

◆ 제 5 주제 ◆

구리의 위해성과 BLM에 의한 환경기준 설정방법

양 형 재

(국립환경과학원)

구리의 위해성과 BLM에 의한 환경기준 설정방법

국립환경과학원
양형재, 공학박사

목 차

- | | |
|---|-------------------|
| 1 | 서론 |
| 2 | 특정수질유해물질 관리 |
| 3 | 구리의 수질환경기준 |
| 4 | 구리의 위해성 |
| 5 | BLM에 의한 구리 환경기준산정 |
| 6 | 결론 |

1. 서론

- 미국은 128종의 우선유해물질(Priority Pollutant)을 관리, 우리나라는 구리 등 19종의 특정 수질유해물질 지정관리
- 생태실험을 통해, 생태급성독성/만성독성 수질환경 기준을 평가할 필요가 있음
 - 구리는 수생태계의 건강성확보에 중요관리 물질임

2. 특정수질유해물질 관리

우리나라의 특정수질유해물질 지정

2007. 3월 현재 구리 및 그 화합물 등 19종을 특정수질유해물질로 지정

1. <u>구리(동) 및 그 화합물</u> <u>(1999. 8. 9 개정)</u>	10. 트리클로로에틸렌
2. 납(연) 및 그 화합물	11. 페놀류
3. 비소 및 그 화합물	12. 폴리크로리네이트드비페닐
4. 수은 및 그 화합물	13. 셀레늄 및 그 화합물
5. 시안화합물	14. 벤젠
6. 유기인 화합물	15. 사염화탄소
7. 6가 크롬 화합물	16. <u>디클로로메탄</u>
8. 카드뮴 및 그 화합물	17. <u>1,1-디클로로에틸렌</u>
9. 테트라클로로에틸렌	18. 클로로포름(2006. 1. 6 개정)
	19. 1,2-디클로로에탄

구리의 특정수질유해물질 지정 검토

2004~2005년 구리의 수계 모니터링 결과

단위 : $\mu\text{g/l}$

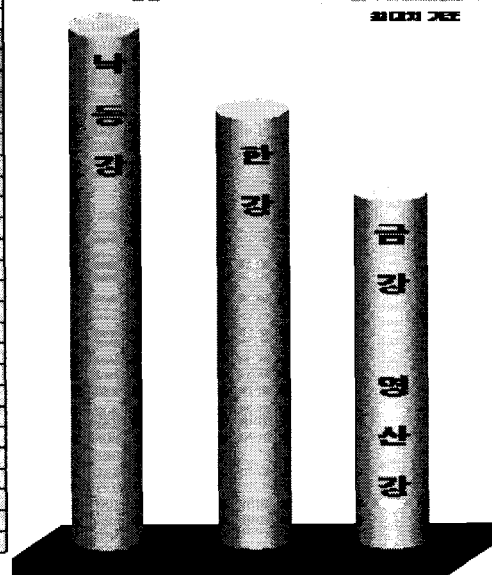
구 분	낙동강	한강	금강	영산강
최대치	240.8	134.9	94.0	91.5
평균치	28.7	4.74	4.7	10.3

구리의 특정수질유해물질 지정 검토

- 인체발암성 < 생태독성
- 약 20여종의 수생생물(어류, 갑각류, 조류 등)에 독성

Hottel's scud	Fish	509.5
East river pike	On. staceus	274.5
Striped bass	Fish	251.0
Crab	Algae, Moss, Fungi	222.4
Bay fish	Fish	170.2
Shrimp	On. staceus	145.2
Red sea bass	Fish	144.7
Carp, brown fish	Fish	114.5
Barrage	On. staceus	109.0
Red bell trout, brown trout	Fish	104.0
Polychaete worm	Worms	85.0
Green algae	Algae, Moss, Fungi	76.5
Golden shiner, silver shiner	Fish	72.9
Copepod order	On. staceus	65.0
Fishy pike	On. staceus	61.5
Scud	On. staceus	59.1
Oilseed rape	Fish	55.5
Water flea	On. staceus	55.2
Daphnia	Algae, Moss, Fungi	50.5
Water flea	On. staceus	41.1
Golden copepod	On. staceus	35.9
Water flea	On. staceus	35.9
Scud	On. staceus	34.4
Rotifer	Invertebrates	29.5
Golden copepod	On. staceus	25.5
Tribble worm	Worms	0.225
Daphnia green shrimp	On. staceus	0.004
Harporichthys copepod	On. staceus	0.00004

LC₅₀ 기준 사멸 생물



4대강수계의 최대 구리검출농도 기준 수생생물의 독성자료 (LC50기준, USEPA의 ECOTOX자료)

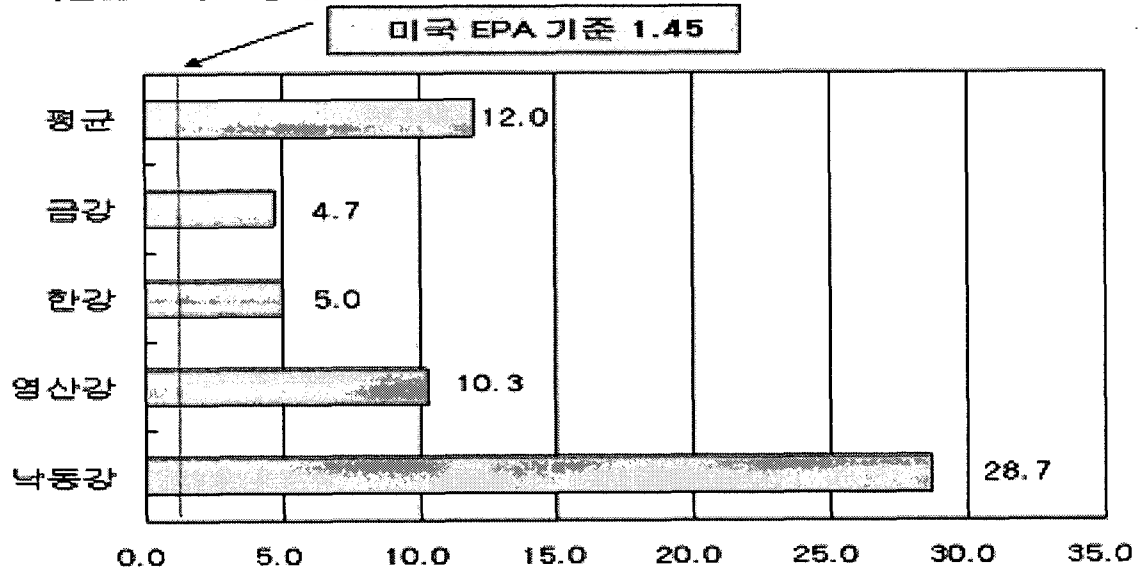
3. 구리의 수질환경기준

국내·외 하천에서의 구리농도

국가	미국	영국	한국
농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	<ul style="list-style-type: none"> 0.4~13.43 (실리콘벨리) 1~10 (비오염지역) 	<ul style="list-style-type: none"> 3.8~19.5 (평균 5.8) 	<ul style="list-style-type: none"> 한강(총괄): N.D.~134.86(평균 4.74) 한강(본류): N.D.~9.59(평균 2.66) 남한강: N.D.~5.19(평균 2.31) 북한강: N.D.~7.29(평균 2.11) 경안천: 0.86~6.54(평균 3.06) 합류후(팔당2): 0.82~5.33(평균 2.63) 전국: N.D.~ 240.8(평균 12.01)
출처	HSDB (hazardous substance data bank) 자료	IPCS (International Program Chemical Safety) 자료	'04~'05년 총 8회 모니터링 결과 (NIER)

4대강의 구리농도

- 4대강의 구리농도가 이미 수생태계 영향을 주고있는 농도로
- 미국 EPA에서 제안한 구리의 수질환경기준 $1.45\mu\text{g}/\ell$ 를 적용할 경우, 기준을 초과한 상태



미국의 구리 수질환경기준

- 경도가 낮을수록 물속에서의 구리의 독성이 증가
- 대부분의 주는 경도에 따른 수질환경기준 계산식을 이용 가변적으로 적용

<표> 미국에서 수체 중 구리의 수질환경기준(생태독성)

연방/주	담수 급성 기준 ($\mu\text{g}/\ell$)	담수 만성 기준 ($\mu\text{g}/\ell$)	해수 급성 기준($\mu\text{g}/\ell$)	해수 만성 기준($\mu\text{g}/\ell$)
미연방	13	9	4.8	3.1
Idaho	17	11		
California	13	9	4.8	3.1
Louisiana	10	7	3.63	3.63
Mississippi	7	5	4.8	3.1
Alabama	$e^{(0.9422 \ln(\text{Hardness}) - 1.7)} * (0.96)$	$e^{(0.8545 \ln(\text{Hardness}) - 1.702)} * (0.96)$		
Alaska	$e^{(0.9422 \ln(\text{Hardness}) - 1.7)} * (0.96)$	$e^{(0.8545 \ln(\text{Hardness}) - 1.702)} * (0.96)$		
Arizona	$e^{(0.9422 \ln(\text{Hardness}) - 1.7)} * (0.96)$	$e^{(0.8545 \ln(\text{Hardness}) - 1.702)} * (0.96)$		
Michigan	$e^{(0.9422 \ln(\text{Hardness}) - 1.7)} * (0.96)$	$e^{(0.8545 \ln(\text{Hardness}) - 1.702)} * (0.96)$		
Vermont	$e^{(0.9422 \ln(\text{Hardness}) - 1.464)}$	$e^{(0.8545 \ln(\text{Hardness}) - 1.465)}$		

미국의 구리 수질환경기준

□ 경도가 1/2일 때 기준도 거의 1/2(48%) 감소;

① 식 - ② 식에서는 45% 감소

□ 경도에 따른 수질기준의 변화가 큼

<표> 경도에 대한 총구리 농도의 계산식(예)

Hardness	① 식 $e^{[0.94 \ln(\text{경도}) - 1.23]}_{\mu\text{g}/\ell}$	② 식 $e^{[0.8545 (\ln \text{경도}) - 1.702]}_{\mu\text{g}/\ell}$
50mg/l	11.56	5.16
100mg/l	22.17	9.33
150mg/l	32.46	13.19
325mg/l	67.14	25.54

각국의 담수중의 구리농도 기준

<표> 각국의 담수중의 구리농도 기준

국가	미국 EPA*1	독일*2	캐나다*3	한국
농도 (ppb)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 13.0 (급성독성) ▪ 9.0 (만성독성) 	4.0	<ul style="list-style-type: none"> ※ 경도 ≤50 ppm ▪ 2.0(30일평균) ~ 6.7 ※ 경도 ≥100 ppm ▪ 4.0(30일평균)~ 11.4 	없음

- ※1 : Current National Recommended Water Quality Criteria, EPA
 ※2 : Overview of quality standards of the EC, the international river basin communities and LAWA, UBA
 ※3 : Summary of Water Quality Guidelines for copper, Ministry of Environment in British Columbia

구리의 음용수 수질기준

<표> 구리에 대한 각국의 먹는 물 기준

국가	WHO*1	미국*2	일본*3	EU*4	캐나다*5	한국	JECFA*6
농도 (mg/l)	▪ 2.0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1.0 (캔사스주) ▪ 1.3 (미네소타주) ▪ 1.3 (EPA Action Level) 	▪ 1.0	▪ 1.0	▪ 0.5	▪ 1.0 (심미적)	▪ 0.5

- ※1 : Guideline for, Drinking Water, WHO
 ※2 : Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens, 3rd Ed., Vol. 1, Marshall Sittig 著, Noyes Publication, USA
 National Primary Drinking Water Regulations, EPA
 ※3 : Environmental Quality Standards for water pollution, Ministry of Environment in Japan
 ※4 : Consolidated TEXT of the Official Publications of the European Communities
 ※5 : Summary of Water Quality Guidelines for copper, Ministry of Environment in British Columbia
 ※6 : Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives

금속표면처리공정의 배출허용기준

미국 반도체 공장 금속표면처리공정

오염물질	BPT		BAT, PSES		NSPS		PSNS	
	①	②	①	②	①	②	①	②
카드뮴	0.69	0.26	0.69	0.26	0.11	0.07	0.11	0.07
크롬	2.77	1.71	2.77	1.71	2.77	1.71	2.77	1.71
구리	3.38	2.07	3.38	2.07	3.38	2.07	3.38	2.07
납	0.69	0.43	0.69	0.43	0.69	0.43	0.69	0.43
니켈	3.98	2.38	3.98	2.38	3.98	2.38	3.98	2.38
은	0.43	0.24	0.43	0.24	0.43	0.24	0.43	0.24
아연	2.61	1.48	2.61	1.48	2.61	1.48	2.61	1.48
시안	1.20	0.65	1.20	0.65	1.20	0.65	1.20	0.65
TTO	2.13		2.13		2.13		2.13	
Oil&Grease	52	26			52	26		
총부유물질	60	31			60	31		
pH	6.0~9.0	6.0~9.0			6.0~9.0	6.0~9.0		

* ① : 일 최대농도(mg/l), ② : 월평균농도(mg/l)

미국의 지역별 구리 배출허용기준

□ 미국의 NPDES(국가오염 삭감시스템)에 의해 점오염원 배출허용기준이 설정되므로, 지역별 처리장별로 배출허용기준은 다르게 설정

지 역	용량 백만 갤런/일 (m ³ /day)	평균유량 백만갤런/일 (m ³ /day)	폐수처리 장 희석률	폐수처리장 방류 한계치 (µg/l)	폐수처리장 연간 배출한계치 (kg)
Deer Island, Mass.	1,080 (4,087,800)	370 (1,400,450)	70:1	-	-
Clinton, Mass	3 (11,355)	2.4 (9,084)	2:1	4.6(평균) 6.0(최대치) ^a	-
Austin Walnut Creek, Texas	60 (227,100)	42 (158,870)	-	10	-
Sunnyvale, Calif.	29.5 (111,658)	15 (56,775)	1:1	8.6 ^c	324

a : 예정 (자료: Assessing the Environmental Impact of Copper CMP (Maag 등, MIT, 2000))

4. 구리의 위해성

구리의 인체 영향

- 구리는 인체에 필요한 필수원소로서 헤모글로빈 형성에 관여
- 섭취량이 부족할 경우, 과잉일 경우 모두 문제 발생

<표> 구리의 영향 일반

구 분	주요 증상
구리섭취 부족시	빈혈(normocytic, hypochromic anemia), 백혈구감소증, 골다공증 등
구리섭취 과잉시	위장관계 질환(메스꺼움, 구토, 설사) 간장 및 신장에 손상

* ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004

구리의 인체 유해성

- 구리에 대한 진척된 연구 결과는 구리의 섭취기준 감소 추세
 - 한국영양학회는 한국인의 일일 구리 권장섭취량을 0.8mg으로 설정
 - 미국 식품영양위원회는 다른 금속에 비해 구리의 섭취기준량을 감소

<표> 구리의 섭취기준

금속	1980 RDA ¹⁾	1989 RDA ¹⁾	2001 DRIs ²⁾	비 고
칼슘	1200 mg	1200 mg	1300 mg	증 가
철	18 mg	15 mg	18 mg	유 지
아연	15 mg	15 mg	11 mg	감 소
구리	2~3 mg	1.5~3 mg	0.9 mg	감 소
망간	2.5~5 mg	2~5 mg	2.3 mg	감 소

1) RDA(Recommended Dietary Allowance)는 미국 식품영양위원회(Food and Nutrient Board)의 섭취기준량.

2) DRI(Dietary Reference Intakes)는 미국 식품영양위원회의 최근 섭취기준량을 나타내는 것으로 기존의 RDA를 대신함

구리의 인체 유해성

- 어린이나 구리대사장애 환자 등 민감계층의 구리권장 섭취량은 성인보다 낮음

<표> 미국/캐나다¹⁾ 및 우리나라²⁾의 구리 영양섭취기준

국가구분	연령	평균필요량 (mg/일)	권장섭취량 (mg/일)	상한섭취량 (mg/일)
미국/캐나다 ('01년 개정)	1~3세	-	0.34	1
	4~8세	-	0.44	3
	성인	-	0.90	10
우리나라 ('05년 개정)	1~2세	0.23	0.30	2
	3~5세	0.29	0.38	2
	6~8세	0.34	0.44	3
	성인	0.60	0.80	10*

1) 미국 : 식품영양위원회(The Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine)

2) 우리나라 한국영양학회 상한섭취량 10mg/일은 사람을 대상으로 한 연구에서 간독성을 독성 증발점으로 하여 산정한 NOEL값에서 산출(UF=1)

구리의 인체 유해성

□ 식사로도 구리의 일일 권고섭취량 초과

- 일반환경에서 성인의 1일 구리 섭취량은 2mg을 초과하고 있음
- WHO는 1~8세의 어린이들의 경우 최대허용섭취량을 넘어 과량의 구리를 섭취할 우려가 있음을 지적하고 있음(US IOM, WHO)

<표> 구리의 섭취 경로

대기(mg)	물(mg)	음식물(mg)	총(mg)
0.006	0.02	2.5	2.526

담수생물 치사농도및 위해성

□ 담수생물 치사농도 : 어류(100 $\mu\text{g}/\ell$), 치어(15 $\mu\text{g}/\ell$), 조류(8.5 $\mu\text{g}/\ell$)

□ 담수수생생물 위해성(5.4 $\mu\text{g}/\ell$), 연어류 기능장애(5 $\mu\text{g}/\ell$)

<표> 주요 수서생물에 대한 구리의 급성독성 값

종	수서생물	노출 시간	반수 치사량 ($\mu\text{g}/\ell$)	무영향관찰 농도($\mu\text{g}/\ell$)	출처 (WHO IPCS 보고서 인용)
조류	녹조류				
	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	72h	79	5	Schafer et al.(1994)
	<i>Selenastrum capricornutum</i>	72h	35		Nyholm (1990)
	<i>Scenedesmus subspicata</i>	72h	120	5.6	Schafer et al.(1994)
	<i>Selenastrum capricornutum</i>	14 d	85		Christensen ER et al.(1985)
	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	72h	5		Erickson SJ et al. (1985)
	<i>Nitschia closterium</i>	96h	33		Rosko JJ st al.(1975)
	<i>Pseudokirchneriella subcapitata*</i>	72h	58		NIER (2005)

담수생물 치사농도및 위해성

<표> 주요 수서생물에 대한 구리의 급성독성 값

종	수서생물	노출 시간	반수 치사량 ($\mu\text{g}/\ell$)	무영향관찰 농도 ($\mu\text{g}/\ell$)	경도 (mg/ℓ)	출처 (WHO IPCS 보고서 인용)
무척추동물	물벼룩류					
	<i>Daphnia magna</i>	48h	7		143	Oikari et al.(1992)
		48h	54		45	Mount &Norberg (1984)
	<i>Daphnia hyalina</i>	48h	5			Baudouin (1974)
	<i>Daphnia ambigua</i>	48h	54.6		200	Vardia et al(1988)
	생이새우류	96h	16		17	Daly et al.(1990)
	성게(해양)	48h			1	Ringwood (1992)
	홍합(해양)	10일			2	Stromgren&Nielsen (1991)

담수생물 치사농도 및 위해성

<표> 주요 수서생물에 대한 구리의 급성독성 값

종	수서생물	노출 시간	반수 치사량 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	무영향관찰 농도 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	경도 (CaCO_3 mg/l)	출처 (WHO IPCS 보고서 인용)
어류	붕어	48h	118		50	Peres & Pihan(1991)
	은연어	96h	17		33	Buckley(1983)
	무지개 송어	96h	13.8		41.3	Buhl & Hamilton
		96h	57		42	Chapman(1978)
	Corbicula manilensis (asiatic clam)	96h	2600			Harrison FL et al.(1985)
	은연어	96h	286			Buckley WJ et al.(1985)
	송사리*	96h	39	21	25.4	NIER (2005)

독일에서의 구리의 위해도 분류

<표> 독일에서의 '구리 및 그 화합물'에 대한 위해도 분류

구분	구리 화합물	위해도등급(WGK)	비고
구리 및 그 화합물	Copper Arsenite	3	
	Copper Acetoarsenite	3	
	Cupferron	3	
	Cuprous Chloride	2	
	Copper Chloride	2	
	Cupric nitrate, n-hydrate	2	
	Cupric Oxide	1	
	Copper phthalocyanin	수계에 무해	

※ WGK 1. low hazard to waters(낮은 유해성) 2. hazard to waters(유해성)
3. severe hazard to waters(높은 유해성)

- 반도체 공장에서 사용하는 황산구리(copper sulfate)는 조류제거제로 사용하는 생태독성이 강한물질
- 독일에서 위해도 등급은 2

중금속의 급성 물벼룩 독성(Daphnia magna 48hr exposure)

단위 ug/L

		Non-acclimated D. magna	
		No UV-B	UV-B
Metals	As	4460 (4280-4640)	4580 (4340-4820)
	Cd	84.9 (76.0-93.8)	53.9 (47.9-60.0)
	Cu	<i>6.61</i> (5.87-7.35)	<i>4.18</i> (3.53-4.83)
	Ni	2250 (1930-2570)	2330 (2050-2610)

이민정, 2006. 서울대 보건대학원 석사논문)

자외선 : 환경중 존재하는 수준의 UV-B dose를 24시간으로 나누어 지속적으로 조사

수서생물에 미치는 구리의 혼합독성

- Xie et al. Environ Toxicol Chem 2006 25:613-622
 - At Cu 0.31mM (=~2ug/L, ~5% Effect level)
 - 9, 10-phenanthrenequinone (PHQ) EC50 from 1.72 to 0.28mM (35-5.8ug/L)
 - At PHQ 1.2mM(25ug/L, ~10% Effect level)
 - Cu EC50 from 0.96 to 0.30 mM(6.1-1.9ug/L)
 - 체내Cu 농도차가 없어, 두물질의 상승효과는 생리학적인 것으로 추정
 - PHQ 존재할 때 저농도 Cu에서도 ROS 증가함, 항산화제처리시 PHQ-Cu 독성영향 저감함

수서생물에 미치는 구리의 혼합독성

- Perez-coll and Herkovits, Int J Environ Res Public Health 2006 3:343-347
 - Cu(2+) + butylic ester of 2,4-D
 - Cu(2+)와 butylic ester of 2,4-D의 NOEC는 각각 0.02와 2mg/L
 - Bufo arenarum embryo 사망률 영향 synergy 효과 관찰
 - Short-term chronic toxicity test(Amphitox)

5. BLM에 의한 구리 환경기준 산정

참고자료

(Aquatic Ambient Freshwater Quality Criteria-Copper, EPA 2007)

주요 내용

- 구리 환경기준을 경도에 따라 농도를 결정하였으나, 독성도와 관련된 많은 인자를 이용한 BLM(생물지표모델)에 의한 산정방법을 US EPA에서 제안
- BLM(Biotic Ligand Model : 생물지표모델)
: 수온, pH, 용존유·무기 탄소, 주요 음·양이온 등의 인자를 이용한 환경기준을 산정하는 모델

BLM에 적용하는 인자

□ 수질환경기준을 유도하고 대상노출상태에서 FAV(최종급성 독성치)를 산정하기 위한 LC50 적용을 위해 BLM에 다음의 인자를 사용

- 수온, pH, 용존유기탄소, 주요양이온(칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨), 용존무기탄소(용존이산화탄소, 탄산, 중탄산염, 탄산염의 합), 주요음이온(염화물, 황산염)
- 이중 주요인자는 DOC(용존유기물질), Ca, pH, 알카리도
- 구리의 물 생태계독성은 bio-availability에 비례
- 용존상태의 자유구리가 bio-availability가 있음

BLM에 적용하는 인자

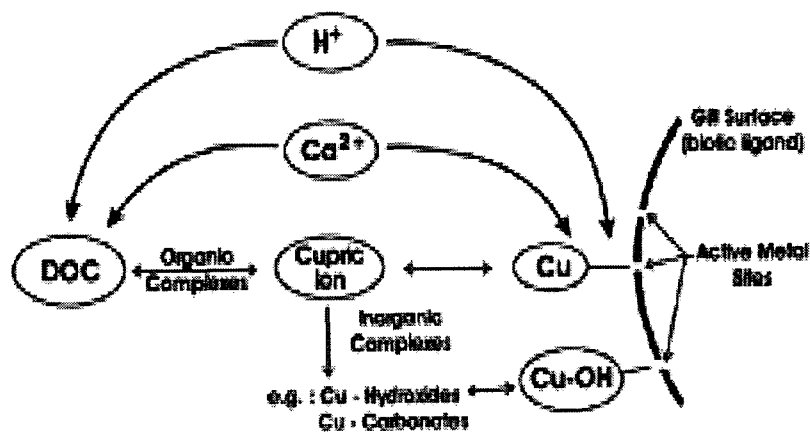


Figure1. Conceptual Diagram of Copper Speciation and Copper-Gill Model (after Pagenkopf, 1983)

Conversion Factor

- 용존구리의 측정이 여의치 않을 경우, 용존구리/총구리 전환비 0.96을 이용

인자의 적용

- 경도에 따른 독성도의 변화는 뚜렷한 영향이 제한적이고 불확실
 - 급성 독성에서는 경도가 미치는 영향이 불확실하지 않으나, 만성독성에서는 경도만의 영향은 불확실 함
- 총 이온농도와 LC50값은(측정치와 예측치)는 비례하고 있음
(pH 8, DOC<0.5 mg/l일 때, Fathead minnow에 대한 독성치사 값으로 검은색은 측정치, 회색 원은 예측치를 나타냄)

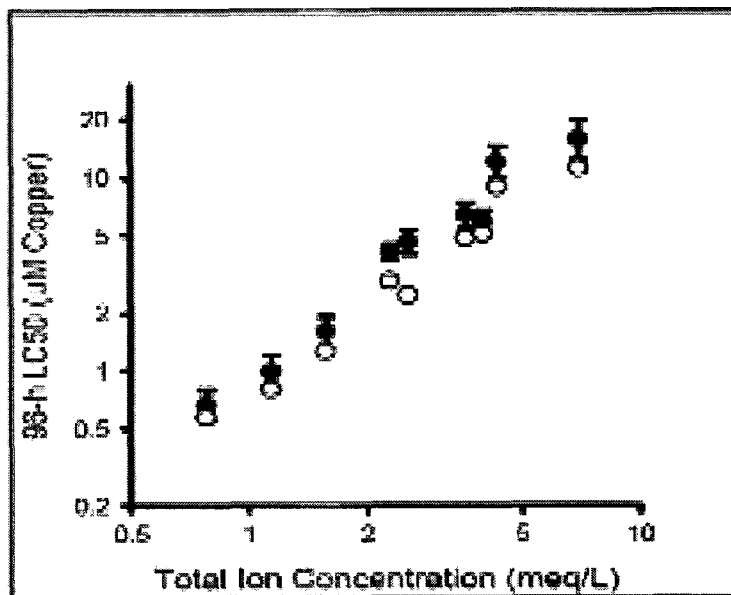
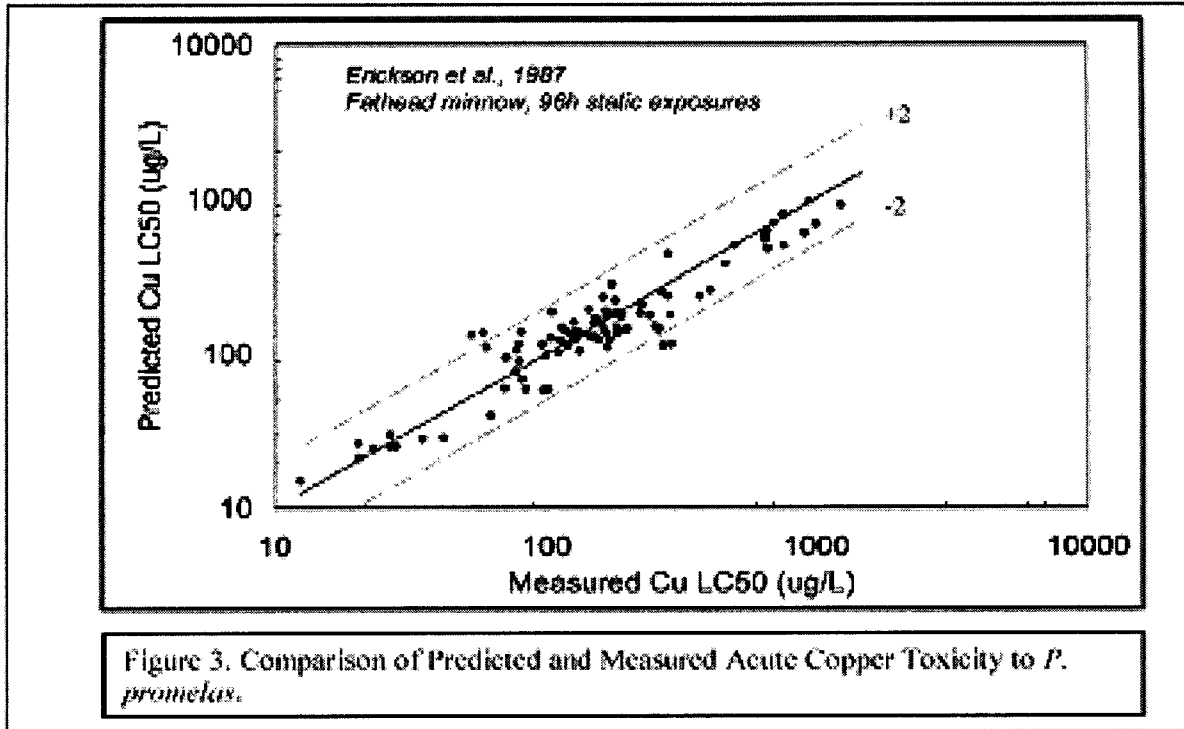


Figure 2. Effects of increasing total ion concentration on the acute lethality of copper to fathead minnows at constant pH=8 and low DOC < 0.5 mg/L. Solid symbols represent observed values, open symbols represent predicted values.

구리 급성독성치의 예측치와 측정치를 비교한 결과 상관관계선에서 -2~+2 범위에 존재



인자의 적용

□ 담수에서 생물의 속별 평균급성독성값(GMAVs)을 순서별로 그래프화

➢ FAV(Final acute value) = $4.67 \mu\text{g}/\ell$

➢ CMC(Criterion Maximum Concentration) : $4.67/2 = 2.337 \mu\text{g}/\ell$

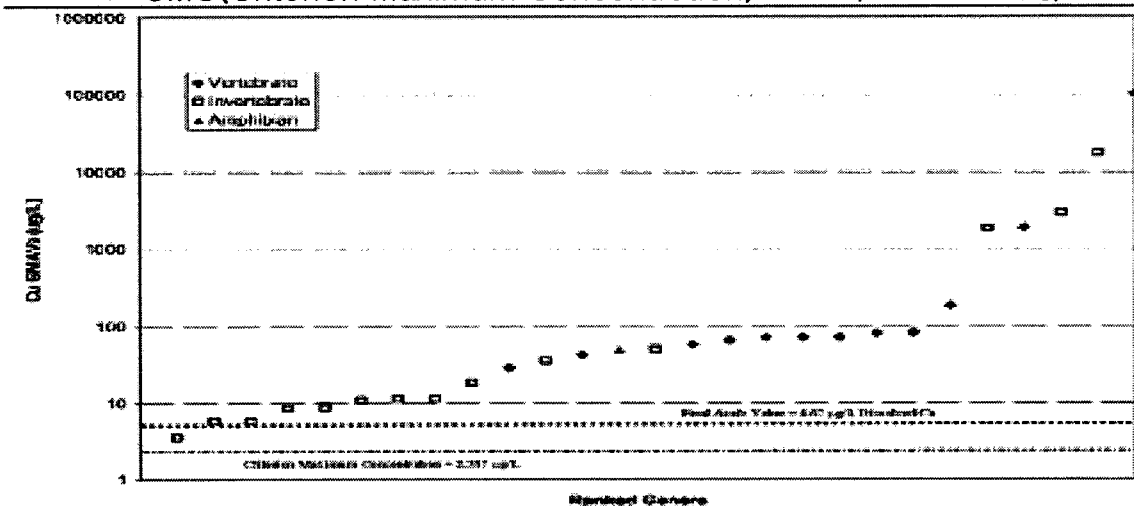
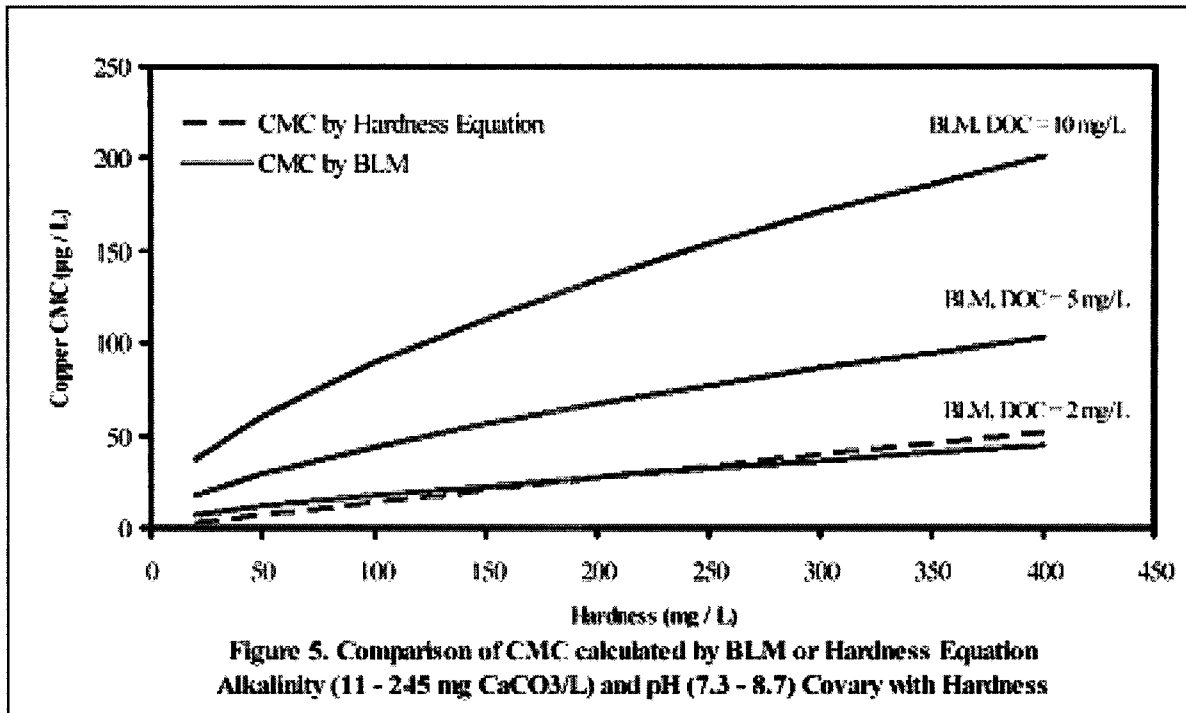


Figure 4. Ranked Freshwater Genus Mean Acute Values (GMAVs)

인자의 적용

□ 경도에 의한 구리 수질환경기준값과 BLM에 의한 기준치의 비교



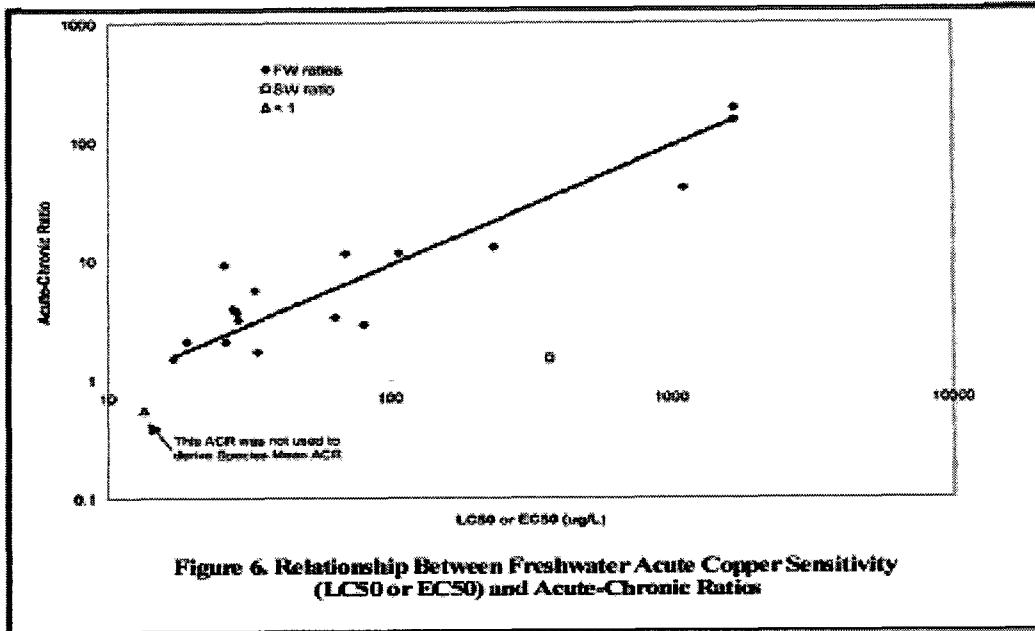
인자의 적용

□ 담수의 구리민감도(LC50)와 ACR(급성만성비)의 상관관계

- ▶ 생물종의 평균 독성값은 상호 비례하는 양상으로
- ▶ 전체적인 ACR값의 범위는 *C. dubia* 0.55(Oris 등, 1970)~달팽이 *C. decisum* 191.6(Arther, & Leonard, 1970)
- ▶ 생물종 평균 급성/만성비 범위는 해수의 sheepshead minnow 1.48(Hughes 등, 1989) ~ 담수의 *C. decisum* 171.2로 제시되었음
- ▶ 민감한 종인 *C. dubia*, *D. magna*, *D. Pulex*, *O. tshawytscha*, *O. mykiss*의 geometric mean(기하평균) 값으로 FACR 값 3.22가 계산되었음

인자의 적용

- 담수의 구리민감도(LC50 또는 EC50)와 ACR(급성만성비)의 상관관계
 - 생물종의 평균 독성값 상호 비례하는 양상



인자의 적용

- pH 및 DOC는 낮을수록, 경도는 높을수록 a/b 비가 증가

<표> 경도 및 BLM 기반으로한 구리의 수질환경기준 비교

pH	경도 (mg/l)	DOC (mg/l)	$e(0.9422 [\ln(\text{경도})] - 1.7)$ 식 기준(a) ($\mu\text{g/l}$)	BLM에 의한 기준(b) ($\mu\text{g/l}$)	a/b
6.5	40	2	5.9	1.6	3.69
		4	5.9	3.3	1.79
		8	5.9	6.8	0.87
	80	2	11.3	1.9	5.95
		4	11.3	3.8	2.97
		8	11.3	7.7	1.47
	159	2	21.7	2.3	9.43
		4	21.7	3.5	6.20
		8	21.7	9.2	2.36
7.0	40	2	5.9	3.9	1.51
		4	5.9	8.0	0.74
		8	5.9	16.4	0.36
	80	2	11.3	4.4	2.57
		4	11.3	8.8	1.28
		8	11.3	18.0	0.63

요약 및 환경기준 계산

- 수질환경기준 산정을 위해 구리의 잠재성 측정이 가능한 수생생물에 대해 600여회의 담수독성 테스트 실시
 - ▶ 자료가 부족한 경우를 제외하고, 350여회 Test 자료를 바탕으로 정규 LC50값의 산정에 사용(15 무척추동물, 22 물고기종, 1 양서류 포함)

- 많은 테스트 결과를 종별 평균급성독성값을 순차적으로 도식화, BLM에 의한 최종 수질환경기준 산정 ⇒ EPA에서는 이를 적용 가능하도록 다음의 환경기준을 제안
 - ▶ FAV(최종 급성독성) : $4.67 \mu\text{g}/\ell$ (용존구리)
 - ▶ FCV(최종 만성독성) : $\text{FAV}/\text{ACR}(\text{급}/\text{만성 비}) = 4.67/3.22 = \underline{1.45} \mu\text{g}/\ell$
 - ▶ CMC(수질환경기준 최대농도) : $\text{FAV}(4.67 \mu\text{g}/\ell)/2 = \underline{2.34} \mu\text{g}/\ell$

6. 결론

1. 우리나라는 19종의 특정수질유해물질 중, 사업자가 배출된다고 신청하는 물질에 한정하여 배출허용기준 적용
 - 미국은 배출시설허가 시 128종의 우선독성물질(Priority Pollutants) 및 존재가능성이 있는 유해물질에 대해 항목별 협상을 통해 허가

2. 미국은 생태실험을 통해, 생태급성독성/만성독성 수질환경기준을 $2.34 \mu\text{g}/\ell$ 및 $1.45 \mu\text{g}/\ell$ 이하로 제안.
 - 구리의 생태독성은 농약(2,4-D) 등과 혼합 되었을 때 더 강한 독성을 나타냄
 - 구리는 수생태계의 건강성확보에 중요관리 물질임