

# 환경 중 1,2-Benzisothiazol-3-one에 대한 초기 생태위해성 평가 Initial Ecological Risk Assessment of 1,2-Benzisothiazol-3-one in Environment

한혜진 · 김은주 · 유선경 · 노희영 · 백용욱 · 심일섭 · 엄익춘 · 김현미<sup>†</sup> · 김필제 · 최경희

Hye-Jin Han · EunJu Kim · SunKyoung Yoo · Hi-young Ro · Yong-wook Baek  
IlSeob Shim · Ig-Chun Eom · Hyun-Mi Kim<sup>†</sup> · PilJe Kim · Kyunghye Choi

국립환경과학원 위해성평가연구과

Risk Assessment Division, National Institute of Environmental Research

(2012년 10월 8일 접수, 2013년 2월 21일 채택)

**Abstract :** In this study, physico-chemical properties and environmental fate were investigated and ecotoxicity tests using fish, daphnia and algae were conducted for an initial ecological risk assessment of 1,2-Benzisothiazol-3-one. Due to low volatility of the test substance under environmental conditions, it is likely to be distributed in soil and water environment. The compound has low adsorption in the soil, with low bioconcentration potential. Acute toxicity results showed that 96 h-LC<sub>50</sub> for *Oryzias latipes* was 4.7 mg/L (measured) and 48h-EC<sub>50</sub> for *Daphnia magna* was 3.3 mg/L (measured). In a growth inhibition test with *Pseudokirchneriella subcapitata*, 72 h-EC<sub>50</sub> was 0.456 mg/L (growth rate, nominal) and 0.262 mg/L (yield, nominal). Using the acute toxicity value of algae, predicted no-effect concentration (PNEC) in the aquatic environment was determined to be 2.62 µg/L using a factor of 100. According to the globally harmonized system (GHS), the compound was categorized as aquatic acute 1 for algae, while it was categorized as aquatic acute 2 for fish and daphnia. This screening assessment suggests that the test substance may pose ecological risks in the aquatic environment.

**Key Words :** Ecological Risk Assessment, 1,2-benzisothiazol-3-one

**요약 :** 본 연구에서는 벤즈이소시아졸리논의 초기 생태위해성을 평가하기 위해 물리·화학적 특성과 환경거동 및 경로를 조사하였고, 어류, 물벼룩 및 조류를 이용한 수생태 독성시험을 수행하였다. 조사 결과, 벤즈이소시아졸리논은 비휘발성으로 환경 중 주로 토양과 물에 분포하는 특성이 있으며, 토양 내 이동성과 생물농축 가능성이 낮은 편으로 나타났다. *Oryzias latipes*를 이용한 급성 독성시험 결과 96시간-LC<sub>50</sub> 값은 4.7 mg/L(측정농도), *Daphnia magna*를 이용한 48시간-EC<sub>50</sub> 값은 3.3 mg/L(측정농도)이었다. *Pseudokirchneriella subcapitata*를 이용한 72시간-EC<sub>50</sub> 값은 0.456 mg/L(평균 성장률, 설정농도)와 0.262 mg/L(수율, 설정농도)이었다. 시험 중 가운데 독성에 가장 민감한 조류의 수율 EC<sub>50</sub> 값에 평가 계수 100을 적용한 예측무영향 농도는 2.62 µg/L이었다. 각 시험군의 독성 종말점을 GHS (Globally Harmonized System) 기준에 따라 분류한 결과 조류 독성은 급성독성 1등급, 어류 및 물벼룩 독성은 급성독성 2등급에 해당되었다. 본 결과를 토대로 볼 때 벤즈이소시아졸리논은 생태 환경에 대한 위해성이 예측된다.

**주제어 :** 초기 생태위해성평가, 벤즈이소시아졸리논

## 1. 서론

현재 전 세계적으로 급속한 개발과 산업화에 따라 화학 물질의 사용량은 매년 증가하고 있으며, 이로 인해 배출되는 오염물질은 자연환경의 훼손과 사람의 건강에 피해를 일으키고 있다. 리우 선언(Rio earth charger) 이후 OECD와 EU 등의 국제기구를 비롯한 미국, 스웨덴 및 노르웨이 등의 선진국가들은 유해화학물질 분야의 지속 가능한 발전 전략을 수립하거나 자국의 관리정책에 지속 가능한 발전 개념을 도입하고 있다. 이에 우리나라는 국제적인 화학물질관리 제도를 반영하고자 2006년을 기준으로 국내에서 유통되고 있는 약 3만 7천여 종의 유해화학물질에 대한 기존화학물질 안전성 시험(Safety Tests of Existing Chemicals) 사업을 수행하고 있다.<sup>1)</sup> 기존화학물질 안전성시험은 현재 사용되고 있는 화학물질이 인체 및 환경에 미치는 유해성을 평가하여 관리대

책을 마련하고, OECD 회원국으로서 기존화학물질 데이터 베이스에 안전성시험 자료를 제공함으로써 국제적 화학물질 안전관리사업에 기여하고 있다. 기존화학물질로 2011년에 안전성평가가 수행된 벤즈이소시아졸리논(1,2-Benzisothiazol-3-one)은 주로 방향제와 세정제 및 살충제의 주성분으로 사용되고 있으며 그 외 소독약, 농작물의 불활성 성분 및 다양한 산업적 활성 성분으로도 사용되고 있다. 그럼에도 불구하고 현재 벤즈이소시아졸리논에 대한 국내 생태위해성 연구는 미흡한 실정으로 환경 중 유입되었을 때 발생할 수 있는 위해영향을 예측하기 어렵다. 또한 최근 국내에서는 가습기 살균제의 위해성 문제가 대두됨에 따라 생활화학 가정용품 사용에 대한 안전성이 재평가되고 있다. 벤즈이소시아졸리논은 생활화학 가정용품에 사용되는 주성분으로써 다양한 측면에서 인간과 환경에 미치는 영향을 평가해야 할 필요성이 요구된다. 벤즈이소시아졸리논의 환경에 대한 초기 생태위해성

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: hmikim@korea.kr Tel: 032-568-7180 Fax: 032-568-2037

평가를 수행하기 위하여 물리·화학적 특성과 환경거동 및 생태독성에 대한 신뢰성 있는 자료들을 조사하였다. 조사 결과 벤즈이소시아졸리논에 대한 여러 생태독성 자료를 수집하였으나, 기존 문헌의 신뢰성 있는 자료가 미비하여 생태위해성 평가를 위한 연구 자료의 생산이 요구되었다. 따라서 본 연구에서는 신뢰성 있는 문헌자료와 예측 프로그램을 통해 물리·화학적 특성과 환경거동을 평가하였고, OECD 화학물질 시험지침(OECD Test Guideline for testing of chemicals)에 의거한 생태독성 시험을 우수실험실 운영(Good Laboratory Practice, GLP) 기관에서 수행한 결과를 근거로 벤즈이소시아졸리논의 환경에 대한 초기 생태위해성을 평가하는데 목적을 두었다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구 대상물질

본 연구의 대상물질인 벤즈이소시아졸리논(CAS No.: 2634-33-5)은 Sigma-Aldrich 제품(Code No.: K-3816)을 구입하여 사용하였다. 본 물질은 피부와 눈에 자극성을 유발하며, 산업용 방부제, 공업용 살균제, 구강제품의 보존제, 향균제 및 유효도료에 주로 사용되고 있다. 2006년 환경부 유통량에 의하면 벤즈이소시아졸리논의 생산량, 사용량 및 수입량은 각각 1,244톤, 219톤 및 126톤으로 보고되고 있다.<sup>2)</sup>

### 2.2. 물리·화학적 특성

본 연구는 Environmental Chemistry & Pharamanalytics Division 데이터 검색을 통해 벤즈이소시아졸리논의 물리·화학적 특성 중 녹는점, 끓는점, 수용해도, 밀도, 증기압, 분배계수 및 옥탄올-물 분배계수(Partition coefficient n-octanol/water, log  $K_{ow}$ ) 등의 초기 생태위해성 평가에 필요한 항목들을 검토하였다.

### 2.3. 환경거동

본 연구에서 환경거동 및 경로는 HSDB on TOXNET, ECHA (European Chemical Agency) 및 CHRIP (Chemical Risk Information Platform) 등의 데이터베이스 검색 시스템을 이용하여 일차적으로 검색하였으나 가수분해(Hydrolysis)를 제외한 대부분의 자료가 존재하지 않았다. 따라서 광분해(Hydroxyl Radicals Reaction), 토양흡착계수(Soil Adsorption coefficient, log  $K_{oc}$ ), 헨리상수(Henry's law constant), 생물농축계수(Bioconcentration Factor, BCF) 및 환경 분포(Environmental Distribution)는 미국 환경 보호청(US EPA)과 SRC (Syracuse Research Corporation)에서 개발한 Estimations Programs Interface (EPI) Suite<sup>TM</sup> v4.10<sup>3)</sup>을 이용하여 확인하였다. 미생물 분해시험은 OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 301C, MITI- I test: "Ready Biodegradability"<sup>4)</sup>에 따라 수행하였다.

## 2.4. 수생태 급성독성시험

벤즈이소시아졸리논에 대한 어류, 물벼룩 및 조류의 수생태 급성독성시험은 신뢰성 있는 자료를 얻기 위하여 우수 실험실 운영기관에서 독성시험자료의 신뢰성 확보를 위해 제정된 OECD 시험 지침에 따라 수행하였다.

### 2.4.1. 어류 급성독성시험

어류 급성독성시험은 OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 203: "Fish, Acute Toxicity Test"<sup>5)</sup>에 따라 수행하였다. 시험어종은 OECD TG 추천 어종인 *Oryzias latipes*를 계대 배양하여 평균 체장  $2.6 \pm 0.1$  cm인 것을 사용하였다. 시험에 적용한 사육수 및 희석수는 수돗물을 membrane filter (1  $\mu$ m)에 통과시킨 후 활성탄 여과장치로 여과하여 사용하였으며, 잔류염소는  $< 0.01$  mg/L, 경도는 52.2 mg/L as  $CaCO_3$ 이었다. 벤즈이소시아졸리논의 노출농도 결정을 위한 예비시험을 대조군, 0.1, 1, 10 및 100 mg/L에서 진행한 결과, 노출기간 동안 0.1 및 1.0 mg/L의 시험용액에서는 사망한 개체가 발생하지 않았으며 10 및 100 mg/L의 시험용액에서는 모든 개체가 사망하여 100% 치사율이 관찰되었다. 따라서 본 시험의 시험농도는 공비 1.7의 대조군, 1.0, 1.7, 2.9 및 4.9 mg/L로 설정하였으며, 시험농도 당 송사리 7마리를 반복없이 처리하여 지수식(static)으로 수행하였다. 시험물질은 HPLC (High Performance Liquid Chromatography, Agilent 1200 series)를 이용하여 안정성을 분석하였고, 분석 조건은 Table 1과 같다. 안정성 시험은 설정농도 2.0 mg/L의 시험용액을 조제하여 독성시험 조건에서 96시간 동안 24시간 간격으로 시험용액에서 시험물질의 농도를 분석하였다. 분석방법은 2.0 mg/L의 시험용액을 100 mL 씩 3개를 조제하여 acetonitrile로 2배 희석한 다음, 0.45  $\mu$ m syringe filter로 여과하였다. 여과한 용액을 2 mL 분석용 바이얼에 옮겨 담아 HPLC로 분석하였다. 시험기간 동안 수온은  $23.4 \pm 0.3$  °C, 용존산소는 6.58~8.73 mg/L, pH는 7.19~7.78, 광주기는 16 hr 점등/8 hr소등 조건으로 수행하였다. 시험기간 동안 먹이와 공기는 공급하지 않았으며 치사어와 독성 증상을 관찰하였다. 치사판정은 미병부를 자극할 때 반응이 없는 것과 아가미 호흡이 중단된 것을 치사한 것으로 간주하였다. 시험 결과 분석은 CETIS 프로그램의 Spearman-

Table 1. Apparatus and analytical conditions

Items	Conditions
Instrument	HPLC Agilent 1200 series
Injector	ALS G1329A
Pump	Quaternary pump G1311A
Detector	DAD G1315D
Column	Hypersil GOLD, 150 x 4,6 mm, 5,0 $\mu$ m
Mobile phase	Acetonitrile/Water = 50/50, v/v
Flow rate	1.0 mL/min
Wavelength	254,8 nm
Injection volume	10 $\mu$ L

Käber method를 사용하여 96시간 반수치사농도(LC<sub>50</sub>) 값과 95% 신뢰한계를 산출하였다. 무영향관찰농도(No Observed Effect Concentration, NOEC)와 최저영향관찰농도(Lowest Observed Effect Concentration, LOEC)는 Fisher Exact/ Bonferroni-Holm Test를 사용하여 추정하였다.

2.4.2. 물벼룩 급성독성시험

물벼룩 급성독성시험은 OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 202 : “Daphnia sp., Acute Immobilization Test”<sup>6)</sup>에 따라 수행하였다. 시험생물은 OECD TG 추천종인 *Daphnia magna*를 계대 배양하여 생후 24시간 미만의 어린개체를 사용하였다. 시험에 적용한 사육수 및 희석수는 OECD TG에 제시된 M4 배지를 조제하여 사용하였으며, 정도는 234 mg/L as CaCO<sub>3</sub>, 알칼리도는 41 mg/L as CaCO<sub>3</sub> 이었다. 벤즈이소시아졸리논의 노출농도 결정을 위한 예비시험을 대조군, 0.1, 1.0 및 10 mg/L에서 진행한 결과, 노출기간 동안 0.1 및 1.0 mg/L의 시험용액에서는 유영저해가 관찰되지 않았으며 10 mg/L의 시험용액에서는 100% 유영저해가 관찰되었다. 따라서 본 시험의 시험농도는 공비 2.0의 대조군, 0.5, 1.0, 2.0 및 4.0 mg/L로 설정하였으며, 시험농도 당 물벼룩 5마리씩 4 반복으로 노출시켜 지수식으로 수행하였다. 시험물질은 HPLC를 이용하여 안정성을 분석하였고, 분석 조건은 Table 1과 같다. 안정성 시험은 설정농도 2.0 mg/L의 시험용액을 조제하여 독성시험 조건에서 48시간 동안 24시간 간격으로 시험용액에서 시험물질의 농도를 분석하였다. 분석방법은 2.0 mg/L의 시험용액을 100 mL 씩 3개를 조제하여 acetonitrile로 2배 희석한 다음, 0.45 µm syringe filter로 여과하였다. 여과한 용액을 2 mL 분석용 바이알에 옮겨 담아 HPLC로 분석하였다. 시험기간 동안 수온은 20.2 ± 0.2°C, 용존산소는 8.6~9.3 mg/L, pH는 7.71~7.92, 광주기는 16 hr 점등/8 hr소등 조건으로 수행하였다. 시험기간 동안 먹이와 공기는 공급하지 않았으며, 치사 또는 유영저해를 받은 개체와 독성증상을 관찰하여 기록하였다. 관찰 방법은 시험용액을 가볍게 저어준 후 약 15초간 관찰하였을 때 물의 흐름을 벗어나지 못하는 개체를 유영저해 받은 것으로 간주하였다. 시험 결과 분석은 CETIS 프로그램의 Spearman-Käber method를 사용하여 24 및 48시간의 반수영향농도(EC<sub>50</sub>) 값과 95% 신뢰한계를 산출하였다. NOEC와 LOEC는 CETIS 프로그램의 Steel Many-One Rank Test를 실시하여 추정하였다.

2.4.3. 조류 성장저해시험

조류 성장저해시험은 OECD Guidelines for Testing of Chemicals No. 201: “Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test”<sup>7)</sup>에 따라 실시하였다. 시험 생물은 OECD 추천종인 *Pseudokirchneriella subcapitata* (Strain No. UTEX 1648)를 사용하였으며, 배양배지 및 희석수는 멸균한 OECD 배양액을 사용하였다. 시험물질은 HPLC를 이용하여 안정

성을 분석하였고, 분석 조건은 Table 1과 같다. 안정성 시험은 설정농도 2.0 mg/L의 시험용액을 조제하여 독성시험 조건에서 72시간 동안 24시간 간격으로 시험용액에서 시험물질의 농도를 분석하였다. 분석방법은 2.0 mg/L의 시험용액을 100 mL 씩 3개를 조제하여 acetonitrile로 2배 희석한 다음, 0.45 mm syringe filter로 여과하였다. 여과한 용액을 2 mL 분석용 바이알에 옮겨 담아 HPLC로 분석하였다. 벤즈이소시아졸리논의 노출농도 결정을 위한 예비시험을 대조군, 0.01, 0.1, 1.0, 10 및 100 mg/L에서 진행한 결과, 노출기간 동안 시험용액 1 mg/L의 평균성장률(average growth rate)과 수율(yield)이 각각 73.5%, 98.6%, 시험용액 0.01 mg/L에서는 8.6%, 37.4%의 성장저해가 관찰되었다. 따라서 5~75% 범위의 성장저해가 관찰되도록 시험농도는 공비 3.2의 대조군, 0.006, 0.019, 0.061, 0.195 및 0.625 mg/L로 설정하여 각 시험농도 당 3반복으로 시험을 실시하였다. 시험시작 2~4일 전에 OECD 배양액에 5.0 × 10<sup>3</sup> cells/mL의 조류를 접종 및 배양하여 사용하였으며, 온도는 21~24°C, 조도는 60~120 µE/m<sup>2</sup>/s로 조절하였다. 관찰 및 측정은 조류를 접종한 후 24, 48 및 72시간에 대조군 및 각 시험군의 시료를 취하여 형태학적 변화 유무를 관찰하였고, Coulter Counter (Multisizer<sup>TM</sup> 3 Coulter Counter, Bechman-coulter, USA)를 사용하여 조류를 계수하였다. 각 시험 농도별 성장저해는 평균성장률과 수율을 이용한 계산법을 사용하였으며, 시험 결과 분석은 CETIS 프로그램의 Linear Interpolation (ICPIN)을 사용하여 72시간의 EC<sub>50</sub> 값과 95% 신뢰한계를 산출하였다. NOEC와 LOEC는 CETIS 프로그램의 Dunnett's Multiple Comparison test를 사용하여 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 물리·화학적 특성

벤즈이소시아졸리논은 황백색을 띠는 고체로 고열과 pH에 대하여 안정적이며 수용해도는 1,100 mg/L (20°C)이고, 물리·화학적 특성은 Table 2와 같다.

Table 2. Summary of physico-chemical properties for 1,2-Benzisothiazol-3-one

Property	Values
Physical state	Off-White to yellowish solid <sup>8)</sup>
Melting point	156.6°C <sup>9)</sup>
Boiling point	327.6°C <sup>10)</sup>
Water solubility	1,100 mg/L (at 20°C) <sup>11)</sup>
Density	1.483 g/m <sup>3</sup> (at 20°C) <sup>8)</sup>
Vapour pressure	0.37 x 10 <sup>-5</sup> hPa (at 20°C) <sup>al,12)</sup>
Henry's law constant	2.4 x 10 <sup>-10</sup> atm·m <sup>3</sup> /mole <sup>8)</sup>
Partition coefficient n-octanol/water (log K <sub>ow</sub> )	0.4 (at 20°C, M) <sup>13)</sup>

<sup>a)</sup> this study

### 3.2. 환경거동

벤즈이소시아졸리논은 살충제의 성분으로 농작물 피해 예방을 위해 사용되는 과정을 통해 환경 중에 직접적으로 노출될 수 있다. 노출된 벤즈이소시아졸리논은 강우로 인해 토양으로 이동되어 지표수에 도달할 가능성은 있지만 호기성 지표면에서 빠르게 분해되는 특성이 있다.<sup>14)</sup> EPIWin을 이용한 Fugacity level III Model의 환경 중 분포 예측 결과에 의하면 벤즈이소시아졸리논이 대기, 물, 토양에 동시 배출될 경우 주로 토양(75.4%)과 물(24.4%)에 분포되며, 대기(0.12%)와 퇴적물(0.08%)에는 미량 분포할 것으로 예측되었다. 광분해성의 경우, AOPWin v.192를 이용하여 대기 중 OH 라디칼의 광화학적 반응에 의한 벤즈이소시아졸리논의 반감기는 0.631일, 12시간 조사(irradiation)한 OH 라디칼의 농도는  $1.5 \times 10^6$  OH/cm<sup>3</sup>으로 추정되며 속도상수는  $17 \times 10^{-12}$  cm<sup>3</sup>/molecule·sec로 계산되었다. 토양 흡착계수는 1.5로 지표수에 존재하거나 지하수로 이동할 가능성이 있는 것으로 확인되며, 헨리상수는  $2.4 \times 10^{-10}$  atm·m<sup>3</sup>/mole로 환경 중 수계에서 비휘발성이었다.<sup>3)</sup> 벤즈이소시아졸리논의 가수분해 반감기는 30일 이상으로 나타났지만 호기성 토양대사(Aerobic soil metabolism)의 반감기는 24시간 이하로 비교적 빠르게 분해된다.<sup>14)</sup> BCF 값은 1.3으로 벤즈이소시아졸리논의 생물 내 축적 가능성은 낮을 것으로 보인다.<sup>3)</sup> 미생물분해 시험은 OECD TG 301C에 따라 실시한 결과, 28일 후 미생물 분해율은 0%로 측정되어 수생태 환경에서 미생물에 의해 쉽게 분해되지 않는 것으로 확인되었다.<sup>15)</sup>

### 3.3. 수생태 급성독성시험

#### 3.3.1. 어류 급성독성시험

시험용액 중 시험물질농도의 안정성을 분석한 결과, 24시간에는 설정농도의 104.5%, 48시간에는 설정농도의 98.5%, 72시간 및 96시간에는 각각 설정농도의 97.0%, 100.0%로 안정하였다. 96시간 어류 급성독성시험은 설정농도 8.4, 4.9, 2.9, 1.7, 1.0 mg/L(산술평균 측정농도 8.5, 4.8, 2.8, 1.6, 1.0 mg/L) 및 대조군에서 실시하였다. 누적 사망수는 24, 48, 72 및 96시간 간격으로 4.9 mg/L에서 각각 2, 4, 4 및 4마리였으며, 8.4 mg/L에서는 7마리 모두 사망하였다(Table 3). 일반증상은 노출기간 동안 4.9 mg/L에서 평형실조(loss of equilibrium) 및 유영이상(fish mainly at the surface, fish mainly at the bottom)의 비정상적인 유영행동이 관찰되었고, 대조군 및 2.9 mg/L 이하에서는 이상증상이 관찰되지 않았다. 산술평균 측정농도로 나타낸 벤즈이소시아졸리논의 *O. latipes*에 대한 96시간 LC<sub>50</sub> 값은 4.7 mg/L이며, 95% 신뢰한계는 3.8~5.7 mg/L이었다. NOEC는 4.8 mg/L, LOEC는 8.5 mg/L이었다.

#### 3.3.2. 물벼룩 급성독성시험

시험용액 중 시험물질농도의 안정성을 분석한 결과, 설정농도의 96.0~107.5%로 안정하였다. 48시간 물벼룩 급성독성시험은 설정농도 8.0, 4.0, 2.0, 1.0, 0.5 mg/L(산술평균 측정농도 9.2, 4.4, 2.1, 1.0, 0.5 mg/L) 및 대조군에서 실시하였다. 누적 유영저해수는 24, 48시간에 4.0 mg/L에서 각각 10, 17마리였으며, 8.0 mg/L에서는 각각 18, 20마리였다(Table 4). 일반증상은 노출기간 동안 2.0 mg/L 이상에서 비정상적인 유영행동(erratic swimming)과 혼수상태(lethargic) 증상이 관찰되었고, 대조군 및 1.0 mg/L 이하에서는 이상증상이 관찰되지 않았다. 산술평균 측정농도로 나타낸 벤즈이소시아졸

Table 3. Acute toxicity of 1,2-Benzisothiazol-3-one for *O. latipes*

Nominal concentration (mg/L)	Mean measured concentration (mg/L)	Number of organisms tested	Cumulative number of dead fish (Mortality, %)			
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr
Control	ND <sup>a)</sup>	7	0	0	0	0
1.0	1.0	7	0	0	0	0
1.7	1.6	7	0	0	0	0
2.9	2.8	7	0	0	0	0
4.9	4.8	7	2 (29)	4 (57)	4 (57)	4 (57)
8.4	8.5	7	7 (100)	7 (100)	7 (100)	7 (100)

<sup>a)</sup> not detected

Table 4. Acute toxicity of 1,2-Benzisothiazol-3-one for *D. magna*

Nominal Concentration (mg/L)	Mean measured Concentration (mg/L)	Number of organisms tested	Cumulative number of organisms immobilized (Immobility, %)	
			24 hr	48 hr
Control	ND <sup>a)</sup>	20	0	0
0.5	0.5	20	0	0
1.0	1.0	20	0	0
2.0	2.1	20	0	1 (5)
4.0	4.4	20	10 (50)	17 (85)
8.0	9.2	20	18 (90)	20 (100)

<sup>a)</sup> not detected

**Table 5.** Growth inhibition of 1,2-Benzisothiazol-3-one for *P. subcapitata*

Nominal Concentration (mg/L)	Mean measured Concentration (mg/L)	Cell densities (cells/mL)			
		0 hr	24 hr	48 hr	72 hr
Control	ND <sup>a)</sup>	5,000	45,000	150,000	780,000
0.006	< 0.02 <sup>b)</sup>	5,000	37,000	160,000	960,000
0.019	< 0.02 <sup>b)</sup>	5,000	36,000	150,000	1,100,000
0.061	< 0.02 <sup>b)</sup>	5,000	33,000	140,000	930,000
0.195	0.116	5,000	32,000	93,000	570,000
0.625	0.556	5,000	18,000	19,000	22,000
2.000	1.687	5,000	20,000	21,000	20,000

<sup>a)</sup> not detected, <sup>b)</sup> detection limit

리논의 *D. magna*에 대한 48시간 EC<sub>50</sub> 값은 3.3 mg/L이며, 95% 신뢰한계는 2.9~3.8 mg/L이었다. NOEC는 2.1 mg/L, LOEC는 4.4 mg/L이었다.

### 3.3.3. 조류 성장저해시험

시험용액 중 시험물질농도의 안정성을 분석한 결과, 24시간에는 설정농도의 84.8%, 48시간 및 72시간에는 각각 설정농도의 71.9%, 64.1%로 확인되었다. 72시간 조류 성장저해 시험은 설정농도 2.000, 0.625, 0.195, 0.061, 0.019, 0.006 mg/L (기하평균 측정농도 1.687, 0.556, 0.119, < 0.02 (under the detection limit), < 0.02, < 0.02) 및 대조군에서 실시하였다. 노출개시 72시간 후 설정농도 0.006, 0.019 및 0.061 mg/L를 제외한 모든 시험물질 처리군에서 측정된 생물량은 대조군 보다 적었으며, 설정농도 0.019 mg/L를 제외한 모든 시험물질 처리군에서 저농도 보다 고농도의 생물량이 적었다(Table 5). 시험기간 동안 조류세포를 관찰한 결과 모든 시험용액에서 대조군과 유사한 외형을 유지하였고, 조류 이외의 미생물은 관찰되지 않았다. 본 시험의 경우 시험용액에서 측정된 시험물질의 평균농도 중 일부가 분석 가능한 검출한계 이하로 측정되었기 때문에 시험 결과를 설정농도로 작성하였다. 설정농도로 나타난 벤즈이소시아졸리논의 *P. subcapitata*에 대한 72시간 E<sub>r</sub>C<sub>50</sub> 및 E<sub>y</sub>C<sub>50</sub> 값은 각각 0.456 mg/L(평균 성장률)와 0.262 mg/L(수율)이며, 95% 신뢰한계는 각각 0.408~0.507 mg/L, 0.078~0.435 mg/L이었다. NOEC는 0.195 mg/L이었으며, LOEC는 0.625 mg/L이었다.

### 3.3.4. PNEC 산출

벤즈이소시아졸리논에 대한 환경 중 초기 생태위해성평가를 수행하기 위하여 물리·화학적 특성, 환경거동 및 경로와 수생태독성에 대한 연구가 이루어졌다. 벤즈이소시아졸리논은 환경 노출 시 주로 토양과 물에 분포되며, 토양 내 이동성은 매우 낮고 호기성 토양에서 비교적 빠르게 분해된다. 수계에서는 비휘발성으로 광분해가 빠르며, 수생태환경에서 미생물에 의해 쉽게 분해되지 않아 생물 내 축적 가능성이 낮은 물질로 평가할 수 있다. 어류, 물벼룩 급성독성 시험 및 조류 성장저해시험에서의 L(E)C<sub>50</sub> 값은 각각 4.7 mg/L, 3.3 mg/L 및 0.456 mg/L(평균성장률), 0.262 mg/L(수율)

이었다. 화학물질의 분류 및 표지에 관한 세계조화시스템에 따라 시험군의 종말점에 대한 독성등급을 평가한 결과 조류는 급성 독성등급 1 분류(수생생물에 매우 유독함), 어류 및 물벼룩은 급성 독성등급 2 분류(장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함)에 해당된다.<sup>16)</sup> 수생생물에 대한 독성영향 평가를 위해 벤즈이소시아졸리논에 가장 민감한 독성영향을 나타낸 조류의 독성 값 0.262 mg/L로부터 평가계수 100을 적용하여 도출한 PNEC 값은 2.62 µg/L이었다.<sup>17)</sup> 이와 같이 벤즈이소시아졸리논은 환경 중 대부분이 토양과 물에 분포하고 수생생물에 대한 독성영향이 있으므로, 수생환경에서의 위해성이 예측된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 벤즈이소시아졸리논의 환경 중 초기 생태위해성평가를 수행하기 위해 물리·화학적 특성 자료를 조사하였고, 환경거동 및 경로에 대한 모델링 예측과 수생태독성에 대한 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 벤즈이소시아졸리논은 황백색을 띠는 고체로 녹는점과 끓는점은 156.6℃, 327.6℃이며, 20℃에서 1,100 mg/L의 수용해도를 갖고 있다. 증기압은 20℃에서 0.37 × 10<sup>-5</sup> hPa, 밀도는 20℃에서 1.483 g/m<sup>3</sup>이며, 헨리상수는 2.4 × 10<sup>-10</sup> atm·m<sup>3</sup>/mole, 옥탄올-물 분배계수는 20℃에서 0.4이었다.
- 2) 벤즈이소시아졸리논은 세정제 및 살충제 등의 주성분으로 사용되어 환경 중에 직접 노출될 수 있으며, 환경에 노출될 경우 토양(75.4%)과 물(24.4%)에 분포할 것으로 예측되었다. 대기 중 OH 라디칼의 광화학적 반응에 의한 벤즈이소시아졸리논의 반감기는 0.631일이며, 속도상수는 17 × 10<sup>-12</sup> cm<sup>3</sup>/molecule·sec이었다. 토양흡착계수는 1.5로 지표수에 존재하거나 지하수로 이동할 가능성이 있는 것으로 확인되며, 헨리상수는 2.4 × 10<sup>-10</sup> atm·m<sup>3</sup>/mole로 수계에서 비휘발성인 것으로 예상된다. 가수분해 반감기는 30일 이상이고 미생물 분해율은 28일 후 0%로 이분해성물질이 아닌 것으로 확인되었다.
- 3) 수생태 급성독성시험에 대한 수생생물의 영향은 어류(*Oryzias latipes*)를 이용한 급성 독성시험에서 96 hr-LC<sub>50</sub> 값이 4.7

mg/L (95% 신뢰한계: 3.8~5.7 mg/L), 물벼룩(*Daphnia magna*)을 이용한 급성 독성시험에서 48 hr-EC<sub>50</sub> 값이 3.3 mg/L (95% 신뢰한계: 2.9~3.8 mg/L) 및 조류(*P. subcapitata*)를 이용한 성장저해시험에서 72-EC<sub>50</sub> 값이 0.456 mg/L(평균성장률, 95% 신뢰한계: 0.408~0.507 mg/L), 0.262 mg/L(수율, 95% 신뢰한계: 0.078~0.435 mg/L)이었다. 따라서 벤즈이소시아졸리논의 수생생물에 대한 독성 값은 4.7 mg/L 이하로 독성 영향이 있는 것으로 평가되었다.

4) 수생생물에 대한 독성영향을 평가하기 위하여 어류, 물벼룩 및 조류 중 벤즈이소시아졸리논에 가장 민감한 독성영향을 나타낸 조류의 독성 값에 평가계수 100을 적용한 PNEC 값은 2.62 µg/L이었다. 따라서 수중 환경에서의 위해성이 우려된다.

## 사사

본 연구는 환경부와 국립환경과학원의 국가사업인 기존화학물질 안전성시험 사업의 일환으로 수행되었으며, 이와 관련하여 어류 및 물벼룩 급성 독성시험과 조류 성장저해시험을 수행한 한국화학연구원 안전성평가연구소에 감사드립니다.

**KSEE**

## 참고문헌

- National Institute of Environmental Research, Korea, "Safety Test of Existing Chemicals," pp. 5~6, 66~69(2011).
- Ministry of the Environment, Korea, "National Inventory of Chemicals Statistics DB,"(2006).
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency), "Estimation Programs Interface (EPI) Suite™ for Microsoft Windows® v4.10,"(2010).
- OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 301C, MITI-test: "Ready Biodegradability".
- Tested by KIT (Korea Institute of Toxicology), OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 203: "Fish, Acute Toxicity Test"(2011).
- Tested by KIT (Korea Institute of Toxicology), OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 202: "Daphnia sp., Acute Immobilization Test"(2011).
- Tested by KIT (Korea Institute of Toxicology), OECD Guidelines for Testing of Chemicals No. 201: "Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test"(2011).
- SCCNFP (The Scientific Committee on Cosmetic Products and Non-Food Products Intended for Consumers, "Evaluation and opinions on Benzisothiazolinone,"(2004).
- RCC Ltd, Environmental Chemistry & Pharamanlytics Div., Project No. 702731 "Determination of the Melting Point/Melting Range of ACTICIDE BIT,"(1998).
- RCC Ltd, Environmental Chemistry & Pharamanlytics Div., Project No. 840980 "Determination of the Boiling Point/Boiling Range of 1,2-Benzisothiazol-3(2H)-one,"(2002).
- RCC Ltd, Environmental Chemistry & Pharamanlytics Div., Project No. 702431 "Determination of the Water Solubility of ACTICIDE BIT,"(1998).
- RCC Ltd, Environmental Chemistry & Pharamanlytics Div., Project No. 702696 "Determination of the Vapour Pressure of ACTICIDE BIT,"(1998).
- RCC Ltd, Environmental Chemistry & Pharamanlytics Div., Project No. 702718 "Determination of the Partition Coefficient (n-Octanol/Water) of ACTICIDE BIT,"(1998).
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency), "Reregistration Eligibility Decision (RED) for Benzisothiazoline-3-one,"(2005).
- National Institute of Technology and Evaluation, "Biodegradation and Bioconcentration of Existing Chemical Substances under the Chemical Substances Control Law,"(2002).
- United Nations, New York and Geneva, "Globally Harmonized System of classification and labelling of chemicals (GHS),"(2009).
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), "Manual For Investigation of HPV Chemicals,"(2011).