

수질감시를 위한 국내산 물고기의 선정

최성현 · 류재근 · 정일현*

국립환경연구원, *단국대학교 화학공학과

A Choice of Freshwater Fish as Test Organism for Water Quality Management

Sung-hun Choe, Jae-keun Ryu and Il-hyun Jung*

National Institute of Environmental Research,

*Department of Chemical Engineering, Dankook University

Yongsan-gu Hannom-dong San 8, Seoul 140-714, Korea

This study was conducted to choose the freshwater fishes as the test organisms for water quality management. We inspected the natural conditions of the test fishes such as figure, length, growth rate, rheotaxis, sensitivity to toxic substances, applicable term and other conditions as getting and breeding. The inspected fishes were Rainbow trout(*Salmo gairdneri*), Mountain trout(*Oncorhynchus masou*), Carp(*Cyprinus carpio*), Goldfish(*Carassius auratus*), Pale chub(*Zacco platypus*), Dark chub(*Zacco temnicki*), Chinese minnow(*Moroco oxycephalus*), and Amur minnow(*Moroco lagowskii*), Killifish(*Orizias latipes*).

The results showed that Chinese minnow and Amur minnow are better than other freshwater fishes as the test fishes. To control the water pollution sources, especially for major manufactures and streams, we need the continuous water monitoring system by fish. To control the effluents, we must take the toxicity test by fish.

1. 서 론

산업의 발달에 따라 그리고 도시의 집중 현상에 의하여 하천과 호소는 점차 오염되고 있으며 특히 공장이 밀집한 지역이나 공단지역의 하류 하천은 회복되기 힘든 수준으로까지 오염되기도 하였다.

현재의 수질환경정책법¹에 의하면 각 지역에 위치하고 있는 수질오염물질 배출시설은 적절한 처리시설을 하고 오염물질을 기준에 맞게 배출토록 하고 있는데 그 기준이 폐수배출허용기준이다. 폐수배출허용기준은 전국을 오염원의 입지정도와 물의 이용목적 등에 따라 5등급으로 구분하고 있다. 전국 대개의 지역은 “나” 지역이나 수질보전이 중요시되는 지역은 “가” 또는 “청정”지역으로 분류된다. 때문에 모든 폐수배출업소는 발생하는 폐수가 이 기준에 맞추어 처리한 후 방류하여야 하는데 기준에 맞지 않게 방류하는 경우는 그 농도에 따라

계산된 “부과금”이 부과된다.

정부에서는 이러한 방법으로 전국의 폐수배출업소를 관리하고 있는데 이 방법을 수년간 적용하여 수질이 개선된 지역이 있는가 하면 수질이 개선되지 않는 경우도 발생하고 있다.

이는 근본 원인이 하천의 정화능력을 초과하여 폐수가 유입되었기 때문으로 볼 수 있다. 하천의 정화능력이 파괴되는 경우는 일부의 산업체에서 폐수를 적절히 처리하지 않고 계속적으로 무단방류하는 경우와 폐수배출허용기준을 준수하고 있지만 상류로부터의 희석수 즉, 보다 덜 오염된 자연수 등이 하천을 정화시킬 만큼 충분하지 않은 경우로 생각해 볼 수 있다.

그러므로 폐수를 적절히 처리하지 않고 방류하는 업체에 대한 지속적인 감시가 되지 않는 경우와 적절히 배출허용기준에 적합하도록 처리하였다 할지라도 희석수가 부족한 경우는 하천의 수질악화

가 당연하게 된다. 따라서 현재 각 항목별로 농도를 기준으로 규정되어 있는 폐수배출허용기준을 장기적으로는 하천관리를 위한 독성값으로 전환하고 단기적으로는 농도기준과 함께 독성기준을 일부 적용하는 방안도 강구하여야 할 것이다.

지난 19세기부터의 실험실에서의 물고기 실험은 조직학, 생태적 관점, 여러 가지 병과 그의 억제에 대하여 그리고 산소가 부족한 상태와 높은 온도에서의 유해작용에 대하여 검토되어졌으며 근년에는 어떤 생산물과 폐수의 여러 물고기 중에 대한 그 독성의 크기 결정을 위하여 이용되고 있다.²

우리나라도 1991년의 낙동강 폐놀오염사고를 기점으로 수질측정망 운영의 문제점이 도출됨에 따라 물을 상시 감시할 필요성을 느끼게 되었으며 현재의 하천과 호소에 대한 수질측정 업무를 매시간 별로 수행하여도 주민의 욕구를 만족시키지 못하고 그것에 소요되는 인력, 경비 및 시간이 과다하여 효용가치가 떨어지게 된다. 그러나 수생 생물을 이용한 수질감시장치는 운영이 매우 쉽고, 운영비가 적게 들며, 대부분의 오염물질에 대하여 민감하게 반응하며, 24 시간 상시감시가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 수질감시에 이용되는 생물도 다양하여 물고기를 비롯하여 물벼룩, 조류(algae), 조개 및 박테리아가 이용되고 있다.³⁻⁵

이러한 여러 시험생물 중 물고기를 이용한 수질의 감시의 예로 일찌기 독일의 「검은 숲(Schwartz Wald)」의 상수원에 송어를 놓아 기른 것을 들 수 있다.⁶ 이 송어가 상수원 오염여부를 판단케하는 지표로 사용되었으며 송어가 죽지 않으면 상수원수는 사용가능한 것으로 판단하였다. 또한 일본⁷에서는 수도법 제 23조에 지정된 『취수의 긴급정지』 판정요건으로 「물고기가 죽어 다수가 부상하는 경우」라고 하고 있으며, 물고기를 이용한 수질감시에 사용되는 물고기로는 일본산 송사리, 구피, 무지개송어, 잉어, 피라미, 갈겨니, 납자루, 붕어를 추천하고 있다.

물론 우리나라에서도 많은 하수처리장의 방류수, 폐수처리장의 방류수에 비단잉어 또는 금붕어를 놓아 기름으로써 물고기가 방류수에 대한 하나의 모니터 역할을 하고 있기도 하며, 일부 취수장에서는 수조에 여러 종류의 물고기를 키우고 있기도 하

다. 그러나 이러한 방법은 비과학적이고 특히 시험생물은 아무런 기준이 없이 선정된 경향이 있다.

이러한 관점에서 추천되는 것이 수생 생물을 이용한 수질감시장치로서 독일에서는 이미 1971년에 물고기를 이용한 수질감시장치가 개발되었고⁴ 1986년에 물벼룩을 이용한 수질감시가 개발⁸되어 각 산업체의 폐수처리장 방류수 감시, 하수처리장 방류수 감시 및 하천감시에 이용되고 있다.⁹⁻¹¹

따라서 향후의 효과적인 수질관리를 위한 하나의 제안으로서 수생생물을 이용한 연속적인 수질감시의 필요성과 함께 우리나라 특성에 맞는 시험생물을 선정함에 본 연구의 목적이 있다.

2. 방법 및 기기

2.1. 시험기기

물고기를 이용한 수질감시장치는 여러 종류가 있으나 현재 우리나라에서 이용하고 있는 장치는 물고기가 물을 거슬러 올라가는 역류성(Rheotaxis)을 기준으로 수질을 감시하는 장치로 독일의 Umwelt Kerren사에서 제작한 모델 Aqua-Tox-Control이다.



Fig. 1. Dynamic Fishtester(model : Aqua-Tox-Control).

시험에 적용한 물의 흐름은 초속 45 cm이며 운영모드는 시험시간(test phase) 2 분, 쉬는 시간(rest phase) 10 분이다. 시험수조에 투입된 시험물고기는 1 주일간 계속 이용되고 1 주일을 주기로 다른 건강한 물고기와 교체하였다.

2.2. 시료 및 시험대상 물고기

시험물질은 중금속과 농약성분으로 환경오염공정시험법 수질분야의 표준품 제조 방법에 따라 시험수를 조제하였으며, 공장폐수는 안산과 동두천의 폐수배출업소에 직접 나가 폐수처리장을 거쳐 방류되는 방류수를 채취하여 시험수로 사용하였다.

본 연구에 적용된 물고기로는 외국의 시험 물고기를 바탕으로 하되 우리나라 수체에 널리 분포되어 있어 쉽게 채집 및 확보가 가능한 종을 대상으로 하였으며, 무지개송어(Rainbow trout, *Salmo gairdneri*), 잉어(Carp, *Cyprinus carpio*), 피라미(Pale chub, *Zacco platypus*), 갈겨니(Dark chub, *Zacco temminckii*), 산천어(Mountain trout, *Oncorhynchus masou*), 버들치(Chinese minnow, *Moroco oxycephalus*), 버들개(Amur minnow, *Moroco lagowskii*), 금붕어(Goldfish, *Carassius auratus*), 송사리(Killifish, *Oryzias latipes*) 등이 여기에 속한다.

잉어는 청평 내수면 연구소에서 분양 받아 수조에서 3개월 이상 순응시켜 사용하였으며, 무지개송어는 경기도 내수면 개발시험장에서 구입하여, 산천어는 삼척 내수면 개발시험장에서 분양받아 2개월 이상 순응시켜 사용하였다. 송사리, 붕어, 피라미, 갈겨니, 버들치 및 버들개는 야외에서 채집한 후 역시 3개월 이상 실험실의 조건에 순응된 것을 사용하였다. 사육중의 온도는 자연조건에 따르도록 하였고 먹이는 잉어용 부상사료를 1일 2회 10분간에 모두 섭취할 정도의 양으로 급이하였다.

3. 연구결과

3.1. 국내외의 시험 물고기

대개 독성학적 시험에 사용되는 물고기는 다음의 조건¹⁰을 만족시켜야 하는데 이러한 기준은 물고기를 이용한 수질감시장치를 위하여도 거의 같은 조건이라고 판단된다. 즉,

- 연관을 통하여 시험에 사용될 만한 충분한 양이 공급되어야 한다.

- 크기가 작아야 하며, 성장속도가 빠르지 않아야 한다.
- 용존산소, 독성의 영향, 빛, 온도에 비하여 민감도가 더 중요한 요소가 되어야 한다.
- 공간 요구가 크지 않아야 한다.
- 동질성을 확보할 수 있어야 한다.
- 사육이 용이하여야 한다.

이러한 기준에 의하면 시험 목적에 따라 사용되는 물고기가 다르기는 하나 대체적으로 담수어로는 각 국가별로 다음 Table 1과 같은 종이 적용되고 있다.¹⁰

우리 나라에 적용되고 있는 물고기는 송사리로서 이는 어떤 유해물질에 대한 독성값(EC50)을 얻기 위한 것이다.

독일에서는 금빛황어를 비롯하여 잉어, 송어가 이용되고 있으며, 영국에서는 제브라피쉬와 송어가 이용되고 있다. 대체적으로 잉어, 송어와 함께 열대어인 guppy가 널리 이용되고 있으나 미국과 캐나다에서는 사용되고 있는 시험생물의 이름이 특별히 제시되어 있지 않다. 미국과 캐나다에서는 부분적으로 매우 다른 물고기를 사용하고 있다. 그러나 여기서도 송어와 잉어는 항상 거론되고 있으며 *Pimephales promelas*, *Leopomis macrochirus*, *Gambusia affinis* 등이 널리 알려진 이름이다.¹²

Table 1. Test fishes of several countries.

Nations	Species	
West Germany	Goldorph	Leuciscus idus
	Carp	Cyprinus carpio
	Rainbow trout	Salmo gairdneri
East Germany	Guppy	Poecilia reticulata
	Zebrafish	Brachydanio rerio
United Kiydon	Rainbow trout	Salmo gairdneri
	Rainbow trout	Salmo gairdneri
France	연준모치	Phoxinus phoxinus
	연준모치	Phoxinus phoxinus
Italy	Rainbow trout	Salmo gairdneri
	Goldfish	Carassius auratus
Netherlands	Guppy	Poecilia reticulata
	Rainbow trout	Salmo gairdneri
Switzerland	Carp	Cyprinus carpio
	Goldorph	Leuciscus idus
	Guppy	Poecilia reticulata
	Guppy	Poecilia reticulata
	Killifish	Oryzias latipes
Japan	Carp	Cyprinus carpio
	Rainbow trout	Salmo gairdneri
	Rainbow trout	Salmo gairdneri
Canada, U.S.A	Several species of freshwater fishes and coldwater fishes	
ISO	Zebrafish	Brachydanio rerio

그리고 일본에서는 상수의 긴급정지를 명하는 기준으로서의 물고기를 이용한 수질감시장치에 적용되는 물고기로는 잉어과, 연어과, 송사리과의 물고기가 추천되고 있으며 구체적으로는 일본산 송사리, 잉어, 송어, 황어, 버들치, 피라미, 갈겨니, 납자루(*Slender bitterling*, *Acheilognathus imtermebia*) 등이 거론되고 있다.

일본에서 현재 적용하고 있는 방법은 취수장에서 취수되는 물이 물고기가 들어 있는 수조를 거쳐 흘러 나가게 하는 것으로, 수조 내 물고기의 폐사 여부로 수질오염 여부를 결정하게 된다.

물고기의 역류성을 이용한 수질감시장치에는 1970년대에는 잉어, 무지개송어(*Salmo gairdneri*), 금붕어, 황어(*Idus idus*)가 사용되었으나¹³, 근래에는 12-15 cm의 금빛황어(*Leuciscus idus*)가 이용되고 있다.

3.2. 일반적 특징으로 본 적용 가능성

국내산 물고기의 일반적인 특성을 바탕으로 물고기를 이용한 수질감시장치에의 적용가능성을 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

우선 개체가 작은 것은 간격이 1 cm 인 grid 센서를 빠져나가기 때문에 사용할 수 없다. 이 기준으로 볼 때 송사리는 체장이 3 cm인 것이 보통이고 5 cm를 넘는 것은 없기 때문에 가장 부적절한 물고기가 된다. 무지개송어와 산천어는 일반적으로 민감한 물고기로 알려져 있으나 성장속도가 너무 빨라 1년 중 적용 가능 기간이 짧으며, 하절기의 수온 상승 및 강우시 탁도의 증가로 폐사할 우려가 많으며 특히 산천어는 사육이 상대적으로 더 어려워 전반적으로 적용이 곤란하나 단기간 동안의 적용은 가능할 것으로 판단된다. 잉어, 붕어는 사육도 용이하고 개체의 성장율도 적당하나 오염에 둔한 것이 단점이다. 피라미와 갈겨니는 개체의 확보에는 큰 문제가 없으나 성질이 급하여 수면 밖으로 튀어오르는 성질로 인하여 사육 및 시험에 매우 주의가 필요하다. 버들치와 버들개도 튀어 오르는 성질이 있으나 피라미와 갈겨니보다는 덜하였고 다른 모든 면에서 가장 좋았다.

3.3. 역류성

물고기를 이용한 수질감시장치는 물고기의 역류성(Rheotaxis)을 근거로 수질이 감시되기 때문에 이에 적용가능한 물고기도 역시 어느 정도 역류성이 강한 물고기라야 한다. 대개 물고기 독성경보장치를 운영할 때에는 시험 물고기를 1 주일마다 교체해 주며, 단위 시험시간은 2 분, 쉬는 시간은 10 분을 유지한다. 때문에 이러한 조건에서 적어도 1 주일간의 유영은 정상적이어야 한다.

시험시간 동안의 물의 흐름속도는 물고기가 견딜 수 있는 범위 내에서 가장 빠르게 해주는데 금빛황어를 적용하는 경우는 유입 유량이 27 l/min로서 이 때의 유속은 0.45 m/s에 이른다. 이렇게 유속이 빠른 것은 가능한 한 물고기의 컨디션에 작은 변화가 생긴 것도 감지하기 위해서이다.

물론 이러한 물고기의 유영성을 시험하는 정해진 방법은 없으나 상대적인 물고기의 역류 가능성을 파악하고 물고기 경보장치에의 적용 가능성을 확인하기 위하여 앞에서 언급한 조건으로 10 cm 전후의 물고기 3 마리를 시험 챔버에 투입하여 물고기의 종류별 정상 유영시간을 파악하였으며, 최대 시험시간은 1 주일로 하였다.

그 결과 무지개송어, 잉어, 피라미, 갈겨니, 산천어, 버들치, 버들개는 1 주일간 정상적으로 유영하였다.

그리고 개체가 작은 송사리와 붕어는 시험 유속을 초기부터 견디지 못하여 물고기를 이용한 수질감시장치에 적용하기 곤란한 것으로 밝혀졌다.

3.4. 유해물질에 대한 민감성

감시코자 하는 물의 물리적 조건이 물고기의 서식에 문제가 없는 상태라면 유해물질에 대한 민감성이 가장 중요한 기준 요소가 된다. 이러한 민감성은 급성 독성시험, 만성 독성시험을 비롯한 여러 가지 시험방법으로 서로 비교될 수 있으나 본 연구에서는 dynamic test라고 일컬어지는 방법으로서의 물고기를 이용한 수질감시장치를 이용하였으며 그 결과는 전기적 신호값인 임펄스(impulse)로 표현되었다. 곧, 임펄스 값이 크다는 것은 시험 물고

기가 grid 센서에 많이 부딪혔다는 것으로 이는 유해성 물질이 많음을 뜻하며 동일한 시험기간, 동일한 유해물질 농도에서는 그 만큼 민감하다는 뜻이다. 또한 가능한 짧은 시간에 임펄스가 표현되는 것이 더 민감한 물고기라는 증거이기도 하다.

시험대상으로 삼은 물고기는 모두 5 종으로 앞서 언급한 일반적 조건이 적합치 않은 경우는 제외하였다.

시험결과, 물고기의 습성상 모든 경우에서 임펄스 값이 나타난 것은 아니었다. 따라서 회전센서에 의하여 정보가 올린 경우도 결과에 포함되었다. 단, 이 경우 각 물고기의 체장과 체중은 각각 다르나 기본적으로 체장 7-10 cm 기준으로 하였으며, 시험조건 중 용존산소는 5 mg/l 이상이고 pH는 6.8-7.3의 범위였다. 그리고 임펄스 값이 20 이하인 경우는 물고기의 생리 특성상 나타날 수 있는 잘못된 결과로 간주하였으므로 여기서 임펄스 값이 나타났다면은 적어도 임펄스 값이 20 이상이 됨을 뜻한다.

이 결과에서 비소는 폐수 배출허용기준('가'지역, 0.5 mg/l)보다 낮은 0.1 mg/l에서도 잉어를 제

외한 모든 물고기가 0.5 시간 만에 임펄스 값을 나타내고 3-6 시간 만에 죽었는데 물고기의 미세한 반응, 예를 들면 입놀림 회수의 증가, 급격한 행동 등이 초기에 발견되었다. 그리고 임펄스 값이 시간의 흐름에 반드시 비례하여 증가하는 것이 아니었으므로 시험 물고기가 죽는 시간을 기준으로 민감도를 비교하였다.

시안으로써 '가'지역의 폐수배출허용기준과 동일한 1 mg/l로 시험한 결과, 갈겨니는 12 분 후에, 나머지 물고기는 24 분 후에 임펄스 값이 나타났으며 곧 폐사되었다.

수은의 농도 0.1 mg/l에서 실험한 버들치 및 버들개는 시험 초기부터 가장 먼저 반응하여 시험 시작 2 시간 만에 폐사되었으나 피라미와 갈겨니는 각각 17, 19 시간 만에 죽었으며 잉어는 20 시간이 지나도 심각한 반응을 나타내지 않았다.

6가 크롬 역시 폐수배출허용기준('가'지역, 0.5 mg/l)보다 낮은 0.1 mg/l의 농도에서 15 시간을 전후하여 폐사반응이 나타났으며, 잉어는 20 시간이 경과하여도 생명을 유지하였다.

Table 2. The dying time of fishes by dynamic fish test.

	Carp	Chinese minnow	Amur minnow	Pale chub	Dark chub
As 0.1mg/l	none (> 20hrs)	3hrs	3hrs	6hrs	3hrs
CN 1mg/l	40min.	40min.	40min.	40min.	30min.
Hg 0.1mg/l	none (> 20hrs)	2hrs	2hrs	17hrs	19hrs
Cr ⁺⁶ 0.1mg/l	none (> 20hrs)	14hrs	13hrs	17hrs	17hrs
Cu+Pb+Cd+Hg (each 0.02mg/l) +Diazinon 0.2mg/l	5hrs	2hrs	2hrs	3hrs	3hrs
Waste Water of Leather (Manufacture 1)	2hrs	1.5hrs	1.5hrs	2hrs	2hrs
Waste Water of Leather (Manufacture 2)	2hrs	1.5hrs	1.5hrs	2hrs	2.5hrs
Waste Water of Leather (Manufacture 3)	0.5hrs	0.3hrs	0.3hrs	0.7hrs	0.7hrs
Waste Water of Leather (Manufacture 4)	1.5hrs	0.6hrs	0.6hrs	1.5hrs	1.5hrs

중금속 4 종(각각 0.02 mg/l)과 다이아진은(0.2 mg/l)을 혼합한 인공폐수에는 버들치와 버들개는 시험시작 2 시간 만에, 피라미, 갈겨니는 3 시간 만에 폐사된 반면 잉어는 그보다 늦은 5 시간 후에 폐사되어 상대적으로 버들치, 버들개가 더 민감하게 반응함을 알 수 있었다.

납, 구리, 카드뮴, 비소, 6가 크롬, 수은, 시안 등이 폐수배출허용기준에 적합한 피혁공장의 폐수 처리수에 대하여 각 물고기의 반응을 살펴본 결과 버들치, 버들개가 시험시작 20 분 만에 뚜렷한 반응을 보이기 시작하여 1 시간 30 분 만에 폐사되었으며, 잉어도 이와 비슷한 0.5-2 시간 만에 폐사되었다.

이로서 피혁폐수는 각 중금속이 서로 상승작용을 한 결과로 판단되며 현재의 폐수배출허용기준에 적합하게 처리하여 방류하여도 결국 피혁폐수의 경우는 하천관리에 문제가 발생할 수밖에 없으며 수중 생태계의 보전은 더더욱 어려울 것으로 보였다. 때문에 독일에서는 오래 전부터 폐수배출부과금 산정에 어독성을 적용하고 있으며¹⁴, 이에 따른 수질의 사전 감시의 목적으로 많은 대기업이 물고기를 이용한 수질감시장치를 설치하고 있다.

이러한 시험결과를 정리하면 Table 3과 같으며 결국 버들개, 버들치가 시험된 물고기 중에서는 가장 적용성이 좋은 것으로 판단된다.

4. 결과 및 결론

우리나라도 하수처리장이나 폐수처리장의 방류수에 잉어나 금붕어를 키워 처리된 물이 생물에 안전하다는 것을 증명코자 하는 곳이 많이 있다. 하지만 이는 다소 비과학적이다. 우선 물고기의 크기가 대체로 커서 어떤 처리장에서는 약 30 cm의 비단잉어가 적용되고 있고 또 다른 처리장에서는 약 10 cm 정도의 금붕어가 적용되고 있다. 이들 물고기는 우선 개체가 커서 오염물질에 매우 둔하다고 볼 수 있다. 그리고 물고기의 반응을 정량적으로 파악할 수 있는 기능이 없으며 물고기의 오염물질에 대한 미미한 영향을 조기에 알아낼 수 없는 실정이다. 방류수에 물고기를 키우는 의도는 매우 좋으나 이와 같이 과학화되지 못하고 정량적이지 못한 시스템으로는 의도하는 바 그 목적을 달성하기 어려울 것으로 본다. 따라서 수질감시를 위한 시험 물고기의 발굴을 위하여 우리나라 물고기의 특성 및 유해물질에 대한 민감성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 폐수배출허용 기준에 적합한 농도임에도 불구하고 물고기는 단시간에 폐사하므로 향후의 수질관리는 생태독성적인 면을 충분히 고려하여야 한다.
- 향후의 수질관리를 위하여 우선 폐수의 수질 조사에 어독성 시험이 추가되어야 한다.

Table 3. Comparison of applicable freshwater fish for fishtester.

Species	Figure & Length	Getting	Rearing	Growth	Rheotaxis	Sensitivity	Applicable Term
Rainbow trout	++	+++	++	+	+++	+++	+
Mountain trout	++	+	-	+	+++	+++	+
Carp	+++	+++	+++	++	++	+	+++
Goldfish	+++	+++	+++	++	++	+	+++
Pale chub	+++	+++	++	+++	+++	++	+++
Dark chub	+++	+++	++	+++	+++	++	+++
Chinese minnow	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Amur minnow	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Killifish	-	+++	+++	+++		++	

+++ ; fair, ++ ; good, + ; normal, - ; bad

- 수질감시를 위한 시험생물로의 물고기는 버들치, 버들개가 가장 적합하다.
- 대규모 폐수 배출시설 및 하천에 대한 지속적인 감시를 위하여 연속적인 물고기를 이용한 수질감시 시스템의 도입을 권장한다.

참고문헌

1. 환경부, 1991, "수질환경보전법"
2. B. Hamburger, 1977, "Versuchsfische und Ihre Auswahlkriterien", Methoden der Toxizitätsprüfung an Fischen, Kolloquium am 15. und 16. Juni 1977, Harald Boldt Verlag
3. LAWA AK 'Biomonitoring', 1996, Empfehlung zum Einsatz von kontinuierlichen Biotestfahren fuer die Gewaesserueberwachung, "Biomonitoring", Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser(LAWA)
4. W.K. Besch, H.G. Loseries, K.Meyer-Waarden, W. Schmitz, 1974, Warntest zum Nachweis akut toxischer Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen, Arch. Hydrobiol. vol. 74, No.4. pp.551 - 565
5. I. van der Putte, J. Botterweg and C. van de Guchte, 1990, Evaluation of Biological Early Warning Systems in the Rhine River at Lobith, "The Netherlands, 4th International Conference Environmental Contamination" , Barcelona 1-4 Oct. 1990
6. W. Besch, 1977, Bioteste in der Limnischen Toxikologie, "Studien zum Gewaesserschutz", vol 2. Landesamt fuer Umweltschutz Baden-Wuerttemberg, Karlsruhe, Germany
7. 일본수도협회, 1993, 일본의 수도생물-사진과 해설
8. Elektron-Gesellschaft mbH, 1992, "Produktinformation - Dynamischer Daphnientest"
9. C. Engels, 1983, Erfahrungen mit dem Fischtest bei der Trinkwassergewinnung., Instrumente und Methoden zur Erkennung und Messung von Intoxikationen und Anderen Störungen der Abwasser-und Schlammbehandlung., In : "Gewässerschutz. Wasser. Abwasser" (ed. B. Böhnke) vol. 63.
10. J. Knie, 1983, Der Daphnientest im Gewässerschutz., Instrumente und Methoden zur Erkennung und Messung von Intoxikationen und Anderen Störungen der Abwasser-und Schlammbehandlung., In:"Gewässerschutz.Wasser.Abwasser"(Edited by Böhnke. B.)vol. 63.
11. Niedersächsisches Umweltministerium, 1987, Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen, Germany
12. U. S. EPA, 1985, "Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents to Freshwater and Marine Organisms", EPA/600/4-85/013, USA
13. H. Reichenbach, 1977, Der Fisch als Testobjekt-ein Ueberblick, "Methoden der Toxizitaetsprueepung an Fischen, Situation und Beurteilung", Kolloquium am 15. und 16. Juni 1977, Harald Boldt Verlag
14. 독일 연방, 1976, "배출폐수에 부과하는 부과금에 관한 법률"(1976년 9월 13일 제정)(인용:윤승모, 서정범, 1988, 프랑스, 독일의 폐수배출원단위 및 부과금 제도(귀국보고서), 국립환경연구원)