

# 등록화학물질 위해성평가(안)

붕산나트륨 (Disodium tetraborate, anhydrous)

CAS No. 1330-43-4

2022



**국립환경과학원**  
National Institute of Environmental Research

## 서 문

우리나라는 화학 산업 비중이 높고 화학물질 취급량이 많아 유해화학물질에 노출될 가능성이 높은 환경에 놓여 있다. 따라서 국내에 유통 중인 유해화학물질로 인한 위해를 사전에 예방하기 위해서는 제도에 근거한 체계적인 위해성평가와 효과적인 노출저감 대책 수립이 필요하다.

이를 위해, 우리나라에서는 2015년부터 유럽연합(European Union, EU)의 신화학물질관리제도(Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals, REACH)를 모델로 하여 한국형 제도인 「화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률」(이하, 화평법)을 제정하여 시행하고 있다. 특히 화평법 제24조에서는 연간 10톤 이상 제조·수입되는 등록화학물질 중 유해성심사결과를 기초로 환경부장관이 위해성평가를 수행하도록 하고 있다.

본 보고서(안)는 화평법 제24조에 따라 등록·심사가 완료된 화학물질 가운데 유해성, 배출량, 노출가능성을 종합적으로 고려하여 우선적으로 선정된 물질을 대상으로 위해성평가를 수행한 결과다.

위해성평가 방법은 기본적으로 국립환경과학원의 「화학물질 위해성평가의 구체적 방법 등에 관한 규정」을 준용하여 수행하였다. 이외에 독성자료에 대한 신뢰도 평가, 노출량-반응평가에 활용되는 불확실성계수 사용 등 세부적인 사항들은 국립환경과학원에서 발행한 ‘위해성에 관한 자료작성지침’을 활용하였다. 본 보고서는 화학물질 등록 시 기업체에서 제출한 유해성 정보, 위해성에 관한 자료와 국내·외 논문 및 국외 연구결과 등을 참고로 작성하였다.

국립환경과학원에서는 본 보고서(안)과 관련하여 앞으로 새로운 사용용도가 추가되거나 평가에 영향을 미치는 신뢰성이 높은 신규 자료가 있을 경우 평가내용을 정기적으로 수정해 나갈 계획이다.

보고서(안)은 현재 관련 전문가 및 이해당사자들을 대상으로 심층 검토 중에 있으므로 불가피하게 관련 내용을 인용하고자 하는 경우에는 미리 국립환경과학원 위해성평가연구과에 연락하여 협의해 주시기를 당부드린다.

# 〈목 차〉

<b>1장. 일반물질정보</b> .....	1
1절. 화학물질의 식별정보 .....	1
2절. 순도, 불순물 등 .....	1
3절. 물리·화학적 특성 .....	2
4절. 분류 .....	3
1. 물리적 위험성 .....	3
2. 환경 유해성 .....	3
3. 인체 건강 유해성 .....	3
<b>2장. 노출평가를 위한 일반 정보</b> .....	4
1절. 제조(생산) .....	4
2절. 사용(용도) .....	6
3절. 배출 및 폐기 .....	12
4절. 관리법규 .....	14
1. 국내 규제현황 .....	14
2. 국외 규제현황 .....	16
<b>3장. 인체위해성평가</b> .....	18
1절. 유해성 확인 .....	18
1. 독성동태, 대사 및 분포 .....	18
2. 급성독성 .....	20

3. 자극성/부식성 .....	25
4. 과민성 .....	27
5. 반복투여독성 .....	28
6. 생식 및 발달 독성 .....	32
7. 신경독성 .....	36
8. 유전독성(변이원성) .....	37
9. 면역독성 .....	38
10. 발암성 .....	38
11. 역학연구 .....	39
2절. 노출량-반응평가 .....	42
1. 독성참고치 .....	42
2. 발암잠재력 .....	47
3절. 인체노출평가 .....	48
1. 작업자 노출 .....	48
2. 소비자 노출 .....	55
3. 환경을 통한 간접 노출(일반인) .....	58
4절. 인체위해도 결정 .....	61
1. 작업자 .....	61
2. 소비자 .....	62
3. 일반인(환경을 통한 간접노출) .....	62

<b>4장. 생태위해성평가</b>	<b>64</b>
1절. 생태영향평가	64
1. 수생태계	64
2. 육상생태계	88
3. 생물축적성	106
2절. 예측무영향농도(PNEC) 산정	108
1. 담수	108
2. 저질	109
3. 토양	110
3절. 환경노출평가	111
1. 환경 거동	111
2. 환경매체 농도	113
4절. 생태위해도 결정	116
<b>5장. 종합결론</b>	<b>118</b>
1절. 인체위해성평가 결과	118
1. 작업자	118
2. 소비자	118
3. 일반인(환경을 통한 간접노출)	118
2절. 생태위해성평가 결과	119
1. 담수	119
2. 저질	119

3. 토양 .....	119
3절. 위해저감방안 .....	122
6장. 참고문헌 .....	123

## 〈표 목차〉

표 1-1. 붕산나트륨의 식별정보 .....	1
표 1-2. 붕산나트륨의 물리·화학적 특성 .....	2
표 1-3. 붕산나트륨의 인체 건강 유해성 .....	3
표 2-1. 붕산나트륨의 제조·수입 현황 .....	4
표 2-2. 국내에서 보고된 붕산나트륨의 산업적 용도 .....	7
표 2-3. 용도 및 업종별 붕산나트륨의 취급량 .....	8
표 2-4. 붕산나트륨의 사용 분야 (과붕산나트륨(perborate) 포함) .....	10
표 2-5. 2008년 기준 붕산나트륨의 사용 분야와 사용량 자료 .....	11
표 2-6. 붕소 및 붕소화합물의 배출·이동량 .....	13
표 2-7. 붕산나트륨의 국내 규제현황 .....	14
표 2-8. 붕산나트륨의 국외 규제현황 .....	17
표 3-1. 붕산류의 경피노출 시 흡수율 및 투과속도 .....	18
표 3-2. 붕산나트륨에 대한 급성 경구 독성 시험 결과 .....	21
표 3-3. 붕산나트륨에 대한 급성 경피 독성 시험 결과 .....	23
표 3-4. 붕산나트륨에 대한 급성 흡입 독성 시험 결과 .....	24
표 3-5. 붕산나트륨에 대한 피부 자극성 시험 결과 .....	25
표 3-6. 붕산나트륨에 대한 눈 자극성 시험 결과 .....	26
표 3-7. 붕산나트륨에 대한 피부 과민성 시험 결과 .....	27
표 3-8. 붕산나트륨에 대한 반복 투여 경구 독성 시험 결과 .....	30

표 3-9. 붕산나트륨에 대한 생식독성 시험 결과 .....	34
표 3-10. 붕산나트륨에 대한 발달 독성 시험 결과 .....	36
표 3-11. 붕산나트륨에 대한 시험관 내 유전독성 시험 결과 .....	37
표 3-12. 붕산나트륨에 대한 생체 내 유전독성 시험 결과 .....	38
표 3-13. 독성동태 변이 값 산출 .....	43
표 3-14. 붕소의 불확실성계수 .....	43
표 3-15. 붕산나트륨의 경구 독성 참고치의 산출 .....	45
표 3-16. 붕산나트륨의 경피 독성 참고치의 산출 .....	46
표 3-17. 붕산나트륨의 흡입 독성 참고치의 산출 .....	46
표 3-18. 붕산나트륨을 이용한 작업 시 작업 환경 노출 시나리오 .....	49
표 3-19. 소비자 제품의 경로별 노출량 계산 .....	56
표 3-20. 소비자 제품 내 붕산나트륨의 함유량 및 노출량 조사 결과 .....	57
표 3-21. 음용수 섭취를 통한 붕소의 노출알고리즘 및 경구 노출량 .....	58
표 3-22. 전국 규모의 예측환경농도(PEC) .....	59
표 3-23. 국지적 규모의 대기 예측환경농도(PEC) .....	59
표 3-24. 주요 지점 현장 대기 측정농도 .....	60
표 3-25. 작업자에 대한 붕산나트륨의 유해지수 .....	61
표 3-26. 소비자 제품에 대한 붕산나트륨의 유해지수 .....	62
표 3-27. 음용수 내 붕소(B) 농도에 대한 유해지수 .....	62
표 3-28. 공기 호흡으로 인한 유해지수 .....	63



표 4-1. 붕소류에 대한 담수 조류성장 저해 급/만성독성 값 .....	65
표 4-2. 붕소류에 대한 수서 무척추동물 급성독성 값 .....	69
표 4-3. 붕소류에 대한 수서 무척추동물 만성독성 값 .....	74
표 4-4. 붕소류에 대한 어류 급성독성 값 .....	79
표 4-5. 붕소류에 대한 어류 만성독성 값 .....	84
표 4-6. 붕소류에 대한 양서류 만성독성 값 .....	87
표 4-7. 붕소류에 대한 육상식물 급성독성 값 .....	91
표 4-8. 붕소류에 대한 육상식물 만성독성 값 .....	97
표 4-9. 붕소류에 대한 육상 무척추동물 급성독성 값 .....	101
표 4-10. 붕소류에 대한 육상 무척추동물 만성독성 값 .....	103
표 4-11. 붕소류에 대한 생물축적성 .....	107
표 4-12. 수생환경 예측무영향농도(PNEC) .....	109
표 4-13. 침전물 예측무영향농도(PNEC) .....	109
표 4-14. 육상환경 예측무영향농도(PNEC) .....	110
표 4-15. 전국 규모의 예측환경농도(PEC) .....	113
표 4-16. 국지적 규모의 예측환경농도(PEC) .....	113
표 4-17. 국내 환경 매체별 붕소의 모니터링 결과 .....	115
표 4-18. 전국 규모의 모델추정치를 이용한 환경 매체별 생태 유해지수 .....	116
표 4-19. 모델추정치에 의한 매체별 국지적 규모 생태 유해지수 .....	116
표 4-20. 수계의 붕소 측정 결과에 의한 수계의 생태 유해지수 .....	117
표 5-1. 위해성 평가 결과 종합 .....	120

## 〈그림 목차〉

그림 2-1. 붕산나트륨의 생산 공정 .....	4
그림 2-2. 붕산나트륨의 하위 사용자 용도 .....	6
그림 2-3. 붕산나트륨의 연도별 국내 취급량 현황 .....	7
그림 2-4. 붕소 및 붕소화합물의 연도별 국내 대기 배출량 현황 .....	12
그림 2-5. 붕소 및 붕소화합물의 연도별 국내 수계 배출량 현황 .....	12
그림 3-1. ECETOC TRA 모델에 의한 작업 환경 예측농도(보호구 미착용) .....	53
그림 3-2. ECETOC TRA 모델에 의한 작업 환경 예측농도 .....	54
그림 4-1. Boron 농도에 따른 육상식물 길이 비교 .....	89
그림 4-2. 환경 중 붕소의 모니터링 지점 .....	114

## 〈부 록〉

표 1. 붕산나트륨의 물성 정보 .....	136
표 2. 붕산나트륨의 노출 시나리오에 따른 배출정보 .....	137

## 위해성평가 종합결론

- 화학물질명 : 붕산나트륨(Disodium tetraborate, anhydrous)
- CAS 번호 : 1330-43-4
- KE 번호 : KE-12384
- IUPAC 명 : Sodium tetraborate, anhydrous
  
- 인체위해성평가 결과

평가 대상	결 론	결과 요약
작업자	추가 정보 필요	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모델을 활용한 노출평가 결과 일부 공정에서 흡입 노출 시 유해지수 1을 초과하여 위해우려 가능성이 확인됨. 경피 경로는 모든 공정에서 유해지수 1 미만으로 위해우려 가능성이 낮은 것으로 평가됨.</li> <li>• 흡입 노출로 인한 위해 저감을 위해, 작업 시 배기 장치와 환기 상태 점검 및 적정 보호구 착용을 통한 위해 저감이 필요함.</li> </ul>
소비자	현시점에서 추가 위해 저감 조치 필요하지 않음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 생화학제품 및 일부 의약품 중 붕산나트륨이 함유된 제품 사용을 통한 소비자 경구, 경피 노출 시, 유해지수 1 미만으로 위해우려 가능성은 낮은 것으로 평가됨.</li> </ul>
일반인 (환경을 통한 간접노출)	현시점에서 추가 위해 저감 조치 필요하지 않음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경 중 공기 호흡 및 음용수로 인한 노출 시, 유해지수 1 미만으로 위해우려 가능성은 낮은 것으로 평가됨.</li> </ul>

● 생태위해성평가 결과

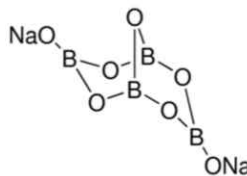
평가 대상		결 론	결과 요약
수 생 태 계	담수 생물	현시점에서 추가 위해 저감 조치 필요하지 않음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수계 모니터링에서 붕소(B) 농도로 측정되기 때문에 이를 이용하여, 붕산나트륨 농도로 환산하였을 때, 일부 지역(평택)에서 기준치 이상으로 검출되었지만, 해수 유입으로 인한 고농도로 판단되어, 위해우려 가능성은 낮은 것으로 평가됨.</li> <li>• 모델을 활용한 예측환경농도를 이용하여 위해성을 평가한 결과 위해우려 가능성이 낮은 것으로 평가됨.</li> </ul>
	저서 생물	현시점에서 추가 위해 저감 조치 필요하지 않음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모델을 활용한 예측환경농도를 이용하여 위해성을 평가한 결과 위해우려 가능성이 낮은 것으로 평가됨.</li> </ul>
육 상 생 태 계	토양 생물	현시점에서 추가 위해 저감 조치 필요하지 않음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모델을 활용한 예측환경농도를 이용하여 위해성을 평가한 결과 위해우려 가능성이 낮은 것으로 평가됨.</li> </ul>

## 1장. 일반물질정보

### 1절. 화학물질의 식별정보

붕산나트륨(Disodium tetraborate, anhydrous)과 관련된 일반물질정보는 표 1-1과 같다.

표 1-1. 붕산나트륨의 식별정보

화학물질명	붕산나트륨(Disodium tetraborate, anhydrous)
IUPAC명	Sodium tetraborate, anhydrous
CAS No.	1330-43-4
KE No.	KE-12384
분자식	$B_4Na_2O_7$
분자량	201.22 g/mol
구조식	
동의어	Anhydrous borax; Sodium tetraborate; Boron sodium oxide ( $B_4Na_2O_7$ ); Boric acid ( $H_2B_4O_7$ ), Disodium salt; Sodium borate, Borax, fused

### 2절. 순도, 불순물 등

현재까지 붕산나트륨의 순도, 불순물 정보는 확인되지 않았다.

### 3절. 물리·화학적 특성

붕산나트륨의 물리·화학적 특성은 표 1-2과 같다.

표 1-2. 붕산나트륨의 물리·화학적 특성

구분	특성	비고
외관	백색 무취의 결정형 고체 가루 또는 공기 접촉 시 불투명해지는 유리판	Cordia JA et al., 2003
녹는점/어는점	>1,000 °C	Cordia JA et al., 2003
끓는점	-	국립환경과학원 고시 제2017-11호 별표 2에 따라 300 °C 초과 온도에서 녹거나 끓기 전에 분해되는 고체
상대밀도	$D_4^{23} = 2.35$	Spruit WET et al., 2005
증기압	-	국립환경과학원 고시 제2017-11호 별표 2에 따라 녹는점이 300 °C를 초과하는 물질
물 용해도	49.74 g/L(at 20 °C)	Cordia JA et al., 2003
옥탄올-물 분배계수	-	국립환경과학원 고시 제2017-11호 별표 2에 따라 무기물
점도	-	결정형 고체
입도분석	$d_{50} = 29.131 \mu m$	Younis S, 2010
해리상수	$pK_a = 8.94(at 20 °C)$	Younis S, 2010
인화성	인화성 아님	EC, 2007
폭발성	폭발성 아님 분자 내에 반응성 있거나, 불안정한 그룹이 존재하지 않음	EC, 2007
산화성	산화성 아님	EC, 2007

## 4절. 분류

### 1. 물리적 위험성

붕산나트륨의 물리적 위험성에 대한 분류 항목은 없었다.

### 2. 환경 유해성

붕산나트륨은 환경 유해성에 대한 분류 항목은 없었다.

### 3. 인체 건강 유해성

붕산나트륨과 관련된 인체 건강 유해성은 표 1-3과 같다.

표 1-3. 붕산나트륨의 인체 건강 유해성

유해성 항목	구분	구분 근거	비고
심한 눈 손상/자극성	2	- 자극성 있음 : 가역적인 각막 질병, 각막 혼탁, 눈 충혈, 눈 부종 결막 충혈/부종 평균 2 이상 * read-across : Disodium tetraborate pentahydrat	Cerven, 2000; Doyle, 1989
생식독성	1(1B)	- 생식독성 : 랫드, 경구, 2년 NOAEL=3,080 ppm (155 mg/kg/day) 고환 및 상피세포 위축, 정세관 변성 및 크기 감소  랫드, 경구, 30일 또는 60일 LOAEL=500 ppm B (25 mg B/kg/day) LDX-X 및 효소활성 증가, 정자세포 및 피부 형성세포의 현저한 손실, 고환 위축, FSH 증가(30일) 1,000 ppm B 용량부터 고환 및 간 중량 감소(60일)	Weir and Fisher, 1972; Dixon et al., 1979

## 2장. 노출평가를 위한 일반 정보

### 1절. 제조(생산)

붕산나트륨은 미국, 붕산 칼슘(Calcium borate)은 터키에서 주로 공급된다. 붕사5수화물(Borax pentahydrate) 및 붕사10수화물(Borax decahydrate)은 붕산나트륨을 녹여 재결정하여 제조된다. 무수화물은 수화물 형태로부터 만들어진다.

현재, 국내에 등록된 화학물질의 정보에 따르면, 붕산나트륨은 국내에서 제조되지 않으며, 전량 수입하여 사용하는 것으로 나타난다.

표 2-1. 붕산나트륨의 제조·수입 현황

(단위 : 톤/년)

물질명	제조	수입	합계	비고
Disodium tetraborate, anhydrous	-	40,445.5	40,445.5	'18년 업체등록자료

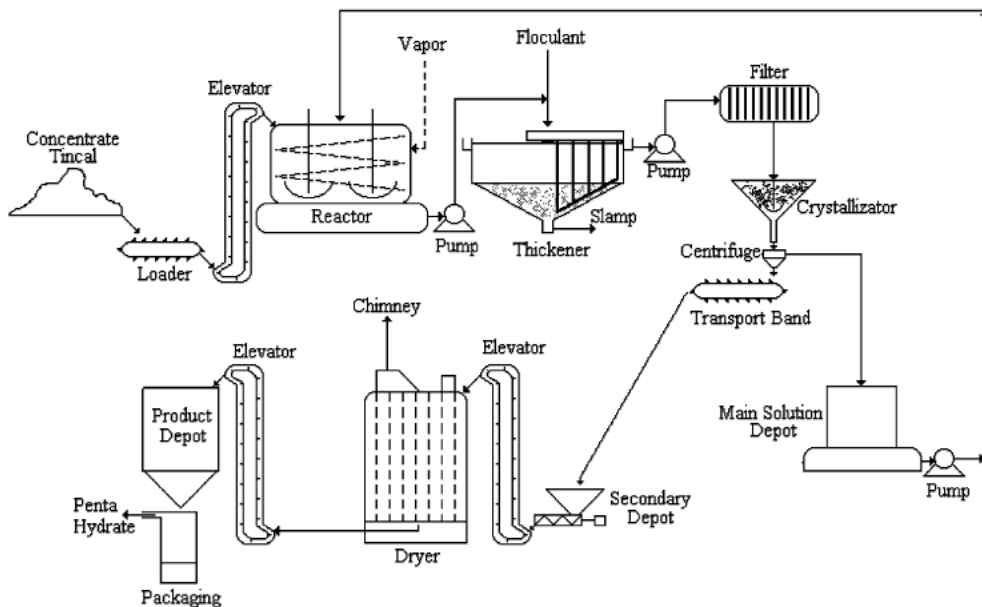


그림 2-1. 붕산나트륨의 생산 공정(Boncukcuoğlu R. et al., 2003)



붕산나트륨이 생산되는 과정을 공정 그림 2-1을 통해 살펴보면, 붕산나트륨의 원료가 되는 tincal(천연붕사)을 분해하여 생산하는 것을 알 수 있다. 우선, 작은 조각으로 부순 후 그중 큰 입자들을 채로 거르면, 구성성분이 5.20% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 43.20% CaO, 22.45% SiO<sub>2</sub>, 29.15% 점토 그리고 그 외 물질로 이루어진 시료를 만들 수 있다. 실험은 대기압, 상온 조건의 반응기에서 기계식 교반기로 섞어서 진행되고, pH 미터로 반응 중 pH를 기록한다. 반응 시작 시점의 온도는 298 K, pH는 4이고, 20분간 반응이 진행된 후에 H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>-HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> 완충계로 인해 pH는 약 2.5로 떨어지고 유지된다. 다른 온도 조건에서 실시된 실험에서도 유사한 pH 변화가 관찰되었다. 그리고 0.0003 m<sup>3</sup>의 증류수를 반응기에 주입하고 설정 실험 온도의 SO<sub>2</sub>로 채워준다. 포화 상태 유지를 위해 반응 중에는 일정한 유속으로 SO<sub>2</sub>가 흘러가도록 하고, 정량의 tincal을 넣어준다. 그리고 반응기 내 물질을 걸러주고, 체적 및 비색 분석으로 필터 내 CaO와 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 확인한다(Boncukcuoğlu R. et al. 2003).

## 2절. 사용(용도)

붕산나트륨은 다양한 화학제품(산업재)을 제조하기 위한 접착제/결합제, 건축용 물질 및 첨가제, 내화/방연제 및 난연제, 연료 첨가제, 중간체, 윤활유 및 첨가제, pH 조절제 등으로 사용되며, 전량 국외로부터 수입하고 있다. 특히, 붕산 및 기타 붕산염은 화장품 및 기타 개인 위생용품에 포함되어 소비자 제품과 세제에도 사용될 수 있다.

또한 붕산염은 모든 식물에 필수적인 요소로, 비료로 사용하면 작물 수확량과 품질이 향상된다.

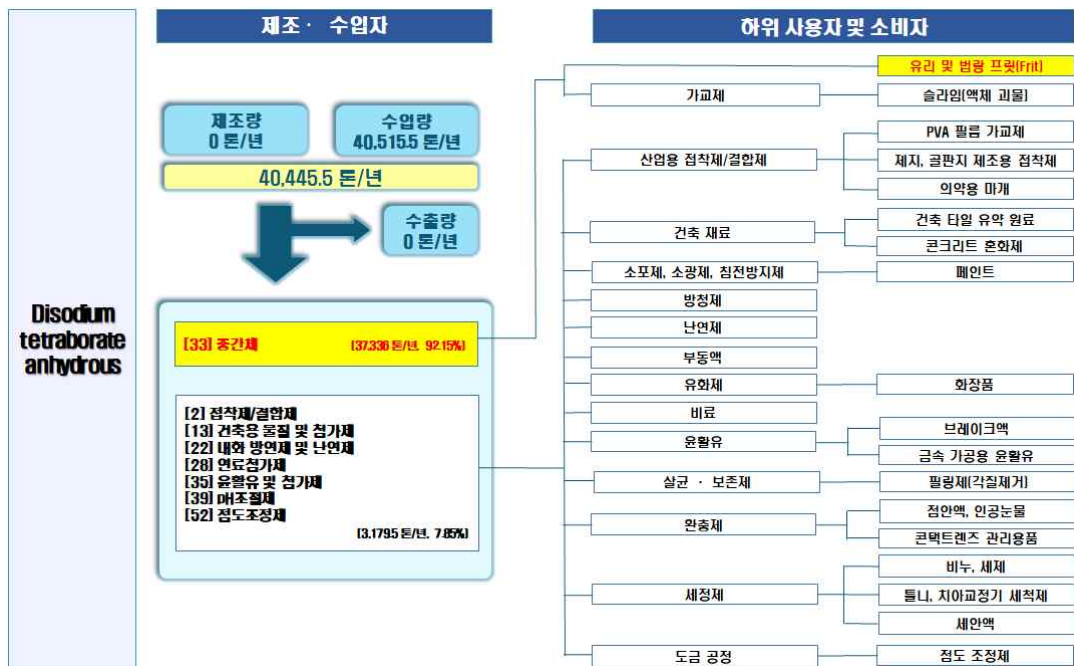


그림 2-2. 붕산나트륨의 하위 사용자 용도

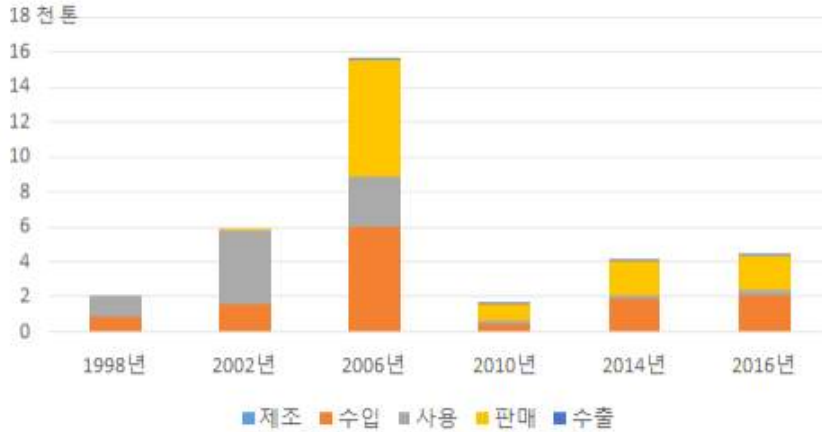


그림 2-3. 붕산나트륨의 연도별 국내 취급량 현황

표 2-2. 국내에서 보고된 붕산나트륨의 산업적 용도

구분	용도 분류	구체적인 용도에 관한 설명
산업적 사용	접착제 및 결합제 (UC 2)	골판지 등의 제조 시 접촉면의 접착제로 사용
산업적 사용	건축용 물질 및 첨가제 (UC 13)	연속 주조용 내화 제품을 제조할 때 소결제로 사용
산업적 사용	내화 방연제 및 난연제 (UC 22)	건축용 페인트, 접착제, 플라스틱, 윤활유, 방청제 제조 시 난연제로 사용
산업적 사용	연료 첨가제 (UC 28)	연소효율을 촉진하기 위해 사용
산업적 사용	중간체 (UC 33)	유리 및 유리 프릿(frit) 제조 시 중간체로 사용
산업적 사용	윤활유 및 첨가제 (UC 35)	마찰을 줄이기 위한 윤활유 및 첨가제로 사용
산업적 사용	pH 조절제 (UC 39)	도금 공정 시 pH 조절제로 사용
산업적 사용	점도 조정제 (UC 52)	코팅 본 처리의 염욕제로 사용

표 2-3. 용도 및 업종별 붕산나트륨의 취급량

용도별	제조	수입	구매	사용	판매	수출
[10]착색제(Colouring agents)	0.0	0.4	1.1	158.3	0.4	1.1
[55]기타(Others)	0.1	1,291.9	115.0	95.1	1,304.8	0.5
[22]내화/방연제 및 난연제 (Flame retardants and Fire preventing agents)	0.0	19.6	0.0	32.9	0.0	0.0
[49]안정제(Stabilizers)	0.0	0.0	18.9	18.8	0.0	0.0
[35]윤활유 및 첨가제 (Lubricants and additives)	0.0	287.4	38.8	15.2	2.5	25.4
[2]접착제/결합제 (Adhesive, Binding agents)	0.0	28.5	92.9	6.0	115.1	0.0
[14]부식방지제 (Corrosion inhibitors)	0.0	6.2	6.0	5.1	7.2	0.0
[1]흡수 및 흡착제 (Absorbents and Adsorbents)	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0
[17]전기도금제 (Electroplating agents)	0.0	1.1	2.0	0.8	2.6	0.0
[50]계면활성제/표면활성제 (Surface-active agents)	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0
[19]비료(Fertilizers)	0.0	0.0	45.7	0.3	45.4	0.0
[47]연화제(Softners)	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0
[34]실험실용 물질 (Laboratory chemicals)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0
[51]탄닌제(Tanning agents)	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0
[12]전도제(Conductive agents)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
[54]용접제 (Welding and Soldering agents)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
[6]접착방지제(Anti-set-off and Anti-adhesive agents)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
[9]세정 및 세척제 (Cleaning/ Washing agents)	0.0	0.8	0.0	0.1	1.0	0.0
[13]건축용 물질 및 첨가제 (Construction materials additives)	0.0	478.0	0.0	0.0	478.0	0.0
[20]충진제(Fillers)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
[24]주물용 용(融)제 (Flux agents for casting)	0.0	0.0	1.1	0.0	1.1	0.0
[42]사진현상재료 등 광화학물 (Photo chemicals)	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0
[46]반도체용 물질 (Semiconductors)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
[5]부동액 (Anti-freezing agents)	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>합 계</b>	<b>0.1</b>	<b>2,114.4</b>	<b>323.8</b>	<b>335.0</b>	<b>1,958.8</b>	<b>27.1</b>

(단위: ton/년)

업종별	제조	수입	구매	사용	판매	수출
전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	0.0	0.0	0.9	159.2	0.0	0.0
비금속 광물 제품 제조업	0.0	19.6	40.0	73.7	0.0	0.0
화학물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외	0.1	7.3	64.5	63.2	15.7	0.0
1차 금속 제조업	0.0	248.2	11.2	13.3	0.2	0.0
금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외	0.0	2.2	9.3	10.4	0.0	0.0
펄프, 종이 및 종이 제품 제조업	0.0	0.0	5.9	6.0	0.0	0.0
기타 운송장비 제조업	0.0	0.0	5.4	5.4	0.0	0.0
자동차 및 트레일러 제조업	0.0	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0
비금속광물 광업; 연료용 제외	0.0	0.0	20.4	1.2	21.4	0.0
가죽, 가방 및 신발 제조업	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0
코크스, 연탄 및 석유 정제품 제조업	0.0	0.1	0.5	0.5	0.2	0.0
도매 및 상품중개업	0.0	1,655.5	163.1	0.0	1,771.3	26.5
고무 제품 및 플라스틱제품 제조업	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0
소매업; 자동차 제외	0.0	145.3	0.0	0.0	145.4	0.0
기타 제품 제조업	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5
기타 기계 및 장비 제조업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
육상운송 및 파이프라인 운송업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
자동차 및 부품 판매업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
창고 및 운송 관련 서비스업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
항공 운송업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>합 계</b>	<b>0.1</b>	<b>2,114.4</b>	<b>323.8</b>	<b>335.0</b>	<b>1,958.8</b>	<b>27.1</b>

그리고 ECHA 보고서에 있는 2007년 붕산나트륨(과붕산나트륨 포함) 사용에 대해 조사된 자료(Austria, 2008)를 보면 ‘유리와 세라믹’ 분야에 65%의 붕산나트륨이 사용되고 있고, 그다음으로는 ‘세제’에 23% 비율로 많은 양이 사용되고 있다고 나와 있다. 이 밖에도, ‘다양한 화학적 효과’, ‘생물학적 분야’, ‘난연제’, ‘산업용 유체’, ‘야금’ 등의 분야에 사용되고 있는 것으로 나와 있다(표 2-4).

표 2-4. 붕산나트륨의 사용 분야 (과붕산나트륨(perborate) 포함) (Austria, 2008)

붕산나트륨의 최종 사용 분야	상대적 사용 비율 (%)
유리와 세라믹	65
세제	23
다양한 화학적 효과	5
생물학적 (농업, 목재 보존)	4
난연제	1
산업용 유체	1
야금	1

2008년 기준으로 붕산나트륨의 세 종류인 무수화물, 5수화물, 10수화물의 사용 분야와 각각의 사용량을 비교한 자료가 있다(IMA-Europe, 2009). 이 자료에서 여러 분야에 사용되는 총량을 비교해보면 5수화물은 335,694 톤으로 17,875 톤의 무수화물과 19,312 톤의 10수화물에 비해 많은 양이 사용되고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 무수화물과 5수화물은 각각 69.7%, 56.0%를 ‘유리, 유리 섬유, 내화 벽돌’ 분야에, 10수화물은 ‘접착제’ 분야에 52%를 사용하고 있는 것으로 나와 있다.

표 2-5. 2008년 기준 봉산나트륨의 사용 분야와 사용량 자료(IMA-Europe, 2009)

사용 분야	무수화물 (톤)	5수화물 (톤)	10수화물 (톤)
세제 및 세정제	0	68,114	849
제약	0	0	55
유리, 유리 섬유, 내화 벽돌	12,471	188,098	723
세라믹	4,155	47,961	14
야금	588	1,027	753
산업용 유체	0	3,357	734
접착제	0	108	10,044
난연제	61	5,871	2,482
농업	336	14,324	1,159
화학물질, 완충용액	0	5,778	2,000
기타 사용	264	1,055	499
총량 (톤)	17,875	335,694	19,312
총량 (톤, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 기준)	12,334	164,490	7,049

### 3절. 배출 및 폐기

배출에 대해 붕산나트륨의 경우 붕산나트륨 물질에 대해서만 조사된 자료는 없고, 붕소(B, Boron)와 붕소화합물을 같이 조사한 자료만 있어서 그 자료를 이용하였다. 국내 화학물질 배출·이동량 통계에 따르면 2002~2018년까지 붕소 및 붕소화합물의 환경으로 배출되는 연간 총량은 3,312~166,868 kg으로 2017년을 제외하고는 모두 10 톤 이하로 나타났다(그림 2-3~4, 표 2-6). 최신 자료인 2018년은 국내 배출업체는 88개이며, 연간 총배출량이 88,803 kg(대기 : 67,319 kg, 수계 : 21,484 kg)이었다.

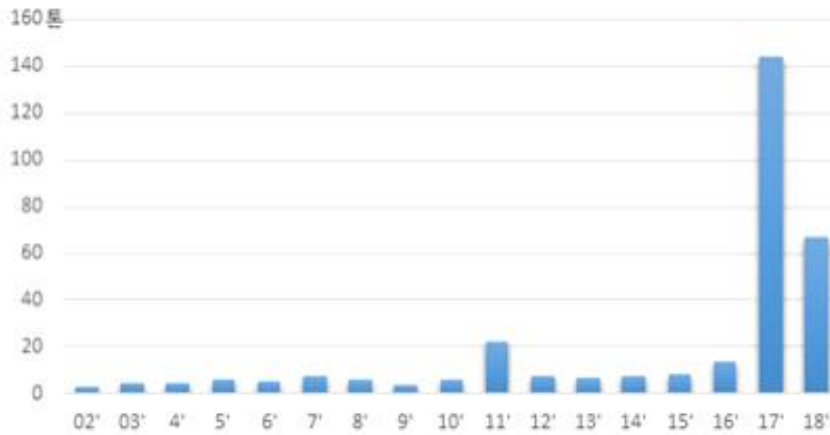


그림 2-4. 붕소 및 붕소화합물의 연도별 국내 대기 배출량 현황

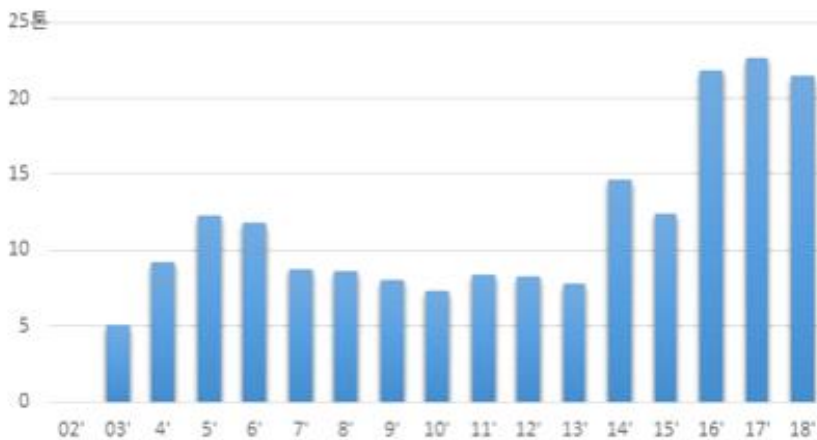


그림 2-5. 붕소 및 붕소화합물의 연도별 국내 수계 배출량 현황



표 2-6. 붕소 및 붕소화합물의 배출·이동량

(단위 : kg/년)

년 도	업체 수	대기 배출량	수계 배출량	토양 배출량	배출량	자가 매립량	폐수 이동량	폐기물 이동량	이동량
2002	4	3,312	0	0	3,312	0	80	254,574	254,654
2003	8	4,199	5,100	0	9,299	0	33,022	1,084,363	1,117,385
2004	34	4,848	9,223	0	14,071	11,426	122,378	1,598,334	1,720,712
2005	39	5,986	12,284	0	18,270	698,114	64,731	2,173,746	2,238,477
2006	44	5,149	11,758	0	16,907	425,909	106,421	2,730,054	2,836,475
2007	57	7,474	8,756	0	16,230	467,000	170,845	3,299,502	3,470,347
2008	63	5,779	8,662	0	14,441	597,471	186,354	2,630,916	2,817,270
2009	56	3,928	8,055	0	11,983	250,110	187,478	1,704,865	1,892,343
2010	55	6,248	7,272	0	13,520	251,251	272,083	1,919,349	2,191,432
2011	70	22,473	8,335	0	30,808	89,470	252,560	2,451,904	2,704,464
2012	69	7,383	8,229	0	15,612	31,440	191,210	1,961,655	2,152,865
2013	82	6,918	7,793	0	14,711	44,740	104,812	1,795,072	1,899,884
2014	75	7,818	14,658	0	22,477	28,583	114,802	2,658,415	2,773,217
2015	69	8,736	12,450	0	21,186	21,203	156,553	3,107,210	3,263,762
2016	73	13,727	21,852	0	35,579	25,155	153,502	2,305,204	2,458,706
2017	80	144,273	22,596	0	166,868	98,644	138,801	1,821,228	1,960,029
2018	88	67,319	21,484	0	88,803	26,982	139,255	1,819,362	1,958,616

폐기에 대해 붕산나트륨의 국내 소비자 용도에 관한 자료는 보고되어 있지 않으며, 산업적 사용에 따른 산업적 폐기만 이루어진다. 산업적 폐기는 공정에서 발생한 붕산나트륨 폐기물은 폐기물관리법에 따라 지정폐기물로 분류되어 폐유독물질을 처리하고 있다. 그러나 국외 자료들에 따르면 붕산 및 붕산염의 다양한 기능으로 인하여 소비자 제품에 붕소(Boron)가 함유되어 있을 수 있다.

## 4절. 관리법규

### 1. 국내 규제현황

붕산나트륨은 환경부 관련 법률 중 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률(화평법)상 중점 관리물질이며, 화학물질 관리법(화관법)상 유독물질로 지정되어 현행법상 해당 물질에 대한 위해성을 관리받고 있다. 이 외에도, 대기환경보전법, 먹는물수질기준, 폐기물관리법, 생활 화학제품 및 살생물제의 안전관리에 따라 관리받고 있다. 또한, 고용노동부의 산업안전보건법, 산업통상자원부의 어린이 제품 안전 특별법과 식약처의 화장품법에 따라서도 관리받고 있다.

표 2-7. 붕산나트륨의 국내 규제현황

부처	법률	구분	주요 내용
환경부	화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률	유독물질 [2020-1-998]	• 유독물질의 지정고시 사붕산 이나트륨 및 이를 0.3 % 이상 함유한 혼합물
		중점관리물질	• 중점관리물질의 지정 CMR 물질
		등록대상기준화학물질	• 등록대상기준화학물질 사붕산 이나트륨
	대기환경보전법	대기오염물질	• 대기환경보전법 시행규칙 붕소화합물
	먹는물관리법	건강상 유해영향 무기물질	• 먹는 물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙 붕소(B) 1.0 mg/L 이하
	폐기물관리법	지정폐기물	• 폐기물관리법 시행령 폐유독물질
	생활 화학제품 및 살생물제의 안전관리에 관한 법률		• 안전 확인 대상 생활 화학제품 지정 및 안전·표시 기준
특수목적 코팅제			- 붕사(보락스) : 제품 내 사용 가능 보존용 물질
목재용 보존제			- 붕산나트륨 : 제품 내 사용 가능한 살생물 물질
탈취제			- 붕소산 사나트륨염 : 제품 내 함유 금지물질

부처	법률	구분	주요 내용
		방향제	- 붕소산 사나트륨염 : 제품 내 함유 금지물질
		초	- 붕소산 사나트륨염 : 제품 내 함유 금지물질
고용노동부	산업안전보건법	노출 기준 설정 물질 [244]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화학물질 및 물리적 인자의 노출 기준 TWA : 1 mg/m<sup>3</sup></li> </ul>
산업통상자원부	어린이제품 안전특별법	완구재질로부터 붕소의 용출 허용 기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안전확인대상 어린이제품의 안전기준</li> <li>- 건조한, 부서지기 쉬운, 가루 형태의 재질 또는 유연한 재질 : 1,200 mg B/kg</li> <li>- 액체 또는 끈적끈적한 재질 : 300 mg B/kg</li> <li>- 긁어낼 수 있는 재질 : 15,000 mg B/kg</li> </ul>
식약처	화장품법	사용상의 제한이 필요한 원료	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화장품 안전기준 등에 관한 규정 보레이트류 (소듐보레이트, 테트라보레이트) : 밀랍, 백납 유화의 목적으로 사용 시 0.76% (이 경우, 밀랍, 백납 배합량의 1/2을 초과할 수 없다) 기타 목적에는 사용 금지</li> </ul>

## 2. 국외 규제현황

유럽에서는 붕산나트륨을 SVHC(고위험성 물질, Substances of very high concern) 후보물질로 지정하고, 먹는 물 수질기준은 1 mg B/L로 설정하였다. 그리고 장난감에는 사용 금지 물질로 설정하고 완구의 재질에 따라 붕소 용출 허용기준을 설정하였으며, 화장품 내 함량 제한물질로 목욕 제품에는 최대 18%, 모발용 제품에는 최대 8%로 제한하였다.

미국에서는 붕산나트륨 물질에 대한 작업 환경 노출 기준을 ACGIH(미국 산업위생 전문가협회, America Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서 노출허용한계값(TLV, Threshold Limit Values)을 시간가중평균농도(TWA, Time Weighted Average concentration) 2 mg/m<sup>3</sup>(8시간), NIOSH(미국 국립 직업 안전 위생연구소, National Institute for Occupational Safety & Health) REL(권장노출한계, Recommended Exposure Limit)-TWA 1 mg/m<sup>3</sup>(8시간), OSHA(직업 안전 건강 관리청, Occupational Safety and Health Administration) PEL(허용노출한계, Permissible Exposure Limit)-TWA 10 mg/m<sup>3</sup>(8시간)로 규정하고 있다. 그리고 먹는 물 기준은 지역에 따라 0.6~1.4 mg B/L로 적용되고 있다.

일본의 산업안전보건법에서 붕산 및 관련 나트륨염 물질에 관해 규정하고 있다(Range of Application for Label ≥ 1%, Range of Application for SDS ≥ 0.1%). 또한, 일본의 수질오염방지법에 따라 붕소 및 관련 염 화합물은 유해 물질로 분류되며, 해당 물질에 대한 배출기준은 10 mg B/L (담수), 230 mg B/L (해수)로 설정되어 있다. 그리고 일본의 토양오염방지법에 따라 붕소 및 관련 염 화합물은 Class 2로 분류되며, 토양침출수 기준은 1 mg B/L로 설정되어 있고, 토양 농도 기준은 4,000 mg B/kg이다.

캐나다에서는 붕소화합물의 작업 환경 노출 기준을 TWA 2 mg/m<sup>3</sup>, STEL (단시간노출기준, Short-term Exposure Limit) 6 mg/m<sup>3</sup>으로 설정하였다.

표 2-8. 붕산나트륨의 국외 규제현황

국가	주요 내용
유럽	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 먹는 물 기준(1 mg B/L)</li> <li>- SVHC 후보물질 : CMR 물질</li> <li>- BPR (Biocidal Products Regulation) (살생물제법) 살생물제 (Biocidal products), 살생물 활성물질 (Biocidal active substances)</li> <li>- 완구 재질 붕소 용출 허용기준 건조한 부서지기 쉬운 가루 형태의 재질 또는 유연한 재질 : 1,200 mg B/kg 액체 또는 끈적끈적한 재질 : 300 mg B/kg 굽어낼 수 있는 재질 : 15,000 mg B/kg</li> <li>- 화장품 내 함량 제한물질 목욕 제품 : 18% 도발용 제품 : 8%</li> <li>- 장난감 내 사용 금지 물질</li> </ul>
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작업 환경 노출 기준(1~10 mg/m<sup>3</sup>) ACGIH TLV : TWA 2 mg/m<sup>3</sup> NIOSH REL : TWA 1 mg/m<sup>3</sup> OSHA PEL : TWA 10 mg/m<sup>3</sup></li> <li>- 먹는 물 기준 연방 : 0.6 mg B/L 캘리포니아 : 1 mg B/L 뉴햄프셔 : 0.63 mg B/L 마인 : 1.4 mg B/L 미네소타 : 1 mg B/L 위스콘신 : 0.96 mg B/L</li> <li>- 미연방 살충·살균·살서제법 (FIFRA, Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act) 살충제, 살진균제, 제초제에 사용</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 산업안전보건법 Range of Application for Label ≥ 1% Range of Application for SDS ≥ 0.1%</li> <li>- 수질오염방지법 배출기준 : 담수 - 10 mg B/L, 해수 - 230 mg B/L</li> <li>- 토양오염방지법 토양침출수 기준 : 1 mg B/L 토양 농도 기준 : 4,000 mg B/kg</li> </ul>
캐나다	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작업 환경 노출 기준 Ministry of Labour, Training and Skills Development : Borate compounds, Inorganic [CAS No. 1303-96-4; 1330-43-4; 10043-35-3; 12179-04-3] TWA 2 mg/m<sup>3</sup> STEL 6 mg/m<sup>3</sup></li> </ul>

### 3장. 인체위해성평가

#### 1절. 유해성 확인

##### 1. 독성동태, 대사 및 분포

###### 가. 흡수

붕산나트륨의 독성동태는 동물 및 인체를 대상으로 연구되었다. 이 연구들은 주로 붕산나트륨 노출 후 혈액, 요 중 붕산나트륨 중 붕소 원소의 농도를 측정함으로써 이루어졌다. 아래에 주요 연구 결과를 요약하였다.

###### 인체

인체를 대상으로 수행된 붕산나트륨의 흡수 동태 연구가 보고되어 있다.

직업적으로 공기 중의 붕산나트륨에 3.3~18 mg/m<sup>3</sup>의 농도로 노출된 노동자의 혈액과 요에서 붕소가 검출되었고, 이를 통해 호흡기를 통해서 붕산나트륨이 흡수됨이 확인되었다(Culver et al., 1993; 1994). 인체에 붕산나트륨의 경피 노출 후 요로 붕소류가 배설되지 않았으며, 이는 흡수가 이루어지지 않거나 그 정도가 매우 미미함을 의미한다(Beyer et al., 1983; Hui et al., 1996; Wester et al., 1998).

인체의 등 피부 900 cm<sup>2</sup>(30 cm × 30 cm)에 붕산, 붕산나트륨, 옥타붕산이나트륨(Disodium octaborate)의 경피 노출 후 산출된 흡수율과 흡수 속도는 표 3-1과 같이 보고되었으며, 피부에 2% 로릴 황산나트륨(sodium lauryl sulfate)을 피부에 전처리한 때도 모든 파라미터는 통계적 차이를 나타내지 않았다(Hui et al., 1996; Wester et al., 1998).

표 3-1. 붕산류의 경피노출 시 흡수율 및 투과속도

물질	흡수율(%)	투과속도(μg/cm <sup>2</sup> /hr)	투과 계수(cm/hr)
Boric acid (5%)	0.226	0.00912	1.9 x 10 <sup>-7</sup>
Disodium tetraborate decahydrate (5%)	0.210	0.00855	1.8 x 10 <sup>-7</sup>
Disodium octaborate tetrahydrate (10%)	0.122	0.00975	1.0 x 10 <sup>-7</sup>

## 동물

현재까지 동물에 대한 붕산나트륨의 흡수 자료는 확인되지 않았다.

## 나. 분포

### 인체

인체에 붕산나트륨 노출 시 혈액 및 요를 통한 붕소의 시간에 따른 농도를 산출한 결과에 따르면 연조직에서의 축적은 없는 것으로 확인되었다 (Culver et al., 1993; 1994).

### 동물

현재까지 동물에 대한 붕산나트륨의 분포 자료는 확인되지 않았다.

## 다. 대사

현재까지 붕산나트륨에 대한 대사 자료는 확인되지 않았다.

## 라. 배출

### 인체

현재까지 인체에 대한 붕산나트륨의 배출 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

수컷 랫드에서 붕산나트륨의 신체 표면적에 대한 청소율은 요로 배설된 붕소의 측정을 통해 산출되었고, 그 값은 40 mL/min/1.73 m<sup>2</sup>로 확인되었다 (Usuda et al., 1998).

## 2. 급성독성

### 가. 경구

#### 인체

현재까지 인체에 대한 붕산나트륨의 급성 경구 독성 자료는 확인되지 않았다.

#### 동물

Denton (1996)은 LD<sub>50</sub>이 2,000 mg/kg 이상인지 확인하기 위해 OECD test guideline(OECD TG) 401을 준수하여 붕산나트륨을 1,600, 2,500 mg/kg 농도로 랫드에 경구를 통하여 노출했다. 1,600 mg/kg(344 mg B/kg)에서는 독성 증상이 나타나지 않았으며, 2,500 mg/kg(538 mg B/kg)을 경구투여한 랫드 한 마리에서 입모 현상이 나타났으나, 2일째 회복되었다. 2,500 mg/kg 농도까지는 LD<sub>50</sub>이 확인되지 않았다.

Denton (1996)의 이전 연구로써 Denton (1995)은 200, 2,000 mg의 붕산나트륨을 경구투여한 랫드에서 급성 독성영향을 보고하였다. 2,000 mg/kg(430 mg B/kg)에서 5마리의 수컷 랫드 중 2마리가 사망하였으며, 부드러운 대변, 생식기 부위의 오염, 무기력, 구부러진 자세, 안검하수, 저체온증 등의 증상이 관찰되었다. 생존 개체에서는 부드러운 대변, 생식기 부위의 오염, 구부러진 자세 등의 증상이 나타났다. 200 mg/kg(43 mg B/kg)에서는 사망한 개체가 없었다. 수컷 랫드에서의 LD<sub>50</sub>은 200 mg/kg 이상, 암컷 랫드에서의 LD<sub>50</sub>은 2,000 mg/kg 이상으로 기술하였다. 그러나 수컷 랫드의 LD<sub>50</sub> 값에 대한 검토가 불가능하여 매우 제한적인 연구 결과로 판단된다.

Reagan and Becci (1985a)는 랫드에 다양한 농도의 붕사5수화물을 경구투여한 후 LD<sub>50</sub>을 산출하였다. 암컷에서의 LD<sub>50</sub>은 3,225 mg/kg(95% CL, 2,007~4,443 mg/kg), 수컷에서의 LD<sub>50</sub>은 3,401 mg/kg(95% CL, 2,056~4,746 mg/kg)으로, 이를 종합하면 3,305 mg/kg(95% CL, 2,403~4,207 mg/kg)의 LD<sub>50</sub>이 산출되었다.

Meyding and Foghian (1961)은 랫드에 다양한 농도의 붕사10수화물을 경



구 투여한 후 LD<sub>50</sub>을 산출하였다. 운동능력 저하와 중추신경 억제 작용이 나타났으며, LD<sub>50</sub>은 5,560 mg/kg으로 결정되었다.

Weir and Fisher (1972)는 두 종류의 랫드 및 개에서 급성 경구 독성 LD<sub>50</sub>을 보고하였다. 다양한 농도의 붕사10수화물은 SD 랫드에서 4,740 mg/kg(수컷, 4,500 mg/kg; 암컷, 4,980 mg/kg), Long Evans 랫드에서 6,080 mg/kg의 LD<sub>50</sub>를 나타냈다. SD 랫드의 경우 암컷과 수컷이 모두 사용되었지만, Long Evans 랫드는 수컷만 사용되었다. 두 종류의 랫드 모두에서 노출농도에 따른 사망 개체 수는 확인할 수 없었다. 개를 이용한 실험에서는 군당 마릿수, 시험농도의 개수 등의 구체적인 시험정보가 기술되어 있지 않았고, 최고 농도(6,510 mg/kg)까지 사망 개체가 없어 LD<sub>50</sub>을 산출할 수 없었다.

표 3-2. 붕산나트륨에 대한 급성 경구 독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<b>Disodium tetraborate anhydrous</b>			
시험 종: CrI:CD.BR rat 성별: 수컷 동물 수: 5마리/군 노출 경로: 위관 투여 노출농도: 1,600, 2,500 mg/kg (344, 538 mg B/kg)	입모현상	LD <sub>50</sub> > 2,500 mg/kg	Denton, 1996 cited in EC, 2007
시험 종: Rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 5마리/군 노출 경로: 위관 투여 노출농도: 200, 2,000 mg/kg (43, 430 mg B/kg)	부드러운 대변, 생식기 부위 오염, 무기력, 구부러진 자세, 안검하수, 저체온증	LD <sub>50</sub> > 200 mg/kg (수컷) > 2,000 mg/kg (암컷)	Denton, 1995 cited in EC, 2007
<b>Disodium tetraborate pentahydrate</b>			
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 5마리/군 노출 경로: 위관 투여 노출농도: 1,000, 1,495, 2,236, 3,344, 5,000 mg/kg	운동실조, 설사, 경련	LD <sub>50</sub> 3,305 mg/kg	Reagan and Becci, 1985a cited in EC, 2007

방법	증상	독성값	비고
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>			
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 수컷 동물 수: 10마리/군 노출 경로: 위관 투여 노출농도: 4,000, 4,500, 5,000, 5,500, 6,000, 6,500, 7,000 mg/kg	침체, 설사, 운동실조, 눈물, 안검하수	LD <sub>50</sub> 5,560 mg/kg	Meyding and Foglhian, 1961 cited in EC, 2007
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 5마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 2,000, 2,520, 3,160, 3,980, 5,010, 6,310 mg/kg	침체, 운동실조, 경련	LD <sub>50</sub> 4,740 mg/kg	
시험 종: Long-Evans rat 성별: 수컷 동물 수: 5마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 2,000, 2,520, 3,160, 3,980, 5,010, 6,310 mg/kg	침체, 운동실조, 경련	LD <sub>50</sub> 6,080 mg/kg	Weir and Fisher, 1972
시험 종: Dog 성별: 수컷 노출 경로: 경구 노출농도: 1,540~6,510 mg/kg	구토, 사망 개체 없음	LD <sub>50</sub> > 6,510 mg/kg	

## 나. 경피

### 인체

현재까지 인체에 대한 붕산나트륨의 급성 경피 독성 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

현재까지 동물에 대한 붕산나트륨의 급성 경피 독성 자료는 확인되지 않았다.

Reagan and Becci (1985b)는 붕사5수화물, Reagan and Becci (1985c)는 붕사10수화물의 급성 경피 독성에 대해 보고하였다. 두 연구에서의 LD<sub>50</sub>은 모두 2,000 mg/kg 이상으로 나타났다. 붕산나트륨에 대한 급성 경피 독성 시험은 시행되지 않았지만, 두 물질에 대한 시험 결과를 토대로 낮은 급성 경피 독성을 예측할 수 있다.

표 3-3. 붕산나트륨에 대한 급성 경피 독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<b>Disodium tetraborate pentahydrate</b>			
시험 종: New Zealand white rabbit 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 5마리/군 노출농도: 2,000 mg/kg (226 mg B/kg) 노출 기간: 24시간 시험방법: US EPA-FIFRA	-	LD <sub>50</sub> > 2,000 mg/kg	Reagan and Becci, 1985b cited in EC, 2007
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>			
시험 종: New Zealand white rabbit 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 5마리/군 노출농도: 2,000 mg/kg (226 mg B/kg) 노출 기간: 24시간 시험방법: US EPA-FIFRA	식욕부진, 설사, 부드러운 대변	LD <sub>50</sub> > 2,000 mg/kg	Reagan and Becci, 1985c cited in EC, 2007

## 다. 흡입

### 인체

현재까지 인체에 대한 붕산나트륨의 급성 흡입 독성 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

현재까지 동물에 대한 붕산나트륨의 급성 흡입 독성 자료는 확인되지 않았다.

Wnorowski (1994a)는 붕사5수화물, Wnorowski (1994b)는 붕사10수화물의 급성 흡입 독성에 대해 보고하였다. 두 연구에서의 LC<sub>50</sub>은 시험농도(약 2 g/m<sup>3</sup>) 이상으로 나타났다. 붕산나트륨에 대한 급성 흡입 독성 시험은 시행되지 않았지만, 두 물질에 대한 시험 결과를 토대로 낮은 급성 흡입 독성을 예측할 수 있다.

표 3-4. 붕산나트륨에 대한 급성 흡입 독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<b>Sodium tetraborate pentahydrate</b>			
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 5마리/군 노출 경로: Whole-body 노출농도: 2.04 g/m <sup>3</sup> 노출 기간: 4시간 시험방법: OECD TG 403	안구 분비물 발생, 활동력 저하, 우발적 행동	4h-LC <sub>50</sub> > 2.04 mg/L (0.30 mg B/L)	Wnorowski, 1994a cited in EC, 2007
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>			
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 5마리/군 노출 경로: Whole-body 노출농도: 2.03 g/m <sup>3</sup> 노출 기간: 4시간 시험방법: OECD TG 403	-	4h-LC <sub>50</sub> > 2.03 mg/L (0.23 mg B/L)	Wnorowski, 1994b

### 3. 자극성/부식성

#### 가. 피부 자극성/부식성

##### 인체

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

##### 동물

현재까지 동물에 대한 붕산나트륨의 피부 자극성/부식성 자료는 확인되지 않았다.

Reagan and Becci (1985d)는 붕사5수화물, Reagan and Becci (1985e)는 붕사10수화물의 피부 자극성에 대해 보고하였다. 두 연구에서 500 mg의 시험 물질은 모두 피부 자극성을 나타내지 않았다.

Roudabush et al. (1965)은 붕사10수화물 500 mg을 토끼 피부에 노출하고 피부 자극성을 시험하였다. 이때의 자극성 지수(Index of Primary Irritation)는 2.3으로 매우 약한 자극성을 나타냈다.

붕산나트륨에 대한 피부 자극성 시험은 시행되지 않았지만, 두 물질에 대한 시험 결과를 토대로 피부 자극성은 낮을 것으로 예측할 수 있다.

표 3-5. 붕산나트륨에 대한 피부 자극성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<b>Sodium tetraborate pentahydrate</b>			
시험 종: New Zealand White rabbit			
성별: 수컷			Reagan and Becci,
동물 수: 6마리	-	자극성 없음	1985d cited in EC,
노출 용량: 500 mg			2007
시험방법: US EPA-FIFRA			
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>			
시험 종: New Zealand White rabbit			
성별: 수컷			Reagan and Becci,
동물 수: 6마리	-	자극성 없음	1985e cited in EC,
노출 용량: 500 mg			2007
시험방법: US EPA-FIFRA			
시험 종: Rabbit			Roudabush et al.,
노출 용량: 500 mg	-	약한 자극성	1965 cited in EC,
시험방법: 21 CFR 191.11			2007

## 나. 눈 자극성/부식성

### 인체

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

산업용 아연 붕산염에 수년간 직업상 피폭된 근로자에서 눈에 어떠한 부작용도 보고되지 않았다(EC, 2007).

### 동물

현재까지 동물에 대한 붕산나트륨의 눈 자극성/부식성 자료는 확인되지 않았다.

Cerven (2000)은 붕사5수화물, Doyle (1989)은 붕사10수화물의 눈 자극성에 대해 보고하였다. Cerven (2000)의 연구에서 결막 충혈과 부종 점수는 각각 2.8, 1.89이었으며, Doyle (1989)의 연구에서 결막 충혈과 부종 점수는 각각 1.70, 2.11이었다. 두 연구에서 시험물질은 모두 눈 자극성을 나타냈다.

두 물질의 시험 결과에서 결막 충혈과 부종의 평균 점수는 각각 2.25, 2.00으로 2 이상이므로, 붕산나트륨에 대한 눈 자극성 시험은 시행되지 않았지만 눈 자극성이 있을 것으로 예측할 수 있다.

표 3-6. 붕산나트륨에 대한 눈 자극성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<b>Sodium tetraborate pentahydrate</b>			
시험 종: New Zealand white rabbit 동물 수: 6마리/군 노출 용량: 0.08 mL 시험방법: OECD TG 405 EPA OPPTS 870.2400	가역적인 각막 질병, 눈 충혈, 눈 부종	자극성 있음	Cerven, 2000 cited in EC, 2007
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>			
시험 종: New Zealand white rabbit 동물 수: 6마리 시험방법: TSCA (40 CFR 798) FIFRA (40 CFR 158, 162)	가역적인 각막 혼탁, 눈 충혈, 눈 부종	자극성 있음	Doyle, 1989 cited in EC, 2007

## 4. 과민성

### 가. 피부 과민성

#### 인체

현재까지 인체에 대한 붕산나트륨의 피부 과민성 자료는 확인되지 않았다.

#### 동물

현재까지 동물에 대한 붕산나트륨의 피부 과민성 자료는 확인되지 않았다.

Wnorowski (1994c)는 붕사5수화물, Wnorowski (1994d)는 붕사10수화물의 피부 과민성에 대해 보고하였다. 두 연구에서 시험물질은 모두 피부 과민성을 나타내지 않았다.

붕산나트륨에 대한 피부 과민성 시험은 시행되지 않았지만, 두 물질의 시험 결과를 토대로 피부 과민성이 있을 가능성은 낮을 것으로 예측할 수 있다.

표 3-7. 붕산나트륨에 대한 피부 과민성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<b>Sodium tetraborate pentahydrate</b>			
시험 종: Guinea pig 성별: 암/수컷 시험방법: OECD TG 406	-	과민성 없음	Wnorowski, 1994c cited in EC, 2007
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>			
시험 종: Guinea pig 성별: 암/수컷 시험방법: OECD TG 406	-	과민성 없음	Wnorowski, 1994d cited in EC, 2007

### 나. 호흡기 과민성

현재까지 붕산나트륨에 대한 호흡기 과민성 자료는 확인되지 않았다.

## 5. 반복투여독성

### 가. 경구

#### 인체

현재까지 인체에 대한 붕산나트륨의 반복 투여 독성 자료는 확인되지 않았다.

붕소 혹은 그 화합물의 인간에의 반복 노출(높은 수준 > 1 g)은 피부염, 탈모, 식욕 상실, 구역질, 구토, 설사, 초점 또는 중추신경계 영향이나 경련 등 한 가지 혹은 동시에 다양한 증상을 유발하였다(Directive 98/8/EC concerning the placing of biocidal products on the market, 2009).

#### 동물

붕산나트륨에 관한 많은 연구에서 주요 표적 기관은 고환과 혈액으로 나타났다. 높은 용량에서 관찰되는 다른 효과로는 빠른 호흡, 구부러진 자세, 비강 출혈, 눈의 염증, 염증, 발과 꼬리 붓기, 음식 섭취 감소, 체중 증가 등이 있다. 붕산나트륨을 사용한 시험은 정자를 교란하고 고환 관절의 변질을 유발하며 고환 위축을 유발했다. 혈액계 외적에 대한 영향, 적혈구 파괴 및 헤모글로빈 값 감소를 나타냈다.

Weir and Fisher (1972)는 랫드와 개에서 붕사10수화물(원문에서는 borax로 기술)의 아만성 및 만성독성 영향을 보고하였다. 다양한 농도의 붕사10수화물을 사료에 섞어 2년 동안 경구 투여하였을 때, 최고농도(10,300 ppm)에서는 거친 털, 구부러진 자세, 눈의 염증성 출혈, 꼬리와 발바닥의 피부 박리, 부종, 호흡기 이상, 음낭 수축 등의 임상 증상이 나타났다. 또한 최고농도 노출 군에서 적혈구 파괴 및 헤모글로빈 감소가 관찰되었다. 또한 고환 위축, 정세관 퇴화가 나타났다. NOAEL은 3,080 ppm으로 결정되었으며, 이를 붕소 등가 용량으로 환산하면 17.5 mg B/kg/day였다.

Weir and Fisher (1972)는 랫드에 90일 동안 다양한 농도의 붕사10수화물을 사료에 섞어 경구 투여하였다. 525 ppm B와 1,750 ppm B 처리 군에서 고환 위축이 관찰되었다. 525 ppm B 처리 군에서 정자생성 억제가 관찰되었



다. 암컷 대부분은 난소에서 배란 감소가 일어났다.

Weir and Fisher (1972)의 자료에서 개에 90일 동안 다양한 농도의 붕사10수화물을 사료에 섞어 경구 투여하였을 때, 장기의 상대 중량 변화, 고환 위축, 적혈구 파괴 등의 독성 증상이 관찰되었다.

Weir and Fisher (1972)는 개에 2년 동안 다양한 농도의 붕사10수화물을 사료에 섞어 경구 투여하였다. 350 ppm B 이하의 용량에서는 장기/신체 비율이 대조군과 비슷한 수준이었으며, 고환에서의 변화 또한 나타나지 않았다. 따라서 추가로 고용량(1,170 ppm B) 시험을 진행하였고, 고환 위축, 정자 생성 정지, 고환 변성 등의 생식독성 영향이 관찰되었다. 독성 반응이 확인되어 추가적 고용량 시험은 종결하였다. NOAEL은 350 ppm B(10.9 mg B/kg/day)로 결정되었다. 원문에는 붕소로 환산한 농도만을 제시하여 붕산나트륨의 정확한 농도의 확인이 불가능하였으며, 하루 사료 섭취량 및 동물 체중을 고려한 섭취량도 제시되어 있지 않았다.

Dixon et al. (1979)은 30일 혹은 60일 동안 식수에 붕사10수화물(원문에서는 borax로 기술)을 다양한 농도로 혼합하여 랫드에 경구 투여하였다. 원문에서 붕사10수화물의 노출농도를 확인할 수는 없었다. 500 ppm B 이상의 농도에서 30일, 60일 노출 시 성호르몬의 변화가 관찰되었고, 60일 노출 후 1,000 ppm B 이상의 농도에서 고환의 무게가 현저히 감소하였다. 30일, 60일 노출 후 모든 처리 군의 부고환 무게는 대조군과 비교해 유의적으로 낮았다. 1,000 ppm B 이상의 농도에서 명확한 생식독성 영향이 나타났다. LOAEL은 500 ppm B(25 mg B/kg/day)로 결정되었다.

표 3-8. 붕산나트륨에 대한 반복 투여 경구 독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>			
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 35마리/노출 군 암수 각 70마리/대조군 노출 경로: 경구 노출농도: 1,030, 3,080, 10,300 ppm (52, 155, 516 mg/kg/day) (117, 350, 1,170 ppm B) (5.9, 17.5, 58.5 mg B/kg/day) 노출 기간: 2년	10,300 ppm에서 체중 감소, 적혈구 부피 및 헤모글로빈 감소, 고환 위축 및 정세관 퇴화	NOAEL 3,080 ppm (155 mg/kg/day) (350 ppm B) (17.5 mg B/kg/day)	
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 10마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 52.5, 175, 525, 1,750, 5,250 ppm B (2.6, 8.8, 26, 88, 260 mg B/kg) 노출 기간: 90일	1,750 ppm B에서 난소 상대 중량 감소, 525 ppm B 이상에서 고환 위축, 52.5 ppm B에서 난소 중량 증가	-	Weir and Fisher, 1972
시험 종: Beagle dog 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 5마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 17.5, 175, 1750 ppm B (0.4, 4.4, 33 mg B/kg/day) 노출 기간: 90 일	장기의 상대 중량 변화, 고환 위축, 적혈구 파괴	-	
시험 종: Beagle dog 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 4마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 58, 117, 350, 1,170 ppm B (1.7, 3.8, 10.9, 41 mg B/kg/day) 노출 기간: 104주, 38주 (1170 ppm B)	1,170 ppm B에서 고환 위축, 정자생성 정지, 고환 변성	NOAEL 350 ppm B (10.9 mg B/kg/day)	

방법	증상	독성값	비고
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 수컷 동물 수: 18마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 500, 1,000, 2,000 ppm B (25, 50, 100 mg B/kg/day) 노출 기간: 30 혹은 60일	LDH-X 및 효소활성 증가, 정자세포 및 피부 형성세포의 현저한 손실, 고환 위축, FSH 증가 (30일)  1,000 ppm B 용량부터 고환 및 간 중량 감소 (60일)	LOAEL 500 ppm B (25 mg B/kg/day)	Dixon et al., 1979

## 나. 경피

현재까지 붕산나트륨에 대한 반복 투여 경피 독성 자료는 확인되지 않았다.

## 다. 흡입

현재까지 붕산나트륨에 대한 반복 투여 흡입 독성 자료는 확인되지 않았다.

## 6. 생식 및 발달 독성

### 가. 생식독성

#### 인체

작업자 피폭과 환경에서의 붕소 노출이 높은 모집단에 대한 역학연구는 생식이나 발달에 영향을 주지 않았다. 그러나 독성 분야의 전문가들로 구성된 위원회 작업 그룹(ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2004년 10월 5~6일)은 역학연구가 생식에 대한 독성 영향이 없다고 입증하기에는 정보가 불충분하다고 결론지었다.

중국과 터키 근로자에 관한 연구와 환경적으로 붕소가 높은 지역에 사는 모집단에 관한 연구에서 인간의 고환 독성에 가장 민감한 지표인 정액 파라미터를 분석하였다. 가장 많이 노출된 중국인 군에 대해 최대 125 mg B/day (일반 인구의 하루 평균 피폭량 보다 100배 이상 높음)의 평균 붕소 섭취량이 결정되었음에도 고환 부작용은 나타나지 않았다. 터키 근로자들도 1일 평균 계산된 붕소 노출( $14.45 \pm 6.57$  mg B/day)에도 고환에 대한 부작용을 보이지 않았다.

대규모 광업 및 생산 시설의 근로자 모집단에 대한 붕산염 노출에서 생식 효과를 평가하기 위해 출생아 비율의 척도인 표준 출산율을 사용하여 평가되었다. 총 542명의 근로자가 생식 설문지를 작성했다. 최고 피폭 그룹의 평균 피폭은 2년 이상 동안 28.4 mg B/day(약 0.4 mg B/kg/day)이었다. 평균 노출 기간은 16년이었다. 자손의 수는 실제로 미국 전국 평균보다 많았는데, 이는 이러한 노동자들의 생식에 부정적인 영향이 없음을 나타냈다(Whorton et al., 1994). 주로 식수(최대 29 mg B/L)에서 자연적으로 높은 수치에 노출되고 광업 및 생산에서 노출되는 터키의 고농도 노출 인구를 대상으로 한 연구에서 3대에 걸친 출산율에는 어떠한 부작용도 보고되지 않았다(Sayli et al., 1998; Sayli, 2001).

#### 동물

Weir and Fisher (1972)는 랫드와 개에서 붕사10수화물(원문에서는 borax

로 기술)의 아만성 및 만성노출에 의한 생식독성 영향을 보고하였다. 다양한 농도의 붕사10수화물을 사료에 섞어 2년 동안 경구 투여하였을 때, 최고농도(10,300 ppm)에서는 고환 위축, 정세관 퇴화가 나타났다. NOAEL은 3,080 ppm으로 결정되었으며, 이를 붕소 등가 용량으로 환산하면 17.5 mg B/kg/day였다.

Dixon et al. (1979)은 식수에 붕사10수화물을 다양한 농도로 혼합하여 30일 혹은 60일 동안 랫드에 경구 투여하였다. 원문에서 붕사10수화물의 노출 농도를 확인할 수는 없었다. 500 ppm B 이상의 농도에서 30일, 60일 노출 시 성호르몬의 변화가 관찰되었고, 1,000 ppm B 이상의 농도에서 명확한 생식독성 영향이 나타났다. LOAEL은 500 ppm B(25 mg B/kg/day)로 결정되었다.

Weir and Fisher (1972)의 자료에서 랫드에 90일 동안 다양한 농도의 붕사10수화물을 사료에 섞어 경구 투여하였을 때, 525 ppm B와 1,750 ppm B 처리 군에서 고환 위축이 관찰되었다. 525 ppm B 처리 군에서 정자생성 억제가 관찰되었다.

Weir and Fisher (1972)의 자료에서 개에 90일 동안 다양한 농도의 붕사10수화물을 사료에 섞어 경구 투여하였을 때, 고환 위축 등의 생식독성 영향이 관찰되었다. Weir and Fisher (1972)의 자료에서 개에 2년 동안 다양한 농도의 붕사10수화물을 사료에 섞어 경구 투여하였을 때, 350 ppm B 이하의 용량에서는 독성 증상이 나타나지 않았다. 따라서 추가로 고용량(1,170 ppm B) 시험을 진행하였고, 고환 위축, 정자생성 정지, 고환 변성 등의 생식독성 영향을 확인하였다. 독성 반응이 확인된 후 고용량 시험은 종결하였다. NOAEL은 350 ppm B(10.9 mg B/kg/day)로 결정되었다. 원문에는 붕소로 환산한 농도만을 제시하여 붕산나트륨의 노출농도를 확인할 수 없는 것이 있었으며, 하루 사료 섭취량과 동물 체중을 고려한 섭취량도 제시되어 있지 않았다.

Lee et al. (1978)은 식수에 붕사10수화물을 다양한 농도로 혼합하여 30일 혹은 60일 동안 랫드에 경구 투여하였다. 원문에서 붕사10수화물의 노출 농도를 확인할 수는 없었다. 또한 붕소 등가 용량에 대한 하루 섭취량은 원문

에서 확인할 수 없어 RAR에서 발체하였다. 고환에 대한 다양한 독성영향이 관찰되었으며, NOAEL은 500 ppm B(30 mg B/kg/day)로 결정되었다.

표 3-9. 붕산나트륨에 대한 생식독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>			
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 35마리/노출 군 암수 각 70마리/대조군 노출 경로: 경구 노출농도: 1,030, 3,080, 10,300 ppm (52, 155, 516 mg/kg/day) (117, 350, 1,170 ppm B) (5.9, 17.5, 58.5 mg B/kg/day) 노출 기간: 2년	10,300 ppm에서 고환 및 상피세포 위축, 정세관 변성 및 크기 감소	NOAEL 3,080 ppm (155 mg/kg/day) (350 ppm B) (17.5 mg B/kg/day)	Weir and Fisher, 1972
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 수컷 동물 수: 18마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 500, 1,000, 2,000 ppm B (25, 50, 100 mg B/kg/day) 노출 기간: 30 혹은 60일	LDH-X 및 효소활성 증가, 정자세포 및 피부 형성세포의 현저한 손실, 고환 위축, FSH 증가 (30일) 1,000 ppm B 용량부터 고환 및 간 중량 감소 (60일)	LOAEL 500 ppm B (25 mg B/kg/day)	Dixon et al., 1979
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암컷 16마리/군 수컷 8마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 1,030, 3,080, 10,300 ppm (117, 350, 1,170 ppm B) (5.9, 17.5, 58.5 mg B/kg/day) 노출 기간: 90일	1,170 ppm B에서 암수 모두 불임, 고환 위축, 정세관 변성	NOAEL 350 ppm B (17.5 mg B/kg/day)	Weir and Fisher, 1972
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 10마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 52.5, 175, 525, 1,750, 5,250 ppm B (2.6, 8.8, 26, 88, 260 mg B/kg) 노출 기간: 90일	1,750 ppm B에서 난소 상대 중량 감소, 525 ppm B 이상에서 정소 위축, 52.5 ppm B에서 난소 중량 증가	-	Weir and Fisher, 1972

방법	증상	독성값	비고
시험 종: Beagle dog 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 5마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 17.5, 175, 1750 ppm B (0.4, 4.4, 33 mg B/kg/day) 노출 기간: 90 일	장기의 상대 중량 변화, 고환 위축, 적혈구 파괴	-	
시험 종: Beagle dog 성별: 암/수컷 동물 수: 암수 각 4마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 58, 117, 350, 1,170 ppm B (1.7, 3.8, 10.9, 41 mg B/kg/day) 노출 기간: 104주, 38주 (1170 ppm B)	1,170 ppm B에서 고환 위축, 정자생성 정지, 고환 변성	NOAEL 350 ppm B (10.9 mg B/kg/day)	
시험 종: Sprague-Dawley rat 성별: 수컷 동물 수: 18마리/군 노출 경로: 경구 노출농도: 500, 1,000, 2,000 ppm B (30, 60, 125~131 mg B/kg/day) 노출 기간: 30 혹은 60일	고환 중량 감소, 고환 생식세포 고갈, 고환 효소 영향에 의한 생식능력 감소	NOAEL 500 ppm B (30 mg B/kg/day)	Lee et al., 1978

## 나. 발달 독성(최기형성)

### 인체

현재까지 인체에 대한 붕산나트륨의 발달 독성 자료는 확인되지 않았다.

### 동물

Weir and Fisher (1972)는 2세대 생식/발달 독성을 평가하기 위해 90일 동안 1,030, 3,080, 10,300 ppm의 붕산10수화물을 투여하였다. 최고농도(10,300 ppm = 58.5 mg B/kg/day)에 노출된 모체에서 다양한 생식독성 영향이 관찰되었으며, 중농도와 저농도에서는 모체와 태자에서 생식/발달 독성 반응이 나타나지 않았다.

표 3-10. 붕산나트륨에 대한 발달 독성 시험 결과

방법	증상	독성값	비고
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>			
시험 종: Sprague-Dawley rat			
성별: 암/수컷			
동물 수: 암컷 16마리/군 수컷 8마리/군	1,170 ppm B에서 암수 모두 불임, 고환 위축, 정세관 변성	NOAEL 3,080 ppm (17.5 mg B/kg/day)	Weir and Fisher, 1972
노출 경로: 경구			
노출농도: 1,030, 3,080, 10,300 ppm (117, 350, 1,170 ppm B) (5.9, 17.5, 58.5 mg B/kg/day)			
노출 기간: 90일			

## 7. 신경독성

현재까지 붕산나트륨에 대한 신경독성 자료는 확인되지 않았다.



## 8. 유전독성(변이원성)

### 가. 시험관 내(*in vitro*) 시험

Rim et al. (2009a)은 OECD TG 471에 따라 붕산나트륨에 대한 복귀돌연변이 시험을 시행하였다. 5개의 균주에 다양한 농도의 붕산나트륨을 처리한 결과, 대사활성계와는 무관하게 유전독성은 음성으로 판정되었다.

Landolph (1985)는 붕사10수화물 광석(borax ore로 기술)과 정제한 물질(refined borax로 기술)에 대해 V79 세포를 이용하여 유전자 돌연변이시험을 수행하였다. 대사활성계 처리 여부는 기술되어 있지 않아 적용하지 않은 것으로 생각된다. 유전독성 결과는 두 가지 종류의 붕사10수화물 모두 음성으로 판정되었다.

표 3-11. 붕산나트륨에 대한 시험관 내 유전독성 시험 결과

방법	독성값	비고
<b>Disodium tetraborate anhydrous</b>		
시험방법: 박테리아 복귀돌연변이 시험(OECD TG 471) 시험 종: <i>Salmonella typhimurium</i> strains TA98, TA100, TA1535, TA1537, <i>Escherichia coli</i> WP2uvrA 대사활성계: S9-mix 유/무 노출농도: 312.5, 625, 1250, 2500, 5000 µg/plate	대사활성계 유/무 유전독성 음성	Rim et al., 2009a
<b>Disodium tetraborate decahydrate</b>		
시험방법: 시험관 내 포유류 세포 유전자돌연변이 시험 시험 종: V79 Chinese hamster cell 대사활성계: S9-mix 무 노출농도: 0.8, 1.6, 3.2 mg/mL (Borax ore) 0.4, 0.8, 1.6, 3.2 mg/mL (Refined borax) 노출 기간: 48시간	대사활성계 무 유전독성 음성	Landolph, 1985

### 나. 생체 내(*in vivo*) 시험

Rim et al. (2009b)은 OECD TG 474에 따라 붕산나트륨에 대한 포유류 적혈구 소핵시험을 수행하였다. 노출 군당 3마리의 ICR 마우스를 사용하여 다양한 농도로 경구 투여한 후, 골수에서의 소핵 형성 영향을 관찰한 결과, 붕

산나트륨의 유전독성 영향은 음성으로 판정되었다.

표 3-12. 붕산나트륨에 대한 생체 내 유전독성 시험 결과

방법	독성값	비고
<b>Disodium tetraborate anhydrous</b>		
시험방법: 포유류 적혈구 소핵시험(OECD TG 474)		
시험 종: ICR mouse		
성별: 수컷		
동물 수: 3마리/군	유전독성 음성	Rim et al., 2009b
노출 경로: 경구		
노출농도: 500, 1,000, 1,500 mg/kg		

## 9. 면역독성

현재까지 붕산나트륨에 대한 면역독성 자료는 확인되지 않았다.

## 10. 발암성

현재까지 붕산나트륨에 대한 발암성 자료는 확인되지 않았다.

## 11. 역학연구

붕소 채광지역으로부터 멀리 떨어진 터키 반디르마 지역의 붕산 제조공장을 대상으로 붕소 제품 생산 남성 작업자 102명을 노출 군으로 정하고, 노출 군과 같은 지역에 근무하지만, 붕소의 직업적 노출이 없는 남성 작업자 102명을 대조군으로 정하여 고노출 조건에서 붕소에 대한 코호트 연구를 실시하였다. 대조군 및 노출 군 작업자의 생체시료(혈액, 소변, 정액) 내의 붕소 농도와 붕소 노출의 상관관계 및 고농도 노출 군 작업자의 혈중 붕소 농도와 랫드의 생식 및 발달독성과 관련된 혈중 붕소 농도를 비교 평가하였다. 해당 대상 지역의 공기, 식수 및 식품 내 붕소 농도를 확인한 결과, 식수로 사용되는 수돗물 내 높은 붕소 농도로 인해 204명의 대상자를 혈중 붕소 농도로 대조군( $n=49$ , 정량한계( $0.08 \text{ mg B/L}$ ) 미만) 및 저( $n=72$ ,  $0.08\sim 100 \text{ mg B/L}$ ), 중( $n=44$ ,  $>100\sim 150 \text{ mg B/L}$ ), 고( $n=39$ ,  $>150 \text{ mg B/L}$ )농도 노출 군으로 재설정하여 노출평가를 실시하였다. 대조군 및 저, 중, 고농도 노출 군의 혈중 평균 붕소 농도는 각각  $<0.08$ ,  $72.94$ ,  $121.68$ ,  $223.89 \text{ mg B/L}$ 이었고, 생체시료 분석값을 바탕으로 추정되는 일일 붕소 노출량은 각각  $4.68$ ,  $7.39$ ,  $11.02$ ,  $14.45 \text{ mg B/day}$ 이었다. 일일 붕소 노출량과 생체시료(혈액, 소변, 정액) 내 붕소 농도의 상관성을 분석한 결과, 혈액 및 소변 내 붕소 농도가 붕소 노출에 대한 좋은 바이오마커(biomarker)인 것으로 확인되었다. 붕소 노출 군의 생식독성 지표(농도, 사망률, 정액 세포의 형태학적 영향, 여포자극호르몬(follicle-stimulating hormone)의 혈중 농도(FSH), 황체형성호르몬(LH) 및 총 테스토스테론)를 관찰한 결과, 붕소 노출에 의한 생식독성 영향은 관찰되지 않았다. 본 연구에서 확인된 고농도 노출 군의 혈중 붕소 농도와 기존의 랫드 생식 및 발달독성의 혈중 붕소 농도를 비교 평가한 결과, 고농도 노출 군의 작업자의 혈중 평균 붕소 농도는 랫드의 혈중 붕소 농도보다 9배(생식독성) 및 6배(발달독성) 낮은 것을 확인하였다(Duydu et al., 2011; Duydu et al., 2012).

주로 식수(최대  $29 \text{ mg B/L}$ )에서 자연적으로 높은 수치에 노출되는 것과 동시에 광업 및 생산에서 노출되는 터키의 고농도 노출 군 집단의 연구에서 3대에 걸친 생식 능력은 어떠한 영향도 보고되지 않았다. 먹는 물 내  $8.5\sim 29$

mg B/L 및 2.05~2.5 mg B/L 범위의 농도로 높게 노출되는 터키의 두 마을과 0.03~0.04 mg B/L의 범위로 낮게 노출되는 이웃 마을의 생식 능력을 비교하였다. 붕소에 대한 고농도 노출 군 및 저농도 노출 군의 3대에 걸친 가족의 정보를 제공 받아 각각의 노출 군의 생식 능력을 비교하였다. 고농도 노출 군은 159개의 3대 및 1,068인 가족과 저농도 노출 군 154개의 3대 및 610인 가족을 조사하였다. 고농도 노출 군과 저농도 노출 군 사이에 생식 능력에 대한 유의한 차이는 확인할 수 없었다. 고농도 노출 군 후손의 성비(남:여)는 0.89, 저농도 노출 군 후손의 성비(남:여)는 1.04이었지만 통계적으로 유의한 차이( $p > 0.05$ )는 발견할 수 없었다(Sayli et al., 1998; Sayli, 2001).

대규모 광업 및 생산 시설의 근로자 모집단에 대한 무기 붕산염 노출에 대한 생식 영향 가능성을 평가하기 위해 출생아 비율의 척도인 표준 출산율을 사용하여 총 542명의 근로자가 작성한 설문지를 바탕으로 평가하였다. 최고 노출 군의 2년 이상 동안 평균 노출량은 28.4 mg B/day(약 0.4 mg B/kg bw/day)이었고, 평균 노출 기간은 16년이였다. 자손의 수는 실제로 미국 전국 평균보다 많았는데, 이는 근로자들의 무기 붕산염 노출에 대한 생식독성 영향은 없는 것으로 나타났다(Whorton et al., 1994).

10년 이상 붕산 생산 공장에서 근무한 30~40세의 28명의 작업자에 대한 붕산염의 생식 영향을 조사하였다. 작업장 공기 시료의 50%는 1.75 mg B/m<sup>3</sup> 이하의 농도이었고, 최대 3.5~14.5 mg B/m<sup>3</sup>의 농도 범위였다. 노출 군과 노출되지 않은 10명의 질문서(소비에트연방 공중보건부 모스크바 과학연구소의 권고 질문서)를 비교하여 생식 능력을 비교 평가하였다. 노출 군의 생식 능력은 28.5±1.2이었고, 비노출 군의 생식 능력은 31.4±0.83( $p < 0.05$ )이었다. 노출 군 남성 6명의 정액분석 결과, 정액 부피 감소, 정자 수 감소, 정자 운동성 감소, 수정능력 감소, 과당 함유량 증가가 관찰되었다. 노출 군 남성의 배우자 임신에 대한 영향을 관찰할 수 없었다. 그러나 노출에 대한 정보가 불충분하고, 조사 그룹 대상이 적으므로 생식에 대한 독성영향을 판단하기에 불충분하였다(Tarasenko et al., 1972).

이 밖에 작업자 및 환경 중 높은 붕소 농도에서 생활하고 있는 일반인을 대상으로 수행된 붕산염의 생식 영향에 대한 몇몇 역학 연구들(Tarasenko,

1972; Krasovskii et al., 1976; Whorton, 1994; Tuccar, 1998; Sayli, 1998; Sayli, 2001; Sayli, 2003)을 2004년 10월에 이탈리아 이스프라(ISPRA)에서 생식독성 분야의 전문가들로 구성된 위원회 작업반에서 평가하였다. 이 역학 연구들은 생식 영향의 유무를 증명하기에 불충분하다고 결론지었다(ECHA, 2009).

## 2절. 노출량-반응평가

### 1. 독성참고치

붕산나트륨에 대해 수집된 유해성 자료에 대해 노출 경로별 시험 기간, 독성 값, 신뢰도, 보수성 등을 검토하였다. 최종 용량-반응 자료로 Weir and Fisher (1972)의 연구를 선정하였다. 붕산10수화물을 사료에 섞어 2년 동안 랫드에 경구 투여하였을 때, 다양한 임상적 독성 증상이 관찰되었고, 적혈구 등의 혈액학적 독성 반응도 나타났다. 또한 고환 위축, 정세관 퇴화 등의 생식독성 영향도 관찰되었다. 이때의 NOAEL은 3,080 ppm으로 결정되었으며, 이를 붕소 등가 용량으로 환산하면 17.5 mg B/kg/day였다.

International Programme on Chemical Safety (IPCS) 및 WHO는 독성동태/동력학적 관점의 화학물질 특이적인 조정계수 선정에 관한 기준을 배포했다. 종간 다양성과 종 내 다양성을 독성동태/동력학적 관점에서 고려하면 아래 식과 같으며 불확실성계수는 100이다.

$$\text{종간 다양성} = \text{독성동태} \times \text{독성동력} = 10^{0.6} \times 10^{0.4} = 4 \times 2.5$$

$$\text{종 내 다양성} = \text{독성동태} \times \text{독성동력} = 10^{0.5} \times 10^{0.5} = 3.16 \times 3.16$$

이를 기반으로 붕소의 동태 특이성을 고려하여 불확실성계수를 선정하였다. Dourson (1998)은 붕소의 종 내 다양성 독성동태 변이 값을 산출하였다. 민감 군인 임신부 집단에서 붕소의 평균 사구체여과율은  $144 \pm 32$  mL/min이었다. 최저 사구체여과율을 갖는 임신부는 약 80 mL/min(=144-(2×32), Average-2SD)으로 예상되며, 이를 통해 1.8 (144/80)의 독성동태 변이 값을 산출하였다. 따라서 종 내 다양성은  $1.8 \times 3.2 = 5.76 \approx 6$ 을 얻을 수 있으며, 종간 다양성 10을 고려하면 붕소의 불확실성계수는 60이다.

EPA에서는 종간 다양성과 종 내 다양성을 독성동태/동력학적 관점에서 고려하였을 때 아래 식과 같으며 불확실성계수는 100이다.

$$\text{종간 다양성} = \text{독성동태} \times \text{독성동력} = 10^{0.5} \times 10^{0.5} = 3.16 \times 3.16$$

$$\text{종 내 다양성} = \text{독성동태} \times \text{독성동력} = 10^{0.5} \times 10^{0.5} = 3.16 \times 3.16$$

Dourson (1998)은 독성동태 변이 값을 산출하기 위한 최저 사구체여과율을 산출하기 위해 Average-3SD를 사용하였다. 다양한 자료로부터 사구체여과율과 표준편차를 고려하여, 약 2의 독성동태 변이 값을 산출하였다.

표 3-13. 독성동태 변이 값 산출

비교	평균 사구체여과율 (표준편차) (mL/min)	Average-3SD	독성동태 변이 값
Dunlop (1981)	150.5(17.6)	97.7	1.54
Krutzén et al. (1992)	195(32)	99	1.97
Strurgiss et al. (1996)	138.9(26.1)	60.6	2.29
평균	161.5	85.5	1.93

또한 종간 다양성의 독성동태 변이 값은 동물(임신한 랫드)과 임신부의 청소율과 흡수율, 체중을 고려하여 3.3으로 산출되었으며, 종간 다양성과 종내 다양성의 독성동태 변이 값을 고려하여 66의 불확실성계수를 산출하였다.

$$\text{종간다양성(동태)} = \frac{(\text{동물})\text{청소율} \times (\text{사람})\text{흡수율} \times (\text{사람})\text{체중}}{(\text{사람})\text{청소율} \times (\text{동물})\text{흡수율} \times (\text{동물})\text{체중}} = \frac{1.00 \times 0.92 \times 67.6}{66.1 \times 0.95 \times 0.303} = 3.3$$

표 3-14. 붕소의 불확실성계수

불확실성계수	독성동태	독성동력	합계
종간 다양성	3.3 (3.16)	3.16 (3.16)	10.4
종 내 다양성	2.0 (3.16)	3.16 (3.16)	6.3
합계			66

기존 값은 ( )로 표시

2004년 EPA IRIS에서의 붕산 독성참고치 설정에 66의 불확실성계수를 활용하였다. 불확실성계수 산출과정은 위에 기술한 바와 같으며 최종 용량-반응 자료로 Allen et al. (1996)의 연구(BMDL<sub>05</sub> = 10.3 mg B/kg/day)를 선정하여 경구 독성참고치를 약 0.2 mg B/kg/day로 결정하였다.

2009년 WHO의 Drinking water quality guideline에서의 붕소 독성참고치 산출과 2013년 European Food Safety Authority (EFSA)에서의 붕산나트륨의 식품첨가물로서의 독성참고치 산출에 60의 불확실성계수를 활용하였다. 앞서 기술한 Dourson (1998)의 자료를 이용하여 종 내 다양성의 변이 값을 6으로 설정하고 불확실성계수를 총 60으로 하였다. WHO에서는 최종 용량-반응 자료로 Allen et al. (1996)의 연구(BMDL<sub>05</sub> = 10.3 mg B/kg/day)를 선정하였으므로, 내용일일섭취량은 0.17 mg B/kg/day로 결정되었다. EFSA 패널은 Dourson (1998)의 자료를 토대로 붕산나트륨의 종 내 다양성의 독성동태 변이 값을 3.2 대신 1.8로 조정하고 총 60의 불확실성계수를 적용하였다. 최종 용량-반응 자료로 Price et al. (1996)의 연구(NOEL = 9.6 mg B/kg/day)를 선정하였으므로, 1일 섭취 허용량은 0.16 mg B/kg/day로 결정되었다. 따라서 본 연구에서는 붕소의 동태 특성을 고려하여 붕산나트륨의 종 내 다양성 변이 값을 6으로 하여 총 60의 불확실성계수를 활용하였다.

경구 독성참고치를 산출하기 위해 최종 선정한 용량기술자 NOEL 17.5 mg B/kg/day를 적절한 시작점으로 보정하였다. 경구 흡수율은 보수적으로 50%로 적용하였다( $17.5 \text{ mg B/kg/day} \times 50\%/50\% = 17.5 \text{ mg B/kg/day}$ ). 불확실성계수는 일반인 60(중간 10(2.5 × 4), 종 내 6(Boron의 불확실성 요인))을 적용하였다. 결국, 일반인의 경구 독성참고치로 0.291 mg B/kg/day를 산출하였다.

경피 독성참고치를 산출하기 위해 최종 선정한 용량기술자 NOEL 17.5 mg B/kg/day를 적절한 시작점으로 보정하였다. 경구 흡수율은 보수적으로 50%로 적용하였다. 붕산나트륨의 인체 경피흡수율은 0.210±0.194%로 보고 되었으므로, 최댓값인 0.40%의 인체 경피흡수율을 적용하였다( $17.5 \text{ mg B/kg/day} \times 50\%/0.40\% = 2187.5 \text{ mg B/kg/day}$ ). 불확실성계수는 일반인 60(중간 10(2.5 × 4), 종 내 6(Boron의 불확실성 요인)), 작업자 50(중간 10(2.5 ×



4), 종 내 5(작업자))을 적용하여 경피 독성참고치로 일반인 36.5 mg B/kg/day, 작업자 43.8 mg B/kg/day를 산출하였다. 붕소의 종 내 다양성은 민감 균을 통해 산출한 결과로 건강한 성인으로 고려되는 작업자에 적용하는 것은 적절하지 않은 것으로 판단하여 기존의 작업자 종 내 다양성 값을 활용하였다.

흡입 독성참고치를 산출하기 위해 최종 선정한 용량기술자 NOAEL 17.5 mg B/kg/day를 적절한 시작점으로 보정하였다. 붕산나트륨은 보수적으로 50%의 경구 흡수율을 적용하였다. 흡입흡수율은 100%로 설정하였고, 랫드와 일반인 및 작업자 호흡량을 고려하였다(일반인:  $17.5 \text{ mg B/kg/day} \times 50\%/100\% \times 1/1.15 \text{ m}^3/\text{kg} = 7.6 \text{ mg B/m}^3$ ; 작업자:  $17.5 \text{ mg B/kg/day} \times 50\%/100\% \times 1/0.38 \text{ m}^3/\text{kg} \times 6.7 \text{ m}^3/10 \text{ m}^3 = 15.4 \text{ mg B/m}^3$ ). 불확실성계수는 일반인 15(중간 2.5(남아있는 불확실성), 종 내 6(Boron의 불확실성 요인)), 작업자 12.5(중간 2.5(남아있는 불확실성), 종 내 5(작업자))를 적용하여 흡입 독성참고치로 일반인 0.507 mg B/m<sup>3</sup>, 작업자 1.234 mg B/m<sup>3</sup>를 산출하였다.

표 3-15. 붕산나트륨의 경구 독성 참고치의 산출

구분	내용		값	
독성 종말점	만성 2년, NOAEL		17.5	mg B/kg/day
시작점 보정	랫드에서 경구 흡수율 : 50% 인체에서 경구 흡수율 : 50%		17.5	mg B/kg/day
평가계수 적용	일반인	중간 다양성 : 2.5 × 4 (랫드) Boron 불확실성 요인 : 6 (일반인)	0.291	mg B/kg/day
	작업자	-	-	

표 3-16. 붕산나트륨의 경피 독성 참고치의 산출

구분	내용		값	
독성 종말점	만성 2년, NOAEL		17.5	mg B/kg/day
시작점 보정	랫드에서 경구 흡수율 : 50% 인체에서 경피 흡수율 : 0.40%		2187.5	mg B/kg/day
평가계수 적용	일반인	중간 다양성 : 2.5 × 4 (랫드) Boron 불확실성 요인 : 6 (일반인)	36.5	mg B/kg/day
	작업자	중간 다양성 : 2.5 × 4 (랫드) 종 내 다양성 : 5 (작업자)	43.8	

표 3-17. 붕산나트륨의 흡입 독성 참고치의 산출

구분	내용		값	
독성 종말점	만성 2년, NOAEL		17.5	mg B/kg/day
시작점 보정	랫드에서 경구 흡수율 : 50% 인체에서 흡입 흡수율 : 100% 랫드의 24시간 노출 시 호흡량 : 1.15 m <sup>3</sup> /kg 랫드의 8시간 노출 시 호흡량 : 0.38 m <sup>3</sup> /kg 8시간 일반인의 호흡량 : 6.7 m <sup>3</sup> /인 8시간 작업자의 호흡량 : 10 m <sup>3</sup> /인		7.6 (일반인) 15.4 (작업자)	mg B/m <sup>3</sup>
평가계수 적용	일반인	중간 다양성 : 2.5 (남아 있는 불 확실성) Boron 불확실성 요인 : 6 (일반인)	0.507	mg B/m <sup>3</sup>
	작업자	중간 다양성 : 2.5 (남아 있는 불 확실성) 종 내 다양성 : 5 (작업자)	1.234	

## 2. 발암잠재력

붕산나트륨은 인체 발암성에 대한 근거가 부족함에 따라 현재 US Environmental Protection Agency(EPA)에서 Group E(비발암물질)로, US Occupational Safety and Health Administration(OSHA)과 America Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH)에서는 A4(비발암물질)로 분류되어 있으며, International Agency for Research on Cancer(IARC)에서는 다루어지고 있지 않다.

### 3절. 인체노출평가

#### 1. 작업자 노출

##### 가. 제조 작업자

##### 모델을 이용한 노출량 예측

붕산나트륨 사용 사업장을 대상으로 ‘유럽화학물질 생태독성 및 독성센터(European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, ECETOC)에서 개발한 작업자 및 소비자 노출 예측 모델인 ECETOC TRA 모델을 이용하여 작업 환경에서의 작업자 노출농도(흡입 및 경피)를 예측하였다. 작업 환경에서의 노출농도를 산출하기 위하여 붕산나트륨 등록 시 제출한 화학물질안전성보고서(CSR) 상 작업환경 시나리오 조건을 사용하였다. 붕산나트륨의 취급용도 및 공정 범주에 따라 총 74개의 노출 시나리오로 구분하였으며, 각각의 시나리오에 대해 표 3-18과 부록(Appendix) 표 1과 같이 작업 환경 조건과 물성정보를 설정하였다.

그림 3-1은 ECETOC TRA 모델을 통해 예측된 만성 흡입 및 경피 노출농도를 보여주고 있다. 각각의 노출농도는 개인 보호구를 착용하지 않았을 때 작업자의 노출농도를 의미하며, 일부(56/74) 노출 시나리오에서 고용노동부에서 제시하고 있는 작업환경노출기준 TWA  $1 \text{ mg/m}^3$ 을 초과하는 것으로 나타났다.

그림 3-2는 붕산나트륨 취급 사업장에서 제시한 저감방안에 따라 개인보호구를 착용하였을 때, 17개의 노출 시나리오를 제외하고 나머지는  $1 \text{ mg/m}^3$  미만으로 경로별 노출량이 감소하는 것으로 나타났으며, 작업자의 만성 흡입 노출농도는  $0.0003\sim 2.5 \text{ mg/m}^3$ , 경피 노출농도는  $0.00171\sim 0.849 \text{ mg/kg/day}$ 로 예측되었다.

표 3-18. 붕산나트륨을 이용한 작업 시 작업 환경 노출 시나리오

용도	시나리오	공정 범주	물성	작업 시간	배기 조건	호흡용 보호구	혼합물 조성	피부용 보호구
혼합 (조제)	골판지 및 골판지 상자 제조용 접착제 제조	PROC 8b	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8a	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 4	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 2	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
산업 적/전 문적 사용	제지 제조용 접착제의 산업적 사용	PROC 8a	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 2	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
혼합 (조제)  산업 적/전 문적 사용	고온용 내화물 및 내화재료 를 제조 하기 위해 사용	PROC 8a	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8b	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 5	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 9	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
	연속 주조용 내화 제품을 제조할 때 소결제로 사용	PROC 8a	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8b	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 4	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 9	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
	건축용 난연제	PROC 8b	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 4	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 4	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 4	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 3	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20

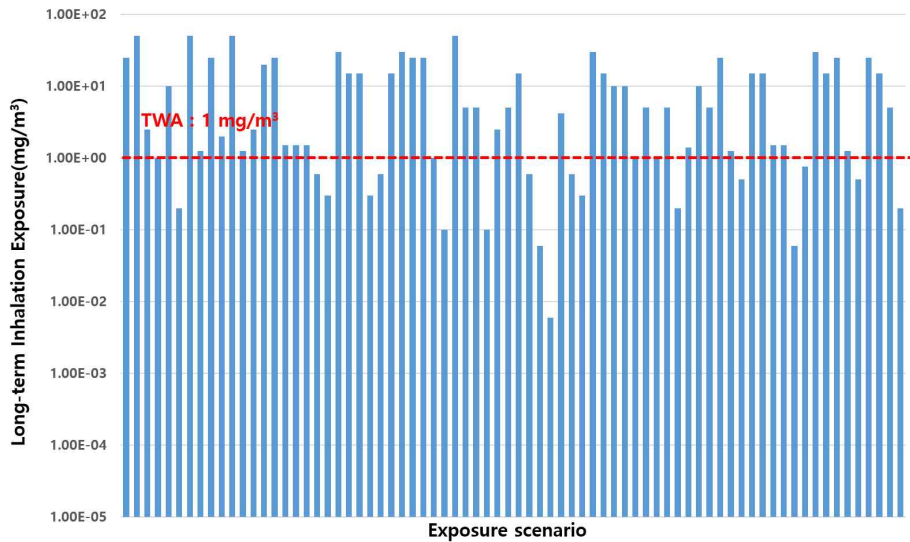
용도	시나리오	공정 범주	물성	작업 시간	배기 조건	호흡용 보호구	혼합물 조성	피부용 보호구
		PROC 15	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	No	No	장갑 APF20
		PROC 8a	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8b	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
	연소 효율을 촉진시키기 위한 연소 촉진제	PROC 8b	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 15	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	No	No	장갑 APF20
		PROC 2	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8b	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8a	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
	유리 프리트 (frit) 제조를 위한 원료로 사용	PROC 8b	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8b	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 3	고체	>4시간	- 실내	No	No	No
		PROC 3	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	No	No	No
	유리, 유리 울 (wool) 제조를 위한 원료로 사용	PROC 8a	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8a	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8a	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 2	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 4	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8a	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
	도자기 유약 제조용 원료	PROC 8b	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 2	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 3	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20

용도	시나리오	공정 범주	물성	작업 시간	배기 조건	호흡용 보호구	혼합물 조성	피부용 보호구	
		PROC 1	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 22	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 2	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 15	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	No	No	장갑 APF20	
		PROC 8a	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 8b	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
	법량 유약 제조를 위한 원료로 사용	PROC 8a	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 8a	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 8a	고체	15분~ 1시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 8b	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 15	고체	15분~ 1시간	- 실내	90%	No	No	
		PROC 8b	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 2	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 22	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 8a	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 8b	고체	15분~ 1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
	철강 선을 신선하는 피막제	PROC 8b	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 8b	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20	
		PROC 13	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20	
	산업용 수처리제		PROC 8b	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20

용도	시나리오	공정 범주	물성	작업 시간	배기 조건	호흡용 보호구	혼합물 조성	피부용 보호구
		PROC 4	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 4	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 4	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 3	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8b	고체	1~4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8a	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8b	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
	코팅 본 처리의 염색제로 사용	PROC 8b	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8b	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 13	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
	방사선 차폐 용도로 사용	PROC 8b	고체	>4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 4	고체	1~4시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20
		PROC 8a	고체	>4시간	- 실내 - 국소배기장치	95%	No	장갑 APF20
		PROC 2	고체	15분~1시간	- 실내	95%	No	장갑 APF20

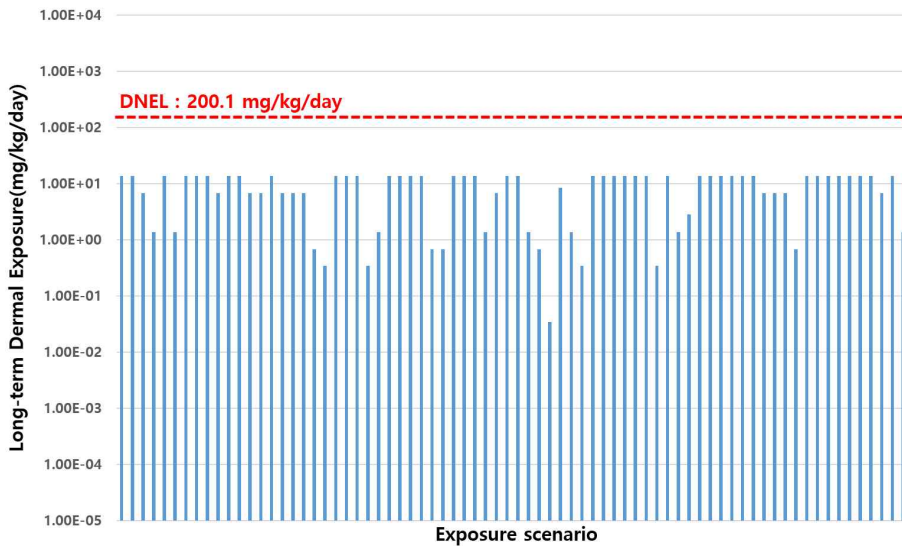


Borax (만성흡입 보호구 미착용)



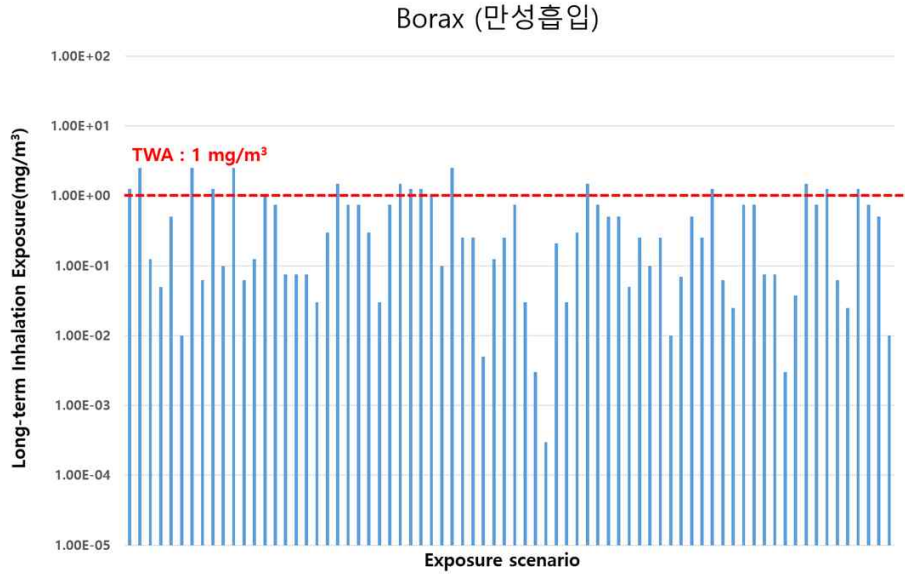
(a) 만성 흡입 노출

Borax (만성경피 보호구 미착용)

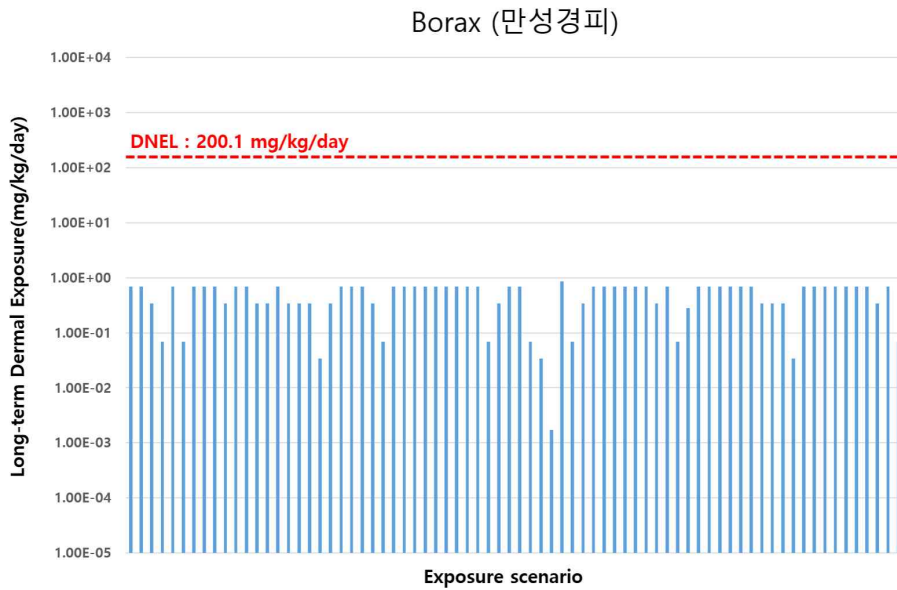


(b) 만성 경피 노출

그림 3-1. ECETOC TRA 모델에 의한 작업 환경 예측농도(보호구 미착용)



(a) 만성 흡입 노출



(b) 만성 경피 노출

그림 3-2. ECETOC TRA 모델에 의한 작업 환경 예측농도

## 2. 소비자 노출

붕산나트륨은 산업적 또는 전문 용도뿐만 아니라 소비자 제품에도 사용되므로 인체 노출 가능성이 있어서 완구, 생활 화학제품, 의약외품 등에 대한 함유량을 조사하였다. 붕산나트륨은 슬라임에 가교제로써 사용되는데 일부 제품에서는 붕소(B) 농도 기준으로 약 2,000 mg/kg의 함유량을 보였고, 표백제에서는 21 mg/kg, 렌즈 세척액에서는 792 mg/kg의 함유량을 보였다(표 3-20).

함유량 자료와 노출 경로에 따른 노출알고리즘(표 3-19)(국립환경과학원, 2021)을 이용하여 노출량 및 노출농도 예측을 위한 계산에서, 우선, 붕산나트륨 함량이 가장 높았던 슬라임의 경피 노출은 단위시간당 피부에 묻은 제품의 양( $0.0013 \text{ g/min/cm}^2$ ), 7~9세 아동의 손 면적( $598 \text{ cm}^2$ ), 체중( $33.2 \text{ kg}$ )(한국 어린이의 노출계수 핸드북(2019)), 접촉시간( $12.9 \text{ 분/일}$ , 박지영(2018)), 피부 흡수율( $0.00226$ , Wester RC et al. (1998)) 자료를 활용하여, 최대  $1.37\text{E-}03 \text{ mg/kg/day}$ 의 일일섭취량을 계산하였다. 그리고 생활 화학제품(표백제)의 경피 노출은 분사시 피부점착량( $46 \text{ mg/min}$ , 일반 노출계수), 사용 시간( $30 \text{ 분/회}$ , 제품 노출계수) 자료를 활용하여,  $1.95\text{E-}07 \text{ mg/kg/day}$ 의 경피 노출량, 흡입 노출에서는 제품 분사량( $314,760 \text{ mg/회} = 2.44 \text{ g/초} \times 60 \text{ 초/분} \times 2.15 \text{ 분/회}$ , 제품 노출계수), 공간 체적( $9.3 \text{ m}^3$ , 일반 노출계수), 공기 중 방출 비율(1), 환기율( $2 \text{ 회/h}$ , 일반 노출계수), 노출시간( $0.5 \text{ h/회}$ , 제품 노출계수), 사용 빈도( $0.19 \text{ 회/일}$ , 제품 노출계수) 자료를 활용하여  $1.78\text{E-}03 \text{ mg/m}^3$ (노출농도),  $4.04\text{E-}04 \text{ mg/kg/day}$ (노출량)를 계산하였다. 또, 의약외품(렌즈 세척액)의 경피 노출(생활 화학제품 초기 노출 알고리즘으로 평가)은 제품 사용량( $20 \text{ mg/회}$ ), 피부 흡수율( $0.00226$ ) 자료를 활용하여, 피부 노출량은  $5.55\text{E-}07 \text{ mg/kg/day}$ 로 예측되었다.

표 3-19. 소비자 제품의 경로별 노출량 계산

경로	노출알고리즘		
경 피	어린이용품		
	제품의 피부 접촉 [일반적인 피부 접촉 가능 제품(목재, 플라스틱 등의 고형제품, 표면 코팅제품, 섬유제품 등)]	$ADD = \frac{M \times S \times ET \times ABs}{BW}$	
	제품의 피부 접촉 [피부에 흡착되는 제품 (접토, 크레파스 등)]	$ADD = \frac{C \times ET \times A \times S \times ABs}{BW}$	
	노출계수	ADD : 일일섭취량 (mg/kg/day)	M : 유해 물질의 인체 전이율 (mg/cm <sup>2</sup> /min)
		C : 제품 내 함유된 유해 물질의 농도(mg/g)	A : 단위시간당 피부에 묻은 제품의 양(g/min/cm <sup>2</sup> )
		S : 접촉면적(cm <sup>2</sup> )	ET : 접촉시간(min/day)
		ABs : 피부 흡수율(-)	BW : 어린이의 체중(kg)
	생활 화학제품		
	총사용량 접촉 (모든 접촉 가능 제품)	초기	$L_d = A_p \times W_f$
	분사 중 접촉 (예 : 스프레이 사용)	상세	$L_d = R \times t \times W_f$
노출량	$D_{der.} (mg/kg - d) = L_d \times abs \times n / BW$		
노출계수	L <sub>d</sub> : 피부 접촉량(mg)	W <sub>f</sub> : 제품 중 성분비(-)	
	A <sub>p</sub> : 제품 사용량(mg)	R : 분사시 피부접착량(mg/min)	
	t : 사용 시간(min/회)	n : 사용 빈도(회/day)	
	abs : 체내 흡수율(-)	BW : 체중(kg)	
흡 입	생활 화학제품		
	공기 중 분사 (예 : 스프레이 탈취제)	초기	$C_a = \frac{A_p \times W_f}{V}$
		상세	$C_a = \frac{A_p \times W_f \times F_{air}}{V \times N} \times [1 - \exp(-N \times t)] / t$
	노출농도 (노출량)	노출농도 $C_{Inh} (mg/m^3) = C_a \times t \times n / 24$	
		노출량 $D_{Inh} (mg/kg - d) = C_a \times IR \times t \times n / BW$	
	노출계수	C <sub>a</sub> : 공기 중 농도(mg/m <sup>3</sup> )	A <sub>p</sub> : 제품 분사량(mg)
		W <sub>f</sub> : 제품 중 성분비(-)	V : 공간 체적(m <sup>3</sup> )
N : 환기율(회/h)		F <sub>air</sub> : 부유 비율(-)	
IR : 호흡률(m <sup>3</sup> /h)		n : 사용 빈도(회/day)	
t : 노출시간(h/회)		BW : 체중(kg)	

표 3-20. 소비자 제품 내 붕산나트륨의 함유량 및 노출량 조사 결과

연번	품목군	제품	함유량 (mg B/kg)	노출 경로	노출량 및 노출농도
1	완구	슬라임	2,001	경피	1.37E-03 mg B/kg/day
2	생활 화학제품	표백제	21	경피	1.95E-07 mg B/kg/day
				흡입	4.04E-04 mg/m <sup>3</sup>
3	의약외품	렌즈 세척액	792	경피	5.55E-07 mg B/kg/day

정량한계 : 5 mg B/kg(액상), 6 mg B/kg(고상)

### 3. 환경을 통한 간접 노출(일반인)

#### 가. 음용수 섭취

국내에서는 「먹는물관리법」에 따라 음용수 내 붕소 농도 기준은 1 mg/L로 관리하고 있다. 전국의 모든 정수장(n=458)은 붕소 농도 1 mg/L 이하로 관리되고 있었으며, 전국 연평균 음용수의 붕소 농도는 0.015 mg/L이었다. 가장 높은 붕소 농도는 0.98 mg/L로 제주도 추자 정수장이었으며, 이는 정수장의 원수가 해수로 전국 평균 붕소 농도 보다 높게 나타났으나, 1년 중 일부 기간에만 높게 나타났다(환경부, 2020). 음용수 섭취를 통한 경구 노출량 산정에 적용한 노출시나리오, 노출계수, 노출알고리즘, 산정된 경구 노출량은 표 3-21과 같다. 한국인 일일 물 섭취량 75% 값인 1.2 L/day(국립환경과학원, 2019)를 적용하여 산정한 경구 노출량은 2.79E-04 mg B/kg/day이었다. 음용수 내 붕소 농도 최댓값을 적용한 경구 노출량은 0.018 mg B/kg/day이었다.

표 3-21. 음용수 섭취를 통한 붕소의 노출알고리즘 및 경구 노출량

노출 경로	시나리오	노출알고리즘
경구	삼킴 (음용수 내 붕소 섭취)	$ADD = \frac{C \times IR}{BW}$ ADD : 일일섭취량 (mg/kg-day) C : 음용수 내 붕소의 양 (mg/L 또는 mg/g) IR : 물 일일섭취량 (L/day 또는 kg/day) BW : 체중 (kg)
	노출계수	C : 0.015 mg B/L(연평균), 0.98 mg B/L(최댓값) IR : 1.2 L/day BW : 64.5 kg

지점	기준	붕소 (mg/L)	경구 노출량 (mg B/kg/day)
전국 정수장 (n=458)	연평균	0.015	2.79E-04
	최댓값	0.98	1.80E-02
	최솟값	N.D.	-

## 나. 식품 섭취

현재까지 봉산나트륨의 식품 섭취를 통한 간접노출 자료는 확인되지 않았다.

## 다. 공기 호흡

봉산나트륨의 한국형 다매체동태모형(SimpleBox Korea(v2.0))에 의한 예측 농도와 현장 대기 측정 자료를 이용하여 노출량을 예측 평가한 결과 모델 예측 결과에서 전국 규모 예측환경농도는  $1.18E-06 \text{ mg/m}^3$ 를 나타내었고 19개 사업장 주변의 국지적 규모에서는  $2.56E-06 \sim 4.44E-03 \text{ mg/m}^3$ 의 범위를 보여주었다. 그리고 2020년 조사에서는 붕소화합물을 많이 사용하는 산업체가 있는 지역 등 환경으로 노출 가능성이 높은 5개 지역의 주요 지점(Hot spot)에 대해 대기 중 붕소 농도를 2회에 걸쳐 측정하여 봉산나트륨에 대한 농도로 환산하여 분석하였다. 국내 대기 중 붕소 농도 분석 결과 조사대상 전 지점에서  $1.10E-06 \sim 3.90E-06 \text{ mg/m}^3$ 의 범위를 나타내었다.

표 3-22. 전국 규모의 예측환경농도(PEC)

	대기 ( $\text{mg/m}^3$ )
예측농도	$1.18E-06$

표 3-23. 국지적 규모의 대기 예측환경농도(PEC)

사업장	대기 ( $\text{mg/m}^3$ )	사업장	대기 ( $\text{mg/m}^3$ )	사업장	대기 ( $\text{mg/m}^3$ )
1	$8.89E-04$	8	$1.89E-05$	15	$5.88E-06$
2	$6.89E-04$	9	$5.62E-06$	16	$2.04E-05$
3	$4.44E-03$	10	$3.22E-05$	17	$5.62E-06$
4	$1.18E-05$	11	$2.59E-04$	18	$1.61E-04$
5	$1.18E-05$	12	$1.01E-05$	19	$1.57E-04$
6	$2.22E-03$	13	$2.56E-06$		
7	$2.22E-03$	14	$6.95E-06$		

표 3-24. 주요 지점 현장 대기 측정농도

지점	값	붕소 농도 (mg B/m <sup>3</sup> )	
		6월	9월
경기도 평택	평균	7.0E-07	2.2E-06
	최소	N.D.	1.8E-06
	최대	2.1E-06	2.7E-06
충남 아산	평균	N.D.	2.9E-06
	최소	N.D.	2.9E-06
	최대	N.D.	3.0E-06
경남 거제	평균	3.9E-06	3.2E-06
	최소	1.9E-06	2.9E-06
	최대	7.8E-06	3.4E-06
경남 창원	평균	3.6E-06	2.5E-06
	최소	3.0E-06	2.4E-06
	최대	4.1E-06	2.6E-06
경북 포항	평균	N.D.	1.1E-06
	최소	N.D.	9.0E-07
	최대	N.D.	1.2E-06

※ 붕산나트륨 농도는 측정된 붕소 농도와 환산계수(0.2149)를 이용하여 환산할 수 있음.

※ N.D. : 불검출(정량한계 1.9 ng B/m<sup>3</sup> 미만)



## 4절. 인체위해도 결정

### 1. 작업자

#### 흡입

ECETOC TRA 모델을 통해 작업자의 흡입 인체위해도를 평가한 결과에서는 최대 노출농도는 2.50 mg/m<sup>3</sup>이고 유해지수(Hazard Quotient, HQ)는 2.50E+00로 계산되었다(표 3-25). 즉 사업자가 제출한 ‘화학물질의 위해성에 관한 자료’ 에서와 같이 각 공정 시나리오별로 적절한 위해성 관리대책(작업조건, 보호구 착용 등)이 지켜진다면 흡입 노출에 의한 작업자의 위해는 없을 것으로 판단된다.

#### 경피

ECETOC TRA 모델을 이용하여 경피 경로에 의한 작업자의 노출량을 추정된 결과, 공정 시나리오에 따라 최대 0.849 mg/kg/day로 노출될 수 있으며, 이때 유해지수는 4.24E-03으로 평가되었다(표 3-25). 즉, 흡입 경로와 유사하게 공정별 위해성 관리대책이 적절하게 유지된다면, 작업자의 위해는 없을 것으로 생각된다.

표 3-25. 작업자에 대한 붕산나트륨의 유해지수

노출 경로	독성참고치	최대 노출농도	유해지수	비고
흡입	1 mg/m <sup>3</sup>	2.50 mg/m <sup>3</sup>	2.50E+00	모델 예측 농도
경피	200.1 mg/kg/day	0.849 mg/kg/day	4.24E-03	

2014년 고용노동부에서 붕산나트륨을 취급하는 사업장을 대상으로 작업 환경에서의 농도를 측정된 결과, 평균 0.26(범위 : 0.00~0.52) mg/m<sup>3</sup>이었다.

## 2. 소비자

소비자 제품인 슬라임, 표백제, 렌즈 세척액 등에 대한 붕산나트륨의 경피, 흡입 노출에 따른 유해지수를 계산했을 때, 유해지수가 모두 1 미만으로 위해우려 가능성이 낮은 것으로 평가되었다.

표 3-26. 소비자 제품에 대한 붕산나트륨의 유해지수

소비자 제품	노출 경로	노출량 및 노출농도	독성참고치	유해지수
슬라임	경피	1.37E-03 mg B/kg/day	36.5 mg B/kg/day	3.74E-05
표백제	경피	1.95E-07 mg B/kg/day	36.5 mg B/kg/day	5.34E-09
	흡입	4.04E-04 mg/m <sup>3</sup>	0.507 mg/m <sup>3</sup>	7.97E-04
렌즈 세척액	경피	5.55E-07 mg B/kg/day	36.5 mg B/kg/day	1.52E-08

## 3. 일반인(환경을 통한 간접노출)

### 가. 음용수 섭취

전국 정수장의 음용수 내 붕소 농도 측정을 통해 경구 노출량과 유해지수를 계산했을 때, 연평균 붕소 농도에 대한 유해지수는 9.59E-04이고, 최대 농도에 대한 유해지수는 6.19E-02으로 모두 1 미만이었다. 따라서, 전국 음용수에서는 붕산나트륨에 대한 위해우려 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

표 3-27. 음용수 내 붕소(B) 농도에 대한 유해지수

지점	기준	붕소 (mg/L)	경구 노출량 (mg B/kg/day)	유해지수
먹는 물 (전국 정수장 n=458)	연평균	0.015	2.79E-04	9.59E-04
	최댓값	0.98	1.80E-02	6.19E-02
	최솟값	N.D.	-	-

## 나. 식품 섭취

현재까지 봉산나트륨의 식품 섭취를 통한 간접노출 자료는 확인되지 않았다.

## 다. 공기 호흡

사업장 주변 등 위해우려 지역의 현장 측정값과 예측 모델을 통한 공기 호흡 인체 노출 유해지수가 모두 1 미만으로 나타나, 호흡으로 인한 위해우려 가능성은 낮은 것으로 나타났다.

표 3-28. 공기 호흡으로 인한 유해지수

노출 경로	독성 참고치	노출농도(봉산나트륨)	유해지수	비고
흡입	2.36 mg/m <sup>3</sup>	(최소) N.D.	-	실측농도
		(평균) 2.01E-05 mg/m <sup>3</sup>	9.35E-06	
		(최대) 3.63E-05 mg/m <sup>3</sup>	1.54E-05	
		(최소) 2.56E-06 mg/m <sup>3</sup>	1.09E-06	모델 예측농도
		(평균) 5.88E-04 mg/m <sup>3</sup>	2.49E-04	
		(최대) 4.44E-03 mg/m <sup>3</sup>	1.88E-03	

※ 봉산나트륨 농도는 측정된 봉소 농도를 환산계수(0.2149)를 이용하여 환산한 농도임.

## 4장. 생태위해성평가

### 1절. 생태영향평가

#### 1. 수생태계

##### 가. 조류

담수조류 성장 저해와 관련한 독성 데이터는 EU RAR, HERA 보고서, NITE 보고서 및 문헌자료 등에 보고되어 있다. 붕산나트륨에 대한 담수조류 성장 저해 영향을 평가하기 위해 붕산나트륨 물질에 대한 자료뿐만 아니라 붕산, 붕소 및 붕사 화합물 등을 대상으로 한 연구 자료를 read-across 자료로 이용하였다.

붕산나트륨 물질을 대상으로 한 연구 자료(Den Dooren de Jong, 1965)에서는 *Chlorella vulgaris* 시험 종을 활용하여 최대 120일까지 시험물질을 노출했다. 총 노출시간에 대한 종말점 LOEC (Lowest Observed Effect Concentration, 최소영향관찰농도) 및 NOEC (No Observed Effect Concentration, 무영향관찰농도)을 평가하였으며, 그 값은 각각 2.2 mg B/L 및 1.1 mg B/L로 나타났다.

Bringmann and Kuhn (1978a, b) 연구에서는 붕산나트륨 물질에 대한 담수조류 성장 저해 독성을 평가하기 위해 시험 종 *Microcystis aeruginosa* 및 *Scenedesmus quadricauda*을 사용하였으며, 총 시험 기간은 8일로 설정하였다. 시험 결과 *Microcystis aeruginosa* 시험 종에 대한 종말점 EC<sub>3</sub> 값을 20 mg B/L로 산출하였고, *Scenedesmus quadricauda* 시험 종에 대한 종말점 Tox-Threshold(역치) 값을 0.1 mg B/L로 산출하였다.

Hickey et al. (1991) 연구에서는 붕산나트륨 물질을 대상으로 약 4일간 담수조류 성장 저해 독성 시험을 시행하였다. 시험 종은 *Selenastrum capricornutum*을 활용하였으며, 총 노출시간에 대한 종말점 EC<sub>50</sub> 값을 3.3 mg B/L로 평가하였다.

붕산나트륨 물질을 대상으로 한 연구 자료(ECETOC, 1997)도 확인할 수 있었다. 해당 연구는 공인된 시험방법인 OECD Guideline 201에 따랐으며, 시험 종 *Scenedesmus subspicatus*을 대상으로 지수식(static) 노출 시스템을

적용하여 총 4일간 시험을 시행하였다. 시험 결과, 종말점  $EC_{10}$  값을 24 mg B/L로 산출하였다.

붕산 물질을 대상으로 시험한 연구 자료는 아래와 같다.

Hanstveit and Oldersma (2000) 연구는 OECD Guideline 201 방법을 바탕으로 *Selenastrum capricornutum* 종에 대한 성장 저해 시험을 시행하였다. 시험 기간은 3일(74.5 시간)이며, 지수식(static) 방법을 활용하여 노출했다. 초기 설정한 노출농도는 0, 32, 56, 100, 181, 321, 562 mg Boric acid/L이며, 이를 붕소로 환산하면 0, 5.6, 9.8, 17.5, 31.7, 56.2, 98.4 mg B/L이다. 예비시험에서는 100 mg Boric acid/L 농도 이상에서 담수조류의 성장 저해 억제 영향이 확인되었다. 본 시험에서는  $EbC_{10}$ ,  $ErC_{10}$ , No effect concentration, NOEC,  $EC_{50}$ 을 각각 24.5 mg B/L, 35 mg B/L, 27 mg B/L, 17.5 mg B/L, 52.5 mg B/L로 산출하였으며, 이를 붕산 물질의 농도로 환산하였을 경우 NOEC 값은 100 mg Boric acid/L이다.

그 외에도, Martinez et al. (1986) 연구에서는 *Anacystis nidulans* 시험 종을 이용하여 총 4일간 시험을 시행하였으며, 시험물질은 붕산이다. 초기 노출농도는 10, 25, 50, 75, 100 mg B/L로 설정하였으며, 노출 방법은 지수식(static)을 이용하였다. 시험 결과 LOEC 75 mg B/L, NOEC 50 mg B/L로 평가하였다. Mateo et al. (1987) 연구에서는 *Anabaena* 시험 종을 이용하여 담수조류 성장 저해 시험을 시행하였다. 시험물질은 붕산이며, 시험 기간은 총 4일로 설정하였다. 시험 결과 각 시험 종에 대해 종말점 LOEC 값을 50 mg B/L로 산출하였다.

*Chlorella pyrenoidosa* 시험 종을 대상으로 한 연구(Wong and Wong, 1990)에서는 14일간 붕산을 50, 100 mg B/L의 농도로 노출했으며, 시험 결과, 세포분열 변화(cytokinesis 지연)가 확인되어 이에 대한 종말점 LOEC 및 NOEC을 각각 0.8 mg B/L, 0.4 mg B/L로 평가하였다.

표 4-1. 붕소류에 대한 담수 조류성장 저해 급/만성독성 값

방법	결과	비고
<b>Disodium tetraborate</b>		
시험물질: Disodium tetraborate 시험 종: <i>Chlorella vulgaris</i> 시험 기간: 90~120일	120d-LOEC: 2.2 mg B/L 120d-NOEC: 1.1 mg B/L	Den Dooren de Jong, 1965
시험물질: Disodium tetraborate 시험 종: <i>Microcystis aeruginosa</i> 시험 기간: 8일	8d-EC <sub>3</sub> 20 mg B/L	Bringmann and Kuhn, 1978a
시험물질: Disodium tetraborate 시험 종: <i>Scenedesmus quadricauda</i> 시험 기간: 8일	8d-Tox Threshold 0.12 mg B/L	Bringmann and Kuhn, 1977
시험물질: Disodium tetraborate 시험 종: <i>Scenedesmus quadricauda</i> 시험 기간: 8일	8d-Tox Threshold 0.1 mg B/L	Bringmann and Kuhn, 1978b
시험물질: Disodium tetraborate 시험 종: <i>Selenastrum capricornutum</i> 시험 기간: 96시간	250 mg B/L 농도까지 독성 증상 관찰되지 않음 96h-EC <sub>50</sub> 3.3 mg B/L	Hickey et al., 1991
<b>Sodium tetraborate</b>		
시험물질: Sodium tetraborate 시험 종: <i>Scenedesmus subspicatus</i> 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 96시간 시험방법: OECD Guideline 201	96h-EC <sub>10</sub> : 24 mg B/L	ECETOC, 1997
<b>Boric acid</b>		
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Anabaena</i> 설정 농도: 50, 75, 100 mg B/L 시험 기간: 96시간	96h-LOEC: 50 mg B/L	Mateo et al., 1987
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Anacystis nidulans</i> 설정 농도: 10, 25, 50, 75, 100 mg B/L 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 96시간	96h-LOEC: 75 mg B/L 96h-NOEC: 50 mg B/L	Martinez et al., 1986
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Chlorella pyrenoidosa</i> 설정 농도: 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 mg B/L 시험 기간: 14일	생장률 저해 관찰 14d-LOEC: 0.8 mg B/L 14d-NOEC: 0.4 mg B/L	Wong and Wong, 1990

방법	결과	비고
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Selenastrum capricornutum</i> 시험 기간: 74.5시간 설정 농도: 0, 32, 56, 100, 181, 321, 562 mg Boric acid/L 측정농도: 0, 5.6, 9.8, 17.5, 31.7, 56.2, 98.4 mg B/L 노출 방법: 지수식(static) 시험방법: OECD Guideline 201 및 GLP 인증	예비시험에서는 100 mg/L 농도 이상에서 담수조류의 성장 저해 억제 영향 확인 72h-NOEC: 17.5 mg B/L (100 mg Boric acid/L) 72h-E <sub>b</sub> C <sub>10</sub> : 24.5 mg B/L 72h-E <sub>r</sub> C <sub>10</sub> : 35.0 mg B/L 72h-E <sub>r</sub> C <sub>50</sub> : 52.4 mg B/L 72h-E <sub>b</sub> C <sub>50</sub> : 40.2 mg B/L	Hanstveit and Oldersma, 2000
<b>Borate</b>		
시험물질: Borate 시험 종: <i>Myriophyllum spicatum</i> 시험 기간: 32일	32d-EC <sub>50</sub> : 40.3 mg B/L	Raymond and Butterwick, 1992
<b>Borax</b>		
시험물질: Borax 시험 종: <i>Scenedesmus subspicatus</i> 시험방법: DIN 38412 T.9	Cell multiplication inhibition EC <sub>10</sub> : 24 mg B/L	Guhl, 1992
<b>Boron</b>		
시험물질: Boron 시험 종: <i>Lemna minor</i> (좁개구리밥) 시험 기간: 7일	60 mg B/L 농도까지 독성영향 유도하지 않음 7d-NOEC: 60 mg B/L	Wang, 1986
시험물질: Boron 시험 종: <i>Scenedesmus subspicatus</i>	96h-EC <sub>0</sub> : 10 mg B/L	Guhl, 1992
<b>시험물질 정보 없음</b>		
시험 종: <i>Selenastrum capricornutum</i> 시험 기간: 96시간 노출 방법: 지수식(static)	96h-EC <sub>50</sub> : 15.4 mg/L	Hickey et al., 1991

## 나. 수서 무척추동물

### 급성독성

자연 수생환경에서 수많은 화학물질의 실제 독성은 수질 매개변수 및 기타 잠재적 요인과의 상호작용 때문에 변할 수 있다. 수질의 경도 및 황산염의 농도는 수질 매개변수로서 평가할 수 있으며, 이전 연구에서, 많은 금속 물질의 독성이 수질 경도가 증가함에 따라 감소한다는 것을 확인하였다 (Laws EA, 1981; US EPA, 1972).

붕소류에 대한 수서 무척추동물 급성독성 자료는 EU RAR, NITE 보고서, DME 보고서 및 기타 문헌자료를 통해 확인할 수 있다. 붕산나트륨에 대한 무척추동물 급성독성 영향을 평가하기 위해 해당 물질에 대한 자료뿐만 아니라 붕사10수화물, 붕소 및 붕사 화합물 등을 대상으로 한 연구 자료를 read-across 자료로 이용하였다.

붕사10수화물 물질을 대상으로 한 수서 무척추동물 급성독성 연구(Maier and Knight, 1991)에서는 *Daphnia magna* 시험 종을 대상으로 시험을 시행하였다. 노출 시스템은 반지수식(semi-static)을 활용하였으며, 시험 기간은 총 2일로 설정하였다. 시험 결과 급성독성의 종말점으로 EC<sub>50</sub> 값을 141 mg B/L로 산출하였다.

Maier and Knight (1991)의 또 다른 연구에서는 US EPA Guideline에 따라 시험을 시행하였으며, 시험 종은 *Chironomus decorus*을 활용하였다. 노출 시스템은 반지수식(semi-static)으로 하였으며, 시험 기간은 최대 4일로 설정하였다. 시험 결과 노출 기간 2일에 대해서는 종말점 EC<sub>50</sub> 1,376 mg B/L을 산출하였고, 노출 기간 4일에 대해서는 종말점 LOEC 및 NOEC 값을 각각 20 mg B/L 및 10 mg B/L로 산출하였다.

붕산 물질을 대상으로 한 연구 자료는 아래와 같다.

Hickey CW (1989) 연구에서는 *Daphnia magna*, *Daphnia carinata*, *Simocephalus vetulus*, *Ceriodaphnia pulchella* 및 *Ceriodaphnia dubia* 시험 종을 이용하여 1일간 붕산 노출(지수식 노출, static)에 대한 급성 영향을 살펴 보았다. 앞서 나열한 시험 개체 순으로 종말점 EC<sub>50</sub> 값은 319.8 mg B/L, 267.7 mg B/L, 123.4 mg B/L, 180.6 mg B/L, 101.2 mg B/L로 산출되었다.



붕산을 시험물질로 하면서, 공인된 시험방법인 ASTM Subcommittee on Safety to Aquatic Organisms를 따른 연구(Gersich FM, 1984)에서는 지침에서 권장하는 시험 종인 *Daphnia magna*를 사용하였다. 시험 기간은 48시간이며, 노출 방법은 지수식(static)을 활용하였다. 시험농도를 54, 91, 151, 252, 420, 700 mg B/L로 설정하여 시험 개체에 시험물질을 노출한 결과, 반수치사농도 LC<sub>50</sub> 값이 133 mg B/L로 산출되었다.

또 다른 연구(Lewis and Valentine, 1981)에서는 EPA Guideline에 따라 물벼룩 급성독성 시험을 시행하였다. 시험 종은 *Daphnia magna*이며, 해당 연구 또한 지수식(static)의 노출 방법을 적용하여 시험 개체에 붕산을 노출했다. 시험 결과, 종말점 LC<sub>50</sub>의 값은 226 mg B/L로 평가되었다.

표 4-2. 붕소류에 대한 수서 무척추동물 급성독성 값

방법	결과	비고
<b>Sodium tetraborate decahydrate</b>		
시험물질: Sodium tetraborate decahydrate 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 노출 방법: 반지수식(semi-static) 시험 기간: 48시간	48h-EC <sub>50</sub> : 141 mg B/L	Maier and Knight, 1991
시험물질: Sodium tetraborate 시험 종: <i>Chironomus decorus</i> 노출 방법: 반지수식(semi-static) 시험 기간: 48~96시간 시험방법: US EPA Guideline	48h-EC <sub>50</sub> 1376 mg B/L 96h-LOEC: 20 mg B/L 96h-NOEC: 10 mg B/L	Maier and Knight, 1991
<b>Boric acid</b>		
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 노출 방법: 반지수식(semi-static) 시험 기간: 24시간	24h-EC <sub>50</sub> 319.8 mg B/L 24h-EC <sub>10</sub> 250.0 mg B/L	Hickey, 1989
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daphnia carinata</i> 노출 방법: 반지수식(semi-static) 시험 기간: 24시간	24h-EC <sub>50</sub> 267.7 mg B/L 24h-EC <sub>10</sub> 138.8 mg B/L	Hickey, 1989
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Simcephalus vetulus</i> 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 24시간	24h-EC <sub>50</sub> 123.4 mg B/L 24h-EC <sub>10</sub> 38.1 mg B/L	Hickey, 1989
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Ceriodaphnia dubia</i> 시험 기간: 24시간	24h-EC <sub>50</sub> 180.6 mg B/L 24h-EC <sub>10</sub> 130.4 mg B/L	Hickey, 1989
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Ceriodaphnia pulchella</i> 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 24시간	24h-EC <sub>50</sub> 101.2 mg B/L 24h-EC <sub>10</sub> 48.8 mg B/L	Hickey, 1989

방법	결과	비고
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 설정 농도: 54, 91, 151, 252, 420, 700 mg B/L 시험 기간: 48시간 노출 방법: 지수식(static) 시험방법: ASTM Subcommittee on Safety to Aquatic Organisms	48h-LC <sub>50</sub> : 133 mg B/L	Gersich, 1984
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 48시간 시험방법: EPA Guideline	48h-EC <sub>50</sub> : 266 mg B/L 48h-LC <sub>50</sub> : 226 mg B/L	Lewis and Valentine, 1981
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Ceriodaphnia dubia</i> 시험방법: ASTM E729-96 노출 기간: 48시간 노출 방법: 지수식 시험 조건: 25 °C, pH 7.4±0.3, 경도 100 mg CaCO <sub>3</sub> /L	LC <sub>50</sub> (95% CI) =102(82~126) mg B/L	Soucek et al., 2011
시험물질: Boric acid(≥99.5%) + Borax(≥99.5%) 시험종: <i>Ceriodaphnia dubia</i> 노출 기간: 48시간 노출 방법: 유수식 노출 농도: control, 27.6, 49.8, 118, 223, 391 mg B/L(측정농도) 시험 조건: 25±1 °C, pH 7.75	LC <sub>50</sub> (95% CI) =76.9(62.3~94.9) mg B/L	EPA, 2010
<b>Borax</b>		
시험물질: Borax 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 시험 기간: 24시간	24h-LC <sub>50</sub> : 73 mg B/L	문헌 확보 안 됨 Bringman and Kuhn, 1977

## 만성독성

붕소류에 대한 수서 무척추동물 만성독성 자료는 EU RAR 및 문헌자료에서 확인할 수 있다.

붕산나트륨에 대한 수서 무척추동물 만성독성 영향을 평가하기 위해 붕산 및 붕소 등을 대상으로 한 연구 자료를 read-across 자료로 이용하였다.

우선, 붕소를 시험물질로 설정한 연구 자료(Gerke, 2011b)에서는 OECD Guideline 219 및 GLP 체제하에 물벼룩 만성독성 시험을 시행하였다. 시험종은 *Chironomus riparius*으로 설정하였으며, 시험농도는 0, 2.5, 5.0, 10, 20, 40, 80 mg B/L로 하였다. 노출 시스템으로 지수식(static) 방법을 적용하였으며, 시험 기간은 총 28일이다. 시험 결과, 유영저해에 대한 NOEC 값은 20.4 mg B/L로 평가하였으며, 성장 저해율에 대한 NOEC 값은 43.3 mg B/L로 평가하였다.

붕산 물질을 시험물질로 한 연구 자료는 아래와 같다.

Gersich and Milazzo (1990) 연구에서는 14일간 *Daphnia magna*를 대상으로 물벼룩 만성독성 시험을 시행하였다. 초기 시험농도는 (Test 1) 7.4, 13.8, 28.1, 57.4, 107.4 mg B/L, (Test 2) 7.8, 14.3, 28.9, 60.0, 113.2 mg B/L로 설정하였으며, 반지수식(semi-static)의 노출 시스템을 활용하였다. 시험 결과, 시험농도가 증가함에 따라 성장 저해(크기)에 대한 독성영향이 통계적으로 유의하게 나타났으며, 57.4 mg/L 농도 이상에서는 모든 시험 개체의 폐사를 확인하였다. 관찰한 독성영향에 대한 종말점 NOEC 값은 13.8 및 14.3 mg B/L로 나타났다.

Gersich (1984) 연구는 OECD Guideline에 따라 시험을 시행하였으며, 21일간 시험물질을 시험 개체에 노출했다. 시험종은 *Daphnia magna*이며, 시험농도는 7, 14, 28, 56, 105 mg B/L로 설정하였고 실질적으로 측정농도는 6.4, 13.6, 29.4, 59.3 mg B/L로 나타났다. 반지수식(semi-static)의 시스템으로 시험물질을 시험 개체에 노출한 결과, MATC 값을 6.4 mg B/L로 산출하였다. MATC는 Maximum acceptable toxicant concentration의 약어로, 최대허용농도를 지칭한다. 이는 일반적으로 NOEC 및 LOEC의 기하학적 평균으로 계산할 수 있다.

OECD TG 211에 따라 물벼룩(*Daphnia magna*)을 대상으로 21일 동안 붕산(순도  $\geq 99\%$ ) 1.8, 3.2, 5.6, 10, 18, 32, 56 mg B/L(설정농도; 측정농도 0.57, 2.59, 3.92, 6.55, 10.78, 19.49, 59.14 mg B/L)에 반지수식으로 노출시켜 생식능시험을 수행하였다. pH 7.2~8.0, 온도 19.3~20.9 °C, 경도 212 mg CaCO<sub>3</sub>/L의 시험조건에서 수행하였다. 최고농도 56 mg B/L(설정농도)에서 모든 개체가 치사하였다. 치사율에 대한 21일-LC<sub>50</sub>, 21일-LOEC 및 21일-NOEC 값은 각각 34 mg B/L(설정농도), 56 mg B/L(설정농도) 및 32 mg B/L(설정농도)이었고, 형태학적 및 행동학적 영향에 대한 21일-LOEC 및 NOEC는 각각 32 mg B/L(설정농도) 및 18 mg B/L(설정농도)이었다. 생식능에 대한 21일-EC<sub>50</sub>, 21일-LOEC 및 21일-NOEC 값은 각각 22 mg B/L(설정농도), 18 mg B/L(설정농도) 및 10 mg B/L(설정농도)이었다(Hoofman et al., 2000b).

Lewis and Valentine (1981)도 마찬가지로 *Daphnia magna* 시험 종을 이용하여 물벼룩 만성독성 시험을 21일간 수행하였으며, 시험농도는 6, 13, 27, 53, 106 mg B/L로 설정하였다. 노출 결과 시험 개체의 brood 크기가 감소하였으며, 생식독성이 확인되어 노출 21일에 대한 종말점 NOEC 값을 6 mg B/L로 평가하였다.

Hickey (1989)에서는 *Daphnia magna* 시험 종에 대한 14일 만성영향의 NOEC 값을 18 mg B/L로 평가하였으며, *Ceriodaphnia dubia* 시험 종에 대해서는 NOEC 값을 10 mg B/L로 평가하였다.

붕산류에 대한 저서생물 만성독성에 관한 자료는 다음과 같다.

Gerke (2011a)에서는 붕산의 저서생물 만성독성을 평가하기 위해 OECD Guideline 218에 따라 *Chironomus riparius* 종을 이용하여 시험을 시행하였으며, 시험농도는 81.6, 143.5, 254.8, 452.4, 806.5 mg B/L로 설정하고 지수식(static) 시스템으로 약 28일간 노출했다. 시험 결과 노출 28일에 대한 NOEC 값은 37.7 mg/kg dw로 나타났다.

같은 시험 종을 사용한 또 다른 연구(Hoofman et al., 2000c)에서는 OECD Guideline 및 GLP 체제하에 18, 32, 56, 100, 180, 320 mg B/kg 농도로 시험을 시행하였으며, 28일간 노출에 대한 NOEC 값을 180 mg B/kg dw로 평가하였다.

OECD Guideline 219 및 GLP 체제하의 연구 자료(Gerke, 2011b)에서는 *Chironomus riparius*를 이용하여 지수식(static) 시스템으로 저서생물 만성독성 시험을 시행하였으며, 28일 노출에 대한 NOEC 값을 20.1 mg/kg dw로 산출하였다.

담수조개류 *Lampsilis siliquoidea*를 대상으로 ASTM E2455-06에 따라 퇴적물에 붕산 0, 81.6, 143.5, 254.8, 452.4, 806.5 mg B/kg sediment dw(설정농도)를 첨가하여 21일 동안 반지수식으로 조개류의 만성독성시험을 수행하였다. 치사율에 대한 NOEC 값은 284 mg B/kg sediment dw(설정농도)이었고, 조개껍질 길이에 대한 NOEC 값은 80.6 mg B/kg sediment dw(설정농도)이었다(Lockwood, 2011a).

담수 지렁이 *Lumbriculus variegatus*를 대상으로 OECD TG 225에 따라 퇴적물에 붕산 0, 100.8, 201.6, 403.2, 806.4, 1,613 mg B/kg sediment dw(설정농도)를 첨가하여 28일 동안 반지수식으로 지렁이의 만성독성시험을 수행하였다. 성장률(총 개체수)에 한 NOEC 값은 <100.8 mg B/kg sediment dw(설정농도)이었고, 바이오매스(biomass)에 대한 NOEC 값은 201.6 mg B/kg sediment dw(설정농도)이었다(Lockwood, 2011b).

표 4-3. 붕소류에 대한 수서 무척추동물 만성독성 값

방법	결과	비고
<b>Boron</b>		
시험물질: Boron 시험 종: <i>Chironomus riparius</i> 설정 농도: 0, 2.5, 5.0, 10, 20, 40, 80 mg B/L 측정농도: 0.298, 3.06, 5.93, 11.0, 20.4, 43.3, 89.3 mg B/L 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 28일 시험조건: 140~162 mg/L hardness 시험방법: OECD Guideline 219 및 GLP 인증	유영저해 28d-NOEC 20.4 mg B/L  생장 저해율 28d-NOEC 43.3 mg B/L	Gerke, 2011b

방법	결과	비고
<b>Boric acid</b>		
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Chironomus riparius</i> 설정 농도: 0, 2.5, 5.0, 10, 20, 40, 80 mg B/L 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 28일 시험방법: OECD Guideline 219 및 GLP	28d-LOEC: 43 mg B/L 28d-NOEC: 20.1 mg B/L 28d-NOEC: 43 mg B/L	Gerke, 2011b
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 측정농도: (Test 1) 0, 7.4, 13.8, 28.1, 57.4, 107.4 mg B/L (Test 2) 0, 7.8, 14.3, 28.9, 60.0, 113.2 mg B/L 노출 방법: 반지수식(semi-static) 시험조건: 170 mg/L hardness 시험 기간: 14일	생존율, 새끼 수/크기/무게 등 생식능력의 차이 확인 Test 1 14d-NOEC 13.8 mg B/L Test 2 14d-NOEC 14.3 mg B/L	Gersich and Milazzo, 1990
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 설정 농도: 6, 13, 27, 53, 106 mg B/L 시험 기간: 21일	brood 크기 감소, 생식독성 확인 21d-NOEC: 6 mg B/L	Lewis and Valentine, 1981
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 설정 농도: 0, 7, 14, 28, 56, 105 mg B/L 측정농도: 0, 6.4, 13.6, 29.4, 59.3 mg B/L 노출 조건: 반지수식(semi-static) 시험 기간: 21일 시험조건: 170 mg/L hardness 시험방법: OECD Guideline	21d-MATC : 6.4 mg B/L 21d-MATC : 13.6 mg B/L 21d-MATC : 9.3 mg B/L (6.4 및 13.6 값의 기하평균) * MATC: NOEC 및 LOEC의 기하학적 평균 (MATC / $\sqrt{2}$ = NOEC)	Gersich, 1984
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 노출 방법: 반지수식(semi-static) 시험 기간: 14일	14d-NOEC 18.0 mg B/L	Hickey CW, 1989
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Ceriodaphnia dubia</i> 시험 기간: 14일	14d-NOEC 10.0 mg B/L	Hickey CW, 1989
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daphnia magna</i> 설정 농도: 1.8, 3.2, 5.6, 10, 18, 32, 56 mg B/L	유영저해 21d-NOEC 34.2 mg B/L	Hoofman et al., 2000b

방법	결과	비고
측정농도: 0.57, 2.59, 3.92, 6.55, 10.78, 19.49, 34.17, 59.14 mg B/L 노출 방법: 반지수식(semi-static) 시험 기간: 21일 시험조건: 212 mg/L hardness 시험방법: OECD Guideline 211 및 GLP 인증	생식독성(reproduction) 21d-EC <sub>10</sub> 17.7 mg B/L 21d-NOEC 10.8 mg B/L	
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Chironomus riparius</i> 설정 농도: 0, 6.5, 13, 25, 50, 100, 200 mg B/kg dry sediment 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 28일 시험조건: 176~230 mg/L hardness 시험방법: OECD Guideline 218 및 GLP 인증	28d-LOEC: > 37.7 mg/kg 28d-NOEC: 37.7 mg/kg 28d-NOEC: 81 mg/kg	Gerke, 2011a
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Chironomus riparius</i> 설정 농도: 18, 32, 56, 100, 180, 320 mg/kg dry sediment 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 28일 시험방법: OECD Guideline 및 GLP	28d-NOEC 180 mg/kg 28d-LOEC 320 mg/kg	Hooftman et al., 2000c
시험 종: <i>Lamprolaima siliquoidea</i> 설정 농도: 0, 81.6, 143.5, 254.8, 452.4, 806.5 mg B/kg sediment dw 노출 방법: 반지수식(semi-static) 시험 기간: 21일 시험조건: 74.4~111.2 mg/L hardness 시험방법: ASTM E2455-06 OECD Guideline 및 GLP	21d-NOEC: 80.6 mg/kg 21d-NOEC: 284 mg/kg	Lockwood, 2011a
시험 종: <i>Lumbriculus variegatus</i> 설정 농도: 0, 100.8, 210.6, 403.2, 806.4, 1613 mg B/kg sediment dw 노출 방법: 반지수식(semi-static) 시험 기간: 28일 시험조건: 60.8~90.4 mg/L hardness 시험방법: OECD Guideline 및 GLP	28d-NOEC < 100.8 mg/kg 28d-NOEC: 201.6 mg/kg	Lockwood, 2011b



## 다. 어류

### 급성독성

붕소류에 대한 어류 급성독성 자료는 EU RAR, HERA 보고서 및 기타 문헌자료를 통해 확인할 수 있다.

붕산나트륨에 대한 어류 급성독성 영향을 평가하기 위해 해당 물질의 자료뿐만 아니라 붕산, 붕소 및 붕소화합물 등을 대상으로 한 연구 자료를 read-across 자료로 이용하였으며, 자세한 사항은 아래 표와 같다.

붕산나트륨을 시험물질로 연구한 자료(Raymond and Butterwick, 1992)에서는 시험 중 *Lepomis macrochirus*을 사용하여 약 24시간(1일간) 시험물질을 노출했다. 시험 결과, 급성독성에 대한 종말점 LC<sub>50</sub> 값을 4.6 mg B/L로 평가하였다.

또 다른 연구자료(Wallen et al., 1957)에서는 붕산나트륨 물질을 대상으로 *Gambusia affinis* 시험 종을 이용하여 어류 급성독성 시험을 시행한 결과, 노출 96시간에 대한 시험 개체의 반수치사농도 LC<sub>50</sub> 값을 408 mg B/L로 평가하였다.

붕사 물질을 이용하여 시험한 연구 자료(Dyer, 2001)에서는 *Carassius auratus* 종을 이용하였으며, 수질의 경도를 50 mg/L 및 200 mg/L로 설정하여 7일간의 독성 증상을 관찰하였다. 종말점으로 LC<sub>10</sub>을 산출하였고, 수질 정도에 따라 각각 20 mg B/L 및 16 mg B/L로 나타났다.

같은 시험 중(*Carassius auratus*)을 이용한 또 다른 연구 자료(Birge and Black, 1977)를 살펴보면, 해당 연구에서도 수질의 경도를 50 ppm 및 200 ppm로 설정하였고, 시험 기간도 7일로 같다. 종말점으로는 LC<sub>01</sub>을 산출하였으며, 수질의 정도에 따라 각각 1.4 ppm Boron 및 0.9 ppm Boron으로 나타났다.

Boron trifluoride+NaOH 물질을 평가에 활용한 자료를 살펴보면, 시험 종은 *Lepomis macrochirus*이며, 수질의 경도를 80~110 mg/L hardness로 설정하여 4일간 어류 급성독성 시험을 시행하였다. 종말점으로 TLm(Median Tolerance Limit)을 살펴보고, 결과는 5 mg B/L로 나타났다(Turnbull et al, 1954).

붕산을 시험물질로 한 연구 자료는 다음과 같다.

미국시험재료협회(American Society for Testing and Materials, ASTM) 표준지침(Standard Guide) ASTM E729-95 및 EPA OPPTS 850.1075에 따라 Fathead minnow(*Pimephales promelas*)를 대상으로 96시간 동안 지수식으로 어류급성독성시험을 수행하였다. 붕산 노출농도는 Control, 15.6, 31.3, 62.5, 125, 250 mg B/L(설정농도); <0.022, 15, 32, 64, 125, 255 mg B/L(측정농도)이었고, 온도 24.7 °C, pH 8, 용존산소 >6.0 mg/L, 경도 91 mg CaCO<sub>3</sub>/L의 시험 조건에서 노출하였다. 96h-LC<sub>50</sub>(95% CI)은 79.7(72~88) mg B/L(측정농도)이었다(Soucek et al., 2011).

Guhl W (1992)에서는 ISO 7346/II 방법을 활용하여 어류 급성독성 시험을 시행하였다. 시험 종은 *Brachydanio rerio*를 사용하였으며, 시험물질은 붕산으로 설정하여 시험 기간 총 4일에 대한 독성영향을 살펴보았다. 시험 결과, 종말점으로 LC<sub>50</sub> 값을 14 mg B/L로 산출하였다.

Birge and Black (1977) 연구에서는 시험 종 *Ictalurus punctatus* 및 *Carassius auratus*을 이용하여 어류 급성독성 시험을 시행하였다. *Ictalurus punctatus* 종에 대해서는 시험농도를 0.01~300 ppm으로 설정하였으며, *Carassius auratus* 종에 대해서는 1, 10, 50, 100 ppm으로 설정하였다. 시험 기간은 각각 9일, 7일이며, 노출 시스템은 유수식(flow-through), 경도는 50, 200 ppm hardness로 같다. 시험 결과, 각각의 시험 종에 대한 종말점 LC<sub>50</sub> 값을 155 ppm(Boron, 50 mg/L hardness), 22 ppm(Boron, 200 mg/L hardness) 및 46 ppm(Boron, 50 mg/L hardness), 75 ppm(Boron, 200 mg/L hardness)으로 산출하였다.

Hamilton and Buhl (1997) 연구에서는 붕산의 어류 급성독성 시험을 위해 *Catostomas latipinnis* 시험 종을 사용하였다. 시험 process는 ASTM(1989) 방법을 따랐으며, 시험농도(측정값)는 0.060, 0.150, 0.170, 0.270 mg B/L로 설정하였다. 노출 시스템은 지수식(static)으로 약 96시간 동안 시험물질에 노출한 결과, 반수치사농도 LC<sub>50</sub> 값은 125 mg B/L로 나타났다.

ASTM (1989)의 시험방법에 따른 추가 연구 자료는 다음과 같다. Hamilton (1995) 연구에서는 상기 연구 방법에 따라 *Colorado squawfish*, *Razorback*

*sucker*, *Bonytail* 시험 종을 이용하여 붕산에 대한 어류 급성독성 시험을 시행하였다. 노출 시스템은 지수식(static)이며, 총 96시간 동안 시험물질을 노출한 결과, *Colorado squawfish* 종에 대해서는 (Swimup fry) LC<sub>50</sub> 279 mg B/L, (0.4~1.1 g juvenile) LC<sub>50</sub> > 100 mg B/L, (1.7 g juvenile) LC<sub>50</sub> 527 mg B/L로 나타났다. 시험 종 *Razorback sucker*에 대해서는 (Swimup fry) LC<sub>50</sub> 233 mg B/L, (0.9 g juvenile) LC<sub>50</sub> 279 mg B/L, (2.0 g juvenile) LC<sub>50</sub> > 100 mg B/L로 평가되었고, 마지막 *Bonytail* 종에 대해서는 (Swimup fry) LC<sub>50</sub> 280 mg B/L, (1.1 g juvenile) LC<sub>50</sub> > 100 mg B/L, (2.6 g juvenile) LC<sub>50</sub> 552 mg B/L로 산출되었다.

표 4-4. 붕소류에 대한 어류 급성독성 값

방법	결과	비고
<b>Disodium tetraborate</b>		
시험물질: Disodium tetraborate 시험 종: <i>Lepomis macrochirus</i> 시험 기간: 24시간	24h-LC <sub>50</sub> : 4.6 mg B/L	Raymond and Butterwick, 1992
시험물질: Sodium tetraborate 시험 종: <i>Gambusia affinis</i> 시험 기간: 96시간	96h-LC <sub>50</sub> : 408 mg B/L	Wallen et al, 1957
<b>Borax</b>		
시험물질: Borax 시험 종: <i>Ictalurus punctatus</i> 설정 농도: 0.05~300 ppm 노출 방법: 유수식(flow-through) 시험 기간: 9일 시험조건: 50, 200 ppm hardness	50 mg/L hardness 9d-LC <sub>01</sub> : 5.5 ppm Boron 9d-LC <sub>50</sub> : 155 ppm Boron  200 mg/L hardness 9d-LC <sub>01</sub> : 1.7 ppm Boron 9d-LC <sub>50</sub> : 71 ppm Boron	Birge and Black, 1977
시험물질: Borax 시험 종: <i>Carassius auratus</i> 설정 농도: 1, 10, 50, 100 ppm 노출 방법: 유수식(flow-through) 시험 기간: 7일 시험조건: 50, 200 ppm hardness	50 mg/L hardness 7d-LC <sub>01</sub> : 1.4 ppm Boron 7d-LC <sub>50</sub> : 65 ppm Boron  200 mg/L hardness 7d-LC <sub>01</sub> : 0.9 ppm Boron 7d-LC <sub>50</sub> : 59 ppm Boron	Birge and Black, 1977
시험물질: Borax 시험 종: <i>Carassius auratus</i> 시험 기간: 7일 시험조건: 50, 200 mg/L hardness	50 mg/L hardness 7d-LC <sub>10</sub> : 20 mg B/L  200 mg/L hardness 7d-LC <sub>10</sub> : 16 mg B/L	Dyer, 2001

방법	결과	비고
시험물질: Borax 시험 종: <i>Gambusia affinis</i> (adult female) 시험 기간: 96시간	96h-LC <sub>50</sub> : 408 mg B/L	Raymond and Butterwick, 1992
시험물질: Borax 시험 종: <i>Ictalurus punctatus</i> 시험 기간: 9일 시험조건: 50, 200 mg/L hardness	50 mg/L hardness 9d-LC <sub>10</sub> : 33 mg B/L  200 mg/L hardness 9d-LC <sub>10</sub> : 16 mg B/L	Dyer, 2001
시험물질: Borax 시험 종: <i>Micropterus salmoides</i> 시험 기간: 11일 시험조건: 200 mg/L hardness	11d-LC <sub>10</sub> (NOEC): 6 mg B/L	Dyer, 2001
<b>Boric acid</b>		
시험물질: Boric acid 시험 종: Fathead minnow( <i>Pimephales promelas</i> ) 시험방법: ASTM E729-95 및 EPA OPPTS 850.1075 노출 기간: 96시간 노출 방법: 지수식 노출농도: Control, 15.6, 31.3, 62.5, 125, 250 mg B/L(설정농도); <0.022, 15, 32, 64, 125, 255 mg B/L(측정농도) 시험조건: 24.7 °C, pH 8, 용존산소 >6.0 mg/L, 경도 91 mg CaCO <sub>3</sub> /L	LC <sub>50</sub> (95% CI) =79.7(72~88) mg B/L	Soucek et al., 2011
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Brachydanio rerio</i> 시험 기간: 96시간 시험방법: ISO 7346/II method	96h-LC <sub>50</sub> : 14 mg B/L	Guhl, 1992
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Ictalurus punctatus</i> 설정 농도: 0.01~300 ppm 노출 방법: 유수식(flow-through) 시험 기간: 9일 시험조건: 50, 200 ppm hardness	50 mg/L hardness 9d-LC <sub>01</sub> : 0.5 ppm Boron 9d-LC <sub>50</sub> : 155 ppm Boron  200 mg/L hardness 9d-LC <sub>01</sub> : 0.2 ppm Boron 9d-LC <sub>50</sub> : 22 ppm Boron	Birge and Black, 1977
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Carassius auratus</i> 설정 농도: 1, 10, 50, 100 ppm 노출 방법: 유수식(flow-through) 시험 기간: 7일 시험조건: 50, 200 ppm hardness	50 mg/L hardness 7d-LC <sub>01</sub> : 0.6 ppm Boron 7d-LC <sub>50</sub> : 46 ppm Boron  200 mg/L hardness 7d-LC <sub>01</sub> : 0.2 ppm Boron	Birge and Black, 1977

방법	결과	비고
	7d-LC <sub>50</sub> : 75 ppm Boron	
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Catostomas latipinnis</i> 측정농도: 0.060, 0.150, 0.170, 0.270 mg B/L 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 96시간 시험조건: 144 mg/L hardness 시험방법: ASTM(1989)	96h-LC <sub>50</sub> : 125 mg B/L	Hamilton and Buhl, 1997
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Colorado squawfish</i> 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 96시간 시험조건: 196 mg/L hardness 시험방법: ASTM(1989)	Swimup fry 96h-LC <sub>50</sub> : 279 mg B/L  0.4~1.1 g juvenile 96h-LC <sub>50</sub> : > 100 mg B/L  1.7 g juvenile 96h-LC <sub>50</sub> : 527 mg B/L	Hamilton, 1995
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Razorback sucker</i> 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 96시간 시험조건: 196 mg/L hardness 시험방법: ASTM(1989)	Swimup fry 96h-LC <sub>50</sub> : 233 mg B/L  0.9 g juvenile 96h-LC <sub>50</sub> : 279 mg B/L  2.0 g juvenile 96h-LC <sub>50</sub> : > 100 mg B/L	Hamilton, 1995
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Bonytail</i> 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 96시간 시험조건: 196 mg/L hardness 시험방법: ASTM(1989)	Swimup fry 96h-LC <sub>50</sub> : 280 mg B/L  1.1 g juvenile 96h-LC <sub>50</sub> : > 100 mg B/L  2.6 g juvenile 96h-LC <sub>50</sub> : 552 mg B/L	Hamilton, 1995
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 96시간 시험조건: 211 mg/L hardness	96h-LC <sub>50</sub> : 725 mg B/L	Hamilton and Buhl, 1990
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Oncorhynchus kisutch</i> 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 96시간 시험조건: 211 mg/L hardness	96h-LC <sub>50</sub> : 447 mg B/L	Hamilton and Buhl, 1990

방법	결과	비고
시험물질: Boric acid 시험 종: Largemouth bass( <i>Micropterus salmoide</i> ) 노출 기간: 3일(부화시) 노출 방법: 유수식 노출농도: 0.001~500 mg B/L(설정농도) 시험조건: 20 °C, 경도 204 mg CaCO <sub>3</sub> /L 관찰항목: 배아-유생 단계의 치사 및 기형	LC <sub>50</sub> =485mg B/L	Birge and Black, 1981
시험물질: Boric acid 시험 종: Largemouth bass( <i>Micropterus salmoide</i> ) 노출 기간: 11일(부화 3일+부화 후 8일) 노출 방법: 유수식 노출농도: 0.01~500 mg B/L(설정농도) 시험조건: 20 °C, 경도 204 mg CaCO <sub>3</sub> /L 관찰항목: 배아-유생 단계의 치사 및 기형	LC <sub>50</sub> =92 mg B/L	Birge and Black, 1981
<b>Boron</b>		
시험물질: Boron 시험 종: <i>Oncorhynchus mykiss</i> 설정 농도: 0.01~500 mg B/L 노출 방법: 유수식(flow-through) 시험 기간: 11일	11d-LC <sub>50</sub> : 138 mg B/L 11d-LOEC: 0.10 mg B/L	Black et al., 1993
시험물질: Boron 시험 종: <i>Micropterus salmoides</i> 설정 농도: 0.01~500 mg B/L 노출 방법: 유수식(flow-through) 시험 기간: 11일	11d-LC <sub>50</sub> : 92 mg B/L 11d-NOEC: 1.39 mg B/L	Black et al., 1993
시험물질: Boron 시험 종: <i>Brachydanio rerio</i> 시험 기간: 96시간	96h-LC <sub>50</sub> : 14.2 mg B/L	Guhl, 1992
<b>Boron trifluoride+NaOH</b>		
시험물질: Boron trifluoride+NaOH 시험 종: <i>Lepomis macrochirus</i> 시험 기간: 96시간 시험조건: 80~110 mg/L hardness	96h-TLm: 5 mg B/L	Turnbull et al., 1954

## 만성독성

붕산류에 대한 어류 만성독성 자료는 EU RAR, HERA 보고서, 기타 문헌 자료를 통해 확인할 수 있다. 붕산나트륨 물질을 평가하기 위해 붕산, 붕사, 붕소 등의 자료를 활용하였으며, Read-across 개념을 적용한 평가를 수행하였다.

붕산나트륨을 대상으로 한 연구 자료(Dyer, 2001)에서는 *Onchorhynchus mykiss* 시험 종을 대상으로 약 28일간 어류 급성독성 시험을 시행하였다. 경도 50, 200 mg B/L에 따른 시험 개체의 10%가 폐사하는 LC<sub>10</sub> 값을 평가하였으며, 결과값은 각각 8 mg B/L 및 15, 30 mg B/L로 나타났다.

붕산을 시험물질로 활용한 연구 자료를 살펴보면 다음과 같다.

Birge and Black (1977)에서는 *Onchorhynchus mykiss* 종을 이용하여 어류 만성독성에 대한 영향을 살펴보고, 시험 기간은 28일로 설정하여 수질의 경도(50, 200 mg/L hardness)에 따른 종말점을 관찰하였다. 시험 결과 LC<sub>01</sub> 값은 경도에 따라 각각 0.1 mg B/L(ppm) 및 0.001 mg B/L(ppm)로 나타났다.

Hoofmann et al. (2000a) 연구에서는 OECD Guideline 210에 따라 *Brachydanio rerio* 시험 종을 이용하여 34일간 붕산을 노출했다. 시험 결과, 유영저해(mortality), 및 성장 저해가 관찰되었고 이에 대한 종말점 LOEC 값을 18 mg B/L, NOEC 값을 5.6 mg B/L로 평가하였다.

*Onchorhynchus mykiss* 종을 이용한 연구(Black et al., 1993)에서는 32~87일을 시험 기간으로 설정하였으며, 32~87일 사이에 대한 NOEC 값을 1 mg B/L로 산출하였다. 이후 본 연구에 대한 peer review를 통해 87일에 대한 NOEC 값을 2.1, 18 mg B/L로 산출하였으며, 최종 평가에는 NOEC 2.1 mg B/L을 사용하였다.

Dyer (2001)에서는 *Onchorhynchus mykiss* 종을 이용하여 수질의 경도에 따라 종말점을 평가하였다. 수질의 경도는 50, 188 mg/L hardness로 설정하였고, 시험 기간은 약 28일이다. 시험 결과 종말점 LC<sub>10</sub>에 대한 값을 경도에 따라 각각 2, 0.7 mg B/L로 평가하였다.

표 4-5. 붕소류에 대한 어류 만성독성 값

방법	결과	비고
<b>Borax</b>		
시험물질: Borax 시험 종: <i>Oncorhynchus mykiss</i> 설정 농도: 1 ppb~200 ppm 노출 방법: 유수식(flow-through) 시험 기간: 28일 시험조건: 50, 200 ppm hardness	기형, 배아 사망 확인 50 mg/L hardness 28d-LC <sub>01</sub> : 0.07 ppm Boron 28d-LC <sub>50</sub> : 27 ppm Boron  200 mg/L hardness 28d-LC <sub>01</sub> : 0.07 ppm Boron 28d-LC <sub>50</sub> : 54 ppm Boron	Birge and Black, 1977
시험물질: Borax 시험 종: <i>Onchorhynchus mykiss</i> 시험 기간: 28일 시험조건: 50, 200 mg/L hardness	50 mg/L hardness 28d-LC <sub>10</sub> : 8 mg B/L  200 mg/L hardness 28d-LC <sub>10</sub> : 15, 30 mg B/L	Dyer, 2001
시험물질: Borax 시험 종: <i>Onchorhynchus mykiss</i> 시험 기간: 28~32일	28~32d-NOEC: 2 mg B/L	Raymond and Butterwick, 1992
시험물질: Borax 시험 종: <i>Pimephales promelas</i> 시험 기간: 30일	30d-NOEC: 14 mg B/L	Raymond and Butterwick, 1992
<b>Boric acid</b>		
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Oncorhynchus mykiss</i> 설정 농도: 1 ppb~200 ppm 노출 방법: 유수식(flow-through) 시험 기간: 28일 시험조건: 50, 200 ppm hardness	기형, 배아 사망 확인 50 mg/L hardness 28d-LC <sub>01</sub> : 0.1 ppm Boron 28d-LC <sub>50</sub> : 100 ppm Boron 200 mg/L hardness 28d-LC <sub>01</sub> : 0.001 ppm Boron 28d-LC <sub>50</sub> : 79 ppm Boron	Birge and Black, 1977
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Brachydanio rerio</i> 시험 기간: 34일 시험방법: OECD Guideline 210	시험 개체의 성장률 (길이, length) 34d-LOEC: 18 mg B/L 34d-NOEC: 5.6 mg B/L	Hoofmann et al., 2000a
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Onchorhynchus mykiss</i> 시험 기간: 32~87일	사망률 및 기형발생 32d-LOEC: 0.1 mg B/L 32d-NOEC: 0.009 mg B/L 87d-NOEC: 2.1, 18 mg B/L	Black et al., 1993
시험 종: Rainbow trout ( <i>Onchorhynchus mykiss</i> ) 노출기간: 28일 노출방법: 유수식	LC <sub>10</sub> =2 mg B/L (경도 50 mg CaCO <sub>3</sub> /L) LC <sub>20</sub> =44 mg B/L (경도 50 mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Dyer, 2001 (Birge and Black, 1977의 값 재산출)



방법	결과	비고
노출농도: 0.001~200 mg B/L(설정농도) 시험조건: pH 7.9, 경도 200 및 50 mg CaCO <sub>3</sub> /L 관찰항목: 배아-유생 단계의 치사 및 기형	LC <sub>50</sub> =125 mg B/L (경도 50 mg CaCO <sub>3</sub> /L) LC <sub>50</sub> =104 mg B/L (경도 200 mg CaCO <sub>3</sub> /L)	
시험 종: Rainbow trout ( <i>Onchorhynchus mykiss</i> ) 노출기간: 36일 노출방법: 유수식 노출농도: control~11.46 mg B/L 시험조건: 13.7 °C, pH 7.7, 경도 188 mg CaCO <sub>3</sub> /L 관찰항목: 배아-유생 단계의 치사 및 기형	LC <sub>10</sub> =0.70 mg B/L LC <sub>20</sub> =3.63 mg B/L	Dyer, 2001 (Birge et al., 1984의 값 재산출)
<b>Boron</b>		
시험물질: Boron 시험 종: <i>Onchorhynchus mykiss</i> 시험 기간: > 2주	2w-LOEC: 11 mg B/L (deficiency LOEC: 0.1 mg B/L) (deficiency NOEC: 0.5 mg B/L)	Rowe et al., 1998
시험물질: Boron 시험 종: <i>Onchorhynchus mykiss</i> 시험 기간: 28일	28d-LC <sub>10</sub> : 5.5 mg B/L	Dyer, 2001
시험물질: Boron 시험 종: <i>Ictalurus punctatus</i> 시험 기간: 9일	9d-LC <sub>10</sub> : 13.8 mg B/L	Dyer, 2001

## 라. 양서류

현재까지 붕산나트륨에 대한 양서류 자료는 확인되지 않았지만, 붕소류에 대한 양서류의 만성독성에 관한 자료는 다음과 같다.

Laposata et al. (1998) 연구 자료에서 붕사10수화물을 시험물질로 여러 시험 종으로 실험을 진행하였다. 사용한 시험 종은 순서대로 *Ambystoma jeffersonianum*, *Ambystoma maculatum*, *Bufo americanus*, *Rana sylvatica* 이며, 수질의 경도는 186.5 mg/L hardness로 설정하였다.

첫 번째 실험에서 총 노출 기간은 25일이며, 유생변형(larval deformation)에 대한 LOEC 값은 49.5 mg B/L 이하였고, 부화(hatching)에 대한 NOEC 값은 100.2 mg B/L 이상이였다.

두 번째 실험에서 총 노출 기간은 44일이며, 유생변형에 대한 LOEC 값은 49.5 mg B/L 이상이였고, 부화에 대한 NOEC 값은 100.2 mg B/L 이상이였다.

세 번째 실험에서 총 노출 기간은 23일이며, 부화에 대한 LOEC 값은 49.5 mg B/L 이하였다.

네 번째 실험에서 총 노출 기간은 23일이며, 유생변형에 대한 LOEC 값은 49.5 mg B/L 이하였고, 부화에 대한 NOEC 값은 100.2 mg B/L 이상이였다.

표 4-6. 붕소류에 대한 양서류 만성독성 값

방법	결과	비고
<b>Sodium tetraborate decahydrate</b>		
시험물질: Disodium tetraborate decahydrate 시험 종: <i>Ambystoma jeffersonianum</i> 설정 농도: 0, 50, 100 mg B/L 측정농도: 0, 49.50, 100.24 mg B/L 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 25일 시험조건: 186.5 mg/L hardness	유생변형 25d-LOEC <= 49.5 mg B/L  부화(hatching) 25d-NOEC >= 100.2 mg B/L	Laposata et al., 1998
시험물질: Disodium tetraborate decahydrate 시험 종: <i>Ambystoma maculatum</i> 설정 농도: 0, 50, 100 mg B/L 측정농도: 0, 49.50, 100.24 mg B/L 노출 방법: 지수식(static) 시험조건: 186.5 mg/L hardness 시험 기간: 44일	유생변형 44d-LOEC >= 49.5 mg B/L  부화(hatching) 44d-NOEC >= 100.2 mg B/L	Laposata et al., 1998
시험물질: Disodium tetraborate decahydrate 시험 종: <i>Bufo americanus</i> 설정 농도: 0, 50, 100 mg B/L 측정농도: 0, 49.50, 100.24 mg B/L 노출 방법: 지수식(static) 시험 기간: 23일 시험조건: 186.5 mg/L hardness	부화(hatching success) 23d-LOEC <= 49.5 mg B/L	Laposata et al., 1998
시험물질: Disodium tetraborate decahydrate 시험 종: <i>Rana sylvatica</i> 설정 농도: 0, 50, 100 mg B/L 측정농도: 0, 49.50, 100.24 mg B/L 시험 기간: 23일 시험조건: 186.5 mg/L hardness	유생변형 23d-LOEC <= 49.5 mg B/L  부화(hatching) 23d-NOEC >= 100.2 mg B/L	Laposata et al., 1998

## 2. 육상생태계

### 가. 육상식물

#### 급성독성

붕소는 평균적으로 토양에 10~20 ppm의 농도로 존재한다(ECETOC, 1997). 일반적으로 육상식물이 활용할 수 있는 것은 토양 속에 존재하는 수용성 붕소이며, 식물에 대한 붕소의 가용성은 토양의 수용성 붕소와 강한 연관성이 있다. 식물에 대한 붕소의 가용성은 토양의 조성과 pH에 의해서도 영향을 받는다(Eisler, 2000).

붕소는 자연에서 발생하는 원소로, 다양한 유기물에 필수적인 원소이다. 식물의 다양한 대사 과정(질소 대사, 핵산 대사와 세포막 완전성 및 안정성)에 필요하며, 육상식물의 필수 미량 영양소로 알려져 있다. 즉, 붕소는 모든 식물에 필수적인 영양소(micro nutrient)로, 농작물의 필요로 의도적으로 첨가될 수 있지만, 고농도에서는 식물에 독성이 나타날 수도 있다.

붕소의 독성 증상은 대부분의 식물 중에서 유사하게 나타나며, 이에선 잎의 황백화(chlorosis)가 포함된다.

식물의 잎은 대개 40~100 mg B/kg의 붕소를 함유하고 있으며, 토양이 독성 수준에 근접하면 250 mg B/kg까지 증가할 수 있다. 붕소는 토양 입자에 흡착되며, 토양에 존재하는 광물의 종류, pH, 염분, 유기물질의 함량, 철 및 알루미늄 산화물, 옥시/하이드록시 함량과 점토 함량에 따라 흡착 정도가 달라진다.

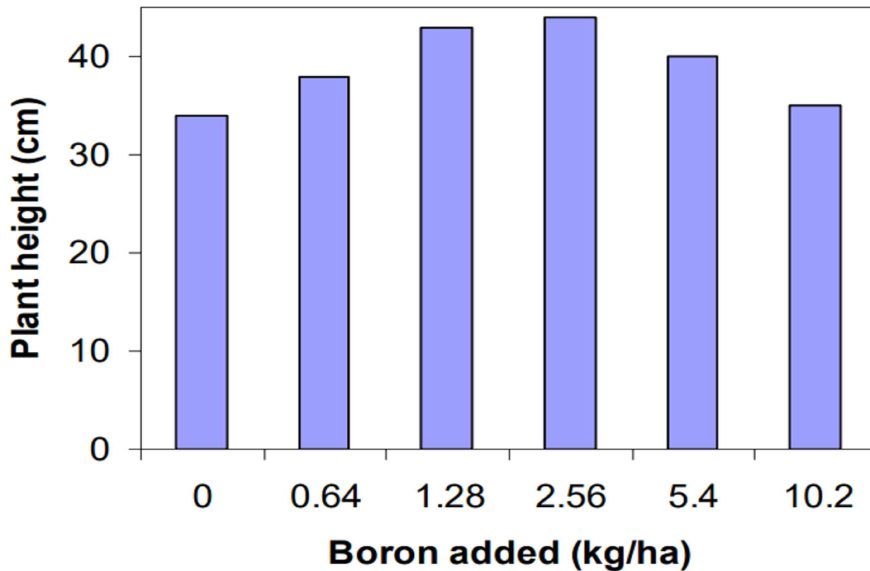


그림 4-1. Boron 농도에 따른 육상식물 길이 비교

붕산류에 대한 육상식물 급성독성에 관한 자료는 다음과 같다.

우선, 붕산나트륨 물질을 대상으로 한 연구 자료(Gupta and Cutcliffe, 1984)를 살펴보면, 시험 중 *Brassica oleracea* 및 *Phaseolus vulgaris* 두 가지를 사용하여 0, 2.2, 4.4, 8.8 kg B/ha 농도의 시험물질에 노출했다. 시험 결과, 각각의 시험 종에 대한 종말점 NOEC 값은 2.9 mg/kg dw 및 1.5 mg/kg dw로 평가되었다.

Aquaterra Environmental (1998)의 보고서에는 다양한 육상식물 종을 대상으로 한 연구 결과가 수록되어 있다. 시험물질로는 붕산을 사용하였으며, 시험에 이용한 식물 종으로는 오이(*Cucumis sativa*), 양파(*Allium cepa*), 귀리(*Avena sativa*), 콩(*Glycine max*), 상추(*Latuca sativa*) 등이 있다. 각 시험 종에 따라 시험 기간을 달리 적용하여, 종말점을 평가하였으며 급성독성에 대한 시험 기간은 5~13일 정도이다. 급성 독성영향으로 seedling emergence를 살펴보았으며, 이에 대해 가장 민감하게 산출된 종말점은 *Cucumis sativa* 종에 대한 NOAEC 28 mg/kg dw이다.

Aitken and McCallum (1988)은 14일 동안 해바라기(*Helianthus annuus*) 종

을 이용하여 붕소 독성을 평가하였다. 시험 결과, 모든 토양 유형에서 독성이 관찰되지 않았다.

Gupta and Cutcliffe (1984)에서는 붕산나트륨 물질을 이용하여 시험을 시행하였다. 시험 종은 *Brassica oleracea* 및 *Phaseolus vulgaris*를 사용하였으며, 시험농도는 0, 2.2, 4.4, 8.8 kg B/ha를 적용하여, 콩류와 배추류의 독성 반응을 관찰하였다. 일반적으로 토양 밀도를 가정할 때, 토양에 적용한 붕산나트륨의 농도는 1.5, 2.9, 5.9 mg B/kg과 같다. *Phaseolus vulgaris* 종에서는 2.9 mg B/kg 농도에서 독성이 관찰되었지만, *Brassica oleracea* 종에서는 모든 농도 군에서 독성영향이 관찰되지 않았다. 시험 결과 NOEC 값은 *Brassica oleracea* 종의 경우 2.9 mg/kg dw이며, *Phaseolus vulgaris* 종의 경우 1.5 mg/kg dw로 산출하였다.

표 4-7. 붕소류에 대한 육상식물 급성독성 값

방법	결과	비고
<b>Sodium borate</b>		
시험물질: Sodium borate 시험 종: <i>Brassica oleracea</i> 시험농도: 0, 2.2, 4.4, 8.8 kg B/ha	Threshold: > 6.3 mg/kg dw NOEC: 2.9 mg/kg dw	Gupta and Cutcliffe, 1984
시험물질: Sodium borate 시험 종: <i>Phaseolus vulgaris</i> 시험농도: 0, 2.2, 4.4, 8.8 kg B/ha	Threshold: 1.6~3.2 mg/kg dw NOEC: 1.5 mg/kg dw	Gupta and Cutcliffe, 1984
시험물질: Sodium borate 시험 종: <i>Lycopersicon esculentum</i>	Threshold > 4 mg/kg dw	Gupta, 1983
시험물질: Sodium borate 시험 종: <i>Phaseolus vulgaris</i>	Threshold > 4 mg/kg dw	Gupta, 1983
시험물질: Sodium borate 시험 종: <i>Zea mays</i>	Threshold 2~4 mg/kg dw	Gupta, 1983
<b>Boric acid</b>		
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Helianthus annus</i> 시험 기간: 14일	14d-Threshold: 1.9~2.4 mg/kg dw 14d-EC <sub>50</sub> : 6.74 mg/kg dw	Aitken and McCallum, 1988

방법	결과	비고
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Agropyron dasystachyum</i> 시험 기간: 7일	7d-EC <sub>20</sub> : > 112 mg/kg dw 7d-NOAEC: 42 mg/kg dw 7d-EC <sub>20</sub> : 94 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Agropyron smithii</i> 시험 기간: 7일	7d-EC <sub>20</sub> : > 112 mg/kg dw 7d-EC <sub>20</sub> : 80 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Allium cepa</i> 시험 기간: 7일	7d-NOAEC: > 112 mg/kg dw 7d-EC <sub>20</sub> : > 112 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Avena sativa</i> 시험 기간: 5일	5d-NOAEC: > 112 mg/kg dw 5d-NOAEC: 56 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : > 112 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Bouteloua gracillus-trachycaulum</i> 시험 기간: 8일	8d-EC <sub>20</sub> : > 112 mg/kg dw 8d-EC <sub>20</sub> : 6 mg/kg dw 8d-NOAEC: 42 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Bromus ciliatus</i> 시험 기간: 13일	13d-EC <sub>20</sub> > 112 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Glycine max</i> 시험 기간: 7일	7d-EC <sub>20</sub> : 21 mg/kg dw 7d-EC <sub>20</sub> : 56 mg/kg dw 7d-NOAEC: > 112 mg/kg dw 7d-NOAEC: 42 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Hordeum vulgare</i> 시험 기간: 4일	4d-EC <sub>20</sub> : > 112 mg/kg dw 4d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Koeleria macrantha</i> 시험 기간: 9일	9d-NOAEC > 112 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Latua sativa</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 45 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 74 mg/kg dw 5d-NOAEC: > 112 mg/kg dw 5d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Brassica rapa</i> 시험 기간: 5일	5d-NOAEC: 0 mg/kg dw 5d-NOAEC: 84 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 17 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998

방법	결과	비고
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Agropyron riparium</i> 시험 기간: 7일	7d-EC <sub>20</sub> 1 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Cucumis sativa</i>	EC <sub>20</sub> : 1 mg/kg dw EC <sub>20</sub> : 91 mg/kg dw NOAEC: 28 mg/kg dw NOAEC: 42 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Schizachyrium scoparius</i> 시험 기간: 10일	10d-EC <sub>20</sub> : 92 mg/kg dw 10d-EC <sub>20</sub> : 104 mg/kg dw 10d-NOAEC: 42 mg/kg dw 10d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Allium cepa</i> 시험 기간: 7일	7d-EC <sub>20</sub> : 11 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Triticum aestivum</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 112 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 118 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Brassica napus</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 119 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 90 mg/kg dw 5d-NOAEC: 56 mg/kg dw 5d-NOAEC: 84 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Agropyion riparium</i> 시험 기간: 7일	7d-EC <sub>20</sub> : 14 mg/kg dw 7d-NOAEC: 28 mg/kg dw 7d-NOAEC: 42 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Koeleria macrantha</i> 시험 기간: 9일	9d-EC <sub>20</sub> : 17 mg/kg dw 9d-EC <sub>20</sub> : 27 mg/kg dw 9d-NOAEC: 84 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Calamagrostis canadensis</i>	EC <sub>20</sub> : 2 mg/kg dw EC <sub>20</sub> : 33 mg/kg dw NOAEC: 28 mg/kg dw NOAEC: 42 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Agropyion riparium</i> 시험 기간: 7일	7d-NOAEC: 28 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Brassica oleracea</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 47 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 92 mg/kg dw 5d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998



방법	결과	비고
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Brassica sp</i>	NOEC: 5 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Bromus marginatus</i> 시험 기간: 7일	7d-EC <sub>20</sub> : 53 mg/kg dw 7d-EC <sub>20</sub> : 65 mg/kg dw 7d-NOAEC: 42 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Daucus carota</i> 시험 기간: 6일	6d-EC <sub>20</sub> : 44 mg/kg dw 6d-EC <sub>20</sub> : 56 mg/kg dw 6d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Festuca rubra</i> 시험 기간: 6일	6d-EC <sub>20</sub> : 47 mg/kg dw 6d-EC <sub>20</sub> : 76 mg/kg dw 6d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Linum usitatissimum</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 61 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 98 mg/kg dw 5d-NOAEC: 28 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Lolium perenne</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 61 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 69 mg/kg dw 5d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Lycopersicon esculentum</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 31 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 55 mg/kg dw 5d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Medicago sativa</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 69 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 95 mg/kg dw 5d-NOAEC: 42 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Phleum pratense</i> 시험 기간: 7일	7d-EC <sub>20</sub> : 35 mg/kg dw 7d-NOAEC: 28 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Raphanus sativus</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 76 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 93 mg/kg dw 5d-NOAEC: 28 mg/kg dw 5d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Trifolium pratense</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 8 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 34 mg/kg dw 5d-NOAEC: 28 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998

방법	결과	비고
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Triticum aestivum</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 112 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 118 mg/kg dw 5d-NOAEC: 56 mg/kg dw 5d-NOAEC: 84 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Zea mays</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 8 mg/kg dw 5d-EC <sub>20</sub> : 319 mg/kg dw 5d-NOAEC: 56 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Gossypium hirsutum L.</i>	Threshold: 45 mg/kg dw	Banuelos et al., 1996
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Hibiscus cannabinus</i>	Threshold: 45 mg/kg dw	Banuelos et al., 1996
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Brassica rapa</i> 시험 기간: 5일	5d-EC <sub>20</sub> : 11 mg/kg dw	Eaton, 1944
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Citrus limonia</i>	Threshold: 1 mg/kg dw	Eaton, 1944
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Phaseolus vulgaris</i>	NOEC < 1 mg/kg dw	Eaton, 1944
<b>Boron</b>		
시험물질: Boron 시험 종: <i>Phaseolus vulgaris</i>	NOEC: 1.6 mg/kg dw	HERA, 2005
시험물질: Boron 시험 종: <i>Sorghum vulgare</i>	NOEC: 5 mg/kg dw	Adriano et al., 1988
시험물질: Boron 시험 종: <i>Phleum pratense</i> 시험 기간: 7일	7d-EC <sub>20</sub> : 77 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boron 시험 종: <i>Psium salivum</i>	Threshold: 20~25 mg/kg dw	Bagheri et al., 1994
시험물질: Boron 시험 종: <i>Medicago sativa</i>	NOEC: 11 mg/kg dw	Gestring and Soltanpour, 1987
시험물질: Boron 시험 종: <i>Acer macrophyllum Pursh</i>	Threshold: 0.5~0.9 ppm	Glaubig and Bingham, 1985
시험물질: Boron 시험 종: <i>Arbutus menziesii</i>	Threshold: 2~5.4 mg/kg dw	Glaubig and Bingham, 1985

방법	결과	비고
시험물질: Boron 시험 종: <i>Umbellularia californica</i>	Threshold: 3~4 mg/kg dw	Glaubig and Bingham, 1985
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Hordeum vulgare</i> 시험 기간: 4일 시험농도: 3.0, 7.5, 18.8, 46.9, 117.2, 293.0 mg B/kg 토양조건: natural soil 시험방법: ISO 11269-1 및 GLP	4d-EC <sub>10</sub> : 4 mg B/kg	Van Laer et al., 2010

### 만성독성

현재까지 붕산나트륨에 대한 육상식물 만성독성 자료는 확인되지 않았다.

붕사10수화물 물질을 대상으로 한 연구 자료는 다음과 같다. Gestring and Soltapour (1987) 연구에서는 시험 종 *Medicago sativa L.*을 대상으로 육상식물 만성독성 시험을 시행하였다. 시험 기간은 총 90일이며, 시험농도의 측정값은 0, 10, 20, 40 mg B/kg이다. 토양조건은 natural soil이며, 시험 결과 종말점 NOEC 값은 시험 기간 45일에 대해서는 5 mg B/kg으로 나타났으며, 시험 기간 90일에 대해서는 10 mg B/kg으로 산출되었다.

붕사10수화물 물질을 대상으로 한 또 다른 연구(Gupta, 1983)에서는 다양한 시험 종(*Phaseolus vulgaris*, *Raphanus sativus*, *Lycopersicon esculentum*, *Zea mays*, *Phleum pratense*)을 대상으로 육상식물 만성독성 시험을 시행하였으며, 시험농도의 측정값은 0, 1, 2, 4 mg B/kg으로 나타났다. 토양조건은 natural soil이며, 시험 결과 *Phleum pratense* 시험 종에서 가장 낮은 종말점을 확인할 수 있었고, 해당 값은 NOEC 2 mg B/kg이다.

붕산 물질을 대상으로 한 연구 결과는 아래와 같다.

Turan et al. (2009) 연구에서는 붕산 물질을 대상으로 *Triticum aestivum* 종을 이용하여 60일간 육상식물 만성독성 시험을 시행하였다. 시험농도는 0, 5, 10, 20 mg B/kg으로 설정하였으며, 토양조건은 natural soil이다. 시험 결과, NOEC 값은 5 mg/kg soil dw로 산출되었다.

Lee SKD (2006)에서는 *Capsicum annuum L.* 종을 대상으로 약 3주간 육상

식물 만성독성 시험을 시행하였다. 시험농도는 15, 30 mg B/kg이며, 토양조건은 natural soil이다. 시험 결과, 시험 중에 대한 독성 증상은 관찰되지 않았으며, 노출 3주에 대한 종말점 NOEC 값을 5.25 mg B/kg 이상으로 산출하였다.

공인된 시험방법(ISO 11269-2) 및 GLP 체제하에 육상식물 만성독성 시험을 시행한 데이터가 있다. ECHA에 등록된 자료에 따르면, 시험 중 *Avena sativa* 및 *Brassica napus*를 대상으로 약 20일간 시험물질 붕산을 노출했다. 시험농도는 5.5, 10.9, 21.8, 43.7, 87.4 mg B/kg으로 설정하였으며, 토양조건은 natural soil이다. 각 시험 중에 대한 종말점을 각각 평가하였으며, 첫 번째 시험 중인 *Avena sativa*에 대해서는 EC<sub>10</sub> 값을 27.8 mg B/kg 및 11 mg B/kg으로 평가하고, 두 번째 시험 중인 *Brassica napus*에 대해서는 EC<sub>10</sub> 값을 39.4 mg B/kg, NOEC 값을 13.9 mg B/kg으로 평가하였다.

Riley et al. (1994)에서는 보리(*Barley*) 식물 종을 대상으로 여러 종말점(잎괴사, 식물 성장 형태, 수확 지수 등)을 평가하였다. 시험 결과 붕소의 노출로 잎의 손상 증상이 관찰되었다고 보고되었다. 이 외, 토양에 최대 4 mg B/kg 농도의 붕소를 적용하였으나, 수확 지수(harvest index)로 측정된 수확량에는 영향이 없었다. 생산되는 tiller(분얼지)의 수가 눈에 띄게 줄지는 않았지만, 일부 용량(2 mg B/kg)에서의 tiller(분얼지)의 비율이 증가하여, 해당 증상에 기초하여 NOEC 값을 1 mg/kg dw로 산출하였다.

표 4-8. 붕소류에 대한 육상식물 만성독성 값

방법	결과	비고
<b>Sodium borate decahydrate</b>		
시험물질: Sodium borate decahydrate 시험 종: <i>Medicago sativa</i> L. 시험 기간: 90일 측정농도: 0, 10, 20, 40 mg B/kg 토양조건: natural soil	45d-NOEC 5 mg B/kg  90d-NOEC 10 mg B/kg	Gestring and Soltapour, 1987
시험물질: Sodium borate decahydrate 시험 종: <i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> , <i>Lycopersicon esculentum</i> , <i>Zea mays</i> , <i>Phleum pratense</i> 측정농도: 0, 1, 2, 4 mg B/kg 토양조건: natural soil	NOEC 2 mg B/kg	Gupta, 1983
<b>Boric acid</b>		
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Triticum aestivum</i> 시험 기간: 60일 측정농도: 0, 5, 10, 20 mg B/kg 토양조건: natural soil	60d-NOEC 5 mg B/kg	Turan et al., 2009
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Capsicum annuum</i> L. 시험 기간: 3주 설정 농도: 15, 30 mg boric acid/kg 토양조건: natural soil	21d-NOEC ≥ 5.25 mg B/kg	Lee SKD, 2006
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Avena sativa</i> 및 <i>Brassica napus</i> 시험 기간: 20일 설정 농도: 0, 31.3, 62.5, 125, 250, 500 mg boric acid/kg (0, 5.5, 10.9, 21.8, 43.7, 87.4 mg B/kg) 토양조건: natural soil 시험방법: ISO 11269-2 및 GLP	묘목 shoot length 및 biomass 감소 <i>Avena sativa</i> 20d-EC <sub>10</sub> : 27.8 mg B/kg 20d-EC <sub>10</sub> : 11 mg B/kg  <i>Brassica napus</i> 20d-EC <sub>10</sub> : 39.4 mg B/kg 20d-NOEC: 13.9 mg B/kg	Förster and Becker, 2009
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Beckmannia syzigachne</i> 시험 기간: 24일	24d-EC <sub>20</sub> : > 11,273 mg/kg dw 24d-EC <sub>20</sub> : 34 mg/kg dw 24d-NOAEC: 42 mg/kg dw	Aquaterra Environmental, 1998
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Hordeum vulgare</i> 시험 기간: > 120일	120d-NOEC: 1 mg/kg dw 120d-NOEC: 4 mg/kg dw	Riley et al., 1994

방법	결과	비고
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Hordeum vulgare</i> 시험 기간: 85일 토양조건: natural soil	85d-EC <sub>10</sub> 1.4 mg/kg dw	Riley et al., 1994
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Hordeum vulgare</i>	Threshold 8 mg/kg dw	Riley et al., 1994
<b>Boron</b>		
시험물질: Boron (확인 안 됨) 시험 종: <i>Medicago sativa L.</i> 시험 기간: 90일 설정 농도: 0, 10, 20, 40 mg B/kg 토양조건: natural soil	45d-NOEC: 5 mg B/kg 90d-NOEC: 10 mg B/kg	Turan et al., 2009
시험물질: Boron 시험 종: <i>Helianthus tuberosus</i> 외 10종 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: < 1 mg/kg dw (outdoor sand solution)	Eaton, 1944
시험물질: Boron 시험 종: <i>Oxalis bowiel</i> 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: > 25 mg B/L (outdoor sand solution)	Eaton, 1944
시험물질: Boron 시험 종: <i>Cynara scolymus</i> 외 18종 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: 1 mg B/L (outdoor sand solution)	Eaton, 1944
시험물질: Boron 시험 종: <i>Calendula officinalis</i> 외 2종 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: 1 mg B/kg	Eaton, 1944
시험물질: Boron 시험 종: <i>Daucus carota</i> 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: 1~5 mg B/kg	Eaton, 1944
시험물질: Boron 시험 종: <i>Beta vulgaris</i> 외 2종 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: 10 mg B/L (outdoor sand solution)	Eaton, 1944
시험물질: Boron 시험 종: <i>Apium graveolens</i> 외 2종 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: 15 mg B/kg	Eaton, 1944

방법	결과	비고
시험물질: Boron 시험 종: <i>Asparagus officinalis</i> 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: 15 mg B/L (outdoor sand solution)	Eaton, 1944
시험물질: Boron 시험 종: <i>Brassica oleracea</i> 외 4종 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: 5 mg B/L (outdoor sand solution)	Eaton, 1944
시험물질: Boron 시험 종: <i>Beta vulgaris</i> 설정 농도: 0.03-0.04, 1, 5, 10, 15, 25 ppm (Boron)	NOEC: 5-10 mg B/kg	Eaton, 1944
시험물질: Boron 시험 종: <i>Pinus sabiniana</i>	Toxicity 13-17 mg/kg dw	Eisler, 1990
시험물질: Boron 시험 종: <i>Hordeum vulgare</i>	Tissue residues 0.5-1 mg/kg	Eisler, 1990
시험물질: Boron 시험 종: <i>Pyrus communis</i> 시험 기간: 6년	Toxicity symptoms 82-164 kg B/ha	Eisler, 1990
시험물질: Boron 시험 종: <i>Phaseolus vulgaris</i> 시험 기간: 365일	NOEC: 1.5 mg B/kg	Gupta and Cutcliffe, 1984

## 나. 육상동물

### 급성독성

현재까지 붕산나트륨에 대한 육상동물 급성독성 자료는 확인되지 않았다.

Henzen (2000)에서는 OECD Guideline 207 및 GLP 체제하에 육상 무척추동물 급성독성 시험을 시행하였다. 시험 종은 *Eisenia fetida*로, 시험농도는 0, 1.1, 3.3, 10, 32, 100, 320, 1000 mg boric acid/kg으로 설정하였다. 인공토양의 조건에서 약 14일간 시험을 시행한 결과, 종말점 NOEC 값이 175 mg B/kg 이상으로 산출되었다.

Stantec consulting and Aquaterra Environmental consulting (2003)에서는 OECD Guideline 207에 따라 *Eisenia sp.*군의 시험 종을 대상으로 약 14일간 붕산을 노출했다. 토양은 natural 및 인공 두 가지로 설정하였으며, 시험농도는 0, 350, 700, 875, 1050, 1400, 1750 mg B/kg으로 설정하였다. 적용한 토양 조건에 따라 종말점을 각각 산출하였으며, 그중 가장 민감한 종말점 값은 인공 토양조건의 LC<sub>50</sub> 533.3 mg B/kg 값이다.

HERA (2005) 보고서에는 붕소 물질을 대상으로 한 육상 무척추동물 급성독성 내용을 수록하고 있다. *Lumbricus terrestris* 시험 종을 대상으로 14일간 시험물질에 노출한 결과, 종말점 LC<sub>50</sub> 값이 501 mg B/kg, NOEC 값이 875 mg B/kg으로 나타났다. 또한 *Folsomia candida* 시험 종을 대상으로 한 데이터에서는 시험 기간 14일 동안의 종말점 LC<sub>50</sub> 값을 248 mg B/kg으로 평가하였다.



표 4-9. 붕소류에 대한 육상 무척추동물 급성독성 값

방법	결과	비고
<b>Boric acid</b>		
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Eisenia fetida</i> 설정 농도: 0, 1.1, 3.3, 10, 32, 100, 320, 1000 mg boric acid/kg 시험 기간: 14일 토양조건: artificial soil 시험방법: OECD Guideline 207 및 GLP 인증	14d-NOEC $\geq$ 175 mg B/kg	Henzen, 2000
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Eisenia sp.</i> 설정 농도: 0, 2000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10000 mg boric acid/kg (0, 350, 700, 875, 1050, 1400, 1750 mg B/kg) 시험 기간: 14일 토양조건: artificial soil 및 natural soil 시험방법: OECD Guideline 207	artificial soil 7d-LC <sub>50</sub> : 563.5 mg B/kg 14d-LC <sub>50</sub> : 581.1 mg B/kg  artificial soil;synchronous worm 7d-LC <sub>50</sub> : 576.6 mg B/kg 14d-LC <sub>50</sub> : 594.5 mg B/kg  artificial soil;clitellated worm 7d-LC <sub>50</sub> : 610.8 mg B/kg  artificial soil;nonclitellated worm 14d-LC <sub>50</sub> : 533.3 mg B/kg  clay loam 7d-LC <sub>50</sub> : 673.5 mg B/kg 14d-LC <sub>50</sub> : 567.9 mg B/kg	Stantec consulting and Aquaterra Environmental consulting, 2003
시험물질: Boric acid 시험 종: <i>Lumbricus sp.</i> 설정 농도: 0, 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000 mg boric acid/kg (0, 87.5, 175, 350, 700, 1050, 1400 mg B/kg) 시험 기간: 14일 토양조건: artificial soil 및 natural soil 시험방법: OECD Guideline 207	artificial soil 7d-LC <sub>50</sub> : 786.2 mg B/kg 14d-LC <sub>50</sub> : 501.4 mg B/kg  clay loam 7d-LC <sub>50</sub> : 651.4 mg B/kg 14d-LC <sub>50</sub> : 447.6 mg B/kg	Stantec consulting and Aquaterra Environmental consulting, 2003

방법	결과	비고
<b>Boron</b>		
시험물질: Boron 시험 종: <i>Lumbricus terrestris</i> 시험 기간: 14일 토양조건: artificial soil	14d-LC <sub>50</sub> : 501 mg B/kg 14d-NOEC: 875 mg B/kg	HERA, 2005
시험물질: Boron 시험 종: <i>Folsomia candida</i> 시험 기간: 14일	14d-LC <sub>50</sub> 248 mg B/kg	HERA, 2005

## 만성독성

현재까지 붕산나트륨에 대한 육상동물 만성독성 자료는 확인되지 않았다.

Stantec consulting and Aquaterra Environmental consulting (2003)에서는 OECD Guideline 222 방법에 따라 붕산의 육상 무척추동물 만성독성 시험을 시행하였다. 시험 종은 *Eisenia sp.*이고 시험농도는 0, 1.75, 2.8, 5.25, 8.75, 17.5, 52.5, 98, 175 mg B/kg으로 설정하였다. 인공토양의 조건에서 약 56일간 시험을 시행한 결과, 종말점 NOEC 값이 5.2 mg B/kg 이상으로 산출되었으며, 실질적으로 최고농도까지 유의미한 영향은 확인할 수 없었다.

HERA (2005) 보고서에는 붕소 물질을 대상으로 한 육상 무척추동물 만성독성 내용을 수록하고 있다. *Onychiurus folsomi* 시험 종을 대상으로 35일간 시험물질에 노출한 결과, 종말점 NOEC 값이 22 mg B/kg으로 나타났다. 또한 *Eisenia andrei* 시험 종을 대상으로 한 데이터에서는 시험 기간 56일 동안의 종말점 NOEC 값을 5.2 mg B/kg으로 평가하였다.

표 4-10. 붕소류에 대한 육상 무척추동물 만성독성 값

방법	결과	비고
<b>Boric acid</b>		
시험 종: 지렁이( <i>Eisenia andrei</i> ) 노출기간: 56일 시험방법: OECD TG 222 노출농도: 0, 10, 16, 30, 50, 100, 300, 560, 1,000 mg H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> /kg dw(설정농도) (0, 1.75, 2.8, 5.25, 8.75, 17.5, 52.5, 98, 175 mg B/kg dw) 시험조건: pH 6.09, 온도 20 °C, 함수량 35%, 인공토양 관찰항목: 생식률, 성장률	56d-NOEC=52.5 mg B/kg dw (설정농도, 생식률-어린 개체 생산); 56d-NOEC=52.5 mg B/kg dw (설정농도, 성장률); 56d-NOEC=52.5 mg B/kg dw (설정농도, 생식률-부화성공); 56d-NOEC=52.5 mg B/kg dw (설정농도, 생식률-부화실패); 56d-NOEC=98 mg B/kg dw (설정농도, 생식률-난낭 생산); 56d-EC <sub>50</sub> =75.7 mg B/kg dw (설정농도, 생식률-어린개체 생산); 56d-EC <sub>50</sub> =59.4 mg B/kg dw (설정농도, 성장률); 56d-EC <sub>50</sub> =90.4 mg B/kg dw (설정농도, 생식률-부화성공); 56d-EC <sub>50</sub> =107.6 mg B/kg dw (설정농도, 생식률-난낭 생산)	Stantec consulting and Aquaterra Environmental consulting, 2003

방법	결과	비고
<p>시험 종: 지렁이(<i>Eisenia andrei</i>)                      노출기간: 63일                      시험방법: Environment Canada (2002)                      노출농도: 0, 7, 14, 28, 56, 113, 225, 450, 900, 1,800, 3,600 mg H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>/kg dw                      (0, 1.2, 2.5, 4.9, 9.8, 39.4, 78.8, 315, 630 mg B/kg dw)                      시험조건: pH 6.09, 온도 20 °C, 함수량 35%, 인공토양                      관찰항목: 치사율</p>	<p>28d-NOEC=315 mg B/kg dw                      (설정농도, 치사율);                      63d-NOEC=39.4 mg B/kg dw                      (설정농도, 생식률-어린 개체 생산);                      63d-NOEC=78.8 mg B/kg dw                      (설정농도, 성장률);                      63d-NOEC=78.8 mg B/kg dw                      (설정농도, 생식률-부화성공);                      63d-NOEC=19.8 mg B/kg dw                      (설정농도, 생식률-부화실패);</p>	<p>Stantec consulting and Aquaterra Environmental consulting, 2003</p>
<p>시험 종: 지렁이(<i>Eisenia fetida</i>)                      노출기간: 56일                      시험방법: OECD TG 222                      노출농도: control, 75, 100, 133, 178, 237, 316, 422, 562, 750, 1,000 mg H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>/kg dw(설정농도);                      (control, 13.1, 17.5, 23.2, 41.4, 55.2, 73.8, 98.2, 131.1, 174.8 mg B/kg dw)                      시험조건: pH 5.9, 온도 19~21 °C, 함수량 40~60%, 인공토양                      관찰항목: 치사율, 성장률, 생식률</p>	<p>28d-LC<sub>50</sub>≥174.8 mg B/kg dw                      (설정농도, 치사율 및 성장률);                      56d-EC<sub>10</sub>=70.1 mg B/kg dw                      (설정농도, 생식률)</p>	<p>Moser and Becker, 2009b</p>
<p>시험 종: 지렁이 (<i>Enchytraeus crypticus</i>)                      노출기간: 28일                      시험방법: OECD TG 220                      노출농도: control, 1.0, 10, 32, 100, 133, 178, 237, 316, 422, 562, 750, 1,000 mg H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>/kg dw(설정농도);                      (control, 0.17, 1.75, 5.6, 17.5, 23.2, 31.1, 41.4, 55.2, 73.8, 98.2, 131.1, 174.8 mg B/kg dw)                      시험조건: pH 5.9, 온도 19~21 °C, 함수량 40~60%, 인공토양                      관찰항목: 생식률</p>	<p>28d-EC<sub>10</sub>=22.6 mg B/kg dw                      (설정농도, 생식률)</p>	<p>Moser and Becker, 2009c</p>
<p>시험 종: 지렁이 (<i>Enchytraeus luxuriosus</i>)                      노출기간: 28일                      시험방법: OECD TG 220                      노출농도: control, 10, 31.6, 56.2,</p>	<p>28d-EC<sub>10</sub>=17 mg B/kg dw                      (설정농도, 생식률)</p>	<p>Moser and Becker, 2009d</p>

방법	결과	비고
75, 100, 237, 562, 1,000 mg H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> /kg dw(설정농도) (control, 1.75, 5.5, 9.8, 13.1, 17.5, 41.4, 98.2, 174.8 mg B/kg dw) 시험조건: pH 6.5, 온도 18~21 ℃, 함수량 40~60%, 인공토양 관찰항목: 생식률		
<b>Boron</b>		
시험물질: Boron 시험 종: <i>Onychiurus folsomi</i> 시험 기간: 35일	35d-NOEC 22 mg B/kg	HERA, 2005
시험물질: Boron 시험 종: <i>Folsomia candida</i> 시험 기간: 28일	28d-EC <sub>10</sub> 13.8 mg B/kg	EC, 2007
시험물질: Boron 시험 종: <i>Eisenia andrei</i> 시험 기간: 56일	56d-NOEC 5.2 mg B/kg	HERA, 2005

### 3. 생물축적성

#### 가. 생물농축성

##### 수생태계 생물농축성

Thompson et al. (1976) 연구에서는 굴(Pacific oysters, *Crassostrea gigas*)에 대한 붕소의 BCF 값을 0.7~1.4 L/kg으로 평가하였으며, Hamilton and Wiedmeyer (1990) 연구에서는 Chinook salmon 시험 종에 대한 BCF 값을 0.1 L/kg 미만으로 산출하였다.

Suloway et al. (1983)의 연구에서 잉어(fathead minnow, *Pimephales promelas*) 및 푸른개복치(green sunfish, *Lepomis cyanellus*)를 대상으로 1.23~91.7 mg/L 농도의 붕소를 포함한 석탄비산회(coal fly ash)에 노출하였을 때 BCF 값은 0.3 L/kg이었다.

##### 토양 생물농축성

붕소는 식물의 성장과 생산 및 대사기능(당 이송, 세포벽 합성, 목질화(lignification), 탄수화물 대사, RNA 대사, 호흡, 인돌 아세트산(indole acetic acid) 대사, 페놀 대사, 세포막 보전, 수분작용 등)에 중요한 원소이다(Marschner, 1995).

50종의 식물을 대상으로 5 및 25 mg B/L 농도의 영양 용액을 공급하여 모래배양판에서의 성장한 식물의 잎에서의 붕소 농도를 측정하였다. 5 mg B/L의 영양용액을 공급한 식물의 잎에서의 붕소 농도는 58~1,804 mg B/kg dw이었고, 25 mg B/L의 영양용액을 공급한 식물의 잎에서의 붕소 농도는 209~3,875 mg B/kg dw이었다. 일반적으로 식물의 잎보다 뿌리, 줄기, 과일에서의 붕소 농도는 낮았다(Eaton, 1944). 이를 BSAF(biota-to-soil accumulation factors) 값으로 계산하면 7.4~221.5 kg/kg(5 mg B/L) 및 5.2~44.2 kg/kg(25 mg B/L)이었다(ECHA, 2009).

표 4-11. 붕소류에 대한 생물축적성

방법	결과	비고
<b>Boron</b>		
시험물질: Boron 시험 종: <i>Crassostrea gigas</i>	BCF: 0.7~1.4 L/kg	Thompson et al., 1976
시험물질: Boron 시험 종: chinook salmon	BCF < 0.1 L/kg	Hamilton and Wiedmeyer, 1990
시험물질: Boron 시험 종: filamentous algae	BCF: 190 L/kg	Saiki et al., 1993
시험물질: Boron 시험 종: plankton 및 invertebrates	BCF < 20 L/kg	Saiki et al., 1993
시험물질: Boron 시험 종: fish	BCF: 8 L/kg	Saiki et al., 1993
시험물질: Boron	BCF: 8 L/kg	Thompson et al., 1976
시험물질: Boron	BCF: 8 L/kg	EC, 2007
시험물질: Boron 시험 종: plants leaf	BCF: 12~361 L/kg	WHO, 1998
시험물질: Boron 시험 종: whole plants	BCF: 38~49 L/kg	Riley et al., 1994

## 나. 생물확장성

Saiki et al. (1993) 연구에서는 미국 캘리포니아주 산호아킨강(San Joaquin River) 하류 및 그 지류의 수생태계 먹이사슬의 붕소 농도를 측정하였고, 유기 퇴적물 및 섬질조류(filamentous algae) 내 최고 붕소 농도와 무척추동물 및 어류 내 최저 붕소 농도를 관찰하였다. 섬질조류의 평균 BCF 값은  $137 \pm 224$  L/kg이었고, 플랑크톤 및 무척추동물의 BAF(Bioaccumulation factors) 값은 <20 L/kg, 어류의 BAF 값은 <5 L/kg이었다.

붕소의 생물축적성은 더 높은 영양단계 수준에서 감소한다는 것을 확인할 수 있었으므로, 수생환경의 먹이사슬에 의한 생물농축성은 낮은 것으로 판단되었다.

## 2절. 예측무영향농도(PNEC) 산정

### 1. 담수

붕산나트륨 물질을 대상으로 한 수생환경 독성자료는 극히 일부분이며, 또한 각 자료에서는 대부분 원소 붕소(B)의 농도로 환산하여 최종 평가를 수행하고 있었다.

붕소 및 붕소 화합물은 환경에서 다양한 형태로 존재하기 때문에, 이들을 실질적으로 구분하는 것은 어렵다. 다양한 붕산염(borates)이 사용되고 있으며, 단순성을 위해 붕산염의 효과는 붕산 등가물로 표현할 수 있다. 붕소의 생태독성에 관한 연구는 붕산( $H_3BO_3$ ), 붕산나트륨( $Na_2B_4O_7$ ), 붕사수화물( $Na_2B_4O_7 \cdot xH_2O$ )과 같은 다양한 화합물로 수행되며, 평가를 위해 모든 endpoint를 원소 붕소(boron, B)의 농도로 환산하여 평가한다. 즉, 붕산나트륨 물질을 평가하기 위해 붕소류 화합물에 대한 생태독성 자료를 모두 취합하여 검토하였으며, 이들 데이터를 활용하여 예측무영향농도를 산출하였다.

붕소류에 대한 수생환경 급/만성 독성자료 조사 결과, 3개 영양단계(담수 조류, 수서 무척추동물, 어류)에 대한 만성 독성자료를 확인할 수 있었다.

활용 가능한 만성 독성자료에서 가장 민감한 값은 붕산 물질을 대상으로 한 어류 만성독성 시험의 NOEC 5.6 mg B/L이다. 3개 영양단계에 대한 만성 독성자료를 모두 활용할 수 있어서, US EPA 평가계수 10을 적용하게 된다. 이에 따라  $PNEC_{water}$  값은 0.56 mg B/L로 산출된다. 산출한 예측무영향농도 0.56 mg B/L은 붕소 물질에 대한 농도이므로, 이를 붕산나트륨 물질의 농도로 환산해주기 위해 분자량을 보정하여 농도를 재산정하였다. 붕소의 분자량은 10.81 g/mol이며, 붕산나트륨의 분자량은 201.22 g/mol이다. 분자량 보정을 통해 재산정한 붕산나트륨 물질의 수생환경 예측무영향농도는 2.61 mg Disodium tetraborate, anhydrous/L이다.



표 4-12. 수생환경 예측무영향농도(PNEC)

구분	값	산출 근거
PNEC <sub>water</sub>	2.61 (mg Disodium tetraborate, anhydrous/L)	- 어류 만성독성 NOEC 5.6 mg B/L 기준 - 평가계수: 10 적용 - Disodium tetraborate, anhydrous 물질로 농도 환산 (분자량 보정)

## 2. 저질

담수에 대한 평가와 마찬가지로, 붕산나트륨 물질을 평가하기 위해 붕소류 화합물에 대한 생태독성 자료를 모두 취합하여 검토하였으며, 이들 데이터를 활용하여 예측무영향농도를 산출하였다.

저서생물에 대한 붕소류 물질의 만성독성 자료 중 가장 민감한 종말점은 Gerke (2011b) 시험자료의 NOEC 20.1 mg B/kg이다. 본 보고서에서 평가한 저서생물 만성독성 자료 중 실질적으로 활용 가능한 장기 독성 시험 값은 세 가지 이상이므로, EU REACH에서 권장하는 평가계수 10을 적용하여 평가하였다. 가장 민감한 종말점 NOEC 20.1 mg B/kg 값에 평가계수 10을 적용하여 침전물 예측무영향농도 값을 2.01 mg B/kg으로 산출하였다.

산출한 예측무영향농도 2.01 mg B/kg은 붕소 물질에 대한 농도이므로, 이를 붕산나트륨 물질의 농도로 환산해주기 위해 분자량을 보정하여 농도를 재산정하였다. 붕소의 분자량은 10.81 g/mol이며, 붕산나트륨의 분자량은 201.22 g/mol이다. 분자량 보정을 통해 재산정한 붕산나트륨 물질의 수생환경 예측무영향농도는 9.35 mg Disodium tetraborate, anhydrous/L이다.

표 4-13. 침전물 예측무영향농도(PNEC)

구분	값	산출 근거
PNEC <sub>sediment</sub>	9.35 (mg Disodium tetraborate, anhydrous/kg)	- 저서생물 독성 값 NOEC 20.1 mg B/kg 기준 - 평가계수: 10 적용 - Disodium tetraborate, anhydrous 물질로 농도 환산 (분자량 보정)

### 3. 토양

위와 같이, 붕산나트륨 물질을 평가하기 위해 붕소류 화합물에 대한 생태독성 자료를 모두 취합하여 검토하였으며, 이들 데이터를 활용하여 예측무영향농도를 산출하였다.

붕소류에 대한 육상환경 급/만성 독성자료 조사 결과, 3개 영양단계(식물, 육상 무척추동물(지렁이), 미생물 등)에 대한 만성 독성자료를 확인할 수 있었다.

PNEC<sub>soil</sub> 산출에 활용 가능한 신뢰성 있고, 가장 민감한 독성 값은 ISO 11269-2에 따라 20일 동안 붕산에 노출한 귀리(*Avena sativa*) 새싹의 만성독성시험의 EC<sub>10</sub> 11 mg B/kg soil dw (설정농도) (Förster and Becker, 2009)으로 선정하였다. 3개 영양단계에 대한 만성 독성자료를 모두 활용할 수 있어서, US EPA 평가계수 10을 적용하게 된다. 이에 따라 PNEC<sub>soil</sub> 값은 1.1 mg B/L로 산출된다.

산출한 예측무영향농도 1.1 mg B/kg은 붕소 물질에 대한 농도이므로, 이를 붕산나트륨 물질의 농도로 환산해주기 위해 분자량을 보정하여 농도를 재산정하였다. 붕소의 분자량은 10.81 g/mol이며, 붕산나트륨의 분자량은 201.22 g/mol이다. 분자량 보정을 통해 재산정한 붕산나트륨 물질의 수생환경 예측무영향농도는 5.12 mg Disodium tetraborate, anhydrous/L이다.

표 4-14. 육상환경 예측무영향농도(PNEC)

구분	값	산출 근거
PNEC <sub>soil</sub>	5.12 (mg Disodium tetraborate, anhydrous/kg)	- 육상식물 만성독성 EC <sub>10</sub> 11 mg B/kg 기준 - 평가계수: 10 적용 - Disodium tetraborate, anhydrous 물질로 농도 환산 (분자량 보정)

### 3절. 환경노출평가

#### 1. 환경 거동

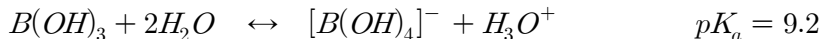
##### 가. 배출

해수 에어로졸 생성, 바이오매스 연소, 암석풍화, 화산활동 등과 같은 자연현상을 통해 연간  $2 \times 10^9$  kg/년의 붕소가 환경 중으로 방출되는 것으로 추정되고(Park and Schlesinger, 2002), 이 중 화산활동으로 연간  $3 \times 10^8$  kg/년의 붕소가 대기 중으로 방출되는 것으로 추정된다. 이 양은 모든 용도의 연간 붕소 채굴량( $3 \times 10^8 \sim 4 \times 10^8$  kg/년)과 유사하다(Argust, 1998).

##### 나. 분포

붕소는 암석, 토양, 물 등 환경적으로 널리 분포되어 있다.

현무암에서 5 ppm, 셰일에서 100 ppm으로 일반적으로 지각에서 약 10 ppm의 범위로 분포한다. 해수에서의 평균 농도는 약 5 mg B/L이고, 지리적 위치에 따라 < 1 mg B/L에서 > 20 mg B/L 범위로 나타나며, 지표수에서도 자연적으로 발견될 수 있다. 토양의 일반적인 수준은 10~20 ppm이지만, 100 ppm까지 높은 농도로 분포할 수 있다. 공기 중의 붕소 수준은 일반적으로 무시할 수 있지만, 화학 연료 발전소 주변에서는 더 높게 분포할 수 있다(Richold, 1998). 붕산 및 무기 붕산염은 수용성으로 농도와 pH에 의존적이다. 붕산은 pH 9.2 이상에서  $[B(OH)_4]^-$ 로 변한다(Power and Woods, 1997; de Vette et al., 2001).



수생환경에 유입되는 붕산염은 해리되지 않은 붕산과 붕산염 음이온의 형태이며, 수용해도로 인해 수생환경에서 희석되어 수계 및 해수까지 분포될 것이다(HERA, 2005).

붕소 농도가 0.025 M 이상이고 pH가 증가하면 일반적으로 토양에서 매우 드물거나 불안정한 붕소 중합체 형태를 촉진시킬 수 있다. 그러므로 붕산 및 붕산염 이온은 자연 토양에서 널리 존재하는 붕소 형태이다(Power and

Woods, 1997; de Vette et al., 2001).

붕소는 지각에 평균 10 mg/kg의 농도로 분포하는 것으로 알려져 있다 (Adriano, 2001). 토양에서의 자연적인 붕소농도는 토양 광물에 포함된 붕소 농도에 크게 의존한다. 일반적으로 화성암 유래 토양 및 열대·아열대 지역 토양은 퇴적암 유래 토양 및 사막·준사막 지역 토양에 비해 총 붕소 함량이 상당히 낮다. 후자의 최대 총 붕소함량 범위는 200 mg/kg이고 전자의 총 붕소함량은 10 mg/kg 미만이다(Swaine, 1955; Adriano, 2001).

토양 및 수생태계에서 붕소의 화학적 작용은 매우 단순하며 붕소는 산화-환원 반응 및 휘발성의 영향을 받지 않는다. 산화-환원 작용은 철(Fe) 및 망간(Mn) 산화물을 동원하여 수계에 붕소를 배출할 수 있다. 일반적으로, 침전물의 높은 pH 특성으로 붕소 흡착은 토양보다 침전물에서 증가한다. 문헌조사에 의한 토양, 침전물 및 부유물에서 붕소의 평균 KD(Freundlich 계수) 및 KF(분포계수) 값은 붕소 농도가 1 mg/L일 때 각각 1.5, 2.8 및 3.5 mg/kg이었다(ECHA, 2009; You et al, 1995; You et al, 1996; Palmer et al, 1987).

## 다. 분해

붕산나트륨의 경우 무기화합물로 환경 중 분해될 수 없다. 본 평가물질은 가수분해, 광분해, 미생물에 의한 생분해 영향을 받지 않는다.

## 라. 축적

Thompson et al. (1976) 연구에서는 Boron의 BCF 값을 0.7~1.4 L/kg으로 평가하였으며, Hamilton and Wiedmeyer (1990) 연구에서는 Chinook salmon 시험 종에 대한 BCF 값을 0.1 L/kg 미만으로 산출하였다.

여러 자료를 살펴보면, 수생 및 육상환경의 먹이사슬에서 생물축적성에 관한 결과는 유의미하지 않았다. 붕소는 식물 세포벽에 통합되어 있어서, 환경에서 어느 정도 축적이 예상될 수 있으며, 이러한 붕소의 생물축적성은 더 높은 영양단계 수준에서 감소한다는 것을 확인할 수 있다.

## 2. 환경매체 농도

### 가. 매체별 모델 추정 농도

환경 매체별 농도를 예측하기 위하여 한국형 다매체동태모형(SimpleBox Korea(v2.0))을 이용하였으며, 모델 구동을 위해 입력한 물성 정보는 부록 표 1과 같다. 봉산나트륨의 배출정보는 EU 화학물질 배출계수 정보를 이용하였다. 모델 구동 결과에 따른 전국 및 국지적 규모의 예측환경농도는 표 4-15 및 표 4-16과 같다.

표 4-15. 전국 규모의 예측환경농도(PEC)

담수 (mg/L)	자연지 (mg/kg(w))	농경지 (mg/kg(w))	도시산업용지 (mg/kg(w))
4.66E-04	7.40E-07	7.08E-07	2.98E-05

표 4-16. 국지적 규모의 예측환경농도(PEC)

사업장	담수 (mg/L)	저질 (mg/kg(w))	농경지 (mg/kg(w))	목초지 (mg/kg(w))
1	3.21E-03	2.48E-03	1.31E-04	1.31E-04
2	2.59E-03	2.29E-03	1.01E-04	1.01E-04
3	1.42E-02	1.97E-02	6.50E-04	6.50E-04
4	1.65E-01	2.32E-01	2.30E-06	2.30E-06
5	1.65E-01	1.27E-01	2.30E-06	2.30E-06
6	4.11E-01	5.80E-01	3.26E-04	3.26E-04
7	4.11E-01	1.93E+00	3.26E-04	3.26E-04
8	1.37E-01	1.06E-01	3.34E-06	3.34E-06
9	3.47E-02	3.90E-02	1.39E-06	1.39E-06
10	2.40E-01	3.38E-01	5.29E-06	5.29E-06
11	1.99E+00	1.53E+00	3.84E-05	3.84E-05
12	6.90E-02	1.61E-01	2.04E-06	2.04E-06
13	1.12E-02	8.61E-03	9.42E-07	9.42E-07
14	4.50E-02	5.06E-02	1.58E-06	1.58E-06
15	3.68E-02	4.13E-02	1.43E-06	1.43E-06
16	2.96E-01	2.78E-01	3.55E-06	3.55E-06
17	1.37E+00	1.93E+00	1.39E-06	1.39E-06
18	4.98E-02	4.67E-02	2.41E-05	2.41E-05
19	1.92E-01	1.49E-01	2.35E-05	2.35E-05

## 나. 담수

환경 중 붕소 농도를 확인하기 위하여 기존 모니터링 자료 및 붕소 화합물을 취급하는 사업장 정보를 이용하여 주요 지점을 선정하고, 담수를 조사하였다. 방류수는 평택, 아산, 거제, 창원, 포항에 있는 사업장들을 선정하고, 하천수는 평택, 아산, 창원에 있는 사업장들을 선정하여 2020년 여름(6월) 및 가을(9월)에 걸쳐 2회 붕소 농도를 측정하였다(표 4-17). 그리고 모니터링 지점을 그림 4-2에 나타내었다.

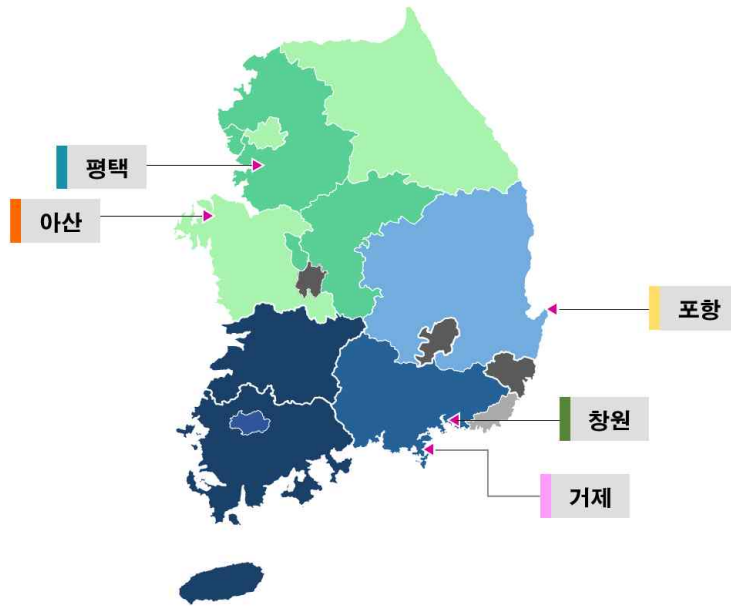


그림 4-2. 환경 중 붕소의 모니터링 지점

수계 방류수에서 붕소의 농도는 6월에 0.085~7.983 mg B/L의 농도 범위였고, 9월에 0.023~3.997 mg B/L의 농도 범위로 나타났다. 하천수의 붕소 농도는 6월에 0.163~4.403 mg B/L, 9월에 0.022~2.640 mg B/L의 농도 범위로 방류수 및 하천에서 붕소의 농도는 9월보다 6월에 높게 나타났다.

표 4-17. 국내 환경 매체별 붕소의 모니터링 결과

조사지점	수계 중 붕소 농도 (mg B/L)						비고	
	6월			9월				
	방류수(1)	방류수(2)	하천	방류수(1)	방류수(2)	하천		
평택	평균	7.983	-	4.403	3.997	-	2.640	현장 모니터링 자료
	최대	8.070	-	4.510	4.000	-	2.660	
	최소	7.920	-	4.320	3.990	-	2.620	
아산	평균	0.174	0.613	0.163	0.787	0.259	0.073	
	최대	0.200	0.632	0.172	0.815	0.264	0.077	
	최소	0.154	0.586	0.155	0.767	0.253	0.071	
거제	평균	0.235	-	-	0.238	-	-	
	최대	0.238	-	-	0.240	-	-	
	최소	0.233	-	-	0.236	-	-	
창원	평균	0.085	0.209	0.194	0.033	0.023	0.022	
	최대	0.090	0.211	0.197	0.034	0.023	0.024	
	최소	0.078	0.207	0.192	0.031	0.022	0.021	
포항	평균	0.712	0.430	-	0.530	0.216	-	
	최대	0.717	0.432	-	0.540	0.219	-	
	최소	0.713	0.428	-	0.524	0.212	-	

정량한계 : 0.002 mg B/L

## 4절. 생태위해도 결정

모델을 이용한 예측 결과를 바탕으로 한 각 환경 매체별 붕산나트륨 농도와 예측무영향농도(PNEC)를 바탕으로 산정한 유해지수는 표 4-18 및 표 4-19와 같다.

모델 예측값을 이용한 전국 및 국지적 규모의 환경 매체별 유해지수는 모두 1 미만이었다.

표 4-18. 전국 규모의 모델추정치를 이용한 환경 매체별 생태 유해지수

담수	자연지	농경지	도시산업용지
1.79E-04	1.44E-07	1.38E-07	5.86E-06

표 4-19. 모델추정치에 의한 매체별 국지적 규모 생태 유해지수

사업장	담수	저질	농경지	목초지
1	1.23E-03	2.65E-04	2.55E-05	2.55E-05
2	9.92E-04	2.45E-04	1.98E-05	1.98E-05
3	5.43E-03	2.10E-03	1.27E-04	1.27E-04
4	6.32E-02	2.48E-02	4.49E-07	4.49E-07
5	6.32E-02	1.36E-02	4.49E-07	4.49E-07
6	1.58E-01	6.20E-02	6.36E-05	6.36E-05
7	1.58E-01	2.07E-01	6.36E-05	6.36E-05
8	5.27E-02	1.14E-02	6.52E-07	6.52E-07
9	1.33E-02	4.17E-03	2.71E-07	2.71E-07
10	9.20E-02	3.62E-02	1.03E-06	1.03E-06
11	7.61E-01	1.64E-01	7.50E-06	7.50E-06
12	2.64E-02	1.73E-02	3.98E-07	3.98E-07
13	4.27E-03	9.21E-04	1.84E-07	1.84E-07
14	1.72E-02	5.41E-03	3.09E-07	3.09E-07
15	1.41E-02	4.42E-03	2.79E-07	2.79E-07
16	1.14E-01	2.98E-02	6.93E-07	6.93E-07
17	5.25E-01	2.07E-01	2.71E-07	2.71E-07
18	1.91E-02	5.00E-03	4.71E-06	4.71E-06
19	7.37E-02	1.59E-02	4.58E-06	4.58E-06



실제 환경매체에서 붕소 농도 측정을 통한 정확한 붕산나트륨 농도 측정은 불가능하다. 하지만 붕소화합물의 총 붕소 농도를 바탕으로 보수적인 노출농도를 적용하여 생태위해도를 평가하였다.

하천수의 붕소 농도를 실측한 결과(최댓값)에 대한 유해지수는 표 4-18과 같다. 평택을 제외한 하천수의 유해지수는 1 미만이었다. 가장 높은 붕소 농도가 관찰된 평택의 경우는 측정 지점이 바다와 매우 인접해 있어 해수의 영향으로 높은 붕소 농도가 관찰된 것으로 평가되었다.

표 4-20. 수계의 붕소 측정 결과에 의한 수계의 생태 유해지수

측정 지점	수계 중 붕소농도 (mg B/L)	예측무영향농도 (PNEC, mg B/L)	유해지수
평택	4.510	0.56	8.05E+00
아산	0.172		3.07E-01
창원	0.197		3.52E-01

## 5장. 종합결론

### 1절. 인체위해성평가 결과

#### 1. 작업자

화학물질 등록을 위해 제출한 자료를 바탕으로 모델을 활용하여 작업자에 대한 붕산나트륨의 흡입 및 경피 노출농도를 산출하였다. 그 결과 74개 작업장 중 17개 작업장에서 만성 흡입 노출에 대한 유해지수가 1 이상으로 평가되었다. 따라서 작업자가 공정 중 흡입 노출되는 붕산나트륨으로 인한 위해도를 정확히 평가하기 위해서는 현장 모니터링 등 추가정보가 필요한 것으로 나타났다.

경피노출의 경우 모두 유해지수 1 미만으로 위해우려 가능성이 낮은 것으로 평가되었다.

#### 2. 소비자

붕산나트륨이 소비자 용도로 사용되는 경우는 완구, 생활 화학제품, 의약 외품 등이 있는데 이들 제품의 함유량과 노출경로를 기반으로 평가한 결과, 모두 유해지수 1 미만으로 확인되었다. 따라서, 소비자에 대한 위해우려 가능성은 낮은 것으로 평가되었다.

#### 3. 일반인(환경을 통한 간접노출)

화학물질 등록 시 제출한 자료를 기반으로 한국형 다매체동태모델 (SimpleBox Korea(v2.0))을 활용해 환경매체(공기) 내 붕산나트륨 농도를 예측하여 인체 위해도를 평가하였다. 그 결과, 유해지수 1 미만으로 확인되었다. 국내 음용수 모니터링 자료 검토 결과, 모두 유해지수 1 미만으로 확인되었다.

따라서, 공기 호흡 및 음용수 섭취로 인한 위해우려 가능성은 낮은 것으로 평가되었다.

## 2절. 생태위해성평가 결과

### 1. 담수

붕산나트륨을 취급하는 주요 사업장 인근 하천수의 붕소 농도를 모니터링한 결과를 통해 해수가 유입되어 붕소 농도가 높게 측정된 평택 지점을 제외한 아산, 창원 지점은 유해지수가 1 미만으로 확인되었다. 또한, 다매체동태모델(SimpleBox Korea(v2.0)) 활용하여 평가결과 모든 사업장에서 유해지수 1 미만으로 확인되었다. 따라서, 담수에서의 위해우려 가능성은 낮은 것으로 평가되었다.

### 2. 저질

한국형 다매체동태모델(SimpleBox Korea(v2.0))을 이용하여 예측된 농도를 바탕으로 저질에 대한 위해도를 평가한 결과, 모두 유해지수 1 미만으로 확인되었다. 따라서, 저질에서의 위해우려 가능성은 낮은 것으로 평가되었다.

### 3. 토양

한국형 다매체동태모델(SimpleBox Korea(v2.0))을 이용하여 예측된 농도를 바탕으로 토양에 대한 위해도를 평가한 결과, 모두 유해지수 1 미만으로 확인되었다. 따라서, 저질에서의 위해우려 가능성은 낮은 것으로 평가되었다.

표 5-1. 위해성 평가 결과 종합

대상 구분		붕산나트륨		노출 경로			
		노출 시나리오	세부 노출 시나리오	경구	흡입	경피	
인 체 위 해 성	작업자 노출	혼합 (조제)	골판지 및 골판지 상자 제조용 접착제 제조	-	✓	○	
			산업적/전문적 사용	제지 제조용 접착제의 산업적 사용	-	○	○
			고온용 내화물 및 내화재료 제조를 위해 사용되는 결합제	-	✓	○	
		산업적/전문적 사용	연속 주조용 내화 제품을 제조할 때 소결제로 사용	-	✓	○	
			건축용 난연제	-	✓	○	
			연소 효율을 촉진하기 위한 연소 촉진제 제조용	-	✓	○	
			혼합 (조제)	유리 프리트(frit) 제조를 위한 원료로 사용	-	✓	○
				유리, 유리 울(wool) 제조를 위한 원료로 사용	-	✓	○
			산업적/전문적 사용	도자기 유약 제조용 원료	-	✓	○
				범랑 유약 제조를 위한 원료로 사용	-	○	○
				철강 선을 신선하는 피막제	-	✓	○
				산업용 수처리제	-	✓	○
				코팅 본 처리의 염색제로 사용	-	✓	○
				방사선 차폐 용도로 사용	-	✓	○
				환경을 통한 간접노출	음용수 섭취	수돗물 섭취	○
소비자 노출	완구	슬라임 사용	-	-	○		
	생활 화학제품	표백제 사용	-	○	○		
	의약외품	렌즈 세척액 사용	-	-	○		

봉산나트륨			노출 경로			
대상 구분		노출 시나리오	세부 노출 시나리오	경구	흡입	경피
		공기 호흡	일상 호흡	-	○	-
생태위해성	수생태계	수생태	담수		○	
			저질		○	
	토양생태계	토양생태	목초지		○	
			농경지		○	

○: 위해 없음, ×: 위해우려, ✓: 재검토필요, -: 평가 제외

### 3절. 위해저감방안

붕산나트륨은 소비자 노출이나 환경을 통한 간접노출에 대해서는 모든 경로에 대해 유해 우려가 없는 것으로 나타났다. 하지만, 작업자 노출의 경우, 대부분의 노출 시나리오에서 만성 흡입에 대한 유해지수가 1 이상인 작업자들이 포함되어 있었다. 이들이 작업하는 환경 및 조건들을 검토해본 결과, 일부는 작업시간이 1~4시간이었고, 대부분은 4시간 이상 작업하는 것으로 나타났다. 대부분 95 % 효율의 호흡구를 착용하고 작업을 진행했음에도 불구하고, 유해지수가 높게 나온 것은 상대적으로 긴 작업시간과 모두 실내 작업을 하는 작업장임에도 환기 상태, 국소배기장치 등 흡입 노출을 저감할 수 있는 조건들이 갖추어져 있지 않았기 때문이라고 판단된다.

작업자에 관한 위해 저감 방안들이 있는데, 행정적 대책(administrative controls)으로는 작업시간을 조절하거나 작업 인원을 추가로 배치하여 노출량을 줄이도록 하는 방안이 있다. 그리고 지속적인 교육 및 훈련 등을 통해 취급 화학물질의 물리·화학적 특성, 인체에 미치는 영향 및 증상, 취급상의 주의 사항, 착용해야 하는 보호구 및 착용 방법, 위급상황 시 대처 방법 및 응급 조치요령 등에 대한 사전 교육을 철저히 진행할 필요가 있다.

공학적 대책(engineering controls)으로는 유해인자를 근원적으로 제거하는 방법으로 유해 물질을 유해하지 않은 물질이나 유해성이 상대적으로 낮은 물질로 대체하거나 공정이나 작업 방법의 변경, 격리 및 밀폐, 국소배기장치의 사용 등 다양한 방법이 사용된다. 이러한 방법들은 근원적으로 유해하지 않은 환경을 만들게 되므로 가장 좋은 방법이다(한국산업안전공단, 2018).

## 6장. 참고문헌

- 국립환경과학원 (2019). 한국인의 노출계수 핸드북.
- 국립환경과학원 (2021). 생활화학제품 위해성평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정(국립환경과학원고시 제 2021-37호)
- 환경부 (2020). 국가상수도정보시스템: 먹는물 수질검사 자료(2019)
- Adriano DC, Kaplan DI, Burkman WG, Mills GL (1988). Long-term phytoavailability of soil applied organo-borates. *Journal of Environmental Quality*, 17, 485-492.
- Adriano DC (2001). *Trace Elements in Terrestrial Environments*. 2nd Edition, Springer, New York.
- Aitken RL, McCallum LE (1988). Boron toxicity in soil solution. *Australian Journal of Soil Research* 26(4), 605-610.
- Allen BC, Strong BL, Price CJ, Hubbard SA, Daston GP (1996). Benchmark dose analysis of developmental toxicity in rats exposed to boric acid. *Fundamental and Applied Toxicology*, 32, 194-204.
- Aquaterra Environmental (1998). *Development of Plant Toxicity Tests for Assessment of Contaminated Soils*. Prepared for the Method Development and Application Section, Environment Canada.
- Argust P (1998). Distribution of Boron in the Environment. *Biol. Trace Element Res.* 66, 131.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) (1989). *Standard Guide for conducting acute toxicity test with fishes, macroinvertebrates and amphibians (E729-88a)*. ASTM International, West Conshohocken.
- Austria (2008): *Transitional Annex XV Dossier*. Disodium tetraborate anhydrous (December 2008).
- Bagheri A, Paull JG, Rathjen AJ (1994). The response of *Pisum sativum* L. germplasm to high concentrations of soil boron. *Euphytica*, 75, 9-17.
- Banuelos GS, Mackey B, Cook C, Akohoue S, Zambruski S, Samra P (1996). Response of Cotton and Kenaf to Boron? Amended Water and Soil. *Crop science*, 36(1), 158-164.
- Beyer KH, Bergfeld WF, Berndt WO, Boutwell RK, Carlton WW, Hoffmann DK, Schroeter AL (1983). Final report on the safety assessment of

- sodium borate and boric acid. Journal of the American College of Toxicology, 2(7), 87-125.
- Birge WJ, Black JA (1977). Sensitivity of vertebrate embryos to boron compounds: US Environmental Protection Agency. EPA-560/1-75-008.
- Black JA, Barnum JB, Birge WJ (1993). An integrated assessment of the biological effects of boron to the rainbow trout. Chemosphere, 26(7), 1383-1413.
- Boncukcuoğlu R, Kocakerim MM, Kocadağistan E, Yilmaz MT (2003). Recovery of boron of the sieve reject in the production of borax. Resources Conservation & Recycling, 37, 147-157.
- Bringmann G, Kuhn R (1977). Befunde der Schadwirkung wassergefährdender Stoffe gegen Daphnia magna. Zeitschrift für Wasser und Abwasser Forschung, 10(5), 161-166
- Bringmann G, Kuhn R (1978a). Testing of substances for their toxicity threshold: Model organisms Microcystis (Diplocystis) aeruginosa and Scenedesmus quadricauda. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen, 21, 275-284.
- Bringmann G, Kuhn R (1978b). Limiting values for the noxious effects of water pollutant material to blue algae (Microcystis aeruginosa) and green algae (Scenedesmus quadricauda). Vom Wasser, 50, 45-60.
- Cerven DR (2000). Acute eye irritation on rabbits: EPA Reg. No 1624-1, Borax 5 mol., Sodium tetraborate pentahydrate Lot #OE26. Study no MB 00-8677.04 MB Research Laboratories, Spinnerstown PA 18968. Unpublished report to US Borax.
- Cordia JA, Bal EA, Mak WA, Wils ERJ (2003). Determination of some physico-chemical properties of Optibor EP. Rijswijk, The Netherlands: TNO Prins Maurits Laboratory, report PML 2002-C42rr, GLP. Unpublished, confidential data provided by Borax Europe Limited.
- Culver BD, Shen PT, Taylor TH, Feldstein AL, Anton-Culver H, Strong PL (1993). Absorption of boron by sodium borate and boric acid production workers. Report to US Borax., August 11.
- Culver BD, Shen PT, Taylor TH, Feldstein AL, Anton-Culver H, Strong PL



- (1994). The relationship of blood-and urine-boron to boron exposure in borax-workers and the usefulness of urineboron as an exposure marker, *Environmental Health Perspectives*, 102(7), 133-137.
- De Vette HQM, Otto C, Schoonmade JA (2001). A study on the identification and comparison of the dissociation products of Polybor tech., Borax, Manufacturing Grade and Boric acid Manufacturing Grade in aqueous solutions using Raman spectrometry. TNO Nutrition and Food Research, Delft, The Netherlands. TNO study no. IMW-99-9050-01. Sponsor: Borax Europe Ltd.
- Den Dooren De Jong LE (1965). Tolerance of *Chlorella vulgaris* for metallic and non-metallic ions. *Antonie van Leeuwenhoek*, 31(1), 301-313.
- Denton SM (1995). Dehybor anhydrous Borax Acute oral study in the rat. Corning Hazleton (Europe), Harrogate, N Yorkshire, HG3 1PY, Study. No 1341/2-1032. Unpublished Report to Borax Europe Limited.
- Denton SM (1996). Dehybor anhydrous Borax Acute oral study in the rat. Corning Hazleton (Europe), Harrogate, N Yorkshire, HG3 1PY, Study. No 1341/6-1032. Unpublished Report to Borax Europe Limited.
- Dixon RL, Sherins RJ, Lee IP (1979). Assessment of environmental factors affecting male fertility. *Environmental Health Perspectives*, 30, 53-68.
- Dourson M, Meier A, Meek B, Renwick A, Ohanian E, Poirier K (1998). Boron tolerable intake: re-evaluation of toxicokinetics for data-derived uncertainty factors. *Biological Trace Element Research*, 66(1-3), 453-463.
- Doyle RL (1989). Primary eye irritation of 10 Disodium tetraborate decahydrate Mol. Hill Top Biolabs Incorporation, Miamiville, OH 45147. Unpublished report to US Disodium tetraborate decahydrate.
- Dunlop W (1981). Serial changes in renal haemodynamics during normal human pregnancy. *British Journal of Obstetrics and Gynecology*, 88, 1-9.
- Duydu Y, Basaran N, Ustundag A, Aydin S, Undeger U, Ataman OY, Aydos K, Duker Y, Ickstadt K, Waltrup BS, Golka K, Bolt HM (2011). Reproductive toxicity parameters and biological monitoring in

- occupationally and environmentally boron-exposed persons in Bandirma, Turkey. *Archives of Toxicology*, 85, 589-600.
- Duydu Y, Basaran N, Bolt HM (2012). Exposure assessment of boron in Bandirma boric acid production plant. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 26, 161-164.
- Dyer SD (2001). Determination of the aquatic PNEC<sub>0.05</sub> for boron. *Chemosphere*, 44(3), 369-376.
- Eaton FM (1944). Deficiency, toxicity and accumulation of boron in plants. *Journal of Agricultural Research*, 69(6), 237-279.
- ECETOC (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals) (1997). Special Report No. 11: Ecotoxicology of some inorganic borates. ECETOC, Avenue E Van Nieuwenhuysse 4 (Bte 6), Brussels, Belgium.
- ECHA (European Chemicals Agency) (2009). TRANSITIONAL ANNEX XV DOSSIER (Boric acid (Boric acid crude natural)). Documentation of the work done under the Existing Substance Regulation (EEC) No 793/93 and submitted to the European Chemicals Agency according to Article 136(3) of Regulation (EC) No 1907/2006.
- Eisler R (1990). Boron hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review (No. 20). US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
- Eisler R (2000). Handbook of chemical risk assessment: Health hazards to humans, plants, and animals. Metalloids, radiation, cumulative index to chemicals and species (Lewis Publishers). 3, 1501-1903.
- European Union Risk Assessment Report (2007). DISODIUM TETRABORATE, ANHYDROUS / BORIC ACID / BORIC ACID, CRUDE NATURAL.
- Förster B and Becker L (2009). Boric Acid: Terrestrial Plant Seedling Emergence Test. Tested by ECT Oekotoxikologie GmbH.
- Gerke A (2011a). Boric acid: Chronic toxicity in whole sediment to freshwater midge, *Chironomus riparius* using spiked sediment (Study No. 65474). Tested by ABC Laboratories, Inc.
- Gerke A (2011b). Boric acid: Chronic toxicity in whole sediment to freshwater midge, *Chironomus riparius* using spiked water (Study No.

- 65475). Tested by ABC Laboratories, Inc.
- Gersich FM (1984). Evaluation of a static renewal chronic toxicity test method for *Daphnia magna* Straus using boric acid. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 3(1), 89-94.
- Gersich FM, Milazzo DP (1990). Evaluation of a 14-day static renewal toxicity test with *Daphnia magna* Straus. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 19(1), 72-76.
- Gestring WD, Soltanpour PN (1987). Comparison of soil tests for assessing boron toxicity to alfalfa. *Soil Science Society of America Journal*, 51(5), 1214-1219.
- Glaubig BA, Bingham FT (1985). Boron toxicity characteristics of four northern California endemic tree species. *Journal of environmental quality*, 14(1), 72-77.
- Guhl W (1992). Okologische Aspekte von Bor. *SOFW. Seifen, Ole, Fette, Wachse*, 118(18), 1159-1168.
- Gupta UC (1983). Boron deficiency and toxicity symptoms for several crops as related to tissue boron levels. *Journal of plant nutrition*, 6(5), 387-395.
- Gupta UC, Cutcliffe JA (1984). Effects of applied and residual boron on the nutrition of cabbage and field beans. *Canadian journal of soil science*, 64(4), 571-576.
- Hamilton SJ (1995). Hazard assessment of inorganics to three endangered fish in the Green River, Utah. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 30(2), 134-142.
- Hamilton SJ, Buhl KJ (1990). Acute toxicity of boron, molybdenum, and selenium to fry of chinook salmon and coho salmon. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 19(3), 366-373.
- Hamilton SJ, Buhl KJ (1997). Hazard Evaluation of Inorganics, Singly and in Mixtures, to Flannelmouth sucker *Catostomus latipinnis* in the San Juan River, New Mexico. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 38(3), 296-308.
- Hamilton SJ, Wiedmeyer RH (1990). Concentrations of boron, molybdenum,

- and selenium in chinook salmon. Transactions of the American Fisheries Society, 119(3), 500-510.
- Hanstveit AO, Oldersma H (2000). Determination of the effect of Boric Acid, Manufacturing Grade on the growth of the fresh water green alga, *Selenastrum capricornutum*. Testing laboratory: TNO Nutrition and Food Research Institute.
- Henzen L (2000). The acute toxicity of boric acid manufacturing grade to the worm species *Eisenia fetida* in a 14d test. TNO Nutrition and Food Research Institute, Delft, The Netherlands.
- HERA (2005). Human and Environmental Risk Assessment on ingredients of Household Cleaning Products. Substance: Boric acid (CAS No. 10043-35-3). Edition 1.0.
- Hickey CW (1989). Sensitivity of four New Zealand cladoceran species and *Daphnia magna* to aquatic toxicants. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 23, 131-137.
- Hickey CW, Blaise C, Costan G (1991). Microtesting appraisal of ATP and cell recovery toxicity end points after acute exposure of *Selenastrum capricornutum* to selected chemicals. Environmental Toxicology and Water Quality, 6(4), 383-403.
- Hooftman RN, D van Drongelen-Sevenhuijsen, HPM de Haan. (2000a). Early Life Stage test under semi-static conditions with Boric Acid, Manufacturing Grade and the zebra fish *Brachydanio rerio*. TNO Study 99-9047-09. Report V99-168. TNO Nutrition and Food Research Institute, Delft, The Netherlands.
- Hooftman RN, D van Drongelen-Sevenhuijsen, HPM de Haan. (2000b). Semi-static reproduction test with Boric Acid, Manufacturing Grade and *Daphnia magna*. TNO Study 99-9047-10. Report V99-169. TNO Nutrition and Food Research Institute, Delft, The Netherlands.
- Hooftman RN, D van Drongelen-Sevenhuijsen, HPM de Haan. (2000c). Toxicity test with Boric Acid, Man. Grade and the midge larva, *Chironomus riparius*, using spiked sediment. TNO Study 99-9047-08. Report V99-1146. TNO Nutrition and Food Research Institute, Delft,

The Netherlands.

- Hui X, Wester RC, Maibach HI (1996). In Vivo Percutaneous Absorption of Boric Acid, Borax and Octaborate Tetrahydrate (DOT) in Man. Unpublished Report to U.S. Borax Inc., Study Number H832-11830-01, November 12.
- IMA-Europe (2009). Uses and associated volume for the reference year 2008, Data provided by EBA, (December 2009).
- Krasovskii GN, Varshavskaya SP, Borisov AI (1976). Toxic and Gonadotropic Effects of Cadmium and Boron Relative Standards for These Substances in Drinking Water, *Environmental Health Perspectives*, 13, 69-75.
- Krutzen E, Olofsson P, Back SE, Nilsson-Ehle P (1992). Glomerular filtration rate in pregnancy: a study in normal subjects and in patients with hypertension, preeclampsia and diabetes. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 52, 387-392.
- Landolph LR (1985). Cytotoxicity and negligible genotoxicity of disodium tetraborate decahydrate ores to cultured mammalian cells. *American Journal of Industrial Medicine*, 7, 31-43.
- Laposata MM, Dunson WA (1998). Effects of boron and nitrate on hatching success of amphibian eggs. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 35(4), 615-619.
- Laws EA (1981). *Aquatic Pollution*. John Wiley and Sons, NY. cited in Moss and Nagpal (2003).
- Lee IP, Sherins RJ, Dixon RL (1978). Evidence for induction of germinal aplasia in male rats by environmental exposure to boron. *Toxicology and applied pharmacology*, 45(2), 577-590.
- Lee SKD (2006). Hot pepper response to interactive effects of salinity and boron. *Plant Soil and Environment*, 52(5), 227-233.
- Lewis MA, Valentine LC (1981). Acute and chronic toxicities of boric acid to *Daphnia magna* Straus. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 27(1), 309-315.
- Lockwood R (2011a). Whole sediment chronic toxicity testing of boron with the freshwater fatmucket mussel *Lampsilis siliquoidea*. Report no.

- 20-26107A RT-2. Tested by ENVIRON international corporation, Nashville, Tennessee.
- Lockwood R (2011b). Whole sediment chronic toxicity testing of boron with the freshwater worm *Lumbriculus variegatus*. Report no. 20-26107A RT-1. Tested by ENVIRON international corporation, Nashville, Tennessee.
- Maier KJ, Knight AW (1991). The toxicity of waterborne boron to *Daphnia magna* and *Chironomus decorus* and the effects of water hardness and sulfate on boron toxicity. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 20(2), 282-287.
- Marschner H (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd Edition. Academic Press, London. p 889.
- Martinez F, Mateo P, Bonilla I, Fernandez-Valiente E, Garate A (1986). Growth of *Anacystis nidulans* in relation to boron supply. *Israel Journal of Botany*, 35, 17-21
- Mateo P, Martinez F, Bonilla I, Fernandez Valiente E, E. Sanchez Maeso (1987). Effects of high boron concentrations on nitrate utilization and photosynthesis in blue-green algae *Anabaena PCC 7119* and *Anacystis nidulans*. *Journal of plant physiology*, 128, 161-168.
- Meyding GD, Foglhian RW (1961). 10-Mol Borax. Acute Oral Administration (rats). Hazleton Nuclear Science Corporation, Palo Alto Ca 67500. Unpublished Report to US Borax (TX-61-5), Study file name: TX1961005
- Palmer MP, Spivack AJ, Edmond JM (1987). Temperature and pH controls over isotopic fractionation during adsorption of boron on marine clay. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(9), 2319-2323.
- Park H, Schlesinger WH (2002). Global biogeochemical cycle of boron. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4), 1072.
- Power PP, Woods WG (1997). The chemistry of boron and its speciation in plants. *Plant and Soil*, 193, 1-13.
- Price CJ, Strong PL, Marr MC, Myers CB, Murray FJ (1996). Developmental toxicity NOAEL and postnatal recovery in rats fed boric acid during gestation. *Fundamental and Applied Toxicology*, 32, 179-193.

- Raymond K, Butterwick L (1992). “Perborate“ in The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 3 Part F: Anthropogenic Compounds. Detergents. 1992. Ed. O. Hutzinger. Springer-Verlag, Berlin. 287-318.
- Reagan EL, Becci PJ (1985a). Acute oral LD 50 study of 20 Mule Team lot no. USB-12-84 sodium tetraborate pentahydrate in Sprague-Dawley rats. Food and Drug Research Laboratories, Inc., Waverly, NY 14892-0107, USA. Unpublished report to US Borax.
- Reagan EL, Becci PJ (1985b). Acute dermal toxicity study of 20 Mule Team lot no. USB-12-84 sodium tetraborate pentahydrate in New Zealand white rabbits. Food and Drug Research Laboratories Inc., Waverly, NY 14892, Unpublished report to US Borax.
- Reagan EL, Becci PJ (1985c). Acute dermal toxicity study of 20 Mule Team lot no. USB-11-84 sodium tetraborate decahydrate in New Zealand white rabbits. Food and Drug Research Laboratories Inc., Waverly, NY 14892, Unpublished report to US Borax.
- Reagan EL, Becci PJ (1985d). Primary dermal irritation study of 20 Mule Team lot no. USB-12-84 sodium tetraborate pentahydrate in New Zealand white rabbits. Food and Drug Research Laboratories Inc., Waverly, NY 14892. Unpublished report to US Borax.
- Reagan EL, Becci PJ (1985e). Primary dermal irritation study of 20 Mule Team lot no. USB-11-84 sodium tetraborate decahydrate in New Zealand white rabbits. Food and Drug Research Laboratories Inc., Waverly, NY 14892-0107. Unpublished report to US Borax.
- Richold M (1998). Boron exposure from consumer products. Biological trace element research, 66(1-3), 121-129.
- Riley MM, Robson AD, Dellar GA, Gartrell JW (1994). Critical toxic concentrations of boron are variable in barley. Journal of Plant Nutrition, 17(10), 1701-1719.
- Rim KT, Kim SJ, Kim JG, Kim HY, Yang JS (2009a). Bacterial Reverse Mutation (AMES) Test of Aluminum Oxide, Calcium Oxide and Sodium Tetraborate. Journal of the Korean Society for Environmental Analysis, 12(3), 196-203.

- Rim KT, Kim SJ, Kim JG, Kang MG, Kim HY, Yang JS (2009b). A Study of Mammalian Erythrocyte Micronucleus Induction with Aluminum Oxide, Calcium Oxide, Sodium Tetraborate. *Environmental Health and Toxicology*, 24(2), 127-136.
- Roudabush RL, Terhaar CJ, Fassett DW, Dziuba SP (1965). Comparative acute effects of some chemicals on the skin of rabbits and guinea pigs. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 7(4), 559-565.
- Rowe RI, Bouzan C, Nabili S, Eckhert CD (1998). The response of trout and zebrafish embryos to low and high boron concentrations is U-shaped. *Biological Trace Element Research*, 66, 261-270.
- Saiki MK, Jennings MR, Brumbaugh WG (1993). Boron, molybdenum, and selenium in aquatic food chains from the lower San Joaquin River and its tributaries, California. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 24(3), 307-319.
- Sayli BS (1998). Assessment of fertility and infertility in boron-exposed Turkish subpopulations. Pt. 2. Evidence that Boron has no effect on human reproduction. *Biological Trace Element Research*, 66, 406-422.
- Sayli BS (2001). Assessment of fertility and infertility in boron-exposed Turkish subpopulations. Pt. 3. Evaluation of fertility among sibs and in 'borate families'. *Biological Trace Element Research*, 81, 255-267.
- Sayli BS (2003). Low frequency of Infertility among workers in a borate processing facility. *Biological Trace Element Research*, 93, 19-30.
- Soucek DA, Dicknson A and Koch BT (2011). Acute and chronic toxicity of boron to a variety of freshwater organisms. *Environmental Toxicology and Chemistry*: 30(8), 1906-1914.
- Spruit WET, van Baar BJM, Wils ERJ (2005). Determination of some physical chemical properties of sodium tetraborate anhydrous. Study report.
- STANTEC/AEC (Stantec Consulting Ltd and Aquaterra Environmental Consulting Ltd.) (2003). Assessment of the biological test methods for invertebrates. Further refinement of the test method for *Eisenia andrei*. Guelph/Orton, Canada. Report no. 62679096.



- Suloway JJ, Roy WR, Skelly TM, Dickerson DR, Schuller RM and Griffin RA (1983). Chemical and toxicological properties of coal fly ash. Champaign Illinois. Illinois State Geological Survey. NTIS PB84:116110.
- Swaine DJ (1955). The trace elements content of soils. Commonwealth Bureau Soil Sci (GB) Tech Comm 48. Herald Printing Works, York, UK.
- Tarasenko NY, Kasparov AA, Strongina OM. (1972). Effect of boric acid on the generative function in males, *Gigiena Truda i Professionalnye Zabolevaniya*, 11, 13-16.
- Thompson JAJ, Davis JC, Drew RE (1976). Toxicity, uptake and survey studies of boron in the marine environment. *Water Research*, 10(10), 869-875.
- Tuccar E, Elhan AH, Uavuz Y, Sayli BS (1998). Comparison of infertility rates in communities from boron-rich and boron-poor territories. *Biological Trace Element Research*, 66, 401-407.
- Turan MA, Taban N, Taban S (2009). Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of boron and calcium in cell wall of wheat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2), 99-103.
- Turnbull H, DeMann JG, Weston RF (1954). Toxicity of various refinery materials to fresh water fish. *Industrial and Engineering Chemistry*, 46(2), 324-333.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) (1972).
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) (2010). Final Report on Acute and Chronic Toxicity of Nitrate, Nitrite, Boron, Manganese, Fluoride, Chloride and Sulfate to Several Aquatic Animal Species. EPA 905-R-10-002.
- Usuda K, Kono K, Orita Y, Dote T, Iguchi K, Nishiura H, Tominga M, Tagawa T, Goto E, Shirai Y (1998). Serum and urinary boron levels in rats of sodium tetraborate. *Archives of Toxicology*, 72, 468-474.
- Van Laer L, Salaets P, Smolders E (2010). Toxicity of boric acid to higher plants in soil: effects of soil type and ageing after soil amendment. Tested by KULeuven.
- Wallen IE, Greer WC, Lasater R (1957). Toxicity to *Gambusia affinis* of

- certain pure chemicals in turbid waters. *Sewage Indus Wastes*, 29(6), 695-711.
- Wang W (1986). Toxicity tests of Aquatic Pollutants by using common Duckweed. *Environmental Pollution Series B*, 11(1), 1-14.
- Weir RJ, Fisher RS (1972). Toxicologic studies on borax and boric acid. *Toxicology and applied pharmacology*, 23(3), 351-364
- Wester RC, Hui X, Hartway T, Maibach HI, Bell K, Schell MJ, Northington DJ, Strong P, Culver BD (1998). In vivo percutaneous absorption of boric acid, Borax and disodium octaborate tetrahydrate in humans compared to in vitro absorption in human skin from infinite to finite doses. *Toxicological Sciences*, 45(1), 42-51.
- WHO (World Health Organization) (1998). Environmental Health Criteria 204. Boron. Geneva, Switzerland: World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.
- Whorton MD, Haas JL, Trent L, Wong O (1994). Reproductive effects of sodium borates on male employees: birth rate assessment. *Occupational and Environmental Medicine*, 51, 761-767.
- Wnorowski G (1994a). Acute inhalation toxicity limit on disodium tetraborate decahydrate. Product Safety Labs, East Brunswick, New Jersey 08816, Study - 3309. Unpublished report to U.S. Borax.
- Wnorowski G (1994b). Acute inhalation toxicity limit on disodium tetraborate pentahydrate. Product Safety Labs, East Brunswick, New Jersey 08816, Study - 3307. Unpublished report to U.S. Borax.
- Wnorowski G (1994c). Dermal sensitization test - Buehler method on sodium tetraborate pentahydrate. Product Safety Labs, East Brunswick, New Jersey 08816, Study - 3306. Unpublished report to U.S. Borax.
- Wnorowski G (1994d). Dermal sensitization test - Buehler method on sodium tetraborate decahydrate. Product Safety Labs, East Brunswick, New Jersey 08816, Study - 3308. Unpublished report to U.S. Borax.
- Wong PK, Wong CK (1990). Toxicity of nickel and nickel electroplating water to *Chlorella pyrenoidosa*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 45(5), 752-759.

- You CF, Spivack AJ, Gieskes JM, Rosenbauer R, Bischoff JL (1995). Experimental study of boron geochemistry: implications for fluid processes in subduction zones. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(12), 2435-2442.
- You CF, Spivack AJ, Gieskes JM, Martin JB, Davisson ML (1996). Boron contents and isotopic compositions in pore water: a new approach to determine temperature induced artifacts-geochemical implications. *Marine Geology*, 129(3), 351-361.
- Younis S (2010). REACH testing on a sample of disodium tetraborate anhydrous. Study report.

## 부록 (Appendix)

표 1. 붕산나트륨의 물성 정보

항목	값
분자량(mg/mol)	201.22
녹는점(°C)	1000
옥탄올/물 분배계수	2.95E-02
증기압(Pa)	2.13E+01
증기압 측정온도(°C)	20
물용해도(mg/L)	4.974E+04
물용해도 측정온도(°C)	20
생분해도	not biodegradable
Koc(L/kg)	1.70E-09
STP 사용여부	No

표 2. 봉산나트륨의 노출 시나리오에 따른 배출정보

노출 시나리오	Site No.	취급특성			국지적 배출량 (톤/년)		
		계	취급량(톤)	조업일수(일)	대기	수질	토양
ES1	1	35.5	20.0	365	1.000	0.020	0.002
	2		15.5	310	0.775	0.016	0.002
ES2	3	100.0	100.0	200	5.000	0.100	0.010
ES3	4	120.0	120.0	200	0.012	1.200	0.000
ES4	5	120.0	120.0	365	0.012	1.200	0.000
ES5	6	1000.0	1000.0	200	2.500	3.000	0.100
ES6	7	1000.0	1000.0	60	2.500	3.000	0.100
ES7	8	2500.0	2000.0	365	0.020	1.000	0.200
	9		500.0	250	0.005	0.250	0.050
ES8	10	32500.0	3500.0	200	0.035	1.750	0.350
	11		29000.0	365	0.290	14.500	2.900
ES9	12	1000.0	1000.0	120	0.010	0.500	0.100
ES10	13	1336.0	156.0	365	0.002	0.078	0.016
	14		650.0	250	0.007	0.325	0.065
	15		530.0	250	0.005	0.265	0.053
ES11	16	216.0	216.0	300	0.022	2.160	0.000
ES12	17	500.0	500.0	200	0.005	10.000	0.050
ES13	18	18.0	18.0	300	0.700	1.400	0.007
ES14	19	70.0	70.0	365	0.175	1.400	0.007

## 주요 용어

1. 위해성평가(Risk assessment) : 유해성이 있는 화학물질이 사람과 환경에 노출되는 경우 사람의 건강이나 환경에 미치는 결과를 예측하기 위해 체계적으로 검토하고 평가하는 것을 의미함
2. 유해성확인(Hazard identification) : 화학물질의 특성, 유해성 및 작용기 등에 대한 연구자료를 바탕으로 화학물질이 사람의 건강이나 환경에 좋지 아니한 영향을 미치는 것을 규명하고 그 증거의 확실성을 검증하는 것을 의미함
3. 노출평가(Exposure assessment) : 환경 중 화학물질의 정성 및 정량 분석 자료를 근거로 화학물질이 인체 또는 기타 수용체 내부로 들어오는 노출 수준을 추정하는 것을 의미함
4. 노출계수(Exposure assessment) : 노출평가 시 화학물질의 노출량 결정과 관련된 계수를 의미함
5. 노출경로(Exposure pathway) : 화학물질이 배출원으로부터 사람 또는 환경에 노출될 때까지의 이동 매개체와 그 경로를 의미함
6. 생체지표(Biomarker) : 화학물질의 노출과 관련하여 생체 내에서 측정된 화학물질을 말하거나, 화학물질의 대사체 또는 그 화학물질이 특정 분자나 세포와 작용하여 생성된 화학물질을 의미함
7. 노출량-반응 평가(Dose-response assessment) : 화학물질의 노출수준과 이에 따른 사람 및 환경에 미치는 영향과의 상관성을 규명하는 것을 의미함
8. 생물농축(Bioconcentration) : 생물의 조직 내 화학물질의 농도가 환경매체 내에서의 농도에 비해 상대적으로 증가하는 것을 말하며, 그 농도비로 표시한 것을 생물농축계수라 함
9. 생물확장(Biomagnification) : 화학물질이 생태계의 먹이 연쇄를 통해 그 물질의 농도가 포식자로 갈수록 증가하는 것을 의미함
10. 평가계수(Assessment Factor) : 화학물질 독성에 대한 동물실험 결과를 인체 외삽하거나 민감 대상까지 적용하기 위한 임의적 보정의 값을 의미함

11. 독성참고치(Reference Dose, RfD) : 식품 및 환경매체 등을 통하여 화학물질이 인체에 유입되었을 경우 유해한 영향이 나타나지 않는다고 판단되는 노출량을 의미함. 내용일일섭취량(TDI: Tolerable Daily Intake), 일일섭취허용량(ADI: Acceptable Daily Intake), 잠정주간섭취허용량(PTWI: Provisional Tolerable Weekly Intake) 또는 흡입독성참고치(RfC: Reference Concentration) 값도 충분한 검토를 거쳐 RfD와 동일한 개념으로 사용함
12. 무영향수준(Drived No Effect Levels, DNEL) : 화학물질이 인체에 일정기준 이상 노출되어서는 안 되는 수준을 의미함
13. 예측무영향농도(Predicted No Effect Concentration, PNEC) : 인간 이외의 생태계에 서식하는 생물에게 유해한 영향이 나타나지 않는다고 예측되는 환경 중 농도를 의미함
14. 예측환경농도(Predicted Environment Concentration, PEC) : 예측모델에 의해 추정된 환경 중 화학물질의 농도를 의미함
15. 반수영향농도(Effective Concentration 50%, EC<sub>50</sub>) : 일정 시험기간 동안 통계적으로 시험생물 수의 50%가 독성영향을 받는 농도를 의미함
16. 반수치사농도(Lethal Concentration 50%, LC<sub>50</sub>) : 일정 시험기간 동안 통계적으로 시험생물 수의 50%가 죽는 수용액상의 시험물질 농도를 의미함
17. 무영향관찰용량/농도(No Observed Adverse Effect Level, NOAEL/ No Observed Adverse Effect Concentration, NOAEC) : 만성독성 등 노출량-반응시험에서 노출집단과 적절한 무처리 집단 간 악영향의 빈도나 심각성이 통계적으로 또는 생물학적으로 유의한 차이가 없는 노출량 혹은 노출농도를 의미함. 다만, 이러한 노출량에서 어떤 영향이 일어날 수도 있으나 특정 악영향과 직접적으로 관련성이 없으면 악영향으로 간주되지 않음
18. 최소영향관찰용량/농도(Lowest Observed Adverse Effect Level, LOAEL / Lowest Observed Adverse Effect Concentration, LOAEC) : 노출량-반응시험에서 노출집단과 적절한 무처리 집단 간 악영향의 빈도나 심각성이 통계적으로 또는 생물학적으로 유의성 있는 증가를 보이는 노출량 중 처음으로 관찰되기 시작하는 가장 최소 노출량을 의미함

19. 유해지수(Hazard quotient, HQ) : 화학물질의 위해도를 표현하기 위해 인체 노출량을 RfD로 나누거나 PEC을 PNEC으로 나눈 수치를 의미함
20. QSAR(Qualitative or Quantitative Structure-Activity Relationship) : 유해성 시험을 하지 않고도 물질의 분자 또는 분자 구조의 연관성을 비교하여 유해성을 예측하기 위해 개발된 프로그램을 의미함
21. Read-across : 유해성 자료 등 정보가 있는 물질과 대상 물질을 비교하여 유해성을 도출하는 방법을 의미함