

<논문>

물벼룩에 의한 電線工場廢水의 急性毒性價

Acute Toxicity on *Daphnia magna* for Electric Cable Factory Wastewater

蔡洙權* 金南天** 金健興***

Soo Kwen Chea, Nam Cheon Kim, Geon Heung Kim

ABSTRACT □ This study was to determine the static acute toxicity on *Daphnia magna* for the Electric Cable Factory Wastewater. Activated sludge process was used to treat the wastewater with three different F/M ratios, 0.36, 0.2 and 0.1 mg COD/day · mg MLSS.

The results of laboratory bioassay with *Daphnia magna* were as follows.

- 1) 24hr, 48hr-LC₅₀ of the influent were 17.33% and 11.73%.
- 2) 24hr-LC₅₀ of effluents treated with F/M ratio 0.36, 0.26 and 0.1 mg COD/day · mg MLSS were 26.69%, 32.70% and 38.36% respectively, and 48-LC₅₀ of these effluents were 14.48%, 27.88% and 31.58% respectively.
- 3) According to various F/M ratios, the ratios of effluent 48hr-LC₅₀ to filtrated 48hr-LC₅₀ were 1.58, 1.83 and 1.47 respectively.
- 4) Activated sludge process effluents treated with activated carbon had little toxicity on *Daphnia magna*.

要 旨 : 본 實驗은 3개의 F/M 比 0.36, 0.2, 0.1 mg COD/day · mg MLSS로 實驗室 規模의 活性슬러지法에 의 해 電線工場廢水를 處理하고, 流入水와 流出水의 *Daphnia magna*에 대한 急性毒性을 研究하였다.

*Daphnia magna*를 利用하여 實驗室 bioassay를 遂行한 結果는 다음과 같다.

- 1) 流入水의 24hr, 48hr-LC₅₀은 각각 17.33%, 11.73%이었다.
- 2) F/M比 0.36, 0.20, 0.10 mg COD /day · mg MLSS로 運轉된 流出水의 24hr-LC₅₀은 각각 26.69%, 32.70%, 38.36%이며, 48hr-LC₅₀은 각각 14.48%, 27.88%, 31.58% 이었다.
- 3) 活性슬러지 시스템의 流出水와 그 유출수의 濾過液에 대한 48hr-LC₅₀의 比는 F/M비 變化에 따라 각각 1.58, 1.83, 1.47로, 濾過함으로써 毒性이 減少하였다.
- 4) 活性슬러지 시스템의 流出水를 다시 活性炭으로 吸着한 處理水는 *Daphnia magna*에 거의 毒性을 주지 않았다.

1. 서 론

産業과 都市 廢水의 地表放流 및 耕作地에서 農藥과 殺蟲劑의 流出 등, 多樣한 經路로 毒性汚染物質들은 水系에 流入되어 地表水와 海洋등의 水生生物이 毒性을 받게 된다. 水生環境의 汚染으로 水系의 生態界는

破壞되고, 生物蓄積 및 먹이사슬에 의해 人間에게도 影響을 주게 된다. 廢水의 汚染物質에 대한 判斷은 그것이 生態界에 어떤 影響을 미칠 것인가에 歸着되므로, 大部分 水系에서 生態界를 破壞하는 汚染物質에 대한 毒性을 評價할 必要가 있다.

Nauman¹⁾, Anderson²⁾과 Holm - Jensen³⁾ 은

* 서울보건전문대학 환경관리과 전임강사

** 서울보건전문대학 환경관리과 부교수

*** 인하대학교 토목공학과 교수

Daphnia magna로 急性(acute)과 慢性(chronic) 毒性評價를 하였으며, 근래 Biomonitoring에 일반적으로 사용하게 되었다.

Anderson²⁾은 실험을 통해 알칼리도, 硬度, DO, pH, 溫度와 같은 周邊條件들의 변화에 따른 毒性값들의 상관관계를 보여주었으며, 同一種과 同一나이(24時間 이하)의 Daphnia magna에 의한 毒性값의 變化를 연구하였다.

또한, Winner⁴⁾ 등은 실험실에서 Cu의 濃도를 變化시키면서 먹이와 稀釋水の 種類가 Daphnia magna에 미치는 毒性을 調査하였다.

EPA⁹⁾ 資料에 의하면, 銅파이프 工場廢水를 活性슬러지 시스템으로 處理한 流出水를 Daphnia pulex bioassays에 의해 毒性을 評價한 結果, 48hr-LC₅₀은 37 - 7%이었으며, NCDEM(North Carolina Division of Environmental Management)은 1個月에 1回 48hr-acute static biomonitoring을 實施하고, 기업체가 그에 따른 毒性減少對策을 강구하도록 하였다.

Daphnia magna에 의해 汚染物質의 毒性들은 보통 24hr, 48hr, 96hr-LC₅₀값으로 表現된다. LC₅₀값은 一定 條件에서 選定된 時間동안 오염물질에 노출된 Daphnia magna의 50%가 死亡할 수 있는 汚染物質의 濃度이다. 이 농도는 단일오염물질인 경우 mg/l로 표시될 수 있지만, 복합오염물질인 경우 희석 백분율로 표시된다. LC₅₀값은 再現성이 높은 毒性評價手段이지만, 毒性物質處理를 規制하는 直接的인 安全濃度라고 할 수 없으며, 단지 毒性物質의 安全處理에 대한 適用因子로 使用될 수 있다.

본 研究는 産業廢棄物의 毒性들을 調査하기 위해 實驗室 規模의 活性슬러지법에 의해 F/M 比를 變化시키면서 電線工場廢水를 處理하고, 活性슬러지 시스템의 流入水와 流出水에 대한 實驗室 bioassay를 遂行하였다. 實驗室 bioassay는 Daphnia magna를 利用하여 24hr, 48hr-LC₅₀을 決定하였다. 不完全한 處理 혹은 運轉上 問題點에 의해 毒性物質이 活性슬러지 시스템에서 유출된다면 毒性減少를 위해 後處理가 必要하므로, 後處理로서 活性슬러지 시스템 流出水를 濾過시키거나 活性炭 吸着시킨 後, 여과액과 흡착처리수

각각에 대한 24hr, 48hr-LC₅₀을 調査하였다.

2. 실험 및 방법

1) 實驗

서울시 영등포에서 電線을 生産하는 工場의 廢水를 實驗室에서 1日동안 沈澱시킨 상등액을 活性슬러지 시스템의 流入水로 하였다. 그 性狀은 표1과 같다.

그림 1과 같이 3組의 活性슬러지 시스템을 實驗室規模로 製作하여 連續흐름 完全混合 浮遊成長 狀態로 廢水를 處理하였다. 각 시스템의 運轉條件은 流量이 5.9ℓ/d, 3.3ℓ/d, 1.6ℓ/d이며, 維持된 MLSS濃도는 모두 2000mg/ℓ이며, 曝氣槽 容積은 모두 2.0ℓ이었다. 曝氣槽의 溫度는 20±2 °C를 維持하였다. 中량천 下水處理場의 曝氣槽 混合液을 接種用 微生物로 使用하였으며, 1개월간 曝氣槽에서 회분식으로 微生物을 適應시킨 후, 活性슬러지 시스템을 운영하였다. 活性슬러지 시스템의 流出水의 COD濃도와 MLSS濃도가 一定한 定常狀態에 도달된 후, 流入水, 流出水, 濾液, 活性炭 吸着 處理水 모두를 1.0N, 0.1N NaOH 또는 1.2N, 0.12N HCl을 使用하여 pH를 7로 맞추고, 각각에 대해서 毒性實驗을 하였다.

2) 毒性試驗種

Biesinger⁶⁾는 濾過된 自然水를 Daphnia magna의 배양액으로 추천하였다. 경기도 성남의 약수터 自然水를, No.1 Whatman濾過紙로 濾過하여 培養液 혹은 稀釋水로 使用하였다. 水質分析 結果, 硬度 67 - 76 mg/l as CaCO₃, 알칼리도 70 - 83 mg/l as CaCO₃, pH 7.0 - 7.6이며, DO는 2.8mg/l 정도이었다.

使用된 毒性試驗種은 Daphnia magna이며, 培養은 Biesinger 등⁶⁾과 Rune Berglund⁷⁾의 方法을 利用하였다. 溫度 20±2°C, 조도 50 - 100ft/c, 照明時間 16hr/day인 培養器에서 Daphnia magna를 培養하였다.

Tetra Min "L" 6.3g, Tetra Min "E" 6.3g, Baker's yeast 4.6g, 시금치 분말 1g을 증류수 1ℓ에 넣어 5分동안 急速교반한 후, 1시간 동안 沈澱시킨 상

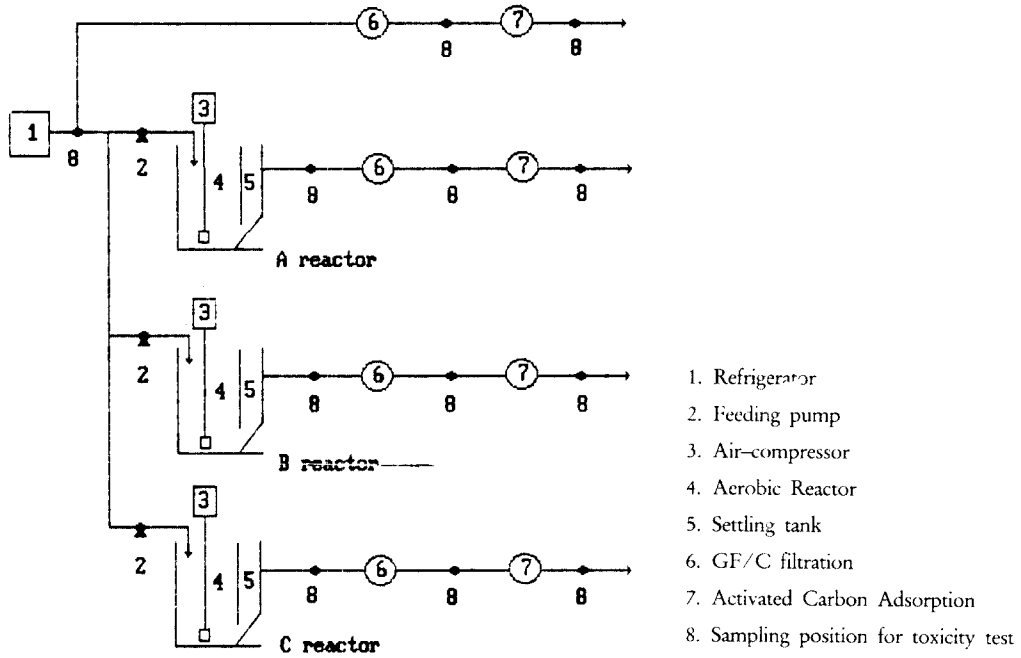


Fig. 1 Schematic diagram for wastewater treatment process and sampling positions.

등액을 *Daphnia magna*의 먹이로 使用하였다.

800ml의 濾過된 自然水에 48時間 以上 培養된 *Daphnia magna* 10마리를 넣고 1.0ml의 먹이용액을 1日 1回 供給하였다, 2日마다 200ml의 培養液을 交替하고, 3 - 4주동안 培養된 암컷이 낳은 6 - 24時間 이내의 幼生을 毒性試驗種으로 使用하였다.

3) 毒性試驗方法

Standard Methods⁸⁾에 의해 毒性試驗을 하였다. 試料를 100%, 75%, 50%, 25%, 10%, 5%로 稀釋하여 各各 100ml 비이커에 넣고, 10마리의 *Daphnia magna* 幼生을 각 비이커에 投入한 後, 培養하였으며, 試驗期間 동안 먹이공급을 중단하였다.

*Daphnia magna*에 의한 急性毒性試驗期間은 24時間과 48時間이었으며, 각각의 毒性試驗試料에 대한 致死率과 稀釋比率에 의해 LC_{50} 과 95% 信賴度(CL_5)를 決定⁵⁾하였다.

3. 결과 및 고찰

급성독성농도를 *Daphnia Magna*에 의한 LC_{50} 으로 포

Table 1. Chemical Characteristics of Influent.

Item	Concentration(average), mg/l
TCODor	256-409(317.8)
SCODor	183-340(244.4)
TBOD	78-176(113.6)
SBOD	64-126(99.8)
SS	51-248(110-1)
VSS	11-53(30.0)
pH	9.8-11.2(10.6)
LAS	8.1-14.7(11.4)
N-Hexane	327-550(432)
F	1.2-1.54(1.40)
Cn	0.24-0.34(0.29)
Zn	0.31-0.56(0.42)
Cu	1.86-3.49(2.53)

괄적으로 나타내는 실험 결과는 표 2와 같다.

표2와 같이 流入水, 流入水를 GF/C 濾過紙로 濾過한 濾液, 그리고 그 濾液을 活性炭으로 吸着한 處理水 각각에 대한 24hr-LC₅₀은 17.33%, 23.16%, 100% 이상이며 48hr-LC₅₀은 11.73%, 18.31%, 89.22%이었다. 濾過에 의해 Cu 등의 고형물이 제거되어 독성이 減少되었으며, 活性炭으로 처리한 處理水の 24hr, 48hr-LC₅₀은 각각 100%이상, 89.22%로 活性炭吸着에 의해 세제/계면활성제 등이 제거되어 毒性이 減少됨을 알 수 있다.

F/M비를 0.36, 0.2, 0.1 mg COD/day. mg MLSS 로 運轉한 A, B, C의 活性슬러지 시스템 流出水에 대한 24hr-LC₅₀은 각각 26.69%, 32.70%, 38.36%이며 48hr-LC₅₀은 14.58%, 27.88%, 31.50%로써, F/M비 減少에 따라 毒性이 減少함을 보여주었다.

F/M비 減少에 따른 그 流出水들을 濾過한 濾液의 24hr-LC₅₀은 33.28%, 53.59%, 50.11%이며 48hr-LC₅₀

은 23.03%, 50.96%, 46.42%이었다. 그 濾液을 活性炭으로 吸着처리한 處理水の 24hr-LC₅₀은 모두 100% 이상이며 48hr-LC₅₀은 100% 이상, 100% 이상, 75% 이상이었다. 이것으로 流出水를 濾過하거나 活性炭 吸着시킬 경우 毒性이 減少 하였으며 活性炭으로 吸着된 流出水는 거의 毒性을 나타내지 않았다.

F/M비 변화에 따른 流出水, 流出水를 GF/C로 濾過한 濾液, 그리고 그 濾液을 活性炭으로 吸着한 處理水 각각에 대한 48hr-LC₅₀을 그림2에 나타냈다.

그림2에서 流入濃度가 일정하고 F/M비를 0.36, 0.2, 0.1 mg COD/day mg MLSS로 減少시킬때, 즉 체류시간이 8.14hr, 14.5hr, 30.0hr로 증가될 때, 活性슬러지와 工場廢水와의 物質대사 反應時間이 길어져 毒性物質處理效率이 높아지므로, F/M 비 0.36으로 運轉된 活性슬러지 시스템의 流出水는 0.1로 運轉된 流出水에 비해 약 2배 더 Daphnia magna에 毒性임을 알 수 있었다.

실험 대상 폐수에 대해, F/M비 변화에 따른 유출수의 48hr-LC₅₀ 범위는 31.58%에서 14.58%이고, NCD

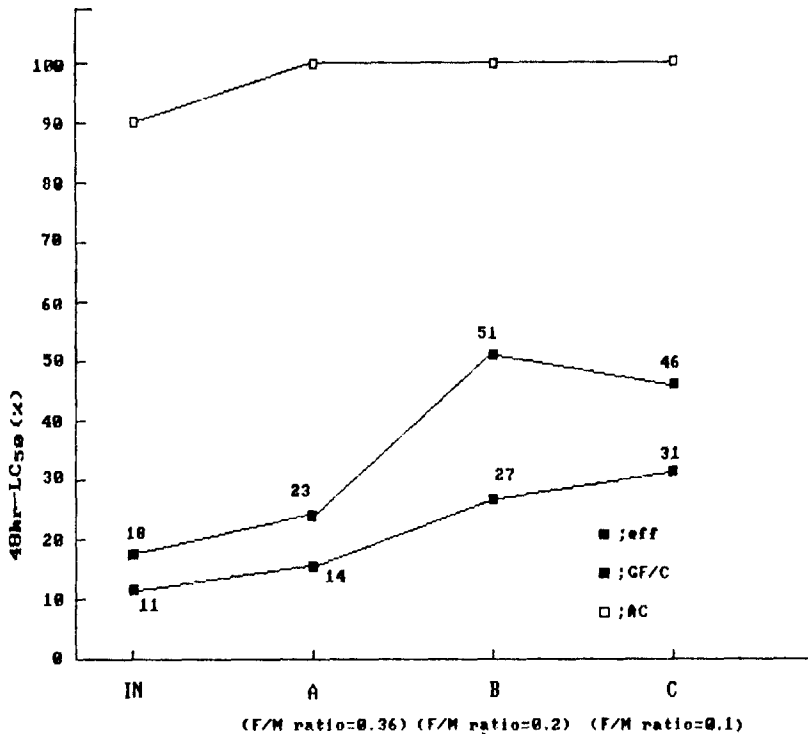


fig. 2 48hr-LC₅₀ at different F/M ratios.

Table 2. 1 A summary of the 24hr and 48hr LC50 values associated with the daphnid(Daphnia magna) acute toxicity test

Toxiocity test Materials		SCODcr mg/l	SBOD ₅ mg/l	24hr LC ₅₀ (%)		48hr LC ₅₀ (%)	
				PA	95%CLs	PA	95%CLs
IN	Raw-IN	2444	99.8	17.33	11.97-24.16	11.73	8.53-16.81
	GF/C	174.1	74.6	23.16	16.02-31.32	18.31	12.80-25.25
	AC	48.9		100		89.22	79.30-101.03
A (F/M 0.36)	eff	74.1	19.2	26.69	17.48-38.25	14.58	10.35-20.50
	GF/C	66.7	3.4	33.28	22.87-44.45	23.03	16.03-30.83
	AC	14.8		100		100	
B (F/M 0.2)	eff	51.9	14.5	32.70	19.61-54.24	27.88	18.74-37.40
	GF/C	37.0	3.9	53.59	40.49-62.95	100	37.62-60.43
	AC	3.7		100			
C (F/M 0.1)	eff	51.9	8.4	38.36	26.40-51.66	31.58	21.97-41.08
	GF/C	37.0	2.1	50.11	37.80-60.78	46.42	34.11-58.12
	AC	7.4		100		75	

IN : Influent

A : Activated Sludge System operated with F/M ratio 0.36 mg COD/day-mg MLSS

B : Activated Sludge System operated with F/M ratio 0.20 mg COD/day-mg MLSS

C : Activated Sludge System operated with F/M ratio 0.10 mg COD/day-mg MLSS

PA : LC₅₀ value determined by probit analysis

eff : Effluent of Activated Sludge System

GF/C : Filtrate filtered the effluent or influent by GF/C filter paper

AC : Wastewater treated the effluent or influent by Activated Carbon

95%CLs : Confidence limits

>100 or 75 > : At a Confidence level of 95% the binomial test shows that LC₅₀ is above 100 or 75

EM⁹¹이 定한 毒性 範圍(48hr-LC₅₀= 37% - 7%) 內에 있으므로 毒性減少를 위해 流出水를 濾過시키거나 活性炭吸着處理가 필요한 것으로 나타났다. F/M 比變化에 따른 活性슬러지 시스템의 流出水와 여액에 대한 48hr-LC₅₀의 比는 각각 1.58, 1.83, 1.47로, 濾過함으로써 毒性이 減少되었다. 그리고 活性炭處理후의 48hr-LC₅₀은 75% 以上이므로 處理水가 Daphnia magna에 거의 毒性 影響을 주지 않는 것으로 나타났다.

EPA¹⁰⁾는 세제/계면활성제의 濃도가 1.0 mg/l 以上일 때와 Cu의 濃도가 0.007 mg/l 以上에서 수생생물에 毒性을 준다고 하였다. 電線工場 廢水 內에는 平均 2.53 mg/l의 Cu(이온 또는 고형물)와 LAS 11.4 mg/l 등이 包含되어 水生生物에 毒性을 미침으로, 活性슬러지 시스템과 並行해서 여과 및 活性炭吸着處理

가 必要하였다. 그리고 固形物 상태의 Cu가 活性슬러지 시스템에 流入되어 蓄積 또는 溶解된다면 Cu에 의한 毒性이 增加되므로, 曝氣槽의 沈澱物을 자주 除去해야 할 것이다.

4. 결론

電線工場廢水를 Daphnia magna에 의해 急性毒性을 評價한 結果, 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 流入水의 24hr, 48hr-LC₅₀은 각각 17.33, 11.73 %이었다.
- 2) F/M 比 0.36, 0.2, 0.1 mg COD /day mg MLS

S로 運轉된 流出水의 24hr-LC₅₀은 각각 26.69, 32.70, 38.36%이며, 48hr-LC₅₀은 각각 14.58, 27.88, 31.58%이었다.

3) F/M 比 變化에 따라 活性슬러지 시스템의 流出水와 濾過液에 대한 48hr-LC₅₀의 比는 각각 1.58, 1.83, 1.47로 濾過함으로써 毒性이 減少하였다.

4) 活性슬러지 시스템의 流出水에 대한 活性炭處理水는 Daphnia magna에 거의 毒性을 주지않았다.

5) 毒性減少를 위해 活性슬러지 시스템과 並行하여 濾過 및 活性炭 吸着處理가 必要하였다.

감사의 글

「본 연구는 인하대학교 산업과학기술연구소 '91학년도 자체학술연구비 지원에 의해 수행되었음을 밝히며 학교와 연구소의 배려에 감사드립니다.」

참고문헌

- 1) Nauman E. (1933) Daphnia magna straus als Versuchstier. Kungl Fysiok Sallsk : Lund forhandlingar 3 (2) : 15~25
- 2) Anderson BG (1944) The Toxicity thresholds of various substances found in industrial wastes as determined by the use of Daphnia magna. Sewage Works Journal 16 (6) :1156~1165
- 3) Holm - Jensen I. (1948) Osmotic regulation in Daphnia

- magna under physiological conditions and in the presence of heavy metals. Det kgl Danske videnskabernes Selskab. Biologiske Meddelelser 20(11):64pp
- 4) Winner RW, Keeling T., Yeager R., Farrel MP (1977) Effect of food type on the acute and chronic toxicity of copper to Daphnia magna. Freshwater Biology T. 343 ~349
- 5) U.S Environmental Protection Agency., User Guider for A Computer Program for Probit's Analysis of Data from Acute and Short-Term Chronic Toxicity Tests with Aquatic Organisms, EPA, Cincinnati, Ohio 45268, May 1988
- 6) Beisinger, K. E., L. R., Williams, W. H. van der Schalie (1987) Procedures for conducting Daphnia magna toxicity bioassays. USEPA Rept. No. EPA/600/8~87/011. EMSL Las Vegas, NV.
- 7) Rune Berglind and Goran Dave (1984) Acute Toxicity of Chromate, DDT, PCP, TPBS and Zinc to Daphnia magna cultured in Hard and Soft water. Bull. Environ. contam. Toxicol. 33:63~68
- 8) APHA., AWWA., WPCF., (1985) Standard Methods 16th ed.
- 9) U. S. Environmental Protection Agency., Gen-eralized Methodology for Conducting Industrial Toxicity Reduction Evaluation (TRES), EPA/600/2-88/070, EPA, Risk Reduction Eng. Lab, Cincinnati, Ohio, April 1989
- 10) U. S. Environmental Protection Agency., Amb-ient Water Quality Criteria for Copper., EPA/440/5-84/027, EPA, Criteria and Standards Division, Washington, DC, January 1985.