

# 등록화학물질 위해성평가(안)

메틸아민 (Methylamine)

CAS No. 74-89-5

2023



**국립환경과학원**

National Institute of Environmental Research

# 〈목 차〉

<b>1장. 일반물질정보</b> .....	<b>1</b>
1절. 화학물질의 식별 정보 .....	1
2절. 순도, 불순물 등 .....	2
3절. 물리화학적 특성 .....	3
4절. 분류 .....	4
<b>2장. 노출평가를 위한 일반 정보</b> .....	<b>5</b>
1절. 제조(생산) .....	5
2절. 사용(용도) .....	7
3절. 배출 및 폐기 .....	8
4절. 관리법규 .....	9
1. 국내 규제현황 .....	9
2. 국외 규제현황 .....	10
<b>3장. 인체위해성평가</b> .....	<b>11</b>
1절. 유해성 확인 .....	11
1. 독성동태, 대사 및 분포 .....	11
2. 급성독성 .....	15
3. 자극성/부식성 .....	21
4. 과민성 .....	25
5. 반복투여독성 .....	26
6. 생식 및 발달독성 .....	31
7. 신경독성 .....	34
8. 유전독성(변이원성) .....	36
9. 면역독성 .....	39
10. 발암성 .....	39

11. 역학연구 .....	39
2절. 노출량-반응 평가 .....	40
1. 독성참고치 .....	40
2. 발암잠재력 .....	46
3절. 인체노출평가 .....	47
1. 작업자 노출 .....	47
2. 소비자 노출 .....	52
3. 환경을 통한 간접 노출(일반인) .....	53
4절. 인체위해도 결정 .....	54
1. 작업자 .....	54
2. 소비자 .....	55
3. 일반인(환경을 통한 간접노출) .....	55
<b>4장. 생태위해성평가 .....</b>	<b>56</b>
1절. 생태영향평가 .....	56
1. 수생태계 .....	56
2. 육상생태계 .....	60
3. 생물축적성 .....	60
2절. 예측무영향농도(PNEC) 산정 .....	61
1. 담수 .....	61
2. 저질 .....	62
3. 토양 .....	63
4. 하수처리시설 .....	64
3절. 환경노출평가 .....	65
1. 환경거동 .....	65
2. 환경매체농도 .....	67
4절. 생태위해도 결정 .....	69

<b>5장. 종합결론</b> .....	<b>71</b>
1절. 인체위해성평가 결과 .....	72
1. 작업자 .....	72
2. 소비자 .....	72
3. 일반인(환경을 통한 간접노출) .....	72
2절. 생태위해성평가 결과 .....	73
1. 담수 .....	73
2. 저질 .....	73
3. 토양 .....	73
<b>6장. 참고문헌</b> .....	<b>74</b>

## 〈표 목차〉

표 1-1. 메틸아민 식별정보 .....	1
표 1-2. 메틸아민 불순물 .....	2
표 1-3. 메틸아민 물리·화학적 특성 .....	3
표 1-4. 메틸아민 분류 기준 .....	4
표 2-1. 메틸아민 제조·수입 현황 .....	6
표 2-2. 메틸아민 국내 규제 현황 .....	9
표 2-3. 메틸아민 국외 규제 현황 .....	10
표 3-1. 메틸아민 급성 경구독성 시험 결과 .....	15
표 3-2. 메틸아민 급성 경피독성 시험 결과 .....	16
표 3-3. 메틸아민 급성 흡입독성 시험 결과 .....	20
표 3-4. 메틸아민 눈 자극성 시험 결과 .....	22
표 3-5. 메틸아민 호흡기 자극성 시험 결과 .....	24
표 3-6. 메틸아민 반복 경구독성 시험 결과 .....	27
표 3-7. 메틸아민 반복 흡입독성 시험 결과 .....	30
표 3-8. 메틸아민 생식독성 시험 결과 .....	32
표 3-9. 메틸아민 발달독성 및 최기형성 시험 결과 .....	33
표 3-10. 메틸아민 시험관 내 (in vitro) 변이원성 및 유전독성 시험 결과 .....	37
표 3-11. 메틸아민 생체 내(in vivo) 유전독성 시험 결과 .....	38
표 3-12. 메틸아민 경로별 독성참고치 .....	40
표 3-13. 메틸아민 일반인 경구 독성참고치 산출 .....	41
표 3-14. 메틸아민 일반인 경피 독성참고치 산출 .....	43
표 3-15. 메틸아민 작업자 경피 독성참고치 산출 .....	43

표 3-16. 메틸아민 일반인 흡입 독성참고치 산출 .....	45
표 3-17. 메틸아민 제조 시 작업환경 노출시나리오 .....	48
표 3-18. 전국 규모의 대기 예측환경농도(PEC) .....	53
표 3-19. 국지적 규모의 대기 예측환경농도(PEC) .....	53
표 3-20. 메틸아민 제조 작업자 경로별 인체 위해도 .....	54
표 3-21. 공기 호흡으로 인한 위해도 .....	55
표 4-1. 메틸아민 조류 성장저해 시험 결과 .....	56
표 4-2. 메틸아민 수서무척추동물 급성독성 시험 결과 .....	57
표 4-3. 메틸아민 어류 급성독성 시험 결과 .....	58
표 4-4. 메틸아민 저서생물의 급성독성 시험 결과 .....	59
표 4-5. 메틸아민 수생환경 생물종별 대표 독성값 .....	61
표 4-6. 전국 규모의 예측환경농도(PEC) .....	67
표 4-7. 국지적 규모의 예측환경농도(PEC) .....	68
표 4-8. 모델추정치에 의한 메틸아민의 매체별 전국 규모 생태위해도 .....	69
표 4-9. 모델추정치에 의한 메틸아민의 매체별 국지적 규모 생태위해도 .....	70
표 5-10. 메틸아민 위해성평가 결과 종합 .....	71

## <그림 목차>

그림 2-1. 메틸아민 제조(생산) 과정 .....	5
그림 3-1. 메틸아민의 대사경로 .....	12
그림 3-2. ECETOC TRA 모델에 의한 메틸아민의 사업장 작업자 노출농도(보호구 미착용) ..	49
그림 3-3. ECETOC TRA 모델에 의한 메틸아민의 사업장 작업자 노출농도(보호구 착용) ..	50

## <부 록>

표 1. 메틸아민 물성정보 .....	81
표 2. 메틸아민 노출시나리오에 따른 배출정보 .....	81

# 위해성평가 종합결론

## 1. 평가대상물질

- 화학물질명 : 4,4'-메틸렌디아닐린(4,4'-Methylenedianiline)
- CAS No. : 101-77-9
- KE No. : KE-23803
- IUPAC명 : 4-[(4-aminophenyl)methyl]aniline

## 2. 인체위해성평가 결과

평가대상	결론	결과 요약
작업자	현시점에서 추가 위해저감 조치 필요 하지 않음	<ul style="list-style-type: none"><li>• 모델을 활용한 평가 결과, 흡입 및 경피 노출에 대한 위해 가능성은 낮은 것으로 평가되며 현 시점에서 추가적인 위해저감 조치는 필요하지 않은 것으로 평가됨.</li><li>• 다만, 작업과정 시 적정 보호구 착용 및 배기장치 가동이 필요함</li></ul>
소비자	현시점에서 추가 위해저감 조치 필요 하지 않음	<ul style="list-style-type: none"><li>• 산업적 용도로 사용되어, 소비자가 노출될 가능성이 낮을 것으로 예상됨. 따라서 현시점에서 추가적인 위해저감 조치는 필요하지 않은 것으로 평가됨.</li><li>* 제품 추가 확인 시 평가 필요</li></ul>
일반인 (환경을 통한 간접노출)	현시점에서 추가 위해저감 조치 필요 하지 않음	<ul style="list-style-type: none"><li>• 공기 호흡 등 환경을 통한 인체 위해 가능성이 낮은 것으로 확인되어, 현시점에서 추가적인 위해저감 조치는 필요하지 않은 것으로 평가됨.</li></ul>



### 3. 생태위해성평가 결과

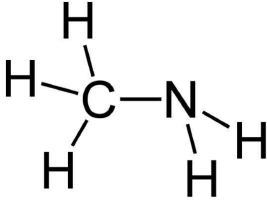
평가대상		결론	결과 요약
수생태계	담수생물	현시점에서 추가 위해저감 조치 필요하지 않음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모델을 활용한 예측환경농도를 이용하여 위해성을 평가한 결과 위해 가능성이 낮은 것으로 확인되었으며, 현시점에서 추가적인 위해저감 조치는 필요하지 않은 것으로 평가됨.</li> </ul>
	저서생물	현시점에서 추가 위해저감 조치 필요하지 않음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모델을 활용하여 얻은 예측환경농도와 담수환경의 위해여부를 고려하였을 때, 위해 가능성이 낮은 것으로 확인되었음. 현시점에서 추가적인 위해저감 조치는 필요하지 않은 것으로 평가됨.</li> </ul>
육상생태계	토양생물	현시점에서 추가 위해저감 조치 필요하지 않음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모델을 활용한 예측환경농도를 이용하여 위해성을 평가한 결과 위해 가능성이 낮은 것으로 확인되었으며, 현시점에서 추가적인 위해저감 조치는 필요하지 않은 것으로 평가됨.</li> </ul>

## 1장. 일반물질정보

### 1절. 화학물질의 식별 정보

메틸아민과 관련된 일반물질 정보는 표 1-1과 같다.

표 1-1. 메틸아민 식별정보

화학물질명	메틸아민 (Methylamine)
IUPAC명	Methylamine
KE No.	KE-23421
CAS No.	74-89-5
분자식	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>
분자량	31.058 g/mol
구조식	
동의어	Methanamine; Monomethylamine

## 2절. 순도, 불순물 등

### 순도

국내 화학물질 등록을 위해 제출된 자료에 따르면, 메틸아민의 순도는 100%이다. OECD SIDS(2011)에서는 메틸아민의 순도가 최소 99.5-99.9%인 것으로 보고하였다.

### 불순물

국내 화학물질 등록을 위해 제출된 자료에서는 불순물 정보가 확인되지 않았으나, OECD SIDS (2011)에서는 메틸아민의 불순물로 0.2% 이하의 수분, 0.2% 이하의 디메틸아민(dimethylamine) 등이 포함될 수 있다고 보고하였다(표 1-2).

표 1-2. 메틸아민 불순물

물질명	CAS No.	농도 범위
Water	7789-20-0	0.01-0.2%
Dimethylamine	124-40-3	0.01-0.2%
Ammonia	1336-21-6	0.01-0.2%
Methanol	67-56-1	0.1%
Ammonia anhydrous	7664-41-7	0.15-0.2%

### 3절. 물리화학적 특성

메틸아민의 물리화학적 특성은 표 1-3과 같다.

표 1-3. 메틸아민 물리·화학적 특성

특성	값	비고
외관	상온에서 기체	O'Neil, 2013
녹는점/어는점	-93.42 °C	Haynes, 2014
끓는점	-6.4 °C (760 mmHg)	Haynes, 2014
상대밀도	0.6624 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)	Gerhartz, 1990
증기압	2.65 × 10 <sup>3</sup> mmHg (25 °C) = 353,304 Pa (25 °C)	Daubert et al. 1989
물 용해도	1,080,000 mg/L (25 °C)	Schweizer et al. 1978 (DrugBank)
옥탄올-물 분배계수	log Kow: -0.57 (Kow: 0.2691)	Hansch et al. 1995
점도	-	가스상의 물질
입도분석	-	가스상의 물질
해리상수	pKa: 10.66 (25 °C)	Haynes, 2014
인화성	폭발(연소)하한: 4.9%, 폭발(연소)상한: 20.7% 인화점: 32°F(0 °C) (closed cup)	Gerhartz, 1990  Lewis, 2004
폭발성	-	분자 내 폭발성과 관련 있는 화학그룹이 없는 물질
산화성	-	분자 내 산화성과 관련 있는 화학그룹을 포함하고 있지 않음

## 4절. 분류

「화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정」(국립환경과학원고시 제2023-65호, 시행 2023. 11. 17)에 따른 메틸아민의 분류 기준은 표 1-4와 같다.

표 1-4. 메틸아민 분류 기준

유해성 항목		구분
물리적 위험성	인화성 가스	1
	고압 가스	2
인체건강 유해성	급성독성-경구	3
	급성독성-흡입	4
	피부 부식성/자극성	2
	심한 눈 손상/눈 자극성	1
	특정 표적장기 독성-1회 노출	3

## 2장. 노출평가를 위한 일반 정보

### 1절. 제조(생산)

국내 화학물질 등록을 위해 사업체에서 제출한 자료에 따르면, 메틸아민은 암모니아 증류탑에 공급된 합성액(아민류, 암모니아, 물)이 증류공정을 거치면서 제조된다(그림 2-1). 메틸아민의 제조량은 연간 313.65톤이다(표 2-1).

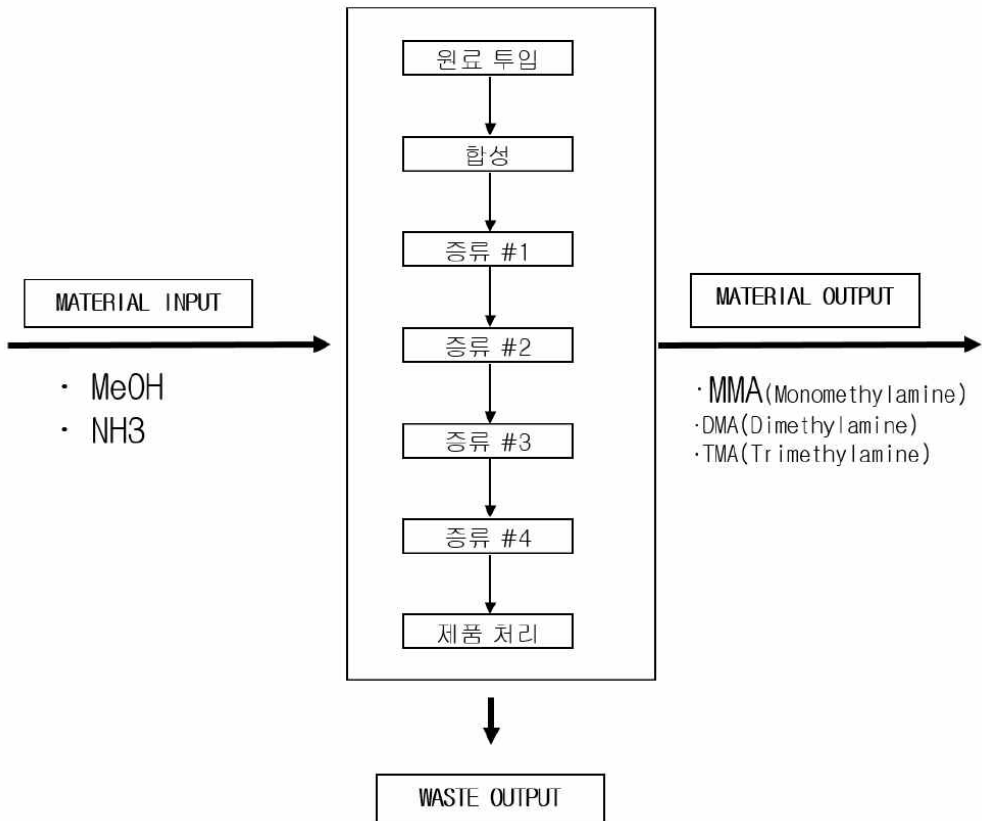


그림 2-1. 메틸아민 제조(생산) 과정

- 합성공정: 암모니아 증류탑에서 원료 암모니아가 기화되어 메탄올, recycle 가스와 함께 열교환기를 거쳐 승온되어 합성탑으로 공급된다.

합성탑에서 메탄올, 암모니아, recycle 가스는 촉매 층을 통과하면서 monomethylamine (MMA), dimethylamine (DMA), triethylamine (TMA)과 상당량의 물, 미량의 수소와 일산화탄소가 생성된다.

- 증류공정: 암모니아 증류탑에 공급된 합성액(아민류, 암모니아, 물)은 분리된 후 암모니아는 기화되어 합성공정으로 순환되고, 아민류와 물은 TMA 증류탑으로 공급된다. 이 혼합물은 공비혼합물을 분리하기 위하여 공급된 물에 의하여 TMA가 분리되어 일부는 제품저장시설로 보내지고, 나머지는 합성측으로 순환된다. 혼합물은 물 분리 증류탑에 공급되어 물과 아민류로 분리된 후, 아민류와 별도 증류탑에서 재분리되어, 나머지 아민류(MMA, DMA)를 정류하기 위하여 다음 증류탑으로 이송한다. MMA, DMA 증류탑에서 MMA와 DMA는 각각 분리되어 제품저장시설로 보내지고, MMA의 일부는 합성공정으로 순환된다.
- 제품처리: 생산된 MMA, DMA, TMA를 batch tank로 받아 분석 후 저장 탱크로 보내져 용도별로 사용, 출하된다.

표 2-1. 메틸아민 제조·수입 현황

(단위: 톤/년)

물질명	제조	수입	합계	비고
메틸아민	313.65	0	313.65	업체 등록자료

## 2절. 사용(용도)

국내 화학물질 등록을 위해 사업체에서 제출한 자료에 따르면, 메틸아민은 국내에서 산업적 용도로만 사용되며 소비자 용도로는 사용되지 않는다. 산업적 용도로는 타이어 변성 Solution Styrene Butadiene Rubber (SSBR) 제조 시 원료, 중간체, 공정속도조절제로 사용된다.

OECD SIDS(2011)에서는 메틸아민이 다양한 산업에서 많은 응용 분야를 가지고 있으며, 의약품(예: ephedrine), 살충제(예: 1-naphthyl-N-methyl carbamate, Vapam), 폭발물, 계면활성제(surfactants), 촉매제(accelerators)를 포함한 다양한 제품의 제조에 중간체로 이용되고 있는 것으로 보고하였다. 또한, 메틸아민은 용제, 살충제, 제약, 알킬알카놀아민(alkylalkanolamines)의 용도로 사용되는 것으로 보고되었다.

NTP(2012)에 따르면 메틸아민은 일반적으로 태닝(tanning) 및 염료 산업에서 연료 첨가제(fuel additive)로 사용되며, 중합억제제(polymerization inhibitor), 페인트 제거제(paint remover)의 원료, 사진 현상제 제조 시 용매, 로켓 추진제(rocket propellant)로도 사용된다고 보고되었다. 메틸아민은 메타암페타민(methamphetamine)의 불법 제조에 사용된 전구물질로도 보고되고 있다.



### 3절. 배출 및 폐기

메틸아민은 화학물질 배출·이동량 정보(Pollutant Release and Transfer Register, PRTR)를 의무적으로 제출해야 할 대상 물질이 아니므로 매체별 배출량 및 이동량에 대한 관련 정보가 없다.

국내 화학물질 등록을 위해 사업체에서 제출한 자료를 참고하면, 메틸아민 제조(생산) 과정에서 발생할 수 있는 모든 폐수는 1차 자가 하수처리시설에서 처리된 후 2차 하수종말처리장에서 최종 처리된다. 메틸아민의 사용과정에서 발생하는 모든 폐수 및 폐기물은 대행업체에 전량 위탁하여 처리 및 폐기되는 것으로 보고되었다.

## 4절. 관리법규

### 1. 국내 규제현황

메틸아민과 관련된 국내 규제현황은 표 2-2와 같다.

표 2-2. 메틸아민 국내 규제 현황

부처	법률	구분	주요내용
환경부	화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률	유독물질 [2021-1-1033]	<ul style="list-style-type: none"> <li>유독물질의 지정고시</li> <li>- 메틸아민[Methylamine; 74-89-5] 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물</li> </ul>
	화학물질 관리법	유해화학물질	<ul style="list-style-type: none"> <li>화학물질관리법 시행규칙</li> <li>- 유해화학물질 취급기준 준수</li> </ul>
		사고대비물질	<ul style="list-style-type: none"> <li>화학물질관리법 시행규칙</li> <li>- 메틸아민[Methylamine ; 74-89-5] 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물</li> <li>하위 규정수량: 2톤</li> <li>상위 규정수량: 20톤</li> </ul>
	폐기물 관리법	지정폐기물	<ul style="list-style-type: none"> <li>폐기물관리법 시행령</li> <li>- 폐유독물질 (화학물질관리법 제2조 제2호의 유독물질을 폐기하는 경우로 한정)에 해당됨</li> <li>- 지정폐기물 관리기준 준수</li> </ul>
고용노동부	산업안전보건법	관리대상유해물질 및 특별관리물질	<ul style="list-style-type: none"> <li>산업안전보건기준에 관한 규칙</li> <li>- 사업장 내 밀폐설비 및 국소배기장치 설치</li> </ul>
		작업환경측정 대상 유해인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>산업안전보건법 시행규칙</li> <li>- 정기적으로 작업환경측정 (측정주기: 6개월)</li> </ul>
		노출기준설정 물질	<ul style="list-style-type: none"> <li>화학물질 및 물리적 인자의 노출기준</li> <li>- 작업장 내 노출기준 준수</li> <li>- 시간가중평균노출기준(Time Weighted Average, TWA) 5 ppm</li> </ul>

## 2. 국외 규제현황

미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서는 메틸아민의 시간가중평균노출기준(Time Weighted Average, TWA)을 5 ppm으로 제안하고 있다. 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 작업환경 노출 법적기준(Permissible exposure limit, PEL), 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 작업환경노출 권고기준(Recommended exposure limit, REL) 모두 10 ppm(=12 mg/m<sup>3</sup>)으로 설정되어 있다. 또한 독일과 캐나다에서는 메틸아민의 작업환경노출기준이 TWA 5 ppm으로 설정되어 있으며, 스위스와 일본에서는 TWA 10 ppm으로 설정되어 있다.

메틸아민과 관련된 국외 규제현황은 표 2-3과 같다.

표 2-3. 메틸아민 국외 규제 현황

국가	주요 규제	내용
미국	급성노출지침수준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경보호청(EPA) : AEGL-1(8-h) 15 ppm(=19 mg/m<sup>3</sup>) AEGL-2(8-h) 21 ppm(=27 mg/m<sup>3</sup>) AEGL-3(8-h) 110 ppm(=110 mg/m<sup>3</sup>)</li> </ul>
	작업환경 노출기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국산업안전보건청(OSHA) : TWA 10 ppm(=12 mg/m<sup>3</sup>)</li> <li>• 미국국립산업안전보건연구원(NIOSH) : TWA 10 ppm(=12 mg/m<sup>3</sup>)</li> <li>• 미국산업위생전문가협회의회(ACGIH) : TWA 5 ppm</li> </ul>
유럽	작업환경 노출기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 독일 TWA: 5 ppm(=6.4 mg/m<sup>3</sup>)</li> <li>• 스위스 TWA: 10 ppm(=12 mg/m<sup>3</sup>)</li> </ul>
일본	작업환경 노출기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일본산업보건학회(JSOH) : TWA 10 ppm(=12 mg/m<sup>3</sup>)</li> </ul>

## 3장. 인체위해성평가

### 1절. 유해성 확인

#### 1. 독성동태, 대사 및 분포

##### 가. 흡수

###### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 흡수 자료는 확인되지 않았다.

###### 동물

Streeter et al.(1990)에서는 Fischer 344 수컷 랫드에게  $^{14}\text{C}$ -메틸아민을  $81.9 \mu\text{mol/kg}$ 의 용량으로 단회 위관 투여하였다. 장에서 흡수한 총 93%의 메틸아민 중 69%가 변하지 않고 전신 순환에 도달했다.

##### 나. 분포

###### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 분포 자료는 확인되지 않았다.

###### 동물

Yu and Zuo(1996)에서는  $^{14}\text{C}$ -메틸아민을 투여한 후 마우스 조직에서 상당한 양의 잔류 방사능이 검출되었다.  $^{14}\text{C}$ -메틸아민의 총 투여 방사능의 약 20%와 10%가 각각 투여 후 24시간과 120시간에서 검출 가능한 상태로 남아있었다. 신장, 비장, 간에서 많은 양의 잔류 방사능이 확인되었으며, semicarbazide-sensitive amine oxidase (SSAO) 억제제인 MDL-72974A로 전처리했을 때 방사성 부가물의 형성이 효과적으로 차단되었다.

## 다. 대사

### 인체

Grönvall et al.(1998)은 메틸아민이 인체에서 SSAO의 영향으로 폼알데하이드로 탈아민화되어 대사된다고 보고하였다.

### 동물

Asatoor and Simenhoff(1965)는 메틸아민이 랫드에서 디메틸아민으로 소량 대사될 수 있다고 보고하였다. 메틸아민은 사람과 동물에서 빠르게 대사되며 소량의 아민만이 소변에 존재한다. 일부 메틸아민은 메틸아민 옥시다아제로 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 암모니아(NH<sub>3</sub>)로 산화되는 것으로 나타났다. 대사경로는 그림 3-1과 같다.

Dar and Bowman(1985)는 메틸아민을 랫드에 투여하여 모노메틸우레아(monomethylurea) 및 폼알데하이드가 대사산물로 생성됨을 확인하였다. 메틸아민을 이산화탄소로 전환하는 대사 중간체로 포름산(formate)이 확인되었다.

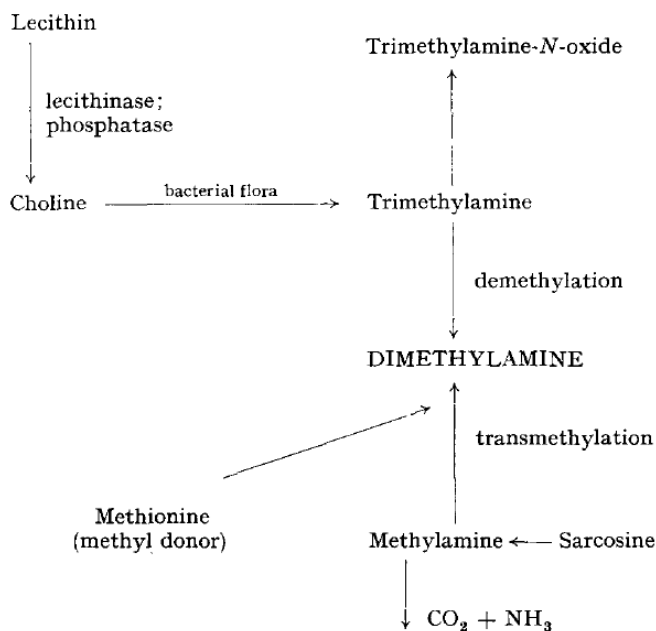


그림 3-1. 메틸아민의 대사경로

## 라. 배출

### 인체

Zeisel et al.(1983)에서는 일반적인 식품에서 발견되는 화합물인 콜린(choline)을 섭취한 후 소변으로 메틸아민이 배출된다고 보고하였다. 정상적인 식이요법으로 음식을 섭취한 사람의 소변에서 약 1 mmol/day의 메틸아민이 배출되었으며, 염화콜린 27 mmol을 섭취한 후에는 약 2 mmol/day가 검출되었다. 후속연구인 Zeisel et al.(1988)에서는 사람의 위액에 존재하는 메틸아민 농도가  $3.7 \pm 0.4$  nmol/mL로 타액( $5.0 \pm 1.4$  nmol/mL) 및 혈액( $3.8 \pm 0.6$  nmol/mL)의 농도와 유사했지만 소변( $156.4 \pm 21.0$  nmol/mL) 내 농도보다는 훨씬 낮다고 보고하였다. 이 연구에서는 위액보다 더 높은 농도의 아민이 소변에 포함되어 있으며, 메틸아민 배출의 주요 경로는 신장 배설임을 확인하였다.

Craig et al.(2009)에서는 크레아티닌 일수화물을 투여하여 24시간 요중 크레아티닌과 메틸아민 배설을 조사하였다. 9명의 남성 참가자가 6주 간격으로 두 번의 실험을 완료했으며, 참가자들은 첫 번째 실험에서 5일 동안  $4 \times 5$  g/day, 두 번째 실험에서 5일 동안  $20 \times 1$  g/day의 크레아티닌 일수화물을 섭취했다. 투여 시작 1~2일, 3~7일, 8~9일에 24시간 소변 샘플을 수집했다. 고성능 액체 크로마토그래피를 사용하여 소변에서 크레아티닌을 분석하였고 가스 크로마토그래피로 메틸아민을 분석하였다.  $4 \times 5$  g/day,  $20 \times 1$  g/day 투여법에서 각각  $62.32 \pm 9.36$  g,  $49.25 \pm 10.53$  g의 크레아티닌이 배설되었다. 3~7일 동안 메틸아민(n=6)의 평균 총 배설량은  $4 \times 5$  g/day,  $20 \times 1$  g/day 투여법에서 각각  $24.81 \pm 25.76$  mg,  $8.61 \pm 7.58$  mg이었다. 크레아티닌 일수화물을  $20 \times 1$  g/day 용량으로 투여했을 때 크레아티닌이 배설이 적은 것은 근육에서 더 많이 체류함을 시사한다. 본 연구의 결과는 크레아티닌 일수화물을 더 낮은 용량으로 더 빈번하게 복용하는 것이 체내 메틸아민 체류를 적게 만들음을 나타낸다.

Bittersohl and Heberer(1980)에서는 독일에 위치한 공장에서 디메틸아민을 처리하는 작업자의 소변을 24시간 수집하여 메틸아민, 디메틸아민, 암모니아 농도를 측정하였다. 근무일 동안 디메틸아민 노출이 증가하면 그만큼

디메틸아민 배설도 많아졌다. 반면에 소변 내 메틸아민 농도는 상대적으로 일정하게 유지되었으며, 디메틸아민 농도보다 약 10~30배 낮았다.

Rechenberger(1940)에 따르면 2, 4, 10 g의 메틸아민 염산염을 섭취한 피실험자의 노출 24시간 이내 소변에는 섭취한(변화하지 않은 화합물 형태로) 메틸아민의 1.74-1.93%만 함유되어 있었다고 보고하였다.

## 동물

Zeisel et al.(1983)에서는 랫드에 콜린(choline)이 없는 식단을 투여한 후 0.015-0.018 mmol/day의 메틸아민이 배설됨을 확인하였다. 메틸아민의 배설은 염화 콜린(choline chloride) 및 레시틴(lecithin)의 2 mmol/kg bw 투여 후에도 유사했다.

NTP(2012)에 언급된 Streeter et al.(1990)은 18.9  $\mu\text{mol/kg}$   $^{14}\text{C}$ -메틸아민을 단일 정맥 주사 후 1차 배출(first-order elimination)을 관찰하였고, 최종 반감기는 19.1 분으로 확인되었다. 명백한 정상 상태(apparent steady state)의 분포 용적은 1.21 L/kg이었으며, 전신 및 신장 혈액 제거율은 각각 53.4 mL/min/kg, 5.72 mL/min/kg으로 확인되었다. 24시간 이내 소변으로 배설된 대사되지 않은 메틸아민의 양은 10% 이었다.

Krishna and Casida(1966)에 따르면 랫드에 7.5  $\mu\text{mol/kg}$ 을 복강 내 투여하였을 때 소변 배출은 12%로 확인되었다. NTP(2012)에 언급된 Schwartz(1966)에 따르면 랫드를 대상으로 400  $\mu\text{mol/kg}$ 을 복강 내 투여한 후 소변에서 대사되지 않은 화합물의 24%를 발견했다.

## 2. 급성독성

### 가. 경구

#### 인체

Rechenberger(1940)에 따르면 2, 4, 10 g의 메틸아민 염산염을 섭취한 피실험자에게 건강상 영향이 없었다.

#### 동물

BASF(1982)에서는 OECD TG 401과 유사한 방법에 따라 군당 암/수 Wistar 랫드 각 5마리를 대상으로 215, 464, 825 mg/kg bw 용량을 위관 투여하였다. 투여 후 14일의 관찰기간 동안 사망률, 임상 증상을 관찰하였으며, 관찰기간이 끝난 후에 안락사하여 부검하였다. 노출된 랫드에게서 호흡곤란, 무감각, 운동실조, 악액질(cachexia) 등이 관찰되었고, 수컷에서 영향이 더 두드러졌다. 825 mg/kg 농도에서 7마리가 사망하였으며, 사망한 랫드에서는 위와 장에 강한 자극과 혈뇨가 발견되었다. 464 mg/kg 농도군에서 투여 2일 이내에 1마리가 사망하였다. 메틸아민의 반수치사량(Lethal Dose, LD<sub>50</sub>)은 698 mg/kg으로 확인되었다(표 3-1).

표 3-1. 메틸아민 급성 경구독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>시험종: Wistar 랫드</li> <li>성별: 암/수컷</li> <li>동물수: 5마리/성별/군</li> <li>노출경로: 위관투여</li> <li>노출기간: 단회</li> <li>노출농도: 215, 464, 825 mg/kg</li> <li>시험방법: OECD TG 401 유사</li> <li>GLP 여부: N</li> </ul>	825 mg/kg: 7마리 사망 464 mg/kg: 2일 이내 1마리 사망 825 mg/kg: 호흡곤란, 무감각, 운동실조, 악액질, 혈뇨, 위와 장에 강한 자극	<ul style="list-style-type: none"> <li>LD50 = 698 mg/kg</li> </ul>	BASF, 1982 (cited in OECD SIDS, 2011)



## 나. 경피

### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 급성 경피 독성 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

Goffman and Maguire(1980)은 OECD TG 402와 유사한 방법으로 암컷 Hartley 기니피그를 사용하여 액화 메틸아민의 경피 독성을 평가하였다. 약 500g 정도의 무게를 갖는 5마리의 암컷 기니피그의 등털을 깎은 후, 3마리의 실험 대상 기니피그에 액화된 메틸아민 가스를 2~3방울 떨어뜨려 12일간 피부 반응을 관찰하였다. 2마리의 대조군 기니피그에는 유사한 부피의 아세톤을 노출하였다. 메틸아민 노출 직후 피부색이 변하고 몇 분 안에 부어올라 칙칙한 보라색으로 뒤덮였다. 48시간 후에는 메틸아민이 도포된 부위가 회색으로 변했고, 조직병리학적 분석 결과 피부 괴사가 발생했다. 12일 차에는 진피에서 새로운 과립 조직(granulation tissue)이 나타났다. 급성 경피 독성의 LD<sub>50</sub>값은 보고되지 않았으며(표 3-2), 피부 괴사 등의 임상 징후를 토대로 메틸아민은 피부부식성 물질로 확인되었다.

표 3-2. 메틸아민 급성 경피독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: Hartley 기니피그</li> <li>• 성별: 암컷</li> <li>• 동물수: 5마리(3마리 노출군, 2마리 대조군)</li> <li>• 노출경로: 피부(비폐쇄)</li> <li>• 노출기간: 노출 후 12일 동안 관찰</li> <li>• 노출농도: 2-3방울</li> <li>• 시험방법: OECD TG 402와 유사</li> <li>• GLP 여부: N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노출 직후 피부색 변화</li> <li>• 48시간 후 노출 부위가 회색으로 변함, 조직병리학적 분석 결과 피부 괴사 발생</li> </ul>	-	Goffman and Maguire, 1980 (cited in OECD SIDS, 2011)

## 다. 흡입

### 인체

Yang et al.(1995)에서는 중국의 주거지역에서 액체 메틸아민을 운반하는 트럭이 전복되어 누출된 메틸아민 증기에 35명(남성 18명, 여성 17명)이 노출되었다고 보고하였다. 정확한 노출 시간은 알려지지 않았지만, 확실히 몇 시간을 넘지 않았다. 대상자의 연령 범위는 7~71세였으며, 노출 후 7~8시간 이내에 입원했다. 모든 대상자에게서 호흡곤란, 쉼 목소리, 마른 목 통증, 분홍색 타액, 코, 입, 폐의 부종과 조직 손상을 유발하는 화상 등 다양한 호흡기 증상이 나타났다. 많은 대상자가 눈꺼풀이 서로 달라붙어 통증을 호소하였고, 각막이 흐려지며 시력이 저하되었다. 노출된 피부에 화상을 입거나 출혈이 발생하기도 했다. 혼수상태, 실신, 현기증, 두통, 메스꺼움, 구토, 복통, 흑변, 체온 증가(최대 39.5 °C), 빠른 심박수, 순환 장애, 발작도 나타났다. 환자들은 산소와 다양한 항생제 치료 및 세척(붕산, 중탄산나트륨, 과산화수소)을 통한 치료를 받았고, 호흡을 방해하는 점액 덩어리가 호흡기에 닿지 않도록 하였다. 시력을 잃은 사람은 없었지만 35명 중 6명이 노출된 지 10일 만에 사망했다. 노출 후 1~4일에 가장 많이 사망하였고, 주요 사인은 화학적 화상과 폐의 조직 괴사였다.

### 동물

International Research Development Corporation (1992)에서는 OECD TG 403과 유사한 방법으로 Charles River CrI:SD BR VAF/PLUS Sprague-Dawley 랫드(5마리/성별/군)를 메틸아민 가스에 6분(측정농도 22,300, 28,600, 33,300, 44,800 mg/m<sup>3</sup>), 20분(측정농도 13,500, 13,700, 14,000, 14,700, 17,600, 22,100 mg/m<sup>3</sup>), 60분(5,200, 8,100, 8,900, 9,000, 11,000 mg/m<sup>3</sup>) 동안 전신 흡입으로 노출하였다. 임상 징후로 각막 혼탁, 호흡곤란, 수포음(rales), 헐떡임(gasping)이 나타났다. 치사는 노출 3일 이내에 발생했으며, 60분 노출에 대한 사망률은 5,200 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서 2마리(수컷 1마리, 암컷 1마리), 8,100 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서 4마리(수컷 4마리, 암컷 0마리), 8,900 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서 6마리(수컷

3마리, 암컷 3마리), 11,000 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서 9마리(수컷 5마리, 암컷 4마리)였다. 부검 시 모든 노출군에서 각막 혼탁과 폐 울혈(lung congestion)이 관찰되었다. 60분 노출 결과, 노출농도가 높아짐에 따라 폐 울혈 빈도가 증가했다. 급성 흡입 노출에 따른 LC<sub>50</sub>은 6분 노출의 경우 31,500 mg/m<sup>3</sup>, 20분 노출의 경우 12,400 mg/m<sup>3</sup>, 60분 노출의 경우 9,200 mg/m<sup>3</sup>였다.

BASF(1983)에서는 OECD TG 403과 유사한 방법으로 급성 흡입 독성시험을 수행하였다. Wistar 랫드(10마리/성별/군)를 4시간 동안 0, 720, 2,100, 2,900, 4,500 mg/m<sup>3</sup> 농도의 메틸아민에 흡입 노출하였다. 노출되는 동안 랫드의 눈꺼풀이 닫히고, 눈과 코에서는 분비물이 나왔으며, 헐떡거리며 호흡하고 경련이 발생했다. 노출 후에도 헐떡거리며 호흡하는 증상은 지속되었고, 각막이 흐릿해졌으며, 급성 부식의 징후가 나타났다. 720 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서는 20마리 중 암컷 2마리가 10일 이내에 사망하였고, 2,100 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서는 20마리 중 5마리(암컷 3마리, 수컷 2마리)가 사망하였다. 2,900 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서는 20마리 중 17마리(암컷 9마리, 수컷 8마리)가 2일 이내에 사망하였으며, 4,500 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서는 20마리 모두 2일 이내에 사망하였다. 급성 흡입 노출에 따른 LC<sub>50</sub>은 암/수컷 모두 2,100~2,900 mg/m<sup>3</sup>로 도출되었다. 죽은 동물을 부검한 결과 경미하거나 중간 정도의 폐기종, 점액으로 가득 찬 기관, 코의 급성 부식 영향이 관찰되었다.

Koch et al.(1980)에서는 8주령 암컷 Wistar 랫드(10마리/노출군)를 대상으로 4시간 동안 22.3°C에서 1,865~10,469 ppm(실험 V), 22.2°C에서 2,778~6,912 ppm(실험 VIIIa), 29.1°C에서 2,778~6,912 ppm(실험 VIIIb)에 노출하였다. 실제 노출 농도는 명시되지 않았으며, 대조군을 포함하여 진행되었으며, 실험동물들은 투명한 케이지(cage)에서 노출 및 관찰되었다. 노출 후 첫 1시간 동안 랫드의 절반 이상이 안절부절못하였고, 경련성 눈 감음, 눈과 호흡기에 심한 자극(점막 발적 및 입, 코의 출혈) 등이 나타났다. 노출된 랫드는 2~3일간 먹지 않았고, 기관지 폐렴으로 인해 호흡 시 덜거덕거리는 소리가 났다. 노출농도가 높아짐에 따라 증상이 심해졌고, 노출 후 8~14일 동안 증상이 지속되었다. 급성 흡입 노출에 관한 LC<sub>50</sub>은 22°C에서 약 4,800 ppm, 29°C에서 4,400 ppm으로 산출되었고, 평균 생존 기간은 22°C에서 7.3일,

29° C에서 4.4일이었습니다.

Jeevaratnam and Sriramachari(1994)에서는 4마리의 수컷 Wistar 랫드를 30분간 19  $\mu\text{mol/L}$ 의 메틸아민(=465 ppm)에 흡입 노출하였고, 노출 24시간 후에 안락사하였다. 시험 동물은 호흡곤란의 뚜렷한 징후를 나타내지 않았으나, 조직병리학적 검사에서 거의 모든 시험동물의 흉강이 혈전 및 장액(serosanguinous fluid)으로 채워져 있었다. 폐에서는 명백한 출혈의 증거를 찾지 못했으며, 간질성 폐렴(interstitial pneumonitis) 및 혈관주위 부종(perivascular edema)이 확인되었다. 큰 혈관들 중에서 일부는 내피 손상 없이 근육층이 갈라지거나 넓어졌다. 후속 연구로 진행된 Sriramachari and Jeevaratnam(1994)에서는 Wistar 랫드 4마리를 30분 동안 19  $\mu\text{mol/L}$ 의 메틸아민(=465 ppm)에 흡입 노출하였다. 이후 1주, 4주, 10주 후에 4마리의 랫드를 부검하여 폐를 조직병리검사하였다. 노출 1주 후의 폐는 창백하고 반투명해졌으며 광범위한 부종이 관찰되었다. 노출 4주 후에는 심한 간질성 폐렴이 나타났으나 부종 증상은 완화되었다. 노출 10주 후에는 기관지 및 혈관 주위로 확장되는 심한 간질성 폐렴이 관찰되었다. EPA에서는 해당 자료를 급성노출기준(acute exposure guideline level; AEGL) 설정에 활용하였다.

메틸아민에 대한 급성 흡입 독성 시험결과는 표 3-3에 요약하였다.

표 3-3. 메틸아민 급성 흡입독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>시험종: Charles River Crl:SD BR VAF/PLUS Sprague-Dawley 랫드</li> <li>성별: 암/수컷</li> <li>동물수: 5마리/성별/군</li> <li>노출경로: 흡입</li> <li>노출기간: 6분, 20분, 60분</li> <li>노출농도: 6분 노출(22,300, 28,600, 33,300, 44,800 mg/m<sup>3</sup>), 20분 노출(13,500, 13,700, 14,000, 14,700, 17,600, 22,100 mg/m<sup>3</sup>), 60분 노출(5,200, 8,100, 8,900, 9,000, 11,000 mg/m<sup>3</sup>)</li> <li>시험방법: OECD TG 403과 유사</li> <li>GLP 여부: N</li> </ul>	<p>각막 혼탁, 호흡곤란, 수포음, 혈떡임</p> <p>60분 노출 시 5,200 mg/m<sup>3</sup>에서 2마리, 8,100 mg/m<sup>3</sup>에서 4마리, 8,900 mg/m<sup>3</sup>에서 6마리, 11,000 mg/m<sup>3</sup>에서 9마리 사망</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>6분 노출 LC<sub>50</sub>= 31,500 mg/m<sup>3</sup></li> <li>20분 노출 LC<sub>50</sub>= 12,400 mg/m<sup>3</sup></li> <li>60분 노출 LC<sub>50</sub>= 9,200 mg/m<sup>3</sup></li> </ul>	<p>International Research and Development Corporation, 1992 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>시험종: Wistar 랫드</li> <li>성별: 암/수컷</li> <li>동물수: 10마리/성별/군</li> <li>노출경로: 흡입</li> <li>노출기간: 4시간</li> <li>노출농도: 0, 720, 2,100, 2,900, 4,500 mg/m<sup>3</sup></li> <li>시험방법: OECD TG 403과 유사</li> <li>GLP 여부: N</li> </ul>	<p>눈꺼풀 닫힘, 눈/코의 분비물, 혈떡거림, 경련 발생</p> <p>720 mg/m<sup>3</sup>에서 2/20마리 10일 이내 사망</p> <p>2,100 mg/m<sup>3</sup>에서 5/20마리 사망</p> <p>2,900 mg/m<sup>3</sup>에서 17/20마리 2일 이내 사망</p> <p>4,500 mg/m<sup>3</sup>에서 2일 이내 모두 사망</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LC<sub>50</sub> = 2,100~2,900 mg/m<sup>3</sup></li> </ul>	<p>BASF, 1983 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>시험종: Wistar 랫드</li> <li>성별: 8주령 암컷</li> <li>동물수: 10마리/군</li> <li>노출경로: 흡입</li> <li>노출기간: 4시간</li> <li>노출농도: 22.3°C 에서 1,865~10,469 ppm, 22.2°C 에서 2,778~6,912 ppm, 29.1°C 에서 2,778~6,912 ppm</li> <li>시험방법: -</li> <li>GLP 여부: -</li> </ul>	<p>안절부절못함, 경련성 눈 감음, 눈과 호흡기에 심한 자극 발생 기관지 폐렴으로 인해 호흡 시 덜거덕거리는 소리 발생</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>22°C LC<sub>50</sub>= 약 4,800 ppm</li> <li>29°C LC<sub>50</sub>= 약 4,400 ppm</li> </ul>	<p>Koch et al., 1980 (cited in US EPA AEGL Technical Support Document, 2008)</p>

### 3. 자극성/부식성

#### 가. 피부 자극성/부식성

##### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 피부 자극성/부식성 자료는 확인되지 않았다.

##### 동물

메틸아민은 급성 경피 독성 연구에서 기니피그 피부에 액화된 메틸아민을 노출한 결과, 즉각적인 피부 색 변화와 피부 괴사가 확인되었다(Goffman and Maguine, 1980). 또한, 노출 48시간 후 병리학 검사에서 괴사된 피부가 발견되었고, 12일 후에는 과립조직이 관찰되었다. 따라서, OECD SIDS(2001)에서는 경피독성(OECD TG 402) 해당 시험을 토대로 피부 부식성 물질로 판단하였다.

## 나. 눈 자극성/부식성

### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 눈 자극성/부식성 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

Bingham et al.(2001)에 따르면 메틸아민 40% 용액의 50 mg을 토끼 눈에 5분 동안 노출한 결과 각막 손상을 유발하였다(표 3-4).

OECD SIDS(2011)에 따르면 메틸아민은 급성 경피 독성 연구(Goffman and Maguire, 1980)에서 피부 부식성 물질임이 확인되어, 그 이후에 눈 자극성/부식성에 대한 추가 연구가 많이 진행되지는 않았다고 보고되었다.

표 3-4. 메틸아민 눈 자극성 시험 결과

방법	증상	결과	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: 토끼</li> <li>• 성별: -</li> <li>• 동물수: -</li> <li>• 노출경로: 눈</li> <li>• 노출기간: 5분</li> <li>• 노출농도: 메틸아민 40% 용액 50 mg</li> <li>• 시험방법: -</li> <li>• GLP 여부: -</li> </ul>	각막 손상 유발	-	Bingham et al. 2001

## 다. 호흡기 자극성

### 인체

US EPA의 AEGL Technical Support Document(2008)에서는 메틸아민의 호흡기 자극에 대한 역치가 7.9 ppm (Izmerov et al., 1982) 및 18 ppm (Ruth, 1986)임을 보고하였다. Sutton(1963)에서는 10 ppm 메틸아민에 장기간 노출되었을 때 자극적이지 않다고 보고하였는데, 이는 지방족 아민에 의해 유발되는 후각 피로 현상(olfactory fatigue) 때문일 수 있다. ACGIH(1992)에서는 메틸아민 25 ppm에 노출된 작업자에게 일부 자극이 발생했으며 2~60 ppm은 알레르기성 또는 화학적 기관지염을 유발했다고 보고했으나, 노출과 관련된 세부 정보는 제공되지 않았다.

### 동물

Gagnaire et al.(1989)에서는 수컷 Swiss 마우스(6마리/군)의 코만 노출시켜 호흡률 저하를 확인하였다. 호흡빈도가 50% 감소하는 농도(exposure concentration producing a 50% respiratory rate decrease, RD<sub>50</sub>)는 대상물질의 상기도 자극 지표로 사용할 수 있다. 메틸아민에 노출하기 15분 전과 노출 농안에 호흡빈도를 측정하였으며, 노출군 당 6마리의 마우스를 85~192 ppm(=108~244 mg/m<sup>3</sup>) 메틸아민에 15일간 노출하였다. 메틸아민 노출로 인한 호흡률 저하는 매우 빠르게 나타났고(약 30초에서 1분), RD<sub>50</sub>은 141 ppm(=179 mg/m<sup>3</sup>)로 확인되었다. 15분 노출이 종료된 후 노출 전 상태로 호흡이 회복되는 것도 빨랐다(약 1분). 마우스의 호흡 빈도가 빠르게 회복되기 때문에 메틸아민은 상기도를 약간 자극하는 것으로 판단하였다.

메틸아민에 대한 호흡기 자극성 시험결과는 표 3-5에 요약하였다.



표 3-5. 메틸아민 호흡기 자극성 시험 결과

방법	증상	결과	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: Swiss 마우스</li> <li>• 성별: 수컷</li> <li>• 동물수: 6마리</li> <li>• 노출경로: 코만 노출</li> <li>• 노출기간: 15분</li> <li>• 노출농도: 85~192 ppm(=108~244 mg/m<sup>3</sup>)</li> <li>• 시험방법: -</li> <li>• GLP 여부: -</li> </ul>	<p>호흡률 저하가 빠르게 나타남 (약 30초~1분)</p> <p>15분 노출이 종료된 후 노출 전 상태로 호흡이 빠르게 회복 (약1분)</p>	<p>RD<sub>50</sub> = 141 ppm(=179 mg/m<sup>3</sup>)</p>	<p>Gagnaire et al., 1989 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>

## 4. 과민성

### 가. 피부 과민성

현재까지 인체 및 동물에 대한 메틸아민의 피부 과민성 자료는 확인되지 않았다.

### 나. 호흡기 과민성

현재까지 인체 및 동물에 대한 메틸아민의 호흡기 과민성 자료는 확인되지 않았다.

## 5. 반복투여독성

### 가. 경구

#### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 반복투여독성(경구) 자료는 확인되지 않았다.

#### 동물

Sarkar and Sastry(1990)는 메틸아민의 반복투여독성(경구)을 확인하기 위해 군당 암/수 Wistar 랫드 각 10마리를 대상으로 10 mg/kg/day의 용량을 위관 투여하거나 100 mg/kg/day의 용량을 식이 투여한 후 노출에 따른 독성영향을 21, 45, 65, 90일 시점에 확인하였다. 성장률, 장기 중량, 일부 혈청 효소의 활성, 조직에서의 잔류물 축적 및 생식 능력에 대한 평가가 수행되었으며, 메틸아민 투여 후 체중 또는 장기 중량 등의 변화는 없었다. 시험결과 위관 투여에 관한 무영향관찰용량(No Observed Adverse Effect Level, NOAEL)은  $\geq 10$  mg/kg/day, 식이 투여에 관한 NOAEL은  $\geq 100$  mg/kg/day로 확인되었다.

Munley(2007)에서는 OECD TG 422에 따라 CrI:CD®(SD)IGS BR 랫드(12마리/성별/군)를 대상으로 0, 250, 500, 1,000 mg/kg/day의 메틸아민 염산염(methylamine hydrochloride, CAS no. 593-57-1)을 위관 투여하여 98일(수컷) 또는 119일(암컷)간 노출하였다. 1,000 mg/kg/day 노출군에서 체중과 식이 섭취가 감소하였으며, 98~119일 동안 매일 시험물질을 투여한 결과 간 및 신장 중량 증가, 기관 점막의 편평 화생(squamous metaplasia), 선위점막(gastric glandular mucosa)의 점액 화생이 나타났다. 수컷(250 mg/kg/day)과 암컷(500 mg/kg/day)에서 간 중량이 증가하였으며, 암/수컷 모두 1,000 mg/kg/day에서 신장 중량이 증가하였으나 대조군과 비교하였을 때 유의한 영향으로 판단하지 않았다. 1,000 mg/kg/day에 노출된 암/수컷 랫드 몇마리에서 기관 점막의 경미한 편평 화생과 선위점막의 국소 점액 화생(focal mucoid metaplasia)이 관찰되었다. 이 연구에서는 병리학적 지표를 토대로 NOAEL을 1,000 mg/kg/day으로 제안하였으며, 전신 독성에 대한 NOAEL은 모체의 체중 및 식이

섭취 감소를 기준으로 500 mg/kg/day으로 제안하였다.

메틸아민에 대한 반복투여독성(경구) 시험결과는 표 3-6에 요약하였다.

표 3-6. 메틸아민 반복 경구독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>시험종: Wistar 랫드</li> <li>성별: 암/수컷</li> <li>동물수: 10마리/성별/군</li> <li>노출경로: 위관투여, 식이투여</li> <li>노출기간: 21, 45, 65, 90일</li> <li>노출농도: 10 mg/kg/day(위관투여), 100 mg/kg/day(식이투여)</li> <li>시험방법: -</li> <li>GLP 여부: N</li> </ul>	<p>시험물질 처리 관련 영향 없음</p>	<p>NOAEL ≥ 10 mg/kg/day(위관투여) NOAEL ≥ 100 mg/kg/day(식이투여)</p>	<p>Sarkar and Sastry, 1990 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Read-across (Methylamine hydrochloride, CAS No. 593-51-1)</li> <li>시험종: CrI:CD(SD)IG BR 랫드</li> <li>성별: 암/수컷</li> <li>동물수: 12마리/성별/군</li> <li>노출경로: 위관투여</li> <li>노출기간: 119일(암컷), 98일(수컷)</li> <li>노출농도: 0, 250, 500, 1,000 mg/kg/day</li> <li>시험방법: OECD TG 422</li> <li>GLP 여부: Y</li> </ul>	<p>모체의 체중 및 식이 섭취 감소(1,000 mg/kg/day) 간 중량 증가했으나 통계적 유의성 없음(수컷: 250 mg/kg/day, 암컷: 500 mg/kg/day)</p>	<p>NOAEL(병리학) = 1,000 mg/kg/day NOAEL(전신독성) = 500 mg/kg/day</p>	<p>Munley, 2007 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>

## 나. 경피

### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 반복투여독성(경피) 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

OECD SIDS(2011)에 언급된 내용에 따르면 메틸아민은 급성 경피 독성 연구(Goffman and Maguire, 1980)에서 피부 부식성 물질임이 확인되어 반복투여독성(경피)에 대한 많은 연구가 진행되지 않았다고 보고되었다.

## 다. 흡입

### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 반복투여독성(흡입) 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

Kinney et al.(1990)에서는 OECD TG 412와 유사한 시험방법에 따라 수컷 Crl:CD(SD) BR 랫드(10마리/군)를 대상으로 0, 95, 317, 951 mg/m<sup>3</sup>의 메틸아민 가스를 2주 동안 10회에 걸쳐 하루 6시간씩 비부(nose only) 흡입 노출하였다. 10회 노출 직후, 농도군 당 각 5마리의 랫드를 부검하였으며, 나머지 농도군 당 5마리의 랫드는 14일의 회복 기간을 유지하였다. 임상 징후는 951 mg/m<sup>3</sup>에서 나타났으며, 과잉행동, 공격성, 구부정한 자세, 폐 소음(lung noise), 거친 호흡, 혈떡거림, 건조하고 붉은 콧물 및 안구 분비물, 타액 분비, 창백함, 젖은 회음부, 설사, 헝클어진 털 및 안면 탈모가 나타났다. 951 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서 체중 감소 및 혈액학(적혈구, 호중구 및 단핵구 수 증가, 헤모글로빈 및 적혈구 용적률 증가), 임상 화학(ALT(alanine aminotransferase) 활성 및 BUN(blood urea

nitrogen) 농도 증가)에 대한 영향도 관찰되었다. 또한, 951 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서 4마리의 랫드가 사망하였으며, 한 마리의 랫드도 회복 12일 후에 사망했다. 부검 시 951 mg/m<sup>3</sup> 노출군의 랫드는 팽창된 위장관, 림프구 고갈로 인한 작은 비장과 흉선, 골수 저세포성(bone marrow hypocellularity), 국소 간 괴사, 어둡고 탁한 붉은 폐, 붉은 코 분비물이 관찰되었다. 비갑개(nasal turbinate) 점막에서는 비강 변성(nasal degeneration), 위축으로 이어지는 심한 괴사, 비중격 천공이 관찰되었다. 317 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서는 10번째 노출 후 비갑개 점막의 미란(erosions) 또는 궤양이 발견되었다. 317 mg/m<sup>3</sup>에 노출된 랫드에서 다른 병변은 관찰되지 않았으며, 95 mg/m<sup>3</sup> 노출군에서는 가벼운 비갑개 자극만 나타났다. 혈액 요소 질소값 상승을 제외하고 모든 임상 화학적, 혈액학적 및 해부학적 병리학적 소견은 회복 기간 이후 정상이었다. 이 시험에서 메틸아민의 LOAEC은 95 mg/m<sup>3</sup>으로 확인되었다.

Sriramachari and Jeevaratnam(1994)에서는 4마리 랫드(성별, 계통 미지정)에 최대 10주 동안 0, 589 mg/m<sup>3</sup>의 메틸아민 증기에 지속적으로 증기 흡입 노출하였다. 1주일 후에 광범위한 폐포 내 및 폐의 간질 부종이 관찰되었으며, 폐는 한결같이 창백했고 색이 바래 보였다. 노출 4주 후 폐에서 부종이 없는 중등도~중증의 간질성 폐렴이 발견되었다. 폐는 노출 10주 후 기관지 주위 및 혈관 주위 영역으로 확장되는 심각한 간질성 폐렴을 보였다. NOAEC는 < 589 mg/m<sup>3</sup>로 확인되었다.

메틸아민에 대한 반복투여독성(흡입) 시험결과는 표 3-7에 요약하였다.

표 3-7. 메틸아민 반복 흡입독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>시험종: CrI:CD(SD) BR 랫드</li> <li>성별: 수컷</li> <li>동물수: 10마리/군</li> <li>노출경로: 가스, 비부</li> <li>노출기간: 14일</li> <li>노출농도: 0, 95, 317, 951 mg/m<sup>3</sup></li> <li>시험방법: OECD TG 412와 유사</li> <li>GLP 여부: N</li> </ul>	<p>95 mg/m<sup>3</sup>: 가벼운 비갑개 자극 관찰</p> <p>317 mg/m<sup>3</sup>: 비강 점막의 미란(erosions)</p> <p>또는 궤양 발견</p> <p>951 mg/m<sup>3</sup>: 사망, 임상 징후, 체중 감소 등 관찰</p>	<p>LOAEC = 95 mg/m<sup>3</sup></p>	<p>Kinney et al., 1990 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>시험종: 랫드</li> <li>성별: -</li> <li>동물수: 4마리</li> <li>노출경로: 흡입</li> <li>노출기간: 10주</li> <li>노출농도: 0, 589 mg/m<sup>3</sup></li> <li>시험방법: -</li> <li>GLP 여부: N</li> </ul>	<p>10주 후 기관지 주위 및 혈관 주위 영역으로 확장되는 심각한 간질성 폐렴이 관찰됨</p>	<p>NOAEC: &lt; 589 mg/m<sup>3</sup></p>	<p>Sriramachari and Jeevaratnam, 1994 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>

## 6. 생식 및 발달독성

### 가. 생식독성

#### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 생식독성 자료는 확인되지 않았다.

#### 동물

Munley(2007)에서는 반복투여독성(경구) 뿐만 아니라 OECD TG 422에 따라 생식 및 발달독성도 확인하였다. CrI:CD®(SD)IGS BR 랫드(12마리/성별/군)를 대상으로 0, 250, 500, 1,000 mg/kg/day의 메틸아민 염산염(methylamine hydrochloride, CAS no. 593-57-1)에 위관 투여하여 98일(수컷) 또는 119일(암컷) 간 노출하였다. 1,000 mg/kg/day 노출군에서 모체의 체중 및 식이 섭취 감소, 황체 감소, 착상 및 한배 새끼의 크기 감소와 같은 시험물질과 관련한 영향이 관찰되었다. 이 연구에서는 생식 독성에 대한 무영향관찰용량(No Observed Effect Level, NOEL)을 모체의 체중 및 식이 섭취 감소, 생식 결과를 기준으로 500 mg/kg/day으로 제안하였다.

Sarkar and Sastry(1990)에서는 6마리의 암컷 Wistar 랫드에게 매일 5 mg/kg/day 메틸아민을 경구 투여하고 노출되지 않은 수컷과 짝짓기하였다. 이 연구에서는 메틸아민 노출이 발정주기, 임신, 출산, 수유, 출생 시 태자의 평균 체중, 젖 떼는 시기에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인했다.

메틸아민에 대한 생식독성 시험결과는 표 3-8에 요약하였다.



표 3-8. 메틸아민 생식독성 시험 결과

방법	결과	독성값	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Read-across</li> <li>• (Methylamine hydrochloride,</li> <li>• CAS No. 593-51-1)</li> <li>•</li> <li>• 시험종: CrI:CD®(SD)IGS BR 랫드</li> <li>• 성별: 암/수컷</li> <li>• 동물수: 12마리/군</li> <li>• 노출경로: 위관투여</li> <li>• 노출기간: 98일(수컷), 119일(암컷)</li> <li>• 노출농도: 0, 250, 500, 1,000 mg/kg/day</li> <li>• 시험방법: OECD TG 422</li> <li>• GLP 여부: Y</li> </ul>	<p>1,000 mg/kg/day에서 모체의 체중 감소, 식이 섭취 감소, 황체 감소, 착상 및 한배 새끼 크기 감소</p>	<p>NOEL = 500 mg/kg/day</p>	<p>Munley, 2007 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: Wistar 랫드</li> <li>• 성별: 암컷</li> <li>• 동물수: 6마리</li> <li>• 노출경로: 경구</li> <li>• 노출기간: -</li> <li>• 노출농도: 5 mg/kg/day</li> <li>• 시험방법: -</li> <li>• GLP 여부: -</li> </ul>	<p>발정주기, 임신, 출산, 수유, 출생 시 태자의 평균 체중, 젖 떼는 시기에 영향 나타나지 않음</p>	<p>-</p>	<p>Sarkar and Sastry, 1990 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>

## 나. 발달독성(최기형성)

### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 발달독성(최기형성) 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

Guest and Varma(1991)에서는 OECD TG 414에 따라 암컷 CD-1 마우스(6~8 마리/노출군)의 임신 1~17일 사이 동안 0, 0.25, 1, 2.5, 5.0 mmol/kg bw (=0, 8, 31, 78, 155 mg/kg bw)의 메틸아민 염산염(methylamine hydrochloride)을 복강 내로 주입하였다. 대조군과 투여된 시험동물 사이에서 태자 체중, 사망률, 흡수율, 한배 새끼 크기 또는 태반 무게에 대한 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 또한 유의미한 배자독성 및 기형유발 영향이 나타나지 않았다. 이 연구에서 발달독성의 NOAEL은 155 mg/kg/day로 확인되었다.

메틸아민에 대한 발달독성 및 최기형성 시험결과는 표 3-9에 요약하였다.

표 3-9. 메틸아민 발달독성 및 최기형성 시험 결과

방법	결과	독성값	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Read-across</li> <li>• (Methylamine hydrochloride,</li> <li>• CAS No. 593-51-1)</li> <li>•</li> <li>• 시험종: CD-1 마우스</li> <li>• 성별: 암컷</li> <li>• 동물수: 6~8마리/군</li> <li>• 노출경로: 복강 주입</li> <li>• 노출기간: 임신기간(1-17일) 동안 하루에 한 번</li> <li>• 노출농도: 0, 0.25, 1, 2.5, 5.0 mmol/kg bw (=0, 8, 31, 78, 155 mg/kg bw)</li> <li>• 시험방법: OECD TG 414 유사</li> <li>• GLP 여부: -</li> </ul>	<p>메틸아민은 배아독성, 기형 유발에 유의한 영향을 미치지 않음</p>	<p>NOAEL = 155 mg/kg/day</p>	<p>Guest and Varma, 1991 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>

## 7. 신경독성

### 인체

Yang et al. (1995)에서는 메틸아민 증기에 우발적으로 노출된 35명에게서 심각한 호흡기 및 안구 영향, 현기증, 두통, 메스꺼움, 구토가 나타났으며, 혼수상태, 실신, 발작과 같은 신경독성 관련 증상이 나타났다고 보고했다. 정확한 노출농도와 노출 기간은 보고되지 않았으나 하루 중 일부분이었을 것으로 추정된다.

### 동물

Koch et al.(1980)에서는 8주령 암컷 Wistar 랫드(10마리/노출군)를 4시간 동안 1,865~10,469 ppm에 흡입 노출하였다. 노출 후 안절부절못한 행동, 흥분, 무관심, 경련 등 신경독성 증상을 보였고, 일부는 사망했다. 노출된 랫드는 2~3일간 먹지 않았고, 노출농도에 따라 증상이 심해졌으며, 노출 후 8~14일 동안 증상이 지속되었다.

Kinney et al.(1990)에서는 수컷 CD 랫드에 750 ppm의 메틸아민을 2주 동안(6시간/일, 5일/주) 비부흡입 노출하였다. 노출된 랫드는 과다하게 활동적이고(hyperactive), 공격적이며, 구부정한 자세를 취했다. 또한 호흡이 힘들어지고, 콧물 및 타액 분비, 설사, 헝크러진 털(ruffled fur)이 관찰되었으며, 노출 8일째에 10마리 중 5마리가 사망했다. 회복기간 동안 랫드에서는 계속해서 호흡기 및 안구 영향, 설사, 변색된 털이 관찰되었다.

Gorbachev(1957)에서는 2시간 동안 메틸아민에 노출된 마우스에서 초조함, 콧물 분비물, 힘든 호흡, 청색증, 머리 떨림, 불안정한 걸음걸이, 고조된 반사, 간대 경련(clonic spasms), 호흡 정지로 인한 사망이 나타났다고 보고했다. 현미경으로 관찰했을 때 폐병변과 내부 장기 및 뇌혈관의 충혈도 관찰되었다. 이 연구에서는 40분 동안 39 ppm 메틸아민에 노출된 랫드에서 반사 활동이 중단되었고 157 ppm 메틸아민에 노출된 고양이에게서 타액 분비가 증가했다고 보고했으나, 연구에 대한 다른 세부 정보는 제공되지 않았다.

Pirisino et al.(2005)에서는 메틸아민이 절식한 동물의 식이 조절과 관련된 시상하부 시스템을 방해할 수 있다고 보고하였다. 절식한 Swiss 마우스에 메틸아민을 복강 내 투여 또는 중추 신경계에 직접 투여하였을 때 식이 섭취량이 용량-의존적으로 감소하였다. 이 연구에서는 메틸아민이 신경 전압 작동(neuronal voltage-operated) 칼륨 채널을 표적으로 하여 신경 방출을 조절하고, 저식증(hypophagia)을 유발할 수 있다고 제안했다.

## 8. 유전독성(변이원성)

### 가. 시험관 내(*in vitro*) 시험

Japan Chemical Industry Ecology-Toxicology & Information Center (JETOC) (1997)에서는 OECD TG 471과 유사한 방법인 일본 노동부(1979, 1985, 1988)의 스크리닝 돌연변이 유발시험 지침에 따라 시험을 수행하였다. *Salmonella typhimurium* 균주 TA98, TA100, TA102, TA104, TA1535, TA1537, TA1538 및 *Escherichia coli* WP2uvrA, WP2uvrA/pKM101은 대사활성계 유(+S9) 및 무(-S9) 조건하에 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50%의 메틸아민에 노출되었다. 적절한 양성 및 용매 대조군도 시험에 포함되었다. 메틸아민은 대사활성계 유무에 관계없이 시험된 모든 박테리아 균주에서 복귀돌연변이를 유도하지 않았다.

Mortelmans et al.(1986)에서는 *Salmonella typhimurium* 균주 TA98, TA100, TA104, TA97a, TA102, TA1535, TA1537을 대상으로 대사활성계 유(+S9) 및 무(-S9) 조건하에 최대 10,000  $\mu\text{g}/\text{plate}$  농도로 노출시켰다. 대사활성계 유무에 관계없이 돌연변이 유발성이 없는 것으로 확인되었다.

Caspary and Myhr(1986)에서는 OECD TG 476에 따라 대사활성계 무(-S9) 조건 하에서 마우스 림프종 L5178Y 세포에 4시간 동안 최대 5 mM의 메틸아민(물에 용해된 40% 용액)을 노출하였다. 세포독성은 대략 5 mM에서 관찰되었으며, 3~4 mM 농도에서 돌연변이를 유발했다.

메틸아민에 대한 시험관 내(*in vitro*) 시험결과는 표 3-10에 요약하였다.

표 3-10. 메틸아민 시험관 내 (*in vitro*) 변이원성 및 유전독성 시험 결과

방법	결과		비고
	+S9	-S9	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험방법: 박테리아 복귀돌연변이시험</li> <li>• 시험종: S. typhimurium(TA98, TA100, TA102, TA104, TA1535, TA1537, TA1538), E.coli(WP2uvrA, WP2uvrA/pKM101)</li> <li>• 노출농도: 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50%</li> <li>• 시험방법: OECD TG 471과 유사함</li> <li>• GLP 여부: -</li> </ul>	음성	음성	Japan Chemical Industry Ecology, 1997 (cited in OECD SIDS, 2011)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험방법: 박테리아 복귀돌연변이시험</li> <li>• 시험종: Salmonella typhimurium strains TA98, TA100, TA1535, TA1537</li> <li>• 노출농도: 최대 10,000 µg/plate</li> <li>• 시험방법: -</li> <li>• GLP 여부: -</li> </ul>	음성	음성	Mortelmans et al. 1986 (cited in US NTP, 2012)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험방법: Mammalian cell gene mutation assay</li> <li>• 시험종: Mouse lymphoma L5178Y cells</li> <li>• 노출농도: 0~400 nL/mL (0~5.2 mM)</li> <li>• 시험방법: OECD TG 476과 유사</li> <li>• GLP 여부: N</li> </ul>	-	양성	Caspary and Myhr, 1986 (cited in OECD SIDS, 2011)

## 나. 생체 내(*in vivo*) 시험

Schulz and Landsiedel(2007)에서는 OECD TG 474에 따라 약 0, 500, 1000, 2000 mg/kg bw 메틸아민 염산염(methylamine hydrochloride)을 수컷 NMRI 마우스(5마리/노출군)에 위관 투여하였다. 양성대조군으로는 20 mg/kg bw의 시클로포스파미드(cyclophosphamide) 또는 0.15 mg/kg bw의 빈크리스틴(vincristine)을 이용하였다. 500, 1000 mg/kg bw 투여군과 양성대조군만 투여 후 24시간 간격으로 혈액을 채취하였으며, 채취 후에 개체 당 2,000개의 다염성 적혈구를 관찰하여 소핵 발생 여부를 확인하였다. 입모, 불규칙한 호흡, 눈꺼풀 봉합(eyelid closure) 등의 임상 증상이 관찰되었으며, 다염성 적혈구 내 소핵의 증가 및 억제체는 관찰되지 않았다. 이러한 결과를 토대로 메틸아민은 유전독성이 없을 것으로 평가되었다(표 3-11).

표 3-11. 메틸아민 생체 내(*in vivo*) 유전독성 시험 결과

방법	증상	결과	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Read-across</li> <li>• (Methylamine hydrochloride,</li> <li>• CAS No. 593-51-1)</li> <li>•</li> <li>• 시험종: NMRI 마우스</li> <li>• 성별: 수컷</li> <li>• 동물수: 5마리/군</li> <li>• 노출경로: 위관투여</li> <li>• 노출농도: 0, 500, 1000, 2000 mg/kg bw</li> <li>• 노출시간: -</li> <li>• 시험방법: OECD TG 474</li> <li>• GLP 여부: Y</li> </ul>	<p>염색체 손상(clastogenic) 영향이 없으며, 생체 내 골수 세포의 유사분열(aneugenic activity) 과정에서 염색체 분포 장애의 징후가 없음</p>	<p>포유류 적혈구 소핵시험  음성</p>	<p>Schulz and Landsiedel, 2007 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>

## 9. 면역독성

현재까지 메틸아민의 면역독성 자료는 확인되지 않았다.

## 10. 발암성

### 인체

현재까지 인체에 대한 메틸아민의 발암성 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

US EPA의 AEGL Technical Support Document(2008)에 따르면 메틸아민의 발암 가능성을 조사한 연구는 확인되지 않으며, 산성(예: 위) 조건에서 관련 화합물인 디메틸아민(dimethyl amine; DMA), 트리메틸아민(trimethylamine; TMA)이 아질산염과 반응하여 발암물질로 알려진 디알킬니트로사민(dialkylnitrosamines)을 형성할 수 있다고 보고하였다. 그러나 장기간 동물 연구에서는 DMA와 TMA 모두 발암 활성을 나타내지 않았다. Lijinsky and Taylor(1977)는 랫드에게 TMA 대사산물인 trimethylamine oxide (TMAO)를 만성적으로 식이 투여해도 종양 형성이 증가하지 않음을 확인했다. DMA를 사용한 2년 흡입 연구에서는 10, 50, 175 ppm에 하루 6시간, 주 5일 노출된 랫드나 마우스에서 신생물이 증가하지 않은 것으로 나타났다(CIIT, 1990).

## 11. 역학연구

현재까지 메틸아민의 역학연구 자료는 확인되지 않았다.



## 2절. 노출량-반응 평가

### 1. 독성참고치

메틸아민의 독성자료 중 급성독성 값은 인체 위해성 평가에 적용할 수 없으므로, 이를 제외한 아만성 및 만성독성 시험 자료를 중심으로 노출경로 별로 시험 기간, 독성값 종류, 신뢰도, 보수성 등을 검토하여 독성자료를 선정하였다. 보정된 독성 종말점에 「화학물질의 위해성에 관한 자료 작성지침」(국립환경과학원, 2021)에 제시된 평가계수와 상대성장 스케일링 인자를 참고하여 적절한 평가계수를 적용하였다. 메틸아민에 대한 일반인 및 작업자의 노출경로별 독성참고치 값을 표 3-12에 요약하였다. 작업자의 흡입 경로에 대한 독성참고치는 국내 작업환경 내 시간가중평균노출기준(TWA) 5 ppm(=6.35 mg/m<sup>3</sup>)으로 활용하였다(표 3-12).

표 3-12. 메틸아민 경로별 독성참고치

대상	경구 (mg/kg bw/day)	경피 (mg/kg bw/day)	흡입 (mg/m <sup>3</sup> )	비고
일반인	0.05	0.05	0.037	-
작업자	-	0.1	6.35*	*국내 작업환경 내 시간가중평균노출기준

\* 고용노동부고시 제2020-48호 「화학물질 및 물리적 인자의 노출기준」 8hr-TWA

#### 가. 경구

메틸아민의 경구 독성참고치는 Wistar 랫드를 이용한 90일 반복투여독성(경구) NOAEL  $\geq$  10 mg/kg/day를 대표 용량기술자(dose-response descriptor)로 활용하였다(Sarkar and Sastry, 1990). 생체이용률(랫드 경구 흡수율 50%, 인체 경구 흡수율 50%)을 고려하여 독성시작점(Point Of Departure, POD, 시작점) 10 mg/kg/day로 보정하였다. 보정된 용량기술의 불확실성에 대한 평가계수는 200(종간 2.5 $\times$ 4, 종내 10, 기간 2)을 적용하여 최종적으로 일반인의 경구 독성참고치를 0.05 mg/kg/day으로 산출하였다(표 3-13).

표 3-13. 메틸아민 일반인 경구 독성참고치 산출

구분		값 (일반인-경구노출)
용량기술자 결정	용량기술자 선정	랫드 반복투여독성(경구, 90일) NOAEL = 10 mg/kg/day
	적절한 시작점으로 보정	<ul style="list-style-type: none"> <li>흡수율(기본값): 50/50</li> <li>-랫드의 경구 흡수율: 50 %</li> <li>-인간의 경구 흡수율: 50 %</li> </ul>
	보정된 용량기술자	$10 \times 50/50 = 10 \text{ mg/kg bw/day}$
평가계수 적용	종간 다양성	$2.5 \times 4$ (랫드→사람)
	종내 다양성	10 (일반인)
	노출기간	2
	전체 평가계수(AF)	$2.5 \times 4 \times 10 \times 2 = 200$
독성참고치		$10 / 200 = 0.05 \text{ mg/kg/day}$

## 나. 경피

일반인 및 작업자의 경피노출 만성영향에 대한 독성참고치를 도출하는데 만성 경피 독성 자료가 부족하여 반복투여독성(경구) NOAEL  $\geq 10$  mg/kg/day를 대표 용량기술자로 선정하였다(Sarkar and Sastry, 1990). 용량기술자는 보정 과정에서 랫드 경구 흡수율과 인체 경피 흡수율이 같다고 가정하였으며, 보정된 용량기술자에 불확실성에 대한 평가계수를 일반인 200(종간 2.5 $\times$ 4, 종내 10, 기간 2), 작업자 100(종간 2.5 $\times$ 4, 종내 5, 기간 2)을 적용하였다. 경피 독성참고치는 일반인 0.05 mg/kg/day, 작업자 0.1 mg/kg/day로 결정하였다(표 3-14, 표 3-15).

표 3-14. 메틸아민 일반인 경피 독성참고치 산출

구분		값 (일반인-경피노출)
용량기술자 결정	용량기술자 선정	랫드 반복투여독성(경구, 90일) NOAEL = 10 mg/kg/day
	적절한 시작점으로 보정	<ul style="list-style-type: none"> <li>흡수율(기본값): 50/50</li> <li>-랫드의 경피 흡수율: 50 %</li> <li>-인간의 경피 흡수율: 50 %</li> </ul>
	보정된 용량기술자	$10 \times 50/50 = 10 \text{ mg/kg bw/day}$
평가계수 적용	종간 다양성	$2.5 \times 4$ (랫드→사람)
	종내 다양성	10 (일반인)
	노출기간	2
	전체 평가계수(AF)	$2.5 \times 4 \times 10 \times 2 = 200$
독성참고치		$10 / 200 = 0.05 \text{ mg/kg/day}$

표 3-15. 메틸아민 작업자 경피 독성참고치 산출

구분		값 (일반인-경구노출)
용량기술자 결정	용량기술자 선정	랫드 반복투여독성(경구, 90일) NOAEL = 10 mg/kg/day
	적절한 시작점으로 보정	<ul style="list-style-type: none"> <li>흡수율(기본값): 50/50</li> <li>-랫드의 경피 흡수율: 50 %</li> <li>-인간의 경피 흡수율: 50 %</li> </ul>
	보정된 용량기술자	$10 \times 50/50 = 10 \text{ mg/kg bw/day}$
평가계수 적용	종간 다양성	$2.5 \times 4$ (랫드→사람)
	종내 다양성	5 (일반인)
	노출기간	2
	전체 평가계수(AF)	$2.5 \times 4 \times 5 \times 2 = 100$
독성참고치		$10 / 100 = 0.1 \text{ mg/kg/day}$

## 다. 흡입

일반인 및 작업자의 흡입 독성참고치는 OECD TG 412와 유사한 시험방법으로 시험된 CrI:CD(SD) BR 랫드의 반복투여독성(흡입) 최소독성용량(Lowest Observable Adverse Effect Level, LOAEL) 95 mg/m<sup>3</sup>을 대표 용량기술자로 활용하였다(Kinney et al., 1990). 노출시간(반복투여독성 시험방법: 6시간/일, 5일/주, 물질에 노출되는 시간: 24시간/일, 7일/주)과 생체이용률(랫드 흡입 흡수율 100%, 인체 흡입 흡수율 100%)을 고려해 적절한 시작점인 17.0 mg/m<sup>3</sup>으로 보정하였다. 불확실성에 대한 EU 평가계수 450(중간 2.5, 종내 10, 노출기간 6, LOAEL-NOAEL 전환 3)을 적용하여 일반인의 흡입 독성참고치를 0.037 mg/m<sup>3</sup>로 도출하였다(표 3-16).

작업자의 경우 고용노동부 고시 제2020-48호 「화학물질 및 물리적 인자의 노출기준」에 따라 작업환경 내 시간가중평균노출기준(TWA) 5 ppm(=6.35 mg/m<sup>3</sup>)을 활용하였다.

표 3-16. 메틸아민 일반인 흡입 독성참고치 산출

구분		값 (일반인-흡입노출)
용량기술자 결정	용량기술자 선정	랫드 반복투여독성(흡입, 2주) LOAEL = 95.27 mg/m <sup>3</sup>
	적절한 시작점으로 보정	<ul style="list-style-type: none"> <li>노출기간: 6/24 × 5/7</li> <li>- 실험조건: 6시간/일, 5일/주</li> <li>- 일반인 노출조건: 24시간/일, 7일/주</li> <li>생체이용률 : 100/100</li> </ul>
	보정된 용량기술자	$95.27 \times 6/24 \times 5/7 \times 100/100 = 17.0 \text{ mg/m}^3$
평가계수 적용	중간 다양성	2.5
	종내 다양성	10 (일반인)
	노출기간	6
	LOAEL-NOAEL 외삽	3
	전체 평가계수(AF)	$2.5 \times 10 \times 6 \times 3 = 450$
독성참고치		$17 / 450 = 0.037 \text{ mg/m}^3$

## 2. 발암잠재력

메틸아민은 발암성을 판단하기에는 활용 가능한 근거자료가 부족하며, 현재 International Agency for Research on Cancer (IARC), National Toxicology Program (NTP), US Environmental Protection Agency (EPA) 등 국제기관 보고서에서 모두 발암성 등급과 관련된 정보를 확인할 수 없다.

### 3절. 인체노출평가

#### 1. 작업자 노출

##### 가. 제조 작업자

###### 모델을 활용한 노출량 예측

메틸아민을 취급하는 사업장을 대상으로 ECETOC TRA 모델을 이용해 작업환경에서의 작업자 흡입 노출농도 및 경피 노출량을 예측하였다(그림 3-2 ~ 그림 3-3). 메틸아민을 등록할 때 제출한 화학물질안전성보고서(Cheical Safety Report, CSR) 상 작업환경 시나리오 조건을 사용하여 작업환경에서의 노출농도를 산출하였다. 메틸아민의 4개 취급 용도 및 12개의 공정 범주에 따라 총 12개의 노출시나리오로 진행하였으며, 각각의 시나리오에 대해 아래 표 3-48과 같이 작업환경 조건을 설정하였다.

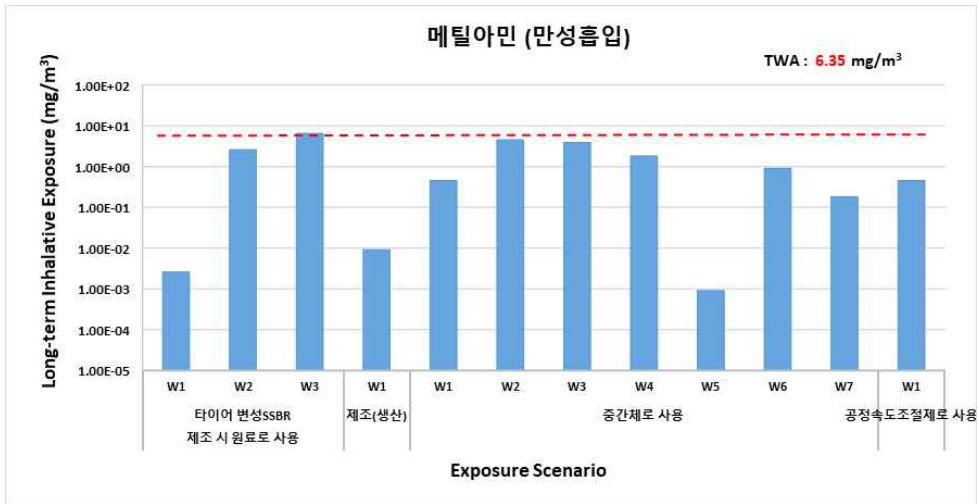
개인 보호구를 착용하지 않았을 경우, 흡입 노출농도는  $9.06E-04 \sim 6.47E+00$   $\text{mg}/\text{m}^3$ 이었으며, 상대적으로 높게 나타난 공정은 타이어 변성 Solution Styrene Butadiene Rubber (SSBR)과 중간체로 사용하는 공정이었다. 경피 노출량은  $3.43E-03 \sim 6.86E-01$   $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ 로 나타났으며, 상대적으로 높게 나타난 공정은 중간체로 사용하는 공정이었다(그림 3-2).

한편, 메틸아민 취급사업장에서 제시한 저감방안에 따라 개인보호구를 착용하였을 경우, 작업자의 흡입 노출농도는  $4.53E-05 \sim 2.72E-02$   $\text{mg}/\text{m}^3$ 로 모든 작업공정에서 TWA  $6.35$   $\text{mg}/\text{m}^3$ 보다 낮은 것으로 예측되었다(그림 3-2). 경피 노출농도도 독성참고치  $0.1$   $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ 를 초과하는 공정은 없었으며, 경피 노출량 범위는  $3.43E-04 \sim 6.86E-02$   $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ 이었다(그림 3-3).

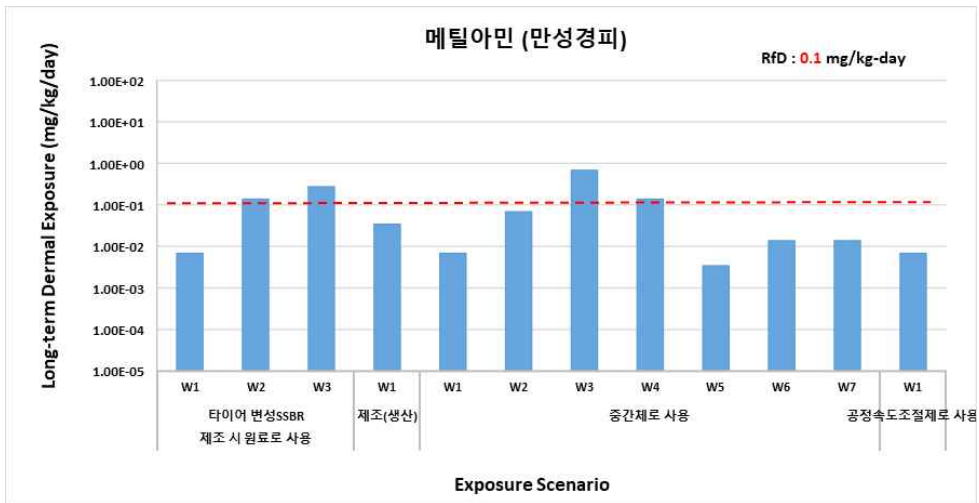


표 3-17. 메틸아민 제조 시 작업환경 노출시나리오

용도	시나리오	공정 범주	용도	물성	작업 시간	배기조건	호흡용 보호구	혼합물 조성	피부용 보호구	LEV 적용
제조(생산)	노출 우려가 거의 없는 밀폐된 공정(W1)	PROC1	industrial	기체	>4시간	- 실외	95%	No	장갑 APF20	No
타이어 변성 SSBR(Solution Styrene Butadiene Rubber) 제조 시 원료로 사용	노출 우려가 거의 없는 밀폐된 공정(W1)	PROC1	industrial	기체	15분~1시간	- 국소배기장치	95%	>25%	장갑 APF20	YES
	간헐적인 노출이 있는 회분 또는 합성 공정(W2)	PROC4	industrial	기체	15분~1시간	- 국소배기장치	95%	>25%	장갑 APF20	YES
	비고정형 저장용기에 저장 또는 저장용기로부터 이송, 운반(W3)	PROC8a	industrial	기체	15분~1시간	- 국소배기장치	95%	>25%	장갑 APF20	YES
중간체로 사용	밀폐된 회분 공정 (합성 또는 배합)(W1)	PROC3	industrial	기체	<15분	- 국소배기장치 - 환기좋은실내	95%	>25%	장갑 APF20	YES
	밀폐된 회분 공정 (합성 또는 배합)(W2)	PROC3	industrial	기체	>4시간	- 국소배기장치 - 환기좋은실내	90%	>25%	장갑 APF10	YES
	간헐적인 노출이 있는 회분 또는 합성 공정(W3)	PROC4	industrial	기체	>4시간	- 국소배기장치 - 환기좋은실내	95%	>25%	장갑 APF20	YES
	간헐적인 노출이 있는 회분 또는 합성 공정(W4)	PROC4	industrial	기체	15분~1시간	- 국소배기장치 - 환기좋은실내	95%	No	장갑 APF20	YES
	노출 우려가 거의 없는 밀폐된 공정(W5)	PROC1	industrial	기체	<15분	- 환기좋은실내	95%	>25%	장갑 APF20	No
	밀폐된 회분 공정 (합성 또는 배합)(W6)	PROC3	industrial	기체	15분~1시간	- 국소배기장치 - 환기좋은실내	95%	>25%	장갑 APF20	YES
	간헐적인 노출이 있는 회분 또는 합성 공정(W7)	PROC4	industrial	기체	<15분	- 국소배기장치 - 환기좋은실내	95%	1~5%	장갑 APF10	YES
공정속도조절제로 사용	밀폐된 회분 공정 (합성 또는 배합)(W1)	PROC3	industrial	기체	>4시간	- 국소배기장치 - 환기좋은실내	95%	<1%	장갑 APF20	YES

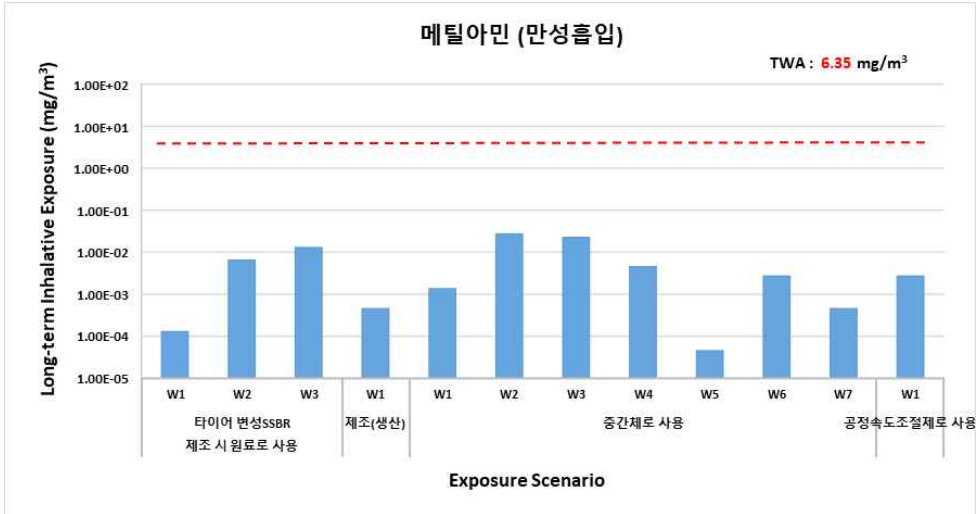


(a) 만성 흡입 노출

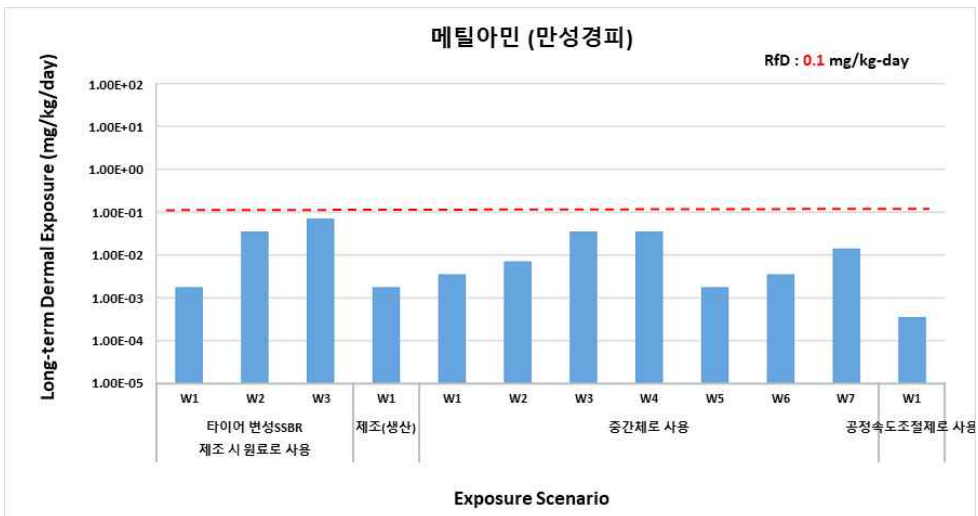


(b) 만성 경피 노출

그림 3-2. ECETOC TRA 모델에 의한 메틸아민의 사업장 작업자 노출농도(보호구 미착용)



(a) 만성 흡입 노출



(b) 만성 경피 노출

그림 3-3. ECETOC TRA 모델에 의한 메틸아민의 사업장 작업자 노출농도(보호구 착용)

## 현장 조사를 기반으로 한 노출량 확인

노동부(2005)에서 작업환경측정 대상 물질인 메틸아민의 실태조사를 진행한 바 있다. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 필터침적법으로 0.12 L/min(8시간), 1.6 L/min(30분) 동안 펌프를 이용하여 개인시료와 지역시료를 현장에서 채취하였으며, 필터 채취법으로 악취성분을 측정하고 GC-FID로 분석하였다. 10개 사업장에서 측정한 40개의 메틸아민 측정 결과는 0.00021~5.8422 ppm이었다.

## 나. 전문 작업자

메틸아민은 주로 산업적 용도로만 사용되는 것으로 확인되었기 때문에 전문 작업자 사용에 의한 노출평가를 수행할 수 없었다.

## 2. 소비자 노출

메틸아민은 주로 산업적 용도로만 사용되는 것으로 확인되었기 때문에 소비자제품 사용에 의한 노출평가를 수행할 수 없었다.

### 3. 환경을 통한 간접 노출(일반인)

#### 가. 공기 호흡

메틸아민은 대기측정망의 모니터링 항목에 포함되지 않기 때문에 측정자료에 기반한 대기 노출량은 제시할 수 없었다. 국내 메틸아민 사용량 보고 자료로부터 사업장 주변 등 주요 지점에서의 대기 노출농도는 한국형 다매체동태모델(SimpleBox Korea v2.0)을 통해 아래와 같이 추정되었다. 전국 규모의 대기 농도는  $6.17E-07 \text{ mg/m}^3$ 으로 예측되었다(표 3-18). 국지적 규모의 대기 농도의 범위는  $1.84E-05 \text{ mg/m}^3 \sim 6.66E-03 \text{ mg/m}^3$ 으로 예측되었다(표 3-19).

표 3-18. 전국 규모의 대기 예측환경농도(PEC)

	대기 ( $\text{mg/m}^3$ )
예측농도	$6.17E-07$

표 3-19. 국지적 규모의 대기 예측환경농도(PEC)

사업장	대기 ( $\text{mg/m}^3$ )	사업장	대기 ( $\text{mg/m}^3$ )	사업장	대기 ( $\text{mg/m}^3$ )
1	$6.66E-03$	5	$4.50E-05$	9	$3.17E-05$
2	$6.30E-03$	6	$1.84E-05$	10	$4.50E-05$
3	$7.83E-05$	7	$4.50E-05$	-	-
4	$5.99E-03$	8	$3.61E-05$	-	-

## 4절. 인체위해도 결정

### 1. 작업자

#### 가. 제조작업자

##### 흡입

메틸아민의 제조 작업자에 대한 흡입 위해도는 표 3-20와 같다. 흡입 독성참고치로 선정한 TWA 6.35 mg/m<sup>3</sup>를 기준으로 최대노출농도 2.72E-02 mg/m<sup>3</sup>와 비교하였을 때 유해지수는 1 미만(4.28E-03)으로 나타났다.

##### 경피

메틸아민의 제조 작업자에 대한 경피 위해도는 표 3-20와 같다. 도출된 경피 독성참고치(0.1 mg/kg/day)를 기준으로 최대 경피노출량(6.86E-02 mg/kg/day)과 비교하였을 때 유해지수는 1 미만(6.86E-01)으로 나타났다.

표 3-20. 메틸아민 제조 작업자 경로별 인체 위해도

노출 경로	독성 참고치	노출농도	유해지수	비고
흡입	6.35 mg/m <sup>3</sup>	(최소) 4.53E-05 mg/m <sup>3</sup>	7.13E-06	모델예측농도
		(평균) 6.80E-03 mg/m <sup>3</sup>	1.07E-03	
		(최대) 2.72E-02 mg/m <sup>3</sup>	4.28E-03	
경피	0.1 mg/kg/day	(최소) 3.43E-04 mg/kg/day	3.43E-03	모델예측농도
		(평균) 1.70E-02 mg/kg/day	1.70E-01	
		(최대) 6.86E-02 mg/kg/day	6.86E-01	

## 2. 소비자

국내 화학물질 등록을 위해 제출한 자료에 따르면 메틸아민은 산업용으로만 사용되는 것으로 확인되어, 소비자 노출에 따른 위해도 결정은 진행하지 않았다.

## 3. 일반인(환경을 통한 간접노출)

### 가. 공기호흡

메틸아민에 대한 일반인 흡입 독성참고치  $3.70E-02 \text{ mg/m}^3$ 를 사용하여 공기 호흡에 따른 간접노출의 위해성을 평가하였다. 국지적 규모의 평균 대기 농도에 대한 유해지수의 최댓값은  $1.80E-01$ 로 나타났다(표 3-21).

표 3-21. 공기 호흡으로 인한 위해도

노출 경로	독성 참고치	노출농도	유해지수	비고
흡입	$3.70E-02 \text{ mg/m}^3$	(최소) $1.84E-05 \text{ mg/m}^3$	$4.97E-04$	모델예측농도
		(평균) $1.92E-03 \text{ mg/m}^3$	$5.19E-02$	
		(최대) $6.66E-03 \text{ mg/m}^3$	$1.80E-01$	



## 4장. 생태위해성평가

### 1절. 생태영향평가

#### 1. 수생태계

##### 가. 조류

Andreozzi et al.(2000)에서는 1시간 동안 31 mg/L의 메틸아민을 녹조류 *Selenastrum capricornutum*에 노출하였을 때 조류의 성장이 21% 저해되었다고 보고하였다.

메틸아민 조류 독성 시험결과는 표 4-1에 요약하였다.

표 4-1. 메틸아민 조류 성장저해 시험 결과

방법	결과	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: <i>Selenastrum capricornutum</i></li> <li>• 노출기간: 1시간</li> <li>• 노출방법: -</li> <li>• 노출농도: 1 mM(=31 mg/L)</li> <li>• 시험조건: -</li> <li>• 관찰항목: 성장저해</li> </ul>	<p>growth inhibition 21% (EC21 = 31 mg/L)</p>	<p>Andreozzi et al., 2000 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>

## 나. 수서무척추동물

### 급성독성

Kühn et al.(1989)에서는 DIN 38412, part 11에 따라 48시간 동안 40% 수용액 형태의 메틸아민에 물벼룩(*Daphnia magna*)을 지수식 조건에서 노출하였다. 중화된 조건(buffered)에서 반수치사농도(Lethal Concentration, LC<sub>50</sub>)는 720 mg/L(설정농도), 중화되지 않은 조건(unbuffered)에서 EC<sub>0</sub>은 95 mg/L(설정농도), 반수영향농도(Effective Concentration, EC<sub>50</sub>)는 163 mg/L, EC<sub>100</sub>은 260 mg/L(설정농도)로 확인되었다.

Verschueren(1983)에서는 *Daphnia magna*의 EC<sub>50</sub>이 480 mg/L라고 보고하였다.

메틸아민에 대한 수서무척추동물 급성독성 시험결과를 표 4-2에 요약하였다.

표 4-2. 메틸아민 수서무척추동물 급성독성 시험 결과

방법	결과	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: <i>Daphnia magna</i></li> <li>• 노출기간: 48시간</li> <li>• 노출방법: DIN 38412, part 11</li> <li>• 노출농도: -</li> <li>• 시험조건: 지수식</li> <li>• 관찰항목: -</li> </ul>	EC <sub>0</sub> = 95 mg/L (nominal, not neutralized) EC <sub>50</sub> = 163 mg/L (nominal, not neutralized) EC <sub>100</sub> = 260 mg/L (nominal, not neutralized) LC <sub>50</sub> = 702 mg/L (nominal, neutralized)	Kühn et al., 1989 (cited in OECD SIDS, 2011)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: <i>Daphnia magna</i></li> <li>• 노출기간: -</li> <li>• 노출방법: -</li> <li>• 노출농도: -</li> <li>• 시험조건: -</li> <li>• 관찰항목: -</li> </ul>	EC <sub>50</sub> = 480 mg/L	Verschueren, 1983 (cited in OECD SIDS, 2011)

### 만성독성

메틸아민에 관한 수서무척추동물 만성독성 자료는 확인되지 않는다.

## 다. 어류

### 급성독성

Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1986)에서는 OECD TG 203에 따라 *Leuciscus idus*에 메틸아민을 48시간 노출시켰다. 중화된 조건(buffered)에서 LC<sub>50</sub>은 970 mg/L(설정농도), 중화되지 않은 조건(unbuffered)에서 LC<sub>50</sub>은 16 mg/L(설정농도)으로 확인되었다.

Groth et al.(1993)에서는 제브라피쉬(*Brachydanio rerio*)의 배아를 96시간 노출하여 배아의 발달과정을 조사하였다. 대조군과 각 농도군에는 각각 12개의 배아를 노출시켰다. 2~500 mM의 농도 범위로 시험하였으며, 염산(HCl)을 사용하여 pH를 8.0으로 조정하였다. 96시간 무영향관찰농도(No Observed Effect Concentration, NOEC)은 93 mg/L, LC<sub>50</sub>은 711 mg/L로 확인되었다.

메틸아민에 대한 어류 급성독성 시험결과는 표 4-3에 요약하였다.

표 4-3. 메틸아민 어류 급성독성 시험 결과

방법	결과	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: <i>Leuciscus idus</i></li> <li>• 노출기간: 48시간</li> <li>• 노출방법: OECD TG 203</li> <li>• 노출농도: -</li> <li>• 시험조건: 지수식</li> <li>• 관찰항목: -</li> </ul>	<p>LC<sub>50</sub> = 16 mg/L (nominal, not neutralized)</p> <p>LC<sub>50</sub> = 970 mg/L (nominal, neutralized)</p>	<p>Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 1986 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: <i>Brachydanio rerio</i></li> <li>• 노출기간: 96시간</li> <li>• 노출방법: -</li> <li>• 노출농도: 2~500 mM</li> <li>• 시험조건: -</li> <li>• 관찰항목: -</li> </ul>	<p>NOEC = 3 mM</p> <p>LC<sub>50</sub> = 22.9 mM</p>	<p>Groth et al., 1993 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>

### 만성독성

메틸아민에 관한 어류 만성독성 자료는 확인되지 않는다.

## 라. 미생물(박테리아)

BASF(1990)에서는 메틸아민의 활성슬러지 호흡저해를 확인하기 위해 ISO 8192에 따라 활성슬러지에 30분 동안 메틸아민 158.4, 264.4, 500, 1,000 mg/L을 노출시켰다. 30분에 대한 EC<sub>20</sub>은 240 mg/L으로 확인되었다. 해당 값은 예측무영향농도(PNEC<sub>STP</sub>) 산출을 위한 대표 독성값으로 선정하였다(표 4-4).

표 4-4. 메틸아민 저서생물의 급성독성 시험 결과

방법	결과	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시험종: activated sludge</li> <li>• 노출기간: 30분</li> <li>• 노출방법: ISO 8192 (Test for Inhibition of Oxygen Consumption by Activated Sludge)</li> <li>• 노출농도: 1000, 500, 264.4, 158.4 mg/L</li> <li>• 시험조건: -</li> <li>• 관찰항목: -</li> </ul>	<p>EC<sub>20</sub>(30 min) = 240 mg/L</p>	<p>BASF, 1990 (cited in OECD SIDS, 2011)</p>

## 2. 육상생태계

### 가. 육상식물

상추(*Lactuca sativa*) 발아(germination) 독성시험의 경우, 3일  $EC_{50}$ 가 pH 10.5 조건에서 15 mM로 산정되었다(Reynolds, 1975).

### 나. 육상 무척추동물

현재까지 메틸아민의 육상 무척추동물 자료는 확인되지 않았다.

### 다. 육생 미생물

현재까지 메틸아민의 육생 미생물 자료는 확인되지 않았다.

## 3. 생물축적성

### 가. 생물농축성

메틸아민은  $\log K_{ow}$  값이 3 미만으로 생물축적 가능성이 낮을 것으로 예상된다. Wheeler(1979)에 따르면 생물농축계수(bioconcentration factor; BCF)가 141~183인 것으로 확인되었다.

### 나. 생물확장성

현재까지 메틸아민의 생물확장성 자료는 확인되지 않았다.

## 2절. 예측무영향농도(PNEC) 산정

### 1. 담수

메틸아민에 대한 수생 환경 급·만성독성 자료 조사 결과 3가지 영양단계 (담수조류, 수서무척추동물, 어류)에 대한 급성독성 자료만 확보할 수 있었다(표 4-5).

표 4-5. 메틸아민 수생환경 생물종별 대표 독성값

생물종			독성값 (mg/L)	
급성	어류	<i>Leuciscus idus</i>	LC <sub>50</sub> (48 h)	970
	수서무척추동물	<i>Daphnia magna</i>	LC <sub>50</sub> (48 h)	702
	담수조류	<i>Selenastrum capricornutum</i>	EC <sub>21</sub> (1 h)	31

수생환경에 대한 예측무영향농도(PNEC<sub>water</sub>) 산출을 위해서는 가장 민감한 독성값을 사용하나, 메틸아민의 물질 특성을 고려하여 대표 독성값을 결정한 후 예측무영향농도를 산출하였다. 그 이유는 메틸아민의 경우 실제 물과 의 상호작용에서 중화 반응이 메틸아민의 독성을 크게 감소시키기 때문이다.. 따라서 실제 담수 환경 내 메틸아민이 물에 노출되어 중화반응이 일어나므로, 수서무척추동물 급성독성 자료의 독성값인 48시간 LC<sub>50</sub> 702 mg/L를 대표 독성값으로 선정하였다. 담수조류 자료의 경우는 노출 시간이 1시간이라 대표 독성값으로 선택하지 않았다. 「화학물질 위해성평가의 구체적 방법 등에 관한 규정(국립환경과학원 고시 제2021-13호)」 제6조 제6항에 따라 평가계수를 활용하였으며, 3개의 영양단계에서 확보된 급성독성 자료가 3개이므로 평가계수는 100을 적용하였다. 메틸아민의 수생환경에 대한 예측무영향농도(PNEC<sub>water</sub>)는 7.02 mg/L이다.

$$PNEC_{water} = \text{Lowest } EC_{50} \div \text{Assessment factor} = 702 \text{ mg/L} \div \text{AF } 100 =$$

$$PNEC \text{ 7.02 mg/L}$$

## 2. 저질

메틸아민의 저서생물에 대한 독성자료가 부재하여 평형분배방법으로 저질 예측무영향농도( $PNEC_{\text{sediment}}$ )를 산출하였다. 이를 위해 국립환경과학원 「화학물질의 위해성에 관한 자료 작성지침」(국립환경과학원, 2021)에 제시된 내용을 참고하였다. 분배계수( $K_{oc} = 389 \text{ L/kg}$ ) (Open et al., 1991), 수생환경 예측무영향농도( $7.02 \text{ mg/L}$ ), 습윤중량 보정값(표준 침전물의 경우 물 90%와 고형분 10%로 구성되어 있어 보정계수 4.6)을 적용하였다(ECETOC, 2020). 결과적으로 도출된 저질 예측무영향농도( $PNEC_{\text{sediment}}$ )는  $297.87 \text{ mg/kg dw}$ 이다.

$$\begin{aligned}
 PNEC_{\text{sediment}} &= (0.783 + 0.0217 \times K_{oc}) \times PNEC_{\text{water}} = (0.783 + 0.0217 \times 389) \times 7.02 \text{ mg/L} \\
 &\quad \times 4.6 = 297.87 \text{ mg/kg dw}
 \end{aligned}$$

### 3. 토양

메틸아민의 육상환경에 대한 동물 독성자료가 부재하여 평형분배방법으로 예측무영향농도를 산출하였다. 이를 위해 국립환경과학원 「화학물질의 위해성에 관한 자료 작성지침」(국립환경과학원, 2021)에 제시된 내용을 참고하였다. 분배계수( $K_{oc} = 389 \text{ L/kg}$ ) (Open et al., 1991), 수생환경 예측무영향농도( $7.02 \text{ mg/L}$ ), 습윤중량 보정값(표준 토양의 경우 고형분 60%와 물 20%, 공기 20%로 구성되어 있어 보정계수 1.13)을 적용하였다(ECETOC, 2020). 결과적으로 도출된 토양 예측무영향농도( $PNEC_{soil}$ )는  $55.36 \text{ mg/kg dw}$ 이다.

$$PNEC_{soil} = (0.1176 + 0.01764 \times K_{oc}) \times PNEC_{water} = (0.1176 + 0.01764 \times 389) \times 7.02 \text{ mg/L} \\ \times 1.13 = 55.36 \text{ mg/kg dw}$$



## 4. 하수처리시설

메틸아민의 미생물활성 시험자료 중 EC<sub>20</sub> 240 mg/L을 PNEC<sub>stp</sub> 도출을 위한 대표 독성값으로 선정하였다. 「화학물질 위해성 자료 해설서」의 1절(필요정보 확인) 내 [표 5] 수생생물의 이용 가능한 독성자료별 평가계수(US EPA)에 따라 평가계수 100을 적용하여 PNEC<sub>stp</sub>는 2.4 mg/L로 산출되었다.

$$\begin{aligned} \text{PNEC}_{\text{stp}} &= \text{Lowest EC}_{50} \div \text{Assessment factor} = 240 \text{ mg/L} \div \text{AF } 100 \\ &= 2.4 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

### 3절. 환경노출평가

#### 1. 환경거동

##### 가. 배출

OECD SIDS(2011)에 따르면 메틸아민 산업공정에서 폐수로 배출될 가능성이 있다. 발생한 폐수는 폐쇄형 파이프 시스템으로 이송되며, 현장에서 1차 생물학적 처리 후 지표수로 직접 물질을 배출할 가능성은 적다. 국내에서 메틸아민은 대기 및 방류수 배출허용기준에 포함되지 않는 물질로서 측정자료는 확인되지 않았다.

##### 나. 분포

OECD SIDS(2011)에 따르면 EPIWIN Level III fugacity modeling은 메틸아민이 공기, 물, 토양에 균등하게 분포할 때 대상 물질이 대기 1.57%, 물 41%, 토양 57.3%, 퇴적물 0.0891% 분포할 것으로 예측하였다.

##### 다. 분해

OECD SIDS(2011)에 따르면 메틸아민을 포함한 알킬아민은 광화학적으로 안정하다. EPIWIN (U.S. EPA, 2010, EPISuite™ v4.00, AOP v1.92)을 이용한 메틸아민의 광분해 반감기는 0.48일, 전체 OH 비율 상수(overall OH rate constant)는  $22.26E-12 \text{ cm}^3/\text{molecule}\cdot\text{sec}$ 로 추정된다.

OECD SIDS(2011)에 따르면 메틸아민을 포함한 대부분의 지방족 아민은 분자 내에 가수분해에 민감한 작용기를 포함하지 않기 때문에 가수분해 되지 않고 안정한 것으로 판단된다.

OECD SIDS(2011)에 따르면 메틸아민은 쉽게 생분해된다. OECD TG 301C (modified MITI Test (I))에 따라 메틸아민 염산염(methylamine hydrochloride)을 시험하였을 때 14일간 84%가 분해되어 쉽게 생분해된다고 보고하였다(Official Bulletin of Economy, Trade and Industry, 1988). BOD-Test에서는 13일간

67.8~88.7%가 분해되었으며(Chudoba et al., 1969), OECD TG 301F에 따라 시험시에는 28일간 55%가 분해되었다(BASF, 1990e).

## 라. 축적

OECD SIDS(2011)에 따르면 EPIWIN v4.0의 BCFBAF 프로그램 v3.00에서 예측된 메틸아민의 BCF 값은 3.162 ~ 38.06이다. 이 결과는 생물 농축 가능성이 낮음을 나타낸다.

## 2. 환경매체농도

### 가. 매체별 모델 추정 농도

한국형 다매체동태모델(SimpleBox Korea v2.0)을 활용하여 메틸아민의 전국적, 국지적(사업장별) 규모에서의 환경 매체별 농도를 예측하였다. Simple box 모델을 통해 산출된 토양 및 저질에서의 메틸아민 농도는 습윤 중량을 기준으로 계산된 농도이므로, 건조 중량을 고려하기 위해 모델 구동 결과에 매체별 습윤 보정계수(토양: 1.13, 저질: 4.6)를 적용하여 산출하였다. 모델 구동을 위한 메틸아민의 물성 정보는 부록의 표 1과 같으며, 취급량 및 매체별 배출량 정보는 부록의 표 2와 같다. 다매체동태모델의 구동 결과로 전국 규모의 예측 환경농도를 나타내었다(표 4-6). 전국 규모의 담수, 자연지 및 농경지, 도시산업용지에서의 환경농도는 각각 4.87E-05 mg/L, 1.40E-07 mg/kg (dw), 1.32E-07 mg/kg (dw), 5.06E-07 mg/kg (dw)으로 예측되었다.

표 4-6. 전국 규모의 예측환경농도(PEC)

담수 (mg/L)	자연지 (mg/kg dw)	농경지 (mg/kg dw)	도시산업용지 (mg/kg dw)
4.87E-05	1.40E-07	1.32E-07	5.06E-07

국지적 규모의 수계 예측환경농도의 평균값(범위)는 2.94E-01 (4.32E-04 ~ 2.67E+00) mg/L로 예측되었으며(표 4-7), 국지적 규모의 저질 예측환경농도는 6.36E+01 (2.19E-01 ~ 5.61E+02) mg/kg (dw)로 예측되었다(표 4-7). 국지적 규모의 농경지 및 목초지 예측환경농도는 2.79E-02 (2.58E-04 ~ 9.64E-02), 4.45E-02 (4.09E-04 ~ 1.54E-01) mg/kg (dw)으로 예측되었다(표 4-7).

표 4-7. 국지적 규모의 예측환경농도(PEC)

사업장	담수 (mg/L)	저질 (mg/kg dw)	농경지 (mg/kg dw)	목초지 (mg/kg dw)
1	2.67E+00	5.61E+02	9.64E-02	1.54E-01
2	1.36E-01	1.53E+01	9.13E-02	1.46E-01
3	1.72E-03	2.47E+00	1.12E-03	1.80E-03
4	1.29E-01	4.18E+01	8.68E-02	1.38E-01
5	1.01E-03	3.10E+00	6.43E-04	1.02E-03
6	4.32E-04	6.21E+00	2.58E-04	4.09E-04
7	1.01E-03	3.10E+00	6.43E-04	1.02E-03
8	8.15E-04	1.24E+00	5.14E-04	8.19E-04
9	7.20E-04	2.19E-01	4.50E-04	7.16E-04
10	1.01E-03	1.55E+00	6.43E-04	1.02E-03

## 4절. 생태위해도 결정

생태 유해지수는 환경매체별 예측환경농도와 예측무영향농도를 비교하여 산출되었다(표 4-8).

유해지수가 1 미만일 때는 해당 환경매체의 생태 위해성이 없다고 판정하고, 유해지수가 1 이상일 때는 생태적 위해 가능성이 있는 것으로 판정하였다. 메틸아민의 전국 규모 예측환경농도에 대한 환경매체별 생태 유해지수는 모두 1 미만으로 전국 규모 환경에 대한 위해 가능성은 낮은 것으로 확인되었다.

표 4-8. 모델추정치에 의한 메틸아민의 매체별 전국 규모 생태위해도

	담수	자연지	농경지	도시산업용지
유해지수	6.94E-06	2.53E-09	2.38E-09	9.14E-09

국지적 규모의 환경매체별 예측환경농도에 대한 생태 유해지수는 아래와 같다(표 4-9). 국지적 규모의 담수 예측환경농도에 대한 유해지수 범위는  $6.15E-05 \sim 3.80E-01$ 로 산출되었다. 국지적 규모의 저질 예측환경농도에 대한 유해지수 범위는  $7.35E-04 \sim 1.88E+00$ 으로 산출되었다. 유해지수 1을 초과한 지점의 경우 담수 환경 내 유해지수가 1 미만으로 실제 저질 내 위해 가능성은 낮은 것으로 판단된다. 국지적 규모의 농경지와 목초지 예측환경농도에 대한 유해지수 범위는 각각  $4.66E-06 \sim 1.74E-03$ ,  $7.39E-06 \sim 2.78E-03$ 으로 산출되었다.

표 4-9. 모델추정치에 의한 메틸아민의 매체별 국지적 규모 생태위해도

사업장	담수	저질	농경지	목초지
1	3.80E-01	1.88E+00	1.74E-03	2.78E-03
2	1.94E-02	5.14E-02	1.65E-03	2.64E-03
3	2.45E-04	8.29E-03	2.02E-05	3.25E-05
4	1.84E-02	1.40E-01	1.57E-03	2.49E-03
5	1.44E-04	1.04E-02	1.16E-05	1.84E-05
6	6.15E-05	2.08E-02	4.66E-06	7.39E-06
7	1.44E-04	1.04E-02	1.16E-05	1.84E-05
8	1.16E-04	4.16E-03	9.28E-06	1.48E-05
9	1.03E-04	7.35E-04	8.13E-06	1.29E-05
10	1.44E-04	5.20E-03	1.16E-05	1.84E-05

## 5장. 종합결론

메틸아민의 인체 및 생태 위해성평가 결과를 표 5-1에 요약하였다.

표 5-10. 메틸아민 위해성평가 결과 종합

메틸아민 (Methylamine)			노출경로			
대상 구분	노출 시나리오	세부 노출시나리오	경구	흡입	경피	
인체 위해성	작업자 노출	제조(생산)	-	○	○	
		타이어 변성 SSBR 제조 시 원료 사용	-	○	○	
		중간체 사용	-	○	○	
		공정속도조절제 사용	-	○	○	
	소비자 노출	-	-	-	-	
	환경을 통한 간접노출	음용수 섭취	-	-	-	-
		공기 호흡	일상 호흡	-	○	-
생태 위해성	수생태계	수생태	담수	○		
			저질	○		
	토양생태계	토양생태	목초지	○		
			농경지	○		
			자연지	○		
			도시산업용지	○		

○: 위해 없음, ×: 위해 우려, ✓: 재검토필요, -: 평가 제외



## 1절. 인체위해성평가 결과

### 1. 작업자

국내 메틸아민 취급 사업장을 대상으로 ECETOC TRA 모델링을 통해 작업자의 흡입 및 경피 노출에 대한 위해도를 평가한 결과, 유해지수 1 미만 수준으로 평가되어 추가적인 위해저감조치는 필요하지 않을 것으로 판단된다. 그러나 경피 노출의 경우, 일부 공정에서 보호구 미착용 시 유해지수가 1을 초과하는 것으로 확인되어 적절한 성능을 갖춘 피부용 보호구(장갑)를 착용하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 또한 작업자의 경피노출량 산정 시 보수적인 모델이 사용되었으므로, 보다 상세한 위해관리를 위해서는 실제 작업환경에서의 노출량 등 추가적인 정보가 필요할 것으로 사료된다.

### 2. 소비자

국내 화학물질 등록을 위해 제출된 자료에 따르면, 메틸아민은 국내에서 산업적 용도로만 사용되고 소비자 용도로의 사용은 확인되지 않는다. 따라서 현 시점에서 소비자에 대한 위해 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

### 3. 일반인(환경을 통한 간접노출)

환경매체(공기호흡)를 통한 간접노출을 가정하여 일반인에 대한 위해성평가를 수행한 결과, 국내 용도별 페놀 유통량을 기반으로 한 예측환경농도에 대한 위해 가능성은 낮을 것으로 평가되었다. 따라서 현 시점에서 추가적인 위해저감조치는 필요하지 않은 것으로 나타났다.

## 2절. 생태위해성평가 결과

### 1. 담수

한국형 다매체 동태모델(SimpleBox Korea v2.0)을 활용하여 담수 내 메틸아민의 전국적 및 국지적 규모 환경농도를 예측하였다. 그 결과, 모두 유해지수 1미만으로 실제 담수 환경 내 위해 가능성은 낮을 것으로 평가되었다. 따라서 현시점에서 추가적인 위해저감조치는 필요하지 않은 것으로 나타났다.

### 2. 저질

한국형 다매체 동태모델(SimpleBox Korea v2.0)을 활용하여 저질 내 메틸아민의 전국적 및 국지적 규모 환경농도를 예측한 결과, 사업장 1개소에서 유해지수가 1을 초과하였다. 하지만, 해당 지점의 담수 환경 내 유해지수가 1을 초과하지 않아 모델링을 과대평가로 인한 것으로 추정되어, 저질 내 위해 가능성은 낮을 것으로 평가되었다. 따라서 현시점에서 추가적인 위해저감조치는 필요하지 않은 것으로 나타났다.

### 3. 토양

한국형 다매체 동태모델(SimpleBox Korea v2.0)을 활용하여 토양 내 메틸아민의 전국적 및 국지적 규모 환경농도를 예측하였다. 그 결과, 모두 유해지수 1미만으로 실제 담수 환경 내 위해 가능성은 낮을 것으로 평가되었다. 따라서 현시점에서 추가적인 위해저감조치는 필요하지 않은 것으로 나타났다.

## 6장. 참고문헌

노동부 (2005). 화학물질 노출기준 제·개정(안) 연구 및 물질별 산업보건 편람 작성. 메틸아민.

American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH) (1992). Methylamine. In: Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

Asatoor AM, Simenhoff ML (1965). The origin of urinary dimethylamine. *Biochim Biophys Acta*, 111(2): 384-392. (cited in NTP, 2012)

Andreozzi R, Lo Casale MS, Marotta R, Pinto G, Pollio A (2000). N-methyl-p-aminophenol (metol) ozonation in aqueous solution: kinetics, mechanism and toxicological characterization of ozonized samples. *Water Res*, 34(18): 4419-4429. (cited in OECD SIDS, 2011)

BASF AG (1982). Bericht ueber die Pruefung der akuten oralen Toxizitaet. (cited in OECD SIDS, 2011)

BASF AG (1983). Akute Inhalationstoxizitaet LC50 4 (Ratte) Stunden von "Monoethylamin". 82/0234. (cited in OECD SIDS, 2011)

BASF AG (1990). Pruefbericht ueber eine Untersuchung der Wirkung einer Substanz auf die Atmungsaktivitaet von Belebtschlamm im Kurzzeitatmungstest. 190 1269. (cited in OECD SIDS, 2011)

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1986). 1 and 2 summary intermediate report for the F+E project "Bewertung wassergefaehrdender Stoffe" Part I (FV-No.82-102 05 308). (cited in OECD SIDS, 2011)

Bittersohl G, Heberer H (1980). [Results of job site and urine analyses in exposure to aliphatic amines] [Article in German]. *Z Ges Hyg*, 26: 258-259. (cited in US EPA AEGL Technical Support Document, 2008)

- Caspary WJ, Myhr B (1986). Mutagenicity of methylisocyanate and its reaction products to cultured mammalian cells. *Mutat Res*, 174(4): 285-293. (cited in OECD SIDS, 2011)
- Chemical Industry Institute of Toxicology (CIIT) (1990). Twenty four month final report. Inhalation toxicity of dimethylamine in F-344 rats and B6C3F1 mice and third party audit report summary. Report issued June 15, 1990. Docket #11957.
- Craig Sale, Roger C H, James F, Alain K, Robertine S, Jacques RP (2009). Urinary creatinine and methylamine excretion following 4 x 5 g x day(-1) or 20 x 1 g x day(-1) of creatine monohydrate for 5 days. *J Sports Sci*, 27(7): 759-766.
- Dar MS, Bowman ER (1985). In vivo mammalian metabolism of methylamine and methylurea and their metabolic interrelationship. *Drug Metab Dispos*, 13(6): 682-689. (cited in NTP, 2012)
- Daubert TE, Danner RP (1989). *Physical and Thermodynamic Properties of Pure Chemicals Data Compilation*. Washington, D.C.: Taylor and Francis.
- DrugBank database, Methylamine, available from <https://www.drugbank.ca/drugs/DB01828>, Accessed date: 2022.06.20.
- ECETOC (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals) (2020). Sufficiency of aquatic hazard data for environmental risk assessment in sediment and soil. ECETOC Technical Report No. 134.
- Gagnaire F, Azim S, Bonnet P, Simon P, Guenier JP, de Ceaurriz J (1989). Nasal irritation and pulmonary toxicity of aliphatic amines in mice. *J Appl Toxicol*, 9(5): 301-304. (cited in OECD SIDS, 2011)
- Goffman T, Maguire Jr HC (1980). Cutaneous toxicity of liquified methylamine gas. *Contact Dermatitis*, 6(2): 140-141. (cited in OECD SIDS, 2011)
- Gorbachev EM (1957). On toxicology of certain aliphatic amines. In: *Collected*

Research Papers of Novosibirsk Sanitary Institute, Issue12. Novosibirsk, 1957, pp.3-52. (cited in US EPA AEGL Technical Support Document, 2008)

Groth G, Schreeb K, Herdt V, Freundt KJ (1993). Toxicity studies in fertilized zebrafish eggs treated with N-methylamine, N,N-dimethylamine, 2-aminoethanol, isopropylamine, aniline, N-methylaniline, N,N-dimethylaniline, quinone, chloroacetaldehyde, or cyclohexanol. Bull Environ Contam Toxicol, 50(6): 878-882. (cited in OECD SIDS, 2011)

Grönvall JL, Garpenstrand H, Orelund L, Ekblom J (1998). Autoradiographic imaging of formaldehyde adducts in mice: Possible relevance for vascular damage in diabetes. Life Sciences, 63(9): 759-768.

Guest I, Varma DR, (1991). Developmental toxicity of methylamines in mice. J Toxicol Environ Health, 32(3): 319-330. (cited in OECD SIDS, 2011)

Hansch C, Leo A, Hoekman D (1995). Exploring QSAR-Hydrophobic, Electronic, and Steric Constants. Washington, DC: American Chemical Society. 3.

Haynes WM (2014). CRC Handbook of Chemistry and Physics. 95th ed. CRC Press LLC.

International Research and Development Corporation (1992). Acute Inhalation Toxicity Evaluation on Monomethylamine in Rats. IRDC 214-053. (cited in OECD SIDS, 2011)

Izmerov NF, IV Santosky, Sidorov KK (1982). Toxicometric parameters of industrial toxic chemicals under single exposure, p. 81. USSR Commission for the United Nations Environment Programme, International Registry of Potentially Toxic Chemicals.

Japan Chemical Industry Ecology-Toxicology & Information Center (JETOC) (1997). Mutagenicity Test Data of Existing Chemical Substances. (cited in OECD SIDS, 2011)

- Jeevaratnam K, Sugendran K, Vaidyanathan CS (1993). Do the Hydrolysis Products, Methylamine and N,N' -Dimethylurea, Play any Role in the Methyl Isocyanate- Induced Haematological and Biochemical Changes in Rabbits? Hum Exp Toxicol, 12(2): 135-139.
- Jeevaratnam K, Sriramachari S (1994). Comparative toxicity of methyl isocyanate and its hydrolytic derivatives in rats. I. Pulmonary histopathology in the acute phase. Arch Toxicol, 69: 39-44. (cited in US EPA AEGL Technical Support Document, 2008)
- Kinney LA, Valentine R, Chen HC, Everett RM, Kennedy GL (1990). Inhalation toxicology of methylamine. Inhal Toxicol, 2(1): 29-35. (cited in OECD SIDS, 2011)
- Krishna JG, Casida JE (1966) Fate in rats of the radiocarbon from ten variously labeled methyl- and dimethylcarbamate-C14 insecticide chemicals and their hydrolysis products. J. Agr. Food Chem. 14: 98-105. (cited in NTP, 2012)
- Kühn R, Pattard M, Pernak KD, Winter A (1989). Results of the harmful effects of selected water pollutants (anilines, phenols, aliphatic compounds) to *Daphnia magna*. Water Res, 23(4): 495-499. (cited in OECD SIDS, 2011)
- Koch F, G Mehlhorn, R Kliche, L Rüdiger (1980). Untersuchungen zur Aero-genen Intoxikation bei Ratten durch Methylamine. Math.-naturwiss 29: 463-474. (cited in US EPA AEGL Technical Support Document, 2008)
- Lewis RJ Sr (2004). Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials. 11th ed.
- Lijinsky W, Taylor HW (1977). Feeding tests in rats on mixtures of nitrite with secondary and tertiary amines of environmental importance. Fd Cosmet Toxicol, 15:269-274.
- Mortelmans K, Haworth S, Lawlor T, Speck W, Tainer B, Zeiger E (1986).

Salmonella mutagenicity tests: II. Results from the testing of 270 chemicals. *Environ Mutagen*, 8(7): 1-119. (cited in NTP, 2012)

Munley SM (2007). Methylamine Hydrochloride. combined repeated dose toxicity study with the reproduction/developmental toxicity screening test in rats. 17194. (cited in OECD SIDS, 2011)

NTP(2012). Summary of Data for Chemical Selection, Methylamine (CAS No. 74-89-5). Technical Resources International, Inc. 8.

OECD SIDS (2011). SIDS Initial Assessment Report For SIAM 32. C1-13 PRIMARY AMINES.

O'Neil MJ (2013). *The Merck Index—An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 1116.

Pirisino R, Ghelardini C, DeSiena G, Malmberg P, Galeotti N, Cioni L, Banchelli G, Raimondi L (2005). Methylamine: A new endogenous modulator of neuron firing? *Med Sci Monit*, 11: RA257-RA261. (cited in US EPA AEGL Technical Support Document, 2008)

Rechenberger J (1940). The Volatile Alkyl Amines in Human Metabolism. Report II: Elimination in the 45 Urine Following Oral Application. *Hoppe-Seylers Zeitschrift fuer Physiologische Chemie*, 265(46): 275-284. (cited in US EPA AEGL Technical Support Document, 2008)

Reynolds (1975). pH restraints on lettuce fruit germination. *Ann. Bot.* 39: 797-805.

Ruth IH (1986). Odor thresholds and irritation levels of several chemical substances: A review. *Amer Ind Hyg Assoc Jour*, 47, A124-A151.

Sarkar SN, Sastry MS (1990). Chronic toxicity of methylamine on oral administration and feed contamination in rats. *Indian J Anim Sci*, 60(3): 319-320. (cited in OECD SIDS, 2011)

- Sarkar S (1990). Effect of methylamine on lipid peroxidation of lungs, Indian Journal of Animal Sciences, 60, 326.
- Schulz M, Landsiedel R (2007). Cytogenetic study in vivo with methylamine hydrochloride in the mouse micronucleus test single oral administration. Experimental Toxicology and Ecology BASF Aktiengesellschaft 67056 Ludwigshafen, Germany. as cited in OECD SIDS. (cited in OECD SIDS, 2011)
- Schwartz DE (1966). Comparative metabolic studies with Natulan®, methylhydrazine and methylamine in rats. Experientia, 22: 212-213.
- Sriramachari S, Jeevaratnam K (1994). Comparative toxicity of methyl isocyanate and its hydrolytic derivatives in rats. II. Pulmonary histopathology in the subacute and chronic phases. Arch Toxicol, 69(1): 45-51. (cited in OECD SIDS, 2011)
- Streeter AJ, Nims RW, Sheffels PR, Hrabie JA, Ohannesian L, Heur YH, Mico BA, Keefer LK (1990). Deuterium isotope effect on the toxicokinetics of monomethylamine in the rat. Drug Metab Dispos, 18(4): 447-452. (cited in NTP, 2012)
- Sutton WL (1963). Aliphatic and Alicyclic Amines. In: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 2nd Ed., Vol. 2, p. 2052. F.A. Patty, Ed., Interscience, New York.
- Verschueren K (1983). Handbook of environmental data on organic chemicals, Second edition. (cited in OECD SIDS, 2011)
- Guest I, Varma DR (1991). Developmental toxicity of methylamines in mice. J Toxicol Environ Health, 32(3): 319-30.
- Wheeler PA (1979). Uptake of methylamine (an ammonium analogue) by *macrocystis pyrifera* (phaeophyta). J Phycol, 15(1): 12-17. (cited in OECD SIDS, 2011)



Yang GH, YM Wang, L Chen (1995). Treatment and care of 35 cases of monomethylamine poisoning. *Zhonghua Hu Li Za Zhi* [Chinese journal of nursing] 30: 83-5. (cited in US EPA AEGL Technical Support Document, 2008)

Yu PH, Zuo DM (1996). Formaldehyde produced endogenously via deamination of methylamine. A potential risk factor for initiation of endothelial injury. *Atherosclerosis*, 120(1-2): 189-197.

Zeisel SH, Wishnok JS, Blusztajn JK (1983). Formation of methylamines from ingested choline and lecithin. *J Pharmacol Exp Ther*, 225(2): 320-324. (cited in NTP, 2012)

Zeisel SH, DaCosta KA, Thomas J (1988). Mono-, di- and trimethylamine in human gastric fluid: Potential substrates for nitrosodimethylamine formation. *Carcinogenesis*, 9(1): 179-181.

## 부록 (Appendix)

표 1. 메틸아민 물성정보

항목	값
분자량(g/mol)	31.058
녹는점(°C)	-93.42
옥탄올/물 분배계수	$K_{ow}$ : 0.2691
증기압(Pa)	353,304
증기압 측정온도(°C)	25
물 용해도(mg/L)	1,080,000
물 용해도 측정온도(°C)	25
생분해도	readily biodegradable
유기탄소 분배계수( $K_{oc}$ )	389
STP 사용여부	No

표 2. 메틸아민 노출시나리오에 따른 배출정보

Site No.	취급특성	배출량 (톤/년)		
	조업일수(일)	대기	수질	토양
1	77	7.50E+00	1.95E+01	3.00E-02
2	144	7.10E+00	9.94E-01	1.42E-02
3	11	8.75E-02	1.23E-02	1.75E-04
4	50	6.75E+00	9.45E-01	1.35E-02
5	5	5.00E-02	7.00E-03	1.00E-04
6	1	2.00E-02	2.80E-03	4.00E-05
7	5	5.00E-02	7.00E-03	1.00E-04
8	10	4.00E-02	5.60E-03	8.00E-05
9	50	3.50E-02	4.90E-03	7.00E-05