고 있으며, 다이옥산, 아세톤, 아세트산, 알코올, 페놀, 글리세롤, 글리콜에틸렌 등에는 잘 녹지만 에테르, 벤젠과의 용해성은 매우 낮으며, GHS분류는 생식독성으로 구분 1B로 분류되어 있다[5].

실험동물용 이용한 급성독성은 랫드의 경우 경구 투여에서 LD<sub>50</sub> 5,577 mg/kg, LD<sub>50</sub> 5,570 mg/kg, 흡입노출에서는 LC<sub>50</sub> 3,900 ppm (6시간), LC<sub>100</sub> 21 mg/l (4시간), 복강내투여의 경우 LD<sub>50</sub> 5,900 mg/kg, LD<sub>50</sub> 6,000 mg/kg 이었으며, 마우스의 경우 경구 투여시 LD<sub>50</sub> 0.15 g/kg, LD<sub>50</sub> 270 mg/kg, 복강 내 투여시 LD<sub>50</sub> 2450 mg/kg, LD<sub>50</sub> 7,400 mg/kg, LD<sub>50</sub> 4,600 mg/kg 이었다[5].

생식세포 변이원성시험으로 마우스의 적혈구 소핵시험에서 음성의 결과를 나타내었으며, *Salmonella typhimurium*를 이용한 유전자 돌연변이시험에서는 TA98, TA100, TA1535, TA1537 에서 S9의 유무와 관계없이 음성으로, *Escherichia coli* WP uvrA pKM 101에서 S9의 유무와 관계없이 음성으로 나타났다. 생식독성으로는 0, 100, 350, 750 ppm (약 20~200 mg/kg/day)의 용량으로 경구투여(drinking water) 결과 750 ppm에서 생식기 장애의 영향이 관찰되었다. 750 ppm에 노출된 F0 암컷의 경우, 태아의

크기가 증가하였고 다른 주기보다 발정 휴지기가 더 긴 경향성을 보였으며, 무유해영향농도(NOAEL)는 F0 세대에서는 750 ppm, F1 세대에서는 350 ppm, 750 ppm에 노출되었을 때 두세대 모두 생식독성이 관찰되었으며, 생식독성의 무유해영향농도는 350 ppm이었다. 또한 포름아미드의 표적장기 전신독성 시험에서 Sprague-Dawley 랫드를 이용 주당 5일, 4주간 경구(drinking water) 투여결과 흉선의 변성이 확인되었으며 무유해영향농도는 113 mg/kg/day이었다[6]. 그리고 아만성, 만성독성으로는 F344/N 랫드와 B6C3F1 마우스를 이용 0, 10, 20, 40, 80, 160 mg/kg 투여의 3개월 아만성시험과 0, 20, 40, 80 mg/kg 농도의 2년간 발암성시험 결과 3개월 동안 160 mg/kg 투여농도에서 독성반응을 나타내었고, 몸무게의 20-25%가 줄어들었으며 헤마토크릿(전체 혈액에 대한 적혈구의 용적률), 헤모글로빈 농도, 적혈구 수의 증가 등을 통하여 적세포가 증가하였다는 것을 확인하였다. 그리고 160 mg/kg이 투여된 수컷 랫드의 고환과 부고환에서 상피 미발달 악화 현상이 확인되었고, 몸무게의 감소는 80 mg/kg이 투여된 수컷 집단, 그리고 40 mg/kg이 투여된 암컷에서도 확인되었다. 2년간의 발암성시험에서는 랫드와 마우스의 노출군과 대조군을 비교하였다. 40과 80 mg/kg이 투여된 암컷 랫드와 마우스의 몸무게 감소, 간세포 악성종양은 20 mg/kg에서는 4마리, 80 mg/kg에서는 6마리, 40 mg/kg에서는 0마리, 대조군에서는 4마리가, 간 혈관육종(hepatic hemangio-

sarcoma)의 병변을 보여 양성으로 판단되었다. 그리고 40과 80 mg/kg에서는 유의한 증가를 보였으며, 모든 수컷에 있어서 혈관육종의 병변은 노출군 모두에서 대조군에 비해 유의한 증가를 나타내었다. 따라서 2년간 발암성 시험에서 랫드에서는 발암성 증거가 없었으나 마우스에서는 수컷에서 간장에서 혈관육종이 발견된 확실한 발암성 증거, 암컷에서는 간세포 암 또는 간세포선종의 불확실한 발암성의 영향이 있었다[7].

**3. 유해성 결정(Dose-response assessment; 용량-반응평가)**

작업환경 관리를 위한 기준농도 RfC<sub>work</sub> (reference concentration in workplace) 값을 산출하기 위하여 포름아미드의 초기유해유도 POD (point of departure)는 실험동물 랫드를 이용한 4주간 반복노출의 표적장기전신독성과 생식독성의 무유해영향농도를 사용하였다. 이를 위해 사람과 동물 간 호흡량 및 생존기간, 체중 등의 차이에 따른 보정을 하였으며, 그 다음 일일 노출 시간과 주간 노출 일을 고려한 변수를 고려하고, 종 간 차이, 독성시험 종류(기간)에 따른 무유해영향농도 값의 선택에 대한 보정을 부여하였다. 따라서 본 연구에서는 용량-반응평가를 위한 POD 값으로 Sprague-Dawley 랫드의 무유해영향농도인 113 mg/kg/day을 사용하였으며, 먼저 표적장기 전신독성에 대한 RfC<sub>work</sub>는 Table 1과 같은 방법으로 불확실성 계수를 이용하여 보정해 산출하였다.

**Table 1.** RfC<sub>work</sub> calculated for the target organ systemic toxicity of formamide

Steps	Guidance	RfC <sub>work</sub>	
POD	NOAEL	113 mg/kg-d= 396 mg/m <sup>3</sup>	
Quantitative correction	NOAEL <sub>ADJ</sub>	0.5	
	NOAEL <sub>HEC</sub>	4	
Uncertain correction	Interspecies	3	
	Intraspecies	5	
	Duration	≥ 4 week	6
		≥ 13 week	2
		≥ 6 month	1
	Severity	NOAEL, BMD	1
		LOAEL	5
Quality		1	
RfC <sub>work</sub> = (396 mg/m <sup>3</sup> ×0.5×4) / (3×5×6×1×1) = 8.8 mg/m <sup>3</sup>			

작업장에서 사용하는 폼아미드(Formamide)의 근로자 건강 유해성과 위험성 평가

**Table 2.** RfC<sub>work</sub> calculated on the reproductive toxicity of formamide

Steps	Guidance	RfC <sub>work</sub>	
POD	NOAEL	350 ppm = 659 mg/m <sup>3</sup>	
Quantitative correction	NOAEL <sub>ADJ</sub>	0.5	
	NOAEL <sub>HEC</sub>	7	
Uncertain correction	Interspecies	3	
	Intraspecies	5	
	Duration	≥ 4 week	6
		≥ 13 week	2
		≥ 6 month	1
	Severity	NOAEL, BMD	1
		LOAEL	5
Quality		1	
RfC <sub>work</sub> = (659 mg/m <sup>3</sup> × 0.5 × 7) / (3 × 5 × 6 × 1 × 1) = 25.6 mg/m <sup>3</sup>			

**Table 3.** Scenarios specific conditions for exposure amounts of formamide

Scenario	Daily use time	Ventilation system	Respiratory used (efficiency)
1	4hrs Excess	×	×
2	1hr~4hrs	local exhaust	O (90%)
3	15min under	local exhaust and Ventilation	O (95%)

그리고 생식독성시험결과를 이용한 용량-반응 평가를 위해 POD 값으로 F1 마우스의 무유해영향농도는 유해성 조사에서 확인된 유해농도 350 ppm을 사용하였으며 이를 통해 Table 2와 같이 불확실성 계수를 이용하여 RfC<sub>work</sub>을 산출하였다.

#### IV. 노출량 평가(Exposure Assessment)

##### 4.1. 작업환경 측정

경기 시흥시에 위치한 ○○화금(주)는 원료를 수입해서 0.5 kg, 1 kg 단위로 포장하는 작업으로 1회 작업 시 2시간 정도 소요된다. 원료 노출 상부에 국소배기시설(외부식 상방형)이 설치되어 가동 중이었다. 폼아미드를 포함 회사가 사용하는 전체 화학물질에 대해 물질안전보건자료를 비치하고 있으며, 제품 용기에 경고표지 부착하고, 근로자 별 작업시 개인보호구(방독마스크) 착용도 양호하였다. 포장공정을 중심으로 작업환경 측정결과(개인시료 포집 6개소, 지역시료 9개소) 측정 장소별 시료의 농

도는 모두 불검출 (0.1 ppm 이하)로 나타났다. 다음은 경기 시흥시에 위치한 ○○제약은 의약품 화합물을 제조하는 작업으로 A-Plant 공정에서 칭량 및 투입작업으로 개인시료 4개, 지역시료 6개소를 측정하였다. 작업환경 측정결과 모두 불검출(0.1 ppm이하)로 확인되었다. 이의 작업환경으로는 각 반응기에는 국소배기시설(외부식 상방형)이 설치되어 있으며, 폼아미드를 포함한 전체 화학물질에 대해 물질안전보건자료가 비치되어 있었으며, 제품용기에 경고표지 부착하여 사용하였고, 폼아미드 취급 근로자들은 작업시 개인보호구(방독마스크)를 착용하고 있었다.

##### 4.2. ECETOC TRA를 이용한 노출량 산출

본 연구에서 폼아미드 취급 사업장에 대한 작업환경 노출 측정결과 모두 불검출로 나왔으나 국소배기장치 가동여부 및 작업량, 작업방법, 작업 상황에 따라 노출가능성도 배제할 수 없기 때문에 ECETOC TRA ver. 3 (2012. 4. 12 출시)을 이용하여 다음과 같

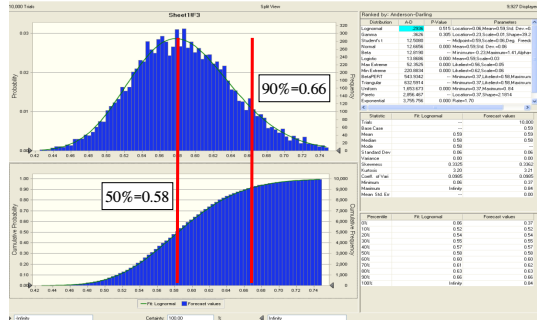
**Table 4.** Formamide exposure amounts results

Scenario	Exposure amounts
1	5.16 mg/m <sup>3</sup>
2	1.72 mg/m <sup>3</sup>
3	0.43 mg/m <sup>3</sup>

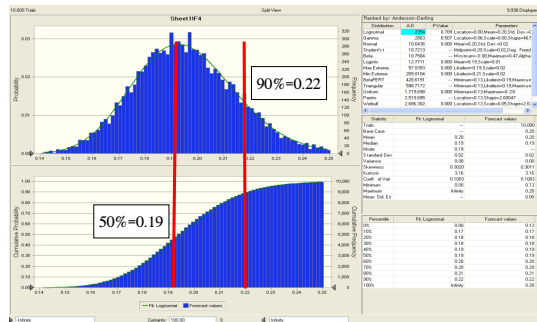
이 노출량을 추정하였다. 이를 위해 작업시간별, 국소배기장치 또는 전체 환기장치 가동여부, 보호구(방독마스크) 착용여부 및 효율에 따라 노출량을 상(시나리오 1), 중(시나리오 2), 하(시나리오 3)로 구분하였으며, ECETOC TRA를 이용하여 산출량을 산출하였다. 그 결과 Table 4와 같이 그 결과 ECETOC TRA를 이용하여 도출한 시나리오 1, 2, 3의 가상 노출량은 각각 5.16 mg/m<sup>3</sup>, 1.72 mg/m<sup>3</sup>, 0.43 mg/m<sup>3</sup>으로 산출되었다.

**2.5. 위험성 결정(Risk Characterization)**

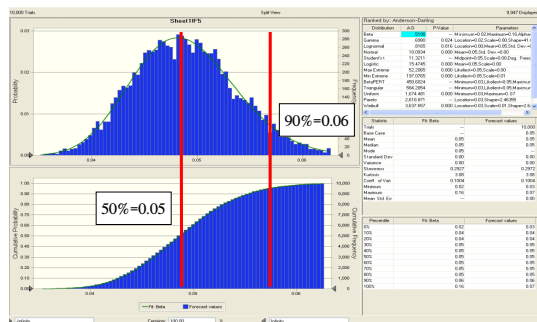
위험성(risk) = 가상 노출량 / RfC<sub>work</sub> 식을 이용하여 표적장기 전신독성 및 생식독성의 무유해영향 농도를 활용 독성 종류 및 노출시나리오 별 포름아미드의 위험성을 산출 하였다. 이를 위해 가상 노출 시나리오별 노출 추정량과 용량-반응 평가에서 도출된 RfC<sub>work</sub>의 비에 대하여 분포와 표준편차를 가정하여 Crystal ball을 통한 Monte-carlo simulation을 실행하였으며, 분포는 log-normal 분포로, 표준편차는 노출 추정량의 10%로 가정하여 Fig. 1 - Fig. 6과 같이 포름아미드의 독성종류(표적장기 전신독성과 생식독성) 및 노출시나리오에 따라 포름아미드의 Monte-carlo simulation 결과를 확인하였으며, 이를 토대로 포름아미드의 생체에 미치는 독성의 종류별로 하여 Table 5와 같이 위험성(risk)을 산출하였다. 그 결과 위험성의 평균값은 표적장기 전신독성의 경우 0.58, 0.19, 0.05였으며, 생식독성의 경우 0.20, 0.07, 0.02로 산출되었다. 이를 용량-반응 평가를 통해 산출된 RfC<sub>work</sub> 값으로 위험성을 산출하였다. 가상 노출 시나리오 적용 시 포름아미드의 표적장기 전신독성 및 생식독성에 대한 위험성의 평균값, 누적 90%, 95% 값 모두 1보다 작은 것으로 나타났다. 포름아미드는 GHS 분류에서 생식독성 구분 1B이었지만, 가상 시나리오 상의 노출이 가장 높은 수준에서 위험성의 누적 95% 값은 0.24로 평가되어 위험성은 상대적으로 높지 않았다. 또한 작업환경 노출기준에 있어서도 우리나라 산업안전보건법규의 경우 TWA 10 ppm으로 규제하고 있으며, 미국의 산업위생사회의(ACGIH)와 산업안전보건연구원



**Fig. 1.** Formamide for virtual exposure scenario 1 Target organ systemic toxicity risk.



**Fig. 2.** Formamide for virtual exposure scenario 2 Target organ systemic toxicity risk.



**Fig. 3.** Formamide for virtual exposure scenario 3 Target organ systemic toxicity risk.

(NIOSH)에서도 TWA 10 ppm으로 관리되고 있었으며 우리 제조공정에서는 일부 사업장이긴 하지만 작업환경측정 결과에서는 불검출 (0.1 ppm 이하)로 확인되어 대체로 안전한 작업환경을 보여주었다. 그러나 포름아미드는 표적장기독성 및 생식독성이 있

작업장에서 사용하는 폼아미드(Formamide)의 근로자 건강 유해성과 위험성 평가

Table 5. Formamide risk calculation results

		Median	90%	95%
Target organ systemic toxicity	1	0.58	0.66	0.69
	2	0.19	0.22	0.23
	3	0.05	0.06	0.06
Reproductive toxicity	1	0.20	0.23	0.24
	2	0.07	0.08	0.08
	3	0.02	0.02	0.02

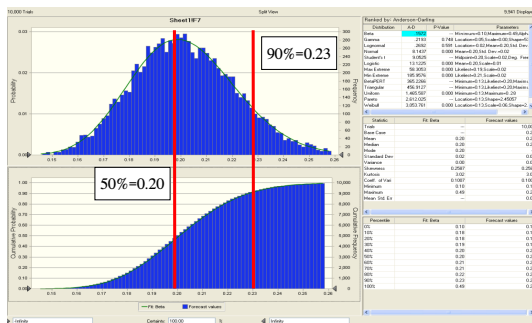


Fig. 4. Formamide for virtual exposure scenario 1 Reproductive toxicity risk.

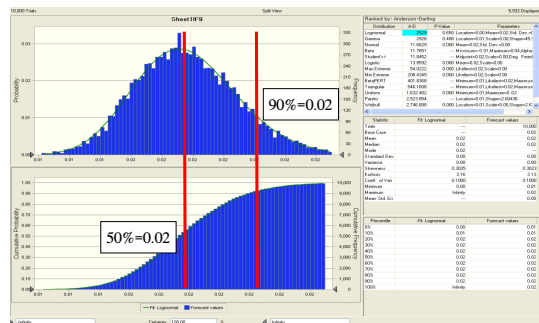


Fig. 6. Formamide for virtual exposure scenario 3 Reproductive toxicity risk.

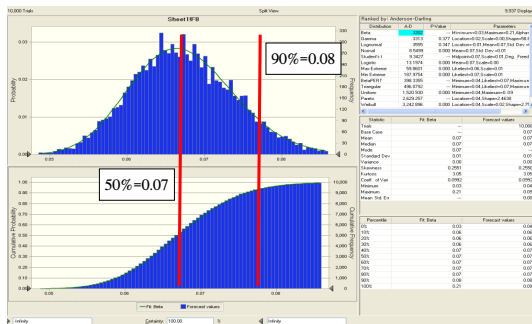


Fig. 5. Formamide for virtual exposure scenario 2 Reproductive toxicity risk.

는 물질로 확인되었으며 본 연구에서는 취급 및 제조 사업장 조사 수가 적은 한계성이 있었고 작업환경 측정 일정 및 작업 상황에 따라 노출농도의 차이가 있을 수 있으므로 이의 위험성(생식독성, 표적장기 전신독성 물질)을 대비한 취급주의 및 작업환경 관리가 필요할 것으로 사료되었다.

## V. 결론

폼아미드(formamide)는 암모니아 냄새의 무색 액체로 흡입시 자극성이 강하며, 급성독성 LD<sub>50</sub> 5,577 mg/kg (랫드), 표적장기는 간장, 전신독성의 무유해 영향농도는 113 mg/kg/day 및 생식독성물질(1B)로 조사되었으며, 산업안전보건법에서의 노출기준 TWA는 10 ppm으로 관리되고 있다. 폼아미드 취급사업장에 대한 작업환경 측정결과 25개 시료에서 모두 노출기준 보다 매우 낮은 농도를 보였다. 그러나 작업강도, 국소배기장치의 가동 및 보호구(방독 마스크)의 착용 여부 등 작업환경에 따라 노출농도가 변할 수 있어 이를 고려한 가상 노출 시나리오별 노출량을 산출하였으며, 그 결과 시나리오 1, 2, 3의 가상 노출량은 각각 5.16 mg/m<sup>3</sup>, 1.72 mg/m<sup>3</sup>, 0.43 mg/m<sup>3</sup>으로 산출되었다. 이의 노출량을 토대로 폼아미드의 표적장기 전신독성 및 생식독성 농도와 가상노출량을 이용 위험성(risk)=가상 노출량 / RfC<sub>work</sub> 식을 이용 폼아미드의 위험성을 산출하였다. 그 결과 위험성의 평균값은 0.02-0.58, 누적 90% 값은 0.02-0.66, 95% 값은 0.02-0.69로 모두 1보다

낮은 값으로 산출되어 작업환경은 기준농도 보다 낮은 대체로 안전한 값을 나타내었다. 단, 작업 상황에 따라 순간적 고농도에 노출될 위험도 있으며, 포름아미드는 간독성 및 생식독성 물질이기에 건강장해 예방을 위해 노출되지 않도록 취급에 주의가 요망된다.

## REFERENCES

- [1] Kim, C. N., No, J. H., Woen, J. W. et al., Risk Assessment of Toxic Chemicals, OSHRI, (2011)
- [2] Ministry of Employment and Labor, Occupational health and safety statute book, Ministry of Employment and Labor, (2015)
- [3] KOSHA, Workplace Survey, Korea Occupational Safety & Health Agency, (2009)
- [4] Environment Chemical Management Center, Research chemicals in circulation, Ministry of Environment, (2010)
- [5] KOSHA, Material Safety Data Sheet(MSDS), Korea Occupational Safety & Health Agency, (2016)
- [6] OECD, Screening Information Data Set (SIDS) high production volume chemicals. Nairobi, Kenya: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD); United Nations Environment Programme (UNEP), (2015)
- [7] NTP, Technical protocol for sperm morphology and vaginal cytology evaluations in toxicity testing for rats and mice, 10/31/82 version (updated March 1985).Washington, DC: National Toxicology Program (NTP); National Institutes of Health; Public Health Service; U.S. Department of Health and Human Services, (1985)