
상수도 팔따구 유충 발생 사례 분석 · 검토 보고

2020. 9

서울물연구원
(수질연구과)

목 차

I	갈따구 유충 발생 경로 및 대책	3
II	갈따구 발생 시기 검토	9
III	단성생식 갈따구 대응사례	12
IV	검토 의견	13
	#별첨 1~4 (논문 등 번역 자료)	14
	1. 도쿄도수도국 K 정수장 갈따구 유충 문제에 대하여	
	2. 오사카 무라노 정수장 오존 관리(하절기 갈따구 대책 평가)	
	3. 수도 급수전에서 발견된 갈따구 유충	
	4. 미국수도협회(AWWA) 매뉴얼7, 제6장 갈따구	

상수도 깔따구 유충 발생 사례 분석 · 검토 보고

《수질부석부 수질연구과》

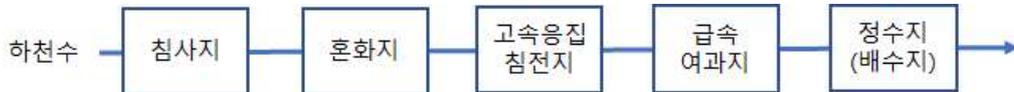
I 깔따구 유충 발생 경로 및 대책

① 일본 도쿄도수도국 K 정수장 (1971년)

□ 개요

○ 시설현황

- K 정수장 시설용량 160 만톤/일 (가나마치정수장으로 추정됨, 1992년 고도정수시설 도입)



- 침전지는 고속응집침전지 외에 황류식 침전지도 일부 존재

○ 유충 민원 발생

- '61~'64년 7~8월 배수구역 일부지역 민원 발생 : 몸길이 5 mm 전후 4건

□ 유충 발생 경위

○ 유충 실태 조사

- 침전지, 여과지, 정수지(배수지) 등 유충 서식처는 발견하지 못했으나 검출됨
 - 여과수 0.5~1개체/m³, 여과지 역세척수 10여 개체/m³ 검출 (100μm 거름망, 1m³)

- 1년간('65.7.~'66.8.) 주1회 조사

- 총 1,490개체 검출 : 원수 198, 침전수 665, 정수 627

※ 원수는 부유물로 인해 모두 확인불가

- 원수에서 연중 검출(2월 제외)

- 침전수와 정수는 7~8월에 각각 84%, 97%로 대부분 검출

- 검출된 깔따구 유충 월별 평균 몸길이는 0.65~2.45 mm 범위

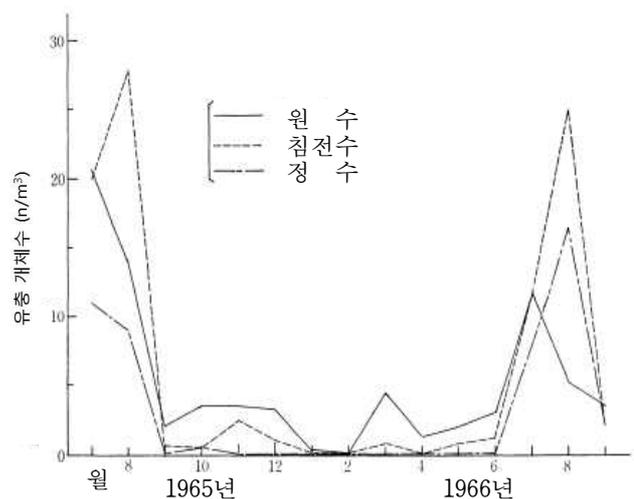


그림 1. 깔따구 유충 개체수 월별 변화 ('65. 7. ~'66. 8.)

표 1. 깔따구 유충 월별 평균 몸길이(体長, mm)

구 분	1965년						1966년 (단위: mm)							
	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월
원 수	1.86	1.80	1.63	1.14	2.04	1.55	0.75	-	2.43	2.45	2.33	1.92	2.11	1.52
침전수	0.80	1.10	1.13	1.50	1.35	0.75	-	-	1.50	-	1.25	2.35	1.12	1.15
정 수	1.14	1.18	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65	0.91

※ 요시마츠깔따구(일본 우점종) 유충 몸길이 : 약 0.5 mm(1령)부터 10~13 mm(4령)

○ 발생원인 검토 : 지표수의 유충이 모래여과지를 통과해 정수로 누출 추정

- 정수장 내에서는 깔따구 유충 서식처를 발견할 수 없었음
- 민원 발생 기간과 정수에서 깔따구 유충 개체수 증가 기간이 일치
- 8월 하천 유량이 급증 시 침전수와 정수의 유충 개체수도 급격히 증가
 - 침전수 3.9개체/m³, 정수 1.7개체/m³ ⇒ 여과지 유충 제거율 약 56%
- 여과수 검출 개체수는 여과지속시간이 길어질수록 증가 경향
 - 역세척 전 30개체/m³ 검출되었으나 역세척 후 10개체/m³ 전후로 감소

⇒ 운동성이 있는 생물은 급속모래여과지 통과 가능

▷ 조류 중 운동성이 있는 규조류(*Nitzschia acicularis*) 등은 누출

□ 추진대책 및 결과

○ 전염소 주입률 강화 추진

(침전수 잔류염소 농도 : 기존 0.3~0.5 mg/L ⇒ 약 1.0 mg/L)

- 염소로 유충 사멸은 어렵지만 모래여과지 누출이 유충의 운동성에 기인한다면 염소 추가 투입으로 운동성을 떨어뜨려 여과지 억류·제거 효과 증대 기대
- 전염소 강화 후 정수에서 유충 검출 1/5로 감소
 - 몸길이 2.1 mm 이상은 감소했으나 0.5 mm 이하 유충 증가 경향

⇒ 전염소 강화를 실시한 후 깔따구 유충 민원은 없었음

② 일본 오사카부 무라노(村野) 정수장 (2014년)

□ 개 요

○ 시설현황

- 무라노 정수장 시설용량 180 만톤/일 (1998년 고도정수시설 도입)



- 정수장은 2개 계통, 전염소는 폐지, 입상활성탄지(GAC)는 완전 밀폐형
 - 평면형 계통(N, S계열) : 일반적인 정수장 처리공정 배치 형태
 - 수직형 계통(K1, K2계열) : 정수공정을 건물 내에 수직 배치(위층에서 아래층으로)

□ 유충 발생 경위

○ 오존농도 저하로 깔따구 발생

- 브롬산염(오존소독부산물) 저감을 위해 오존을 낮게 운영, 2007년 GAC 상부 공간에 깔따구 성충 발생 (*감시용 창을 통해 육안 감시)
- 여름철 용존오존 자기분해로 용존오존 농도가 거의 0 mg/L로 소실됨

⇒ 원수 중의 알, 유충집 등이 오존접촉조를 통과해 밀폐형 GAC로 유입 증식 추정

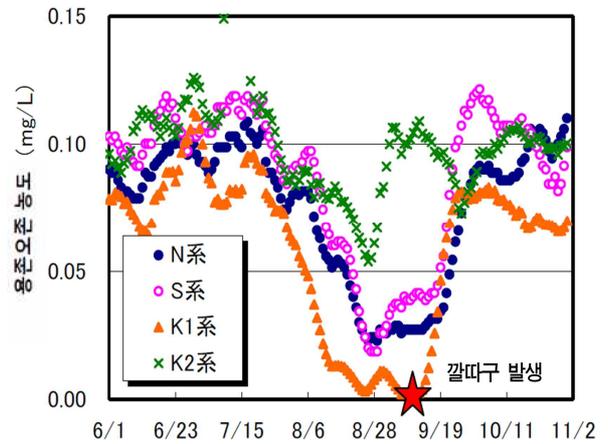


그림 2. 오존접촉조 유출수 용존오존

□ 추진대책 및 결과 : 2008년부터 하절기 깔따구 대책 추진(7~9월)

- 예방대책 : 오존주입률 강화 - 기존 0.8 mg/L ⇒ 1.0 mg/L
 - 오존접촉조 유출 오존농도 하한치(0.05 mg/L) 미만 시에 추가 투입
 - GAC 상부 감시용 창으로 깔따구 성충 육안 감시 주 1회
- GAC 유출수 유충 검출시 대책 : 역세척 강화 및 하부집수장치 염소처리

GAC(입상활성탄지) 대책	내 용
역세척 주기 단축	72시간 ⇒ 36시간 (하절기 이외 기간 144시간)
하부집수장치 블록별 침지(浸漬)	차아염소산나트륨 10 mg/L에 24시간 침지

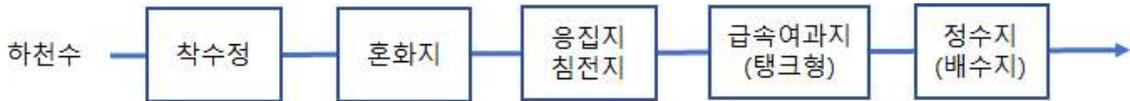
- ⇒ 평면형 계통은 깔따구 문제가 해결되었으나, 수직형(시설용량 50% 가동)은 체류 시간이 길어 오존 소실 방지를 위한 추가대책 추진
- ⇒ 오존 강화 후에도 브롬산염은 수질기준(0.01 mg/L)의 40% 미만으로 관리 가능

③ 일본 군마현 정수장 (2004년)

□ 개 요

○ 시설현황

- 도쿄도 북쪽 군마현 소규모 정수장 시설용량 1,500 톤/일, 급수세대 1,205가구



- 급속여과지는 탱크형으로 밀폐되어 있음

○ 유충 민원 발생 (2003년 5월 7일)

- 식품회사에서 수도꼭지에 필터(50 μ m)를 설치하고 모니터링 중 발견('03.5.7.)
- 취수구와 침전지에서 깔따구 성충을 확인하고 '깔따구 대책검토회의' 개최

□ 유충 발생 경위

○ 유충 실태 조사

- 깔따구 성충, 유충, 알 채집 및 사육·우화 실험(유충알을 성장시켜 성충으로 키움)
 - 취수구(D4)에서 8개체(2종), 정수장 내에서 58개체(5종) 성충 채집
 - 침전지와 혼화지 채수 후 사육·우화실험으로 각각 10개체, 14개체 확인
- 수도꼭지 필터(탈지면 재질) 실험 : 정수지 유출수, 수도사업소, 2개 가구 등 4개소
 - 정수지 유출수에서 1개체, 수도사업소 수도물 1개체(10개체는 확인불가) 검출
 - 급수구역 내 2개 가구에서는 불검출

⇒ 정수장에서 발견된 깔따구와 동일 종이 급수계통에서 검출되어 여과지(탱크)를 통과해 급수구역으로 유출 추정

□ 추진대책 및 결과

○ 여과지 역세척 강화

- 민원 접수 다음날 역세척 3회 실시하고 이후 1주일간 1일 1회 실시

○ 약품주입 강화 및 침전지 청소주기 단축

- 전염소 0.3 mg/L에서 0.6~0.7 mg/L 및 1주일간 응집제(PAC) 2배 주입
- 고압수로 침전지 벽면과 경사판 세척 실시, 세척주기 3개월에서 1개월로 단축

⇒ 전염소, 응집제, 여과지 역세척, 침전지 청소 강화 등 철저한 관리로 민원 해소

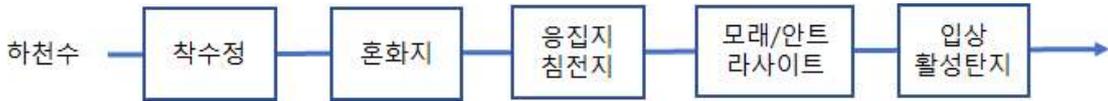
⇒ 유충은 육안 식별이 어렵지만 식품업체에서 수도물을 필터로 관찰하는 특별한 과정에서 나타난 사례로 타지방에서도 일어날 잠재적 가능성 있음

④ 영국 서번트렌트 멜버른 정수장 (2015년)

□ 개 요

○ 시설현황

- 런던 북쪽 Severn Trent Melbourne(멜버른) 정수장 시설용량 4 만톤/일



□ 추진내용

- 민원발생 : 2005년 9월 및 2015년 9월에 유충 민원 발생

○ 추진사항

- 급속여과지와 입상활성탄의 공정 결합 및 유지관리 문제로 유충 누출 사고 발생
- 영국 DWI가 조사한 결과 여과지 유출밸브 10개가 제대로 닫히지 않아 깔따구 유충이 유출된 것으로 확인되어 시정 조치
 - 밸브 관리 부적정 및 관리절차 개선, 밸브 유지보수 등
- ※ 영국 DWI(Drinking Water Inspectorate) : 상수도 민영회사를 감독하는 정부기관

⑤ 영국 템즈워터 켐프톤 정수장 (2019년)

□ 개 요

○ 시설현황

- 런던 Thames Water Kempton(켄프톤) 정수장 시설용량 85 만톤/일 (400 만명)



- ※ 활성탄/완속모래여과지는 모래층 사이에 활성탄층을 둔 형태(샌드위치형)

□ 추진내용

○ 유충 검출

- 2019년 3월, 여과수에 대한 일일 정기검사서 깔따구 유충 1개체 검출
- 급수지역에서 민원 발생은 없었음

○ 추진사항

- 12개의 완속여과지 조사한 결과 중 3개 여과지에서 문제 발견
 - 여과지에서 탁질이 누출될 수 있는 구멍(blow hole)을 확인하고 조치

⑥ 미국 워싱턴 번트밀 정수장 (1930년)

□ 개 요

○ 시설현황

- 메릴랜드주 워싱턴 번트밀(Burnt Mill) 정수장 시설용량 1.3 만톤/일



- 여과처리된 정수는 덮개가 없는 원통형 정수탱크에 저장

□ 추진내용

○ 유충 검출

- 1930년 6월 원수 저류지, 응집지, 여과지, 정수지, 공급계통에서 갈따구 유충 발견
- 유충 몸길이는 0.79 ~ 12.7 mm 범위였으며 살아있고 활동적임

○ 추진사항

- 실험실에서 염소 10 mg/L 이상 주입시 유충이 붉은색에서 거의 흰색으로 탈색됨
- 실험실 여과실험에서는 여과지 또는 역세척시 여과지를 통과하지 못함
- 원통형 정수탱크의 덮개 설치 공사 후 갈따구 유충은 발생하지 않음

⇒ 극심한 가뭄으로 소하천 유량 감소 및 자연서식지 소멸 시 대체 서식지로 이동

⑦ 미국 오하이오주 신시네티 정수장 (1931년)

□ 개 요

○ 시설현황

- 오하이오주 신시네티 정수장



□ 추진내용

○ 민원 발생

- 1931년 5월 물을 많이 사용하는 아파트, 빌딩, 호텔 등에서 유충 민원 주로 발생

○ 추진사항

- 정수지 유출수에 거름망(cheese cloth screen)을 설치하여 2주간 5~20개체/일 검출
- 정수지(배수지)에 콘크리트 덮개 공사 후 유충 문제 해결

II

갈따구 발생 시기 검토

□ 갈따구 종류 및 특성

○ 갈따구(Midge, Chironomid) 종류

- 갈따구 종류는 매우 다양하여 전 세계적으로 10,000~15,000종으로 추정
- 분류학상 동물계, 절지동물문, 곤충강, 파리목, 갈따구과(Chironomidae)에 속함
 - 날개가 2장 이어서 쌍시류(雙翅類, Two-winged flies)라고 함
 - 모기와 유사하게 생겼지만 구기(口器, 입기관)가 퇴화되어 물지 않음
- 갈따구과(Chironomidae) 내에는 10여 개의 아과(subfamily) 있음
 - 국내에는 갈따구아과(Chironominae), 깃갈따구아과(Orthocladiinae), 늪갈따구아과(Tanypodinae), 멧갈따구아과(Diamesinae) 등 4개

○ 갈따구의 한살이(Life cycle)

① 난괴(卵塊, 알 덩어리)

- 갈따구 성체는 3~3,000개의 알이 젤라틴 물질로 싸인 난괴로 산란하며, 알의 부화는 온도에 따라 2~7일 소요됨
- 난괴는 물 표면에 부유하다가 수생식물, 돌 등에 붙기도 하고 바닥으로 침전함

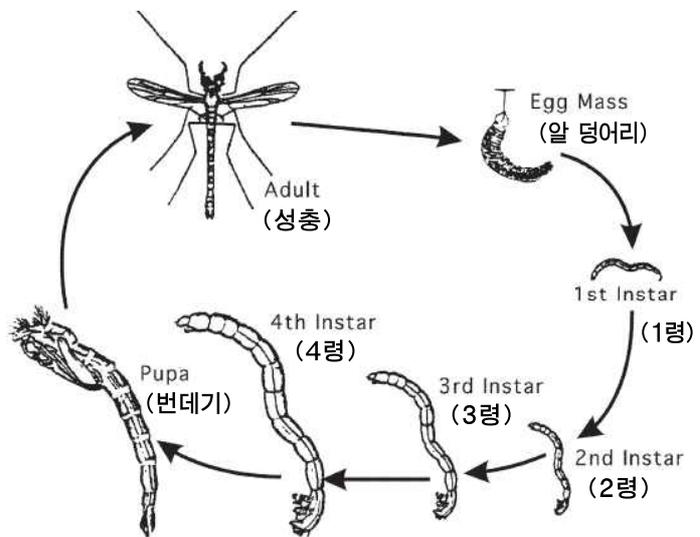


그림 3. 갈따구 한 살이

② 유충(larvae)

- 부화된 유충은 빠르게 사방으로 흩어지며 갈따구아과와 깃갈따구아과는 유충집(silken tube, shelter tube)을 분비물로 만들어 그 안에서 먹이를 섭취하며 살아감
- 썩은 식물, 조류, 미생물 사체 등을 먹으며, 몸체는 선홍색, 녹색, 투명 등
- 하천 등 바닥의 부드러운 흙에서 서식하며 월동(越冬)을 위해 바닥 속으로 들어감
 - 밤에 많이 움직이며 특히 일몰 후 3~5시간과 일출 전 1~4시간에 가장 활발함
 - 유충은 먹이, 온도, 종에 따라 몇 주에서 몇 년까지 생존하며 5℃ 이하에서는 거의 활동하지 않고 진흙 속에서 휴면함

※ **요시마츠갈따구 유충 예**(그림 4)

- 일본에서 우점종인 요시마츠갈따구의 경우 알은 산란된 후 2일이 지나 부화함
- 1령은 몸길이 약 0.5mm, 3회 탈피 후 4령은 10~13mm 유충이 됨
- 유충 기간은 수온과 수질에 따라 17~27일
- 유충은 긴 원통형으로 머리 및 12개의 체절(体切)로 구성되어 있고 유충 체액 속에 헤모글로빈의 1종 호흡색소 erythrocrucorin가 함유되어 몸이 붉은 빛을 띰

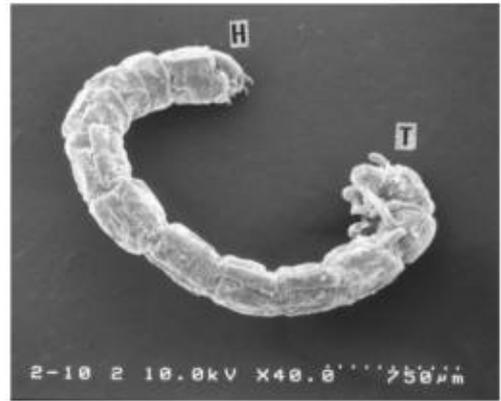


그림 4. 요시마츠갈따구 유충(40배)
(H: 머리부분, T: 꼬리부분)

※ **유충 몸길이(体長) 측정 예**(그림 5)

- 1령 유충인지 여부는 두폭(頭幅, head capsule width)을 측정하여 판단
- 1령 두폭 100 µm, 2령 170 µm
- 경화된 키틴질의 머리 부분은 탈피(脫皮)를 통해 급격히 자라지만 흉부, 복부처럼 유연한 부분은 탈피를 통해 크게 자라지 않아 몸길이만으로 몇령인지 판단 어려움

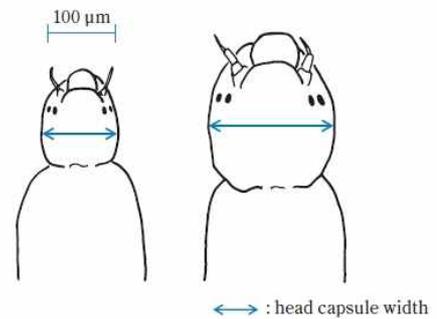


그림 5. 갈따구 두폭(頭幅) 측정
(왼쪽: 1령, 오른쪽: 2령)

③ **번데기(pupa)**

- 유충에서 번데기로 변화하는 용화(蛹化)는 보통 3일간 유충집에서 이루어지며 번데기는 유충집을 떠나 물 표면으로 이동해 성충이 됨

④ **성충(adult)**

- 성충은 먹이를 먹지 않고 3~5일간 군무(swarming)하며 생식, 산란 후 생을 마침

○ **국내 현황**

- 전국 10여개 지역 하천, 저수지, 연못 등에서 갈따구아과에 속하는 안개무늬날개 갈따구(*Chironomus kiiensis*)가 51.3%로 우점종이었고, 오염된 하천에서는 노란털갈따구(*Chironomus circumdatus*)가 85.3%로 우점종이었음
- 서울 중랑천에는 장수갈따구(*C. plumosus*), 구슬등무늬갈따구(*C. circumdatus*), 등갈따구(*C. dorsalis*), 안개무늬날개갈따구(*C. kiiensis*), 요시마츠갈따구(*C. yoshimatsui*) 등이 주로 서식함

□ 상수도 발생 사례(발생 시기)

○ 일본 도쿄도수도국 K 정수장(가나마치)

- 침전수와 정수의 유충 개체수('65년 6~9월 조사)는 7월 하순부터 급격히 증가해 8월 상순에 최고가 된 후 점차 감소에 9월에는 미미한 수준 검출(그림 6)
- 원수에서는 2월을 제외하고 연중 검출(그림 1, p. 3)되며 침전수·정수의 경향과 동일하게 7~8월에 가장 많았음
- 강우로 하천 유량 급증 시(8월 중순과 하순) 개체수 현저히 증가
- 침전수와 정수의 유충 개체수는 상관관계가 매우 강하게 나타나 유충이 모래층을 통과하여 정수로 누출된 것으로 추정

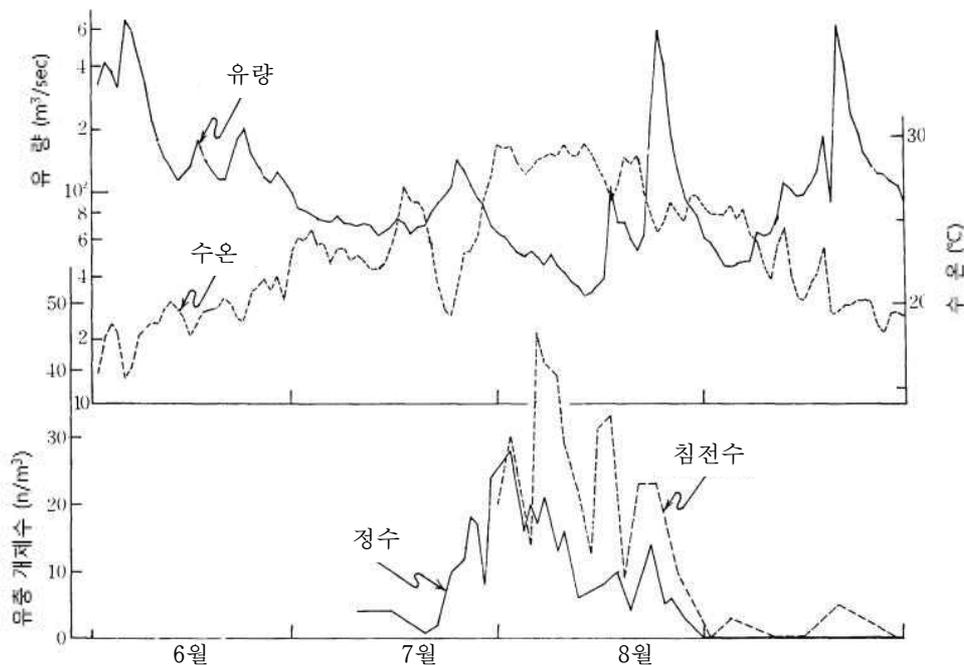


그림 6. 유량·수온과 깔따구 유충 개체수의 관계('65년 6~9월)

○ 정수장별 발생시기 검토

- 깔따구 유충은 7~8월에 많이 발생하지만 정수장 공정관리에 문제가 있을 경우 연중 언제라도 발생할 가능성 있음

연번	구 분	발생(만원) 시기	발생원인
1	일본 오사카부 무라노 정수장	7~8월	오존 유출수 오존농도 저하(거의 0 mg/L)
2	일본 군마현 정수장	5월	-
3	영국 서번트렌트 멜버른 정수장	9월	급속여과지 및 입상활성탄 관리결함
4	영국 템즈워터 캠프톤 정수장	3월	완속여과지 관리결함
5	미국 워싱턴 번트밀 정수장	6월	정수탱크 덮개 없음
6	미국 오하이오주 신시네티 정수장	5월	정수지(배수지) 덮개 없음

III

단성생식 깔따구 대응사례

□ 단성생식 특징 및 대응방법

○ 단성생식(parthenobenic)

- 비단성생식(nonparthenogenic)은 깔따구의 한살이(Life cycle), 즉 알, 유충, 번데기, 성충의 4단계를 거치지만 단성생식 깔따구는 암컷이 성충이 되기 전 번데기 상태에서 알을 낳을 수 있음
- 상수도에서 발생한 단성생식 깔따구는 *Paratanytarsus grimmi*종이며, 국내에서는 아직 보고사례 없음
- *Paratanytarsus grimmi*종은 1930년대 처음으로 알려졌으며 영국 동부와 남부에 널리 분포하고 1986년에는 키프로스에서도 발생함

○ 대응방법

- 비단성생식 깔따구의 경우 깔따구 성충의 접근을 차단하여 알을 낳지 못하도록 하고 정수처리 강화 등을 통해 제거할 수 있지만,
- 단성생식 깔따구의 경우 발생하면 이를 제거하는 효과적인 방법은 없는 실정임

□ 대응사례

○ 영국 잉글랜드 에섹스카운티

- 1971년 성충 단계를 거치지 않고 번식하는 단성생식 깔따구가 상수도관 내부에서 발생하여 배수지 청소, 전기방충망 설치 등을 실시하고 마이크로스트레이너까지 설치했지만 제거하지 못함
- 1973년 6월 관련전문가 회의를 통해 사용 금지된 살충제 피레트린(pyrethrin)을 0.025 mg/L 주입하여 해결, 이후 죽은 유충 민원 1건만 접수됨

○ 미국 인디애나주 로웰시

- 1988년에 단성생식 깔따구의 발생을 확인하고 배수지 청소, 배수지 수직관을 고농도의 염소(50 mg/L)로 48시간 동안 소독했지만 물을 퇴수했을 때 유충이 살아 있었음

IV

검 토 결 과

□ 상수도 유충 발생 사고 사례 검토

○ 유형 분류

- 깔따구 유충 발생 사고는 ① 성충 침입, ② 정수장 모래여과지 등 관리부실, ③ 유충 다량 유입시 여과지 제거 능력 한계 등 3개 유형으로 구분됨

○ 모래여과지 통과 가능성

- 실험실 여과지 실험에서는 모래여과지에서 유충 누출이 없었지만, K 정수장 침전수와 여과수의 개체수로 비교한 결과 여과지에서 제거율은 56%로 나타남
- 운동성이 있는 조류의 경우도 급속여과지를 통과한 사례가 있어 유충도 통과 가능
- 일본, 영국 등의 예에서도 유충이 모래여과지를 통과한 것으로 추정

연번	구 분	발생(민원) 시기	발생원인	모래여과지 통과여부	주요 추진대책
1	일본 도쿄도수도국 K 정수장	7~8월	-	○	전염소 주입률 증가, 역세척 주기 단축
2	일본 오사카부 무라노정수장	7~8월	오존 유출수 농도 저하(거의 0 mg/L)	○	하절기 오존 주입 증가 하부집수장치 염소에 침지
3	일본 군마현 정수장	5월	-	○	전염소, 응집제, 여과지 역세척 주기, 침전지 청소 등 강화
4	영국 서번트렌트 멜버른 정수장	9월	급속여과지 및 입상활성탄지 결함	○	결함부분 보수 및 점검절차 등 강화
5	영국 템즈워터 캠프톤 정수장	3월	완속여과지 결함	○	완속여과지 결함부분 보수
6	미국 워싱턴 번트밀 정수장	6월	정수탱크 덮개 없음	-	정수탱크 덮개 공사
7	미국 오하이오주 신시네티 정수장	5월	정수지(배수지) 덮개 없음	-	정수지 콘크리트 덮개 공사

○ 발생시기

- 일본의 사례에서 원수에서는 동절기를 제외하고 항상 유충이 유입되고 있으며, 수온이 25~26℃ 이고 강수량이 많은 하절기(7~8월)에 특히 많이 발생함
- 깔따구 유충은 7~8월에 많이 발생하지만 영국의 사례처럼 정수장 공정관리에 문제가 있을 경우 연중 언제라도 발생할 가능성 있음

⇒ 깔따구 유충 누출은 언제나 발생할 수 있는 사고로 정수장 공정관리(회수조 등 포함), 약품(염소, 응집제, 오존 등), 배수지 시설 등 항상 최상의 상태 유지관리 필요

※ 오존, 염소 주입률 다량 증가 시 소독부산물 생성량 분석

별첨

1. 도쿄도수도국 K 정수장 깔따구 유충 문제에 대하여	15
2. 오사카 무라노 정수장 오존 관리(하절기 깔따구 대책 평가) (일본 내 최대 정수장 : 180 만톤/일, 1998년 고도정수처리 도입)	30
3. 수도 급수전에서 발견된 깔따구 유충	39
4. 미국수도협회(AWWA) 매뉴얼 7, 제6장 깔따구	46

K淨水場におけるユスリカ幼虫問題について

Occurrence and Control of Chironomid Larvae in the K. Water Purification Plant

K 정수장 깔따구 유충 문제에 대하여

도쿄도수도국 上野 英世 (UENO Hideyo)

1. 서론

수돗물에서 육안으로 인지할 수 있는 크기가 작은 수서동물류가 출현하는 현상은 국 내외를 불문하고 자주 보고되고 있으며¹⁾²⁾³⁾⁴⁾, 때로는 민원을 야기하기도 한다. 수돗 물에 출현하는 작은 수서동물류는 강장동물에서 절지동물에 이르기까지 다양하고 또 이들이 출현하게 되는 경위도 매우 다양하다⁵⁾⁶⁾⁷⁾. 깔따구 유충도 이러한 작은 수서동 물류의 하나로 알려져 있다. 수돗물 중에 나타나는 원인으로는 배수지 내부로 깔따구 성충의 침입·산란이 대부분이며³⁾⁷⁾⁸⁾, 급속모래여과층의 통과·누출에 대해서는 近藤⁹⁾ 및 小島¹⁰⁾이 지적하고 있는 정도이다.

이번 K정수장 배수구역에서 급속모래여과층을 통과한 것으로 명확하게 추정되는 깔 따구 유충 민원이 발생하여 이에 대한 대책으로 전염소 주입률 강화를 실시한 결과 어 느 정도 효과가 있는 것으로 나타나 이를 보고한다.

본문에 들어가기에 앞서 본 논문의 발표 기회와 교열을 해 준 도쿄도 수도국 타마가와 정수관리사무소장 농학박사 小島貞男에게 진심으로 감사드린다.

2. K정수장 개요와 민원 발생현황

K정수장은 하천 지표수를 수원으로 하여 완속·급속의 두 가지 여과방식(다만 본 조 사 후 완속여과 계통은 폐지됨)을 이용하여 정수처리를 하고 있다. 급속여과 계통은 횡류식 침전지 계통과 슬러리 순환형 고속응집침전지 계통의 2종으로 이루어져 있다.

1960년대에 들어 정수장 배수구역 내에서 수돗물 속에서 작은 수서동물이 출현했다는 민원이 간혹 발생되어 조사한 결과 대부분 깔따구 유충 때문이었다. 민원의 원인이 된 유충의 상당수는 몸길이(体長) 5 mm 전후로 선홍색을 나타내고 있었고 발견 시에도 생존하고 있는 것이 많았다. 1961~1964년의 4년간 접수된 깔따구 유충에 의한 민원은 4건이었으며 발생기간은 표 1에서와 같이 7월 중순 ~ 8월 상순에 한정되었고 특히 8월 상순에 집중되는 경향을 보였다.

표 1. 깔따구 유충 의한 민원 발생현황

연도	민원 건수	발생일
1961년	1	8월 8일
1962년	0	-
1963년	2	7월19일, 8월 5일
1964년	1	8월 6일
1965년	0	-

3. 발생원 추적

매년 7~8월에 깔따구가 우화(羽化, 번데기가 날개 있는 성충이 됨)한 후 남은 유충의 허물이 완속여과지에 다수 부유하는 현상이 있었던 점, 또한 민원 발생지점이 배수구역 내 극히 좁은 지역으로 한정된 점 등을 근거로 당초 깔따구 유충의 발생원은 전체 배수량 중 일부분을 차지하는 완속여과 계통에 있을 것으로 추정했다. 따라서 완속여과수 및 완속여과수 유출구 부근의 지(池)벽 등을 조사했으나 유충의 발생을 뒷받침할 만한 증거는 전혀 발견되지 않았다. 한편 이와 병행한 배수지 조사에서는 배수지 내벽에 유충이 서식하고 있는 흔적이 전혀 없었음에도 불구하고 배수지 내 물에서는 조사할 때마다 유충이 매번 검출되었다.

급속여과수를 중심으로 한 조사결과, 횡류식·고속식을 불문하고 각 계통의 여과수에서 유충이 검출되었으며, 붉은색인 것만 봐서도 1m³ 중 0.5~1개체의 존재가 확인되었다. 또 여과지 역세척수에서는 1m³ 중 10여 개체에 이르는 붉은색 유충이 검출되

었다. 이러한 점에서 유충의 발생원은 급속여과 계통에 있는 것으로 판단되었으나 모든 유충이 과연 모래여과층을 통과한 것인지, 혹은 어떠한 원인으로 여과지 하부의 압력수실(壓力水室)에 들어간 유충이 거기서 부착·번식하고 있는지에 대해서는 아직 의문으로 남았다.

이 의문점을 명확히 하기 위해 1965년 7월 하순에 고속응집침전지 계통의 여과지 34지 중 9지에 대해 압력수실 내벽(총면적 약 $400\text{m}^2/\text{지}$)의 육안 관찰과 그 세척수에 대한 검경(현미경 관찰)을 실시했다. 그러나 이 조사에서도 압력수실 내에서 깔따구 유충의 서식을 추정할 수 있는 흔적은 전혀 발견하지 못했다. 이에 따라 여과수 중의 유충은 모래여과층을 통과함으로써 야기됨이 확인되었으므로 이후에는 원수 및 침전수 중의 깔따구 유충 개체수와 여과수 중의 개체수에 대한 관계 규명을 목적으로 조사를 계속하였다.

4. 원수·침전수 및 정수 중의 유충 개체수

1) 조사방법

1965년 7월부터 K정수장의 원수, 고속응집침전지 침전수(2개 계통) 및 정수(2개 계통)에 대해 각각 주 1회 정기조사를 시작했다. 또한 필요하다고 판단되는 경우에는 수시조사도 실시했다. 침전수 및 정수에 대해서는 실험실 내 검사수전의 유출량을 10 L/min으로 조절하고 거름망($100\mu\text{m}$)을 설치하여 100 min·1,000 L의 여과 농축을 실시하였다. 원수는 실험실 검사수전으로 조사하기에는 오차가 발생할 가능성이 크다고 생각되어 횡류식 침전지 유입 직전의 유로에 거름망을 설치하고 거름망의 구경과 유속을 계산하여 1,000 L의 여과량이 되는 시간동안 채집하였다.

채취한 시료는 검정색 판상에 놓인 대형 페트리디쉬 내에 얇게 펴서 피펫을 이용하여 육안으로 유충을 골라냈다. 선별된 유충을 각 개별 검경으로 깔따구임을 확인하고 동시에 그 몸길이를 0.1 mm 단위로 측정했다. 유충은 적색·백색의 구별 없이 확인 가능한 모든 것을 대상으로 했다.

이 방법의 경우 원수 등에서는 깔따구 유충 이외의 부유물에 의한 방해가 커서 유충의 선별이 완벽하지 않았다. 숙련됨에 따라 미세한 유충의 선별수가 많아지기도 했으나 다른 최적의 방법이 없었기 때문에 상기의 방법으로 조사를 계속하였다.

2) 결 과

(1) 월 평균치의 연간 변화와 연평균치

1965년 7월~1966년 9월의 원수, 침전수 및 정수에서 깔따구 유충 개체수의 월별 평균치 변화를 그림 1에 나타냈다. 침전수 및 정수에 대해서는 각 2개 계통을 조사했는데 계통별로 큰 차이가 없어서 계통별로 구분하지 않고 일괄적으로 계산하였다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 원수, 침전수 및 정수의 유충 개체수는 강한 상관관계를 보였다. 이는 침전지부터 배수지까지 정수장 내 여러 처리시설에서 유충이 서식한 흔적이 없다는 조사결과와 함께 정수 중의 유충이 원수로부터 유래된 것임을 시사하는 것이다.

유충 개체수는 7~8월에 압도적으로 많았다. 이 2개월에 출현한 개체수가 연간 총수에서 차지하는 비율은 원수에서 약 52%, 침전수에서 약 84%에 달한다. 특히 정수에서는 약 97%가 7~8월에 출현하고 그 외의 기간에는 거의 검출되지 않을 정도로 감소한다.

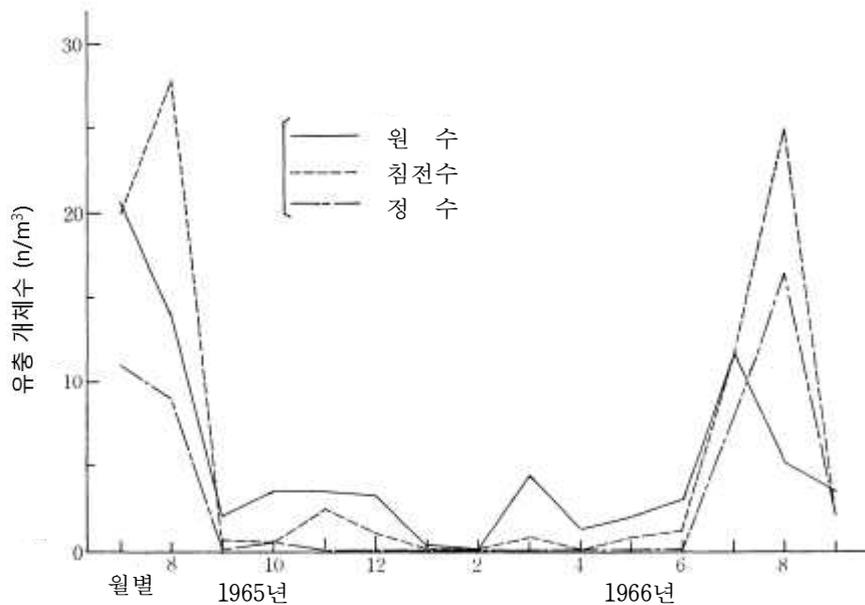


그림 1. 깔따구 유충 개체수의 월별 평균치 변화

정수 중의 유충 개체수는 침전수에서 보다 항상 작았다. 역세척수 중에 상당수의 유충이 검출된 것을 감안하면 여과지에서 유충의 일부분이 역류·제거되었다는 것이 분명해 보인다. 한편 원수 중의 유충 개체수가 7~8월에 침전수에서의 개체수보다 작은 경우도 있다. 그러나 이 기간에 원수 중의 부유물(생물체를 포함)이 특히 증가하여 유

충 선별 작업이 완벽하지 못했기 때문이라고 생각된다. 이는 유충을 선별한 후 원수 시료를 그대로 방치하면 깔따구 유충에 의한 관 형태의 유충집이 페트리디쉬 바닥에 여러 개 형성된다는 점, 또한 고속응집침전지 내에는 깔따구 유충의 보급원이 되는 서식처가 전혀 보이지 않는다는 점 등으로 판단할 수 있다.

연평균으로 보면 원수는 조사횟수 45회, 검출 유충 181개체(평균 4.0개체/m³), 침전수는 조사횟수 96회, 검출 유충 374개체(평균 3.9개체/m³), 정수는 조사횟수 80회, 검출 유충 138개체(평균 1.7개체/m³)였다. 이러한 수치에 의거한 여과지에서 깔따구 유충 제거율은 약 56%이다.

(2) 유량·수온과 유충수

1965~1966년의 6~9월 K정수장 수원인 하천의 유량·수온과 침전수·정수 중 유충 개체수의 각 일변화를 그림 2와 그림 3에 나타냈다.

두 해 모두 유충 개체수는 7월 하순경부터 급속히 증가해 8월 상순에는 최고에 달하고, 이후 점차 감소해 9월에는 극히 미미해진다. 이 변화는 앞에서 서술한 민원 발생기간 및 빈도와 매우 잘 일치한다.

한편 침전수와 정수 중의 유충 개체수 사이에도 상당히 강한 상관관계가 나타난다. 특히 8월 중순과 하순에 하천의 유량이 급증한 시기에 현저하다. 즉 이 시기에 강우로 인해 하천 유량이 급격하게 증가하면 그에 따라 즉시 침전수 및 정수 중 유충 개체수가 급격히 증가한다. 이러한 예는 그림 2에서 2회, 그림 3에서 1회 확인할 수 있다.

이러한 사실들은 수돗물의 깔따구 유충은 모래여과층을 통과하여 정수로 누출되었을 것이라는 앞서의 추정을 보다 확실하게 함과 동시에 그 발생원이 역시 수원인 하천에 있음을 시사하고 있다.

깔따구 유충이 7월과 8월에 왜 대량 발생하는지는 확실하지 않지만 지금까지의 보고에 따르면 깔따구 세대 간격은 수온이 상승함에 따라 단축되어 특히 20~25℃ 이상에서는 현저히 짧아지는 것이 관찰되고 있으므로¹¹⁾¹²⁾, K정수장의 수원인 하천에서도 고수온 시에는 우화, 산란, 부화가 빈번히 반복된 결과, 하천 바닥에서 깔따구 유충 발생량이 증대되고 그에 따라 강우 시 유하한 유충도 증가한 것으로 생각된다. 그림 2와 그림 3을 보면 깔따구 유충 개체수가 현저히 증가하는 시기는 하천 수온이 25~26℃ 이상인 시기와 상당히 잘 일치한다.

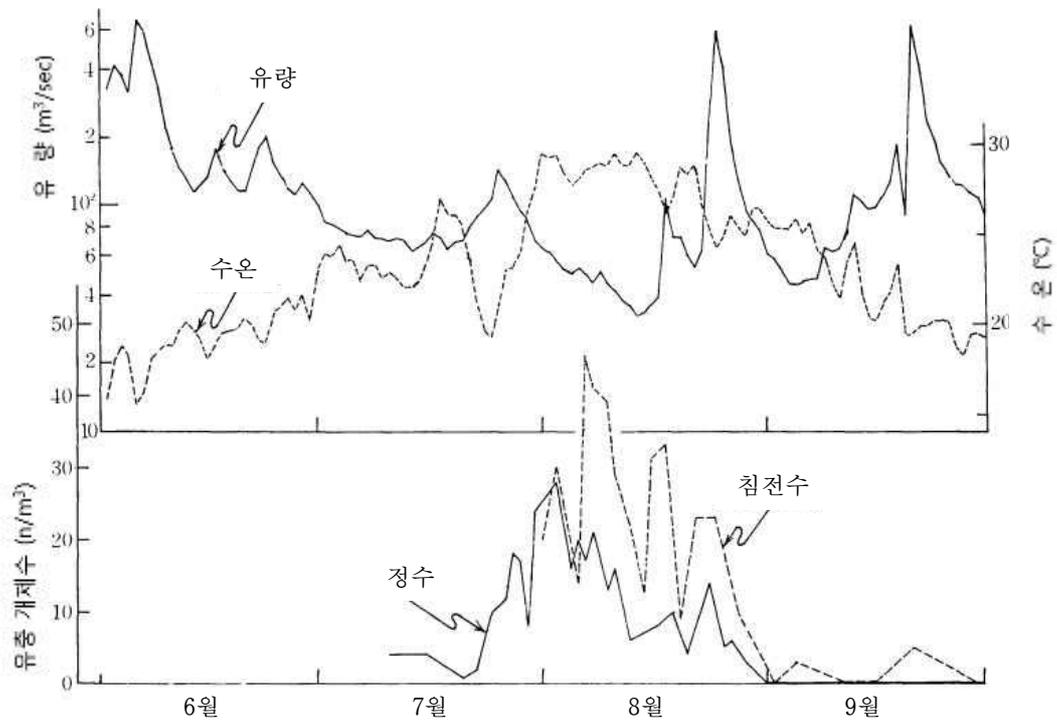


그림 2. 유량·수온과 갈따구 유층 개체수의 관계(1965년)

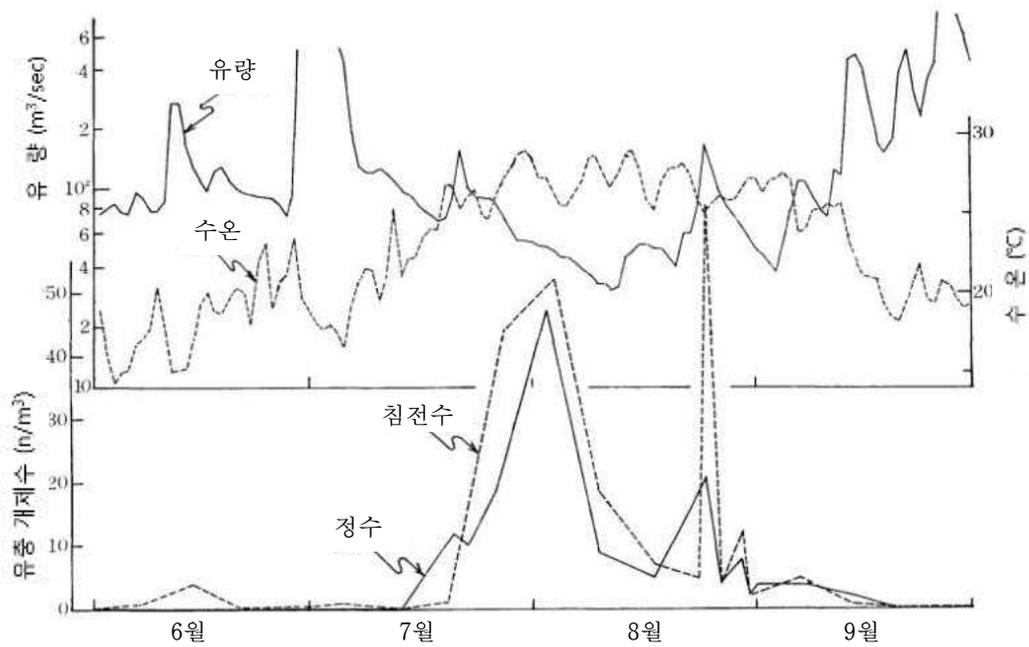


그림 3. 유량·수온과 갈따구 유층 개체수의 관계(1966년)

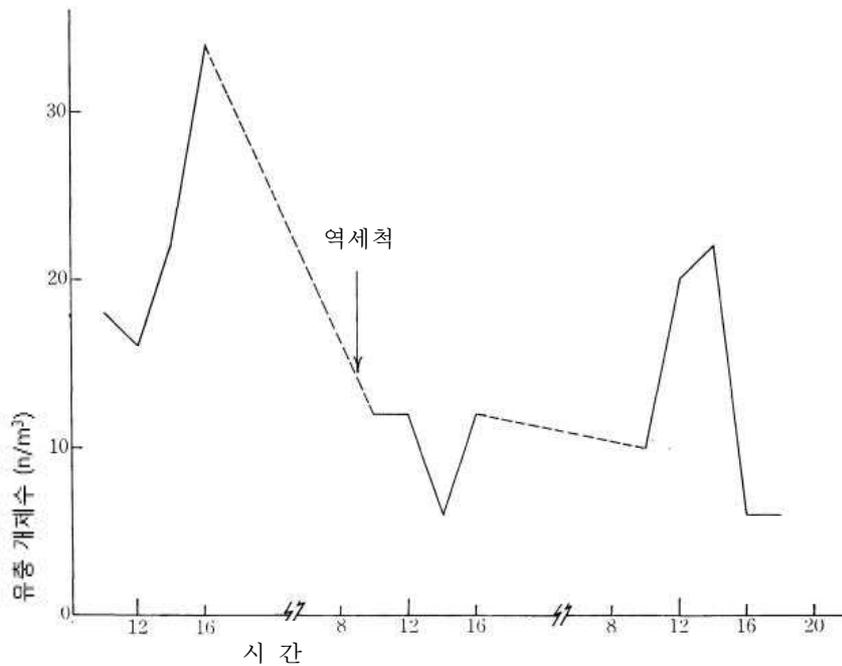


그림 4. 여과지속시간과 깔따구 유충 개체수

(3) 여과지속시간과의 관계

깔따구 유충과 같은 크기를 가진 생물이 어떻게 모래 여과층을 통과하는지는 명확하지 않지만, 그 원인으로 역세척시 난류에 의한 휘말림, 다른 하나는 여과지속시간 중에 하부로 침입을 생각할 수 있다. 통과 원인이 만약 후자라면 여과수 중의 유충 개체수는 여과지속시간과 함께 증가하는 경향을 보일 것이고, 전자라면 이와는 오히려 반대의 경향을 보일 것이다. 이 점을 확인하기 위해 여과지 1개를 대상으로 선정하고 거의 2시간마다 여과수를 조사했다. 그림 4에 그 결과를 나타냈다.

낮에만 조사했기 때문에 더 자세한 결과는 얻을 수 없었지만 그림 4에서 볼 수 있듯이 역세척 전날에는 30개체/m³ 이상 검출되었던 것이 역세척 후에는 10개체/m³ 전후로까지 감소했다. 따라서 유충의 모래여과층 통과는 여과지속시간 중에 어떠한 작용에 의해 점차 하부로 침입하여 마침내 누출되는 기작에 의한 것으로 판단된다.

5. 종 류

원수~정수 중에 출현하는 유충이나 민원으로 접수된 유충의 종류에 대해 상세하게 검토할 여유는 없었다. 그러나 10여 개체에 대해 간단히 조사한 결과에서는

더듬이를 머리 안쪽으로 끌어들일 수 없다

더듬이 제3절에는 고리무늬가 없다

보조아랫입술관이 존재한다

등의 특징으로 보아 모두 깔따구아과(chironominae)¹³⁾에 속하는 것으로 생각된다. 그러나 아랫입술관의 이빨이 홀수인 것도 있고 짝수인 것도 있으므로 유충이 모두 같은 종속이라고는 볼 수 없다.

6. 몸길이(体長)별 출현 빈도

정기조사 및 수시조사에서 검출된 유충에 대해 가능한 한 몸길이를 측정했다. 1965년 7월~1966년 8월에 측정한 개체수는 원수에서 198개체, 침전수 665개체, 정수 627개체, 총 1,490개체였다. 이 중 1965년 8월~1966년 7월의 12개월 간 몸길이별 출현 누적빈도분포는 그림 5와 같다.

침전수와 정수에서는 서로 상당히 비슷한 대수정규분포에 가까운 상태를 보이고 있으나 원수에서는 거의 정규분포를 이루고 있다. 그러나 이는 앞서 기술한 바와 같이 유충을 확인하고 선별하는 작업에 있어 부유물로 인해 방해를 받아 특히 소형 유충을 모두 분류하지 못한 결과로 생각된다. 아마도 원수에서의 분포도 침전수·정수와 마찬가지로 대수정규분포에 가까울 것으로 추정된다.

표 2는 월별로 산출한 평균 몸길이이다. 계절적으로 특별한 변화 경향은 없었다. 침전수에서의 평균 몸길이가 일반적으로 원수에서보다 작은 것은 원수에서 소형 유충 선별 작업이 불충분했던 결과로 생각된다.

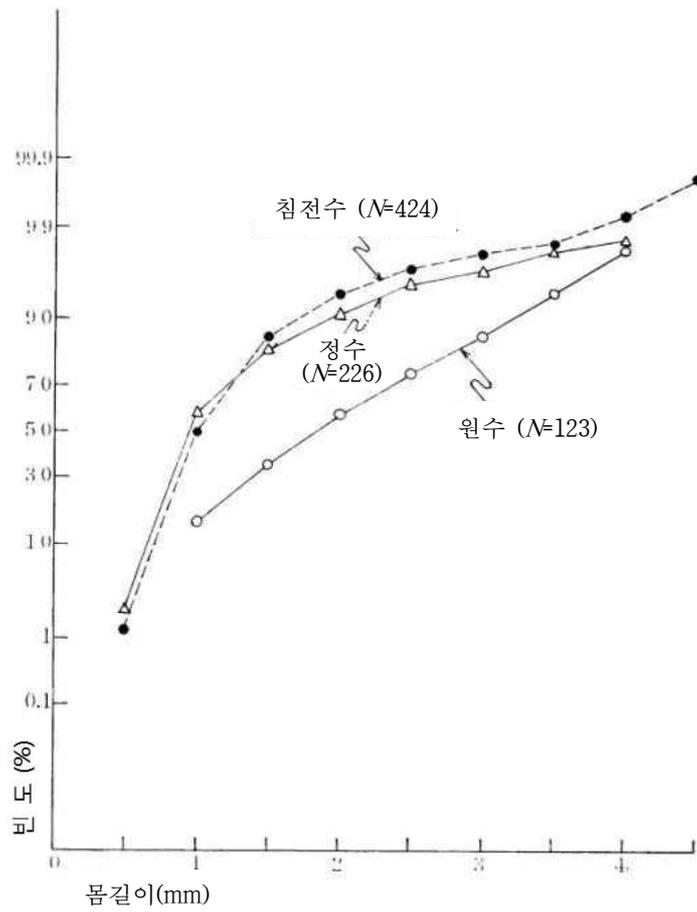


그림 5. 갈따구 유충 몸길이별 빈도 분포(1)
(1965년 8월 ~ 1966년 7월)

표 2. 갈따구 유충의 월별 평균 몸길이

(단위: mm)

구 분	1965년						1966년								
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
원 수	1.86	1.80	1.63	1.14	2.04	1.55	0.75	-	2.43	2.45	2.33	1.92	2.11	1.52	-
침전수	0.80	1.10	1.13	1.50	1.35	0.75	-	-	1.50	-	1.25	2.35	1.12	1.15	-
정 수	1.14	1.18	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65	0.91

7. 전염소 처리 효과

1) 전염소 주입률 증가

깔따구 유충이 원수로부터 유입되어 급속여과지를 통과·누출된다는 사실이 거의 확인되면서 그 대책으로서 전염소 강화를 고려하였다. 민원으로 접수된 유충은 아직 생존한 것이 대부분이므로 염소에 의해 유충을 사멸시키는 것은 당연히 불가능하다고 생각됨에도 불구하고 염소의 사용을 고려한 것은 다음과 같은 이유 때문이다. 즉 염소는 먹는물에 주입이 허용되며 현재 보유하고 있는 시설을 그대로 이용할 수 있는 약품인 점, 동시에 모래여과지에서 유충의 침입·누출이 유충 자체가 지닌 운동성에 기인하는 것이라면 염소에 의해 그 운동성을 약간이나마 저하시킴으로써 여과지에서의 저지율을 높일 수 있을 것으로 기대했기 때문이다.

그러나 K정수장에서는 1966년 8월에 하천의 유기오염 증가로 인해 망간 장애가 발생하여 이에 대한 대책으로 이미 전염소 주입률을 높이게 되었다. 그 결과 침전수 잔류염소는 기존의 0.3~0.5 mg/L에서 약 1.0 mg/L까지 높아졌다.

2) 유충 개체수의 변화

전염소를 강화한 1966년 8월과 그 이전 1965년 8월의 침전수와 정수에서 유충의 몸길이별 평균 개체수를 표 3에 나타냈다.

전염소 강화 전후 정수에서 몸길이 2.1 mm 이상인 유충의 개체수에 현저한 차이가 있었다. 즉 침전수에서는 전염소 강화 전후로 거의 차이가 없어 거의 1m³당 1개체인데 비해 정수에서는 전염소 강화 전에 1m³당 1개체에서 강화 후에는 약 1/5로 감소하였다. 특히 강화 후에 몸길이 3.1 mm 이상의 유충은 전혀 검출되지 않았다.

1965년 8월과 1966년 8월에 원수·침전수 및 정수 중 유충의 몸길이별 누적빈도 분포는 그림 6 및 그림 7과 같다. 그림 6에서 원수 및 침전수에서는 두 달 간의 차이가 거의 없어 그림 5의 연간 누적빈도분포와도 거의 일치하고 있다.

이에 반해 그림 7에서 정수의 1965년 8월 누적빈도분포는 그림 5와 잘 일치하고 있지만 1966년 8월의 누적빈도분포곡선은 빈도가 높게 시작하여 대형 유충은 검출되지 않았다.

이러한 사실은 전염소 주입률 증가가 대형 깔따구 유충의 누출 억제에 효과적이고, 그 억제 효과는 침전지에서가 아니라 여과지에서 작용하고 있다는 것을 각각 보여주고 있다.

표 3에는 몸길이 0.5mm 이하의 유충이 전염소 강화 전보다 강화 후에 오히려 많이 검출된 사실을 알 수 있다. 그러나 이는 전염소를 강화하면 소형 유충의 누출을 용이하게 된다는 것을 의미하는 것이 아니고, 1년 동안 조사를 지속하면서 소형 유충 선별 기술이 숙달되어 특히 부유물이 없는 정수에서 소형 유충을 많이 선별할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다.

표 3. 전염소 주입물 강화 전후 깔따구 유충의 몸길이별 출현 개체수

(단위: 개체수/m³)

구 분	연월	잔류염소 (mg/L)	몸길이 (mm)				
			0.1~1.0	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~
침전수	'65년 8월	0.50	12.5	11.0	0.74	0.15	0.22
	'66년 8월	1.0	11.1	12.2	0.63	0.32	0.21
정 수	'65년 8월	1.8	6.25	3.81	0.81	0.38	0.25
	'66년 8월	1.5	15.3	5.41	0.22	0	0

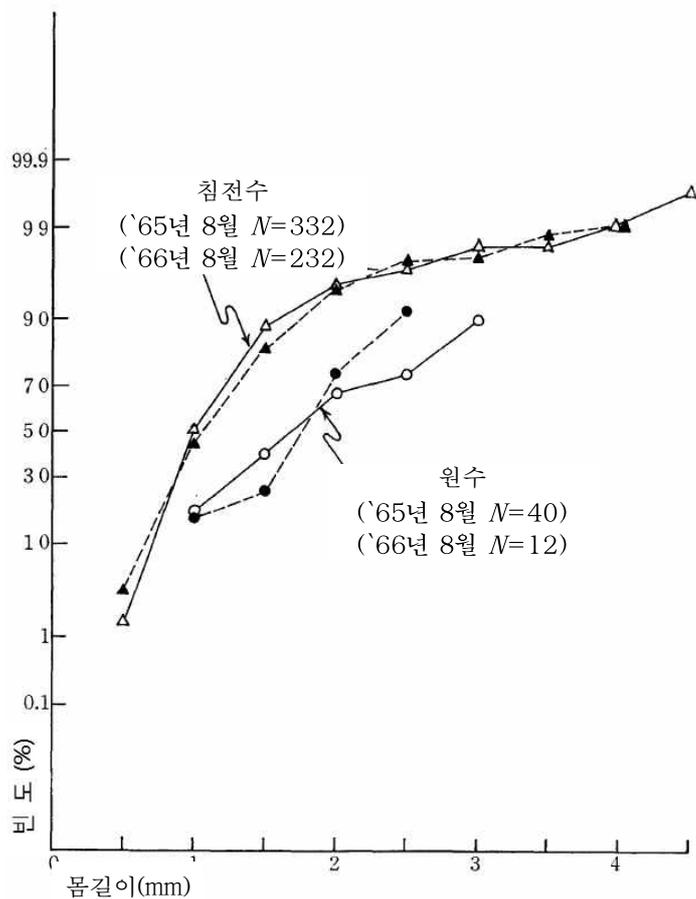


그림 6. 깔따구 유충 몸길이별 빈도 분포(2)
(백점·실선: 1965년 8월, 흑점·점선: 1966년 8월)

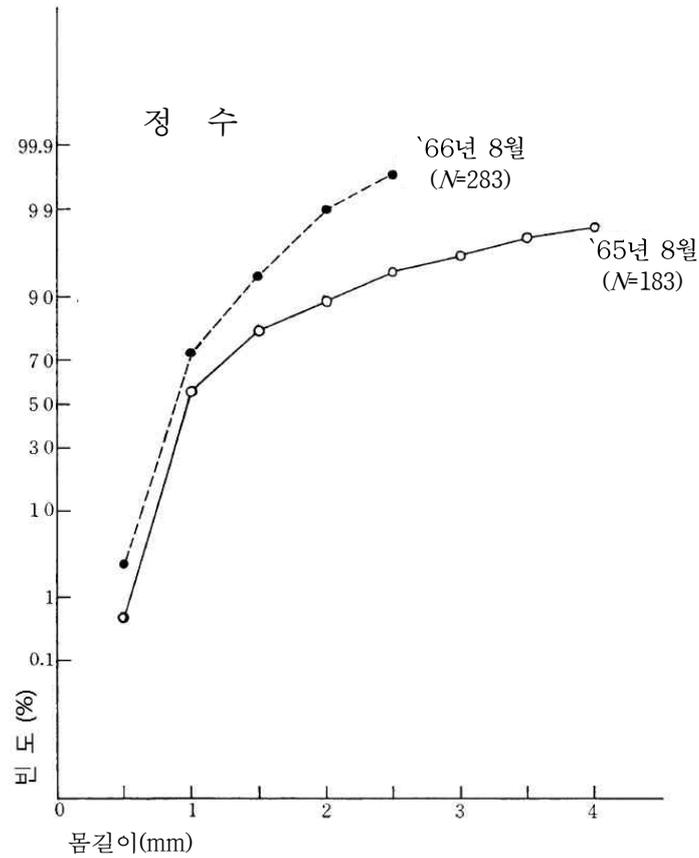


그림 7. 깔따구 유충 몸길이별 빈도 분포(3)

8. 고찰

본 논문의 앞부분에 기술한 다음 사항과 같이

- i) 여과지 하부 압력수실(壓力水室) 등 여러 시설에 깔따구 유충의 서식을 의심할 만한 하는 흔적은 전무했다는 점
- ii) 민원 발생 기간과 정수에서 깔따구 유충 개체수 발생 증가 기간이 거의 완전히 일치하는 점
- iii) 침전수와 정수의 유충 개체수 사이에는 강한 상관관계가 있다는 점
- iv) 수원인 하천 유량이 급격히 증가하는 시기에는 침전수, 정수 중의 유충 개체수 도가 급증하는 점
- v) 완속여과수에서는 유충이 발견되지 않았을 것

등으로부터 K정수장 배수구역 내에서 민원이 접수된 깔따구 유충은 그 발생원이 하천에 있으며, 원수와 함께 유입되어 침전지, 급속여과지를 통과해 정수로 누출된 것임은 의심할 여지가 없다.

본 조사의 대상인 고속응집침전지-급속여과지의 2개 계통은 1963년 및 1964년에 각각 건설된 것으로 침전지의 체류시간은 100~150분, 여과지는 회전식 표면세척장치를 갖추고 있어 150 m/일 전후의 여과속도로 상시 운전되고 있었다. 상세히 비교 검토하지는 않았지만, 수회의 조사 결과에 따르면 다른 2개의 급속여과 계통, 즉 1933년 및 1941년에 건설된 횡류식 침전지-급속여과지(표면세척장치 없음)와 고속응집침전지 계통에서 깔따구 유충의 누출 개체수는 거의 차이가 없었다. 따라서 깔따구 유충의 통과·누출은 고속응집침전지와 횡류식 침전지, 모래여과층의 신구(新舊), 표면세척 유무 등에 관계없이 급속여과 계통에서 거의 동일하게 발생한 것으로 간주되며, 이 정도의 처리 방식의 차이는 깔따구 유충의 누출 정도에 거의 차이를 초래하지 않는 것으로 생각된다.

깔따구 유충의 모래여과층 통과가 어떤 기작(메카니즘)에 의해 이루어지는 명확하지 않지만 近藤⁹⁾도 지적했듯이 그 운동성이 크게 영향을 주는 것으로 보인다. 조류에 있어서도 운동성이 큰 종류, 예를 들어 *Nitzschia acicularis*(규조류) 등은 비교적 여과수에 누출되는 정도가 높은 것으로 경험상 알려져 있으며, 또한 운동성이 있는 선충의 경우 55~60%가 급속모래여과지를 통과했다는 실험 사례¹⁴⁾도 있는 것으로 보아, 이들 운동성을 가진 생물은 일반적으로 급속모래여과지를 매우 통과하기 쉬운 것으로 생각된다.

K정수장 배수구역 내에서 모든 민원이 붉은색의 대형 유충에 의해 발생하는 것으로도 알려졌듯이 깔따구 유충은 성장함에 따라 대형화되고 동시에 몸체의 색상이 투명한 백색에서 농적색으로 변하기 때문에 눈에 잘 띈다. 전염소 강화는 깔따구 유충 누출을 방지하는 대책으로서는 결코 완전한 방법은 아니지만 눈에 잘 띄는 붉은색 대형 유충에 대한 여과지에서의 제거율을 높여주기 때문에 민원을 감소시키는 데는 큰 효과가 있다. 사실 K정수장에서는 전염소 강화를 실시한 1966년 8월 이후, 깔따구 유충에 의한 민원은 완전히 없어졌다.

9. 결 론

- 1) K정수장의 배수구역 내에서 민원 발생의 원인이 된 깔따구 유충은 발생원이 수 원인 하천 지표수로 밝혀졌다.
- 2) 원수와 함께 유입되는 깔따구 유충의 개체수는 수온이 25~26℃ 이상이 되는 7 월 하순~8월 상순 사이에 급격히 증가한다. 이 기간은 민원 발생 기간과 잘 일 치한다.
- 3) 깔따구 유충은 황류식 침전지와 고속응집침전지, 모래여과층의 신구(新舊), 표면 세척 장치의 유무에 관계없이 침전지 및 여과지를 통과·누출하였다. 여과지의 유 충 제거율은 약56%였다.
- 4) 깔따구 유충이 여과지로부터 누출된 개체수는 여과지속시간과 함께 증가하는 경 향을 보였다.
- 5) 전염소 주입률 강화는 깔따구 유충의 누출을 완전히 차단하지는 못했지만 여과지 에서 대형 유충의 제거율을 높였기 때문에 민원을 감소시키는 것에는 큰 효과가 있었다.

참고 문헌

- 1) 近藤正義 : 砂ろ過水ならびに給水栓水中微生物に関する若干の考察. 大阪市 水道局水質 試験所報告, 第5集, 13~21. 1954.
- 2) 酒井檉 : 淨水池におけるろ膜と生物の關係について. 応用動物學雜誌, 2, 3. 1930.
- 3) Collingwood, R. W. : Occurrence, significance and control of organisms in distribution systems (Subject No.3 of the International water supply congress, Barcelona, 1966), British W. W. A. Jour. 98, 418, 541~553. 1966.
- 4) Phillips, J. H.: Discovery and control of live organisms in the Great Yarmouth water supply. Jour. AWWA, 60, 2, 228~236. 1968.
- 5) 近藤正義 : 上水道におけるろ水中に現れる生物について(その一). 水協雜, 21, 82~ 72. 1935.
- 6) — : 同 上 (その二). 水協雜, 22, 55~70. 1935.
- 7) — : 水源と水質. 1~87, 大阪水道工業會, 大阪府. 1958.

- 8) Silvey, T. K. G. : Blood worms in distribution system, Jour. AWWA, 48, 3, 275~280. 1957.
- 9) 近藤正義 : 急速ろ過の生物學的調査ならびに 緩急兩ろ過法における ろ水中出現生物の比較. 水協雜, 9, 40~52. 1934.
- 10) 小島貞男 : 生物試験の手引き. 1~251, 月刊水發行所, 東京都. 1964.
- 11) 狩谷貞二 : 赤ポーフラの飼育. 水産増殖, 3, 1, 1~11. 1955.
- 12) 北川礼澄 : 吉野川におけるユスリカ幼虫 *Spanitoma* sp. Aの成長の研究. 陸水雜, 30, 2, 59~67. 1969.
- 13) 津田松苗編 : 水生昆虫學. 1~269, 北隆館, 東京都. 1962.
- 14) Seth, A. K. : Nematoda removal by rapid sand filtration. Jour, AWWA, 60, 8, 962~968. 1968.

大阪府 村野浄水場のオゾン管理(夏季ユスリカ対策の評価) 오사카 무라노 정수장 오존 관리(하절기 깔따구 대책 평가)

무라노 정수장 수질과 原田 瞬一, 桂野 龍太郎, 内橋 孝行

요약

무라노(村野) 정수장에서는 유기물 처리와 브롬산염 제어를 양립하기 위해 2006년부터 오존 주입률 상한치를 설정하고 오존접촉조 출구(유출수)의 용존오존 농도를 지표로 한 오존 관리를 실시하고 있다.

2007년 여름에 밀폐형 입상활성탄 흡착지의 GAC 상부 공간에 깔따구가 발생하여 이에 대한 대책으로 2008년부터 오존 주입을 강화하였다. 본 논문에서는 깔따구 대책 추진현황 및 평가분석을 실시하고 향후 오존 관리 방안에 대해 보고한다.

Key words : 무라노 정수장, 오존관리, 브롬산염 제어, 깔따구 대책

주) 무라노 정수장의 처리계통 표기: N계열(평면형 고도정수처리동 북쪽계열), S계열(평면형 고도처리동 남쪽계열), K1계열(수직형 고도정수처리 2호동), K2계열(수직형 고도정수처리 1호동), 1P(제1 송수펌프동), 2P(제2 송수펌프동)

※ 평면형 고도정수처리(N, S계열) : 일반적인 정수장 처리공정 배치 형태

※ 수직형 고도정수처리(K1, K2계열) : 정수공정을 건물 내에 수직 배치(위층에서 아래층으로)

1. 서론

2004년에 브롬산염이 수질기준(기준치 0.01mg/L)에 포함된 이래 오존 처리를 도입한 정수장에서는 오존부산물에 대한 대책을 강구해 왔다. 브롬산염은 사람에게 대한 발암 가능성이 우려되는 물질로 원수 중에는 거의 존재하지 않으며 비교적 안정적이어서 송수 공급 중에도 농도 변화는 거의 없다. 오존 처리 시 생성되므로 해결해야 할 과제로 여겨지고 있으며 무라노 정수장에서는 주로 오존 주입률을 낮추는 방법으로 대응해 왔다. 그러나 2007년에 용존오존 농도 저하가 원인이 되어 입상활성탄 흡착지(이하 GAC) 상부에 깔따구 성충이 발생했다. 따라서 2008년부터 브롬산염 저감과 깔따구 제거 대책을 위한 새로운 오존 관리 방법을 검토·실시하고 보고한다.

2. 오존 관리 경위/현황

2.1 오존 관리 경위

2002년까지 오존 처리는 맛·냄새 물질, 트리할로메탄 전구물질 등 유기물질 분해의 목적과 전염소 중지 후 용존성 망간 산화 제거를 목적으로 GAC 입구(유출수)에서 용존오존 농도를 0.1 mg/L 이상 유지하는 관리 방법을 채택해 왔다.

그러나 2004년에 브롬산염이 수질기준에 포함되어 이전의 방법으로는 브롬산염 생성 농도가 기준치를 초과할 우려가 있었다. 따라서 유기물을 처리하면서 브롬산염 생성도 억제하기 위해 2006년부터 오존접촉조 유출수(이하 오존 출구)의 용존오존 농도를 0.1 mg/L로 억제하기 위해 오존 주입률 상한치를 0.8 mg/L로 설정한 저오존 관리 방안을 마련했다(표 1).

강우로 인한 원수 수질악화 등 망간이나 유기물이 고농도인 경우에는 브롬산염 농도를 기준치 이하로 억제하면서 고농도 망간 등도 처리할 수 있도록 최대 오존 주입률 [브롬산염 농도가 수질기준의 70% 이하(0.007 mg/L)가 되도록 정한 상한치]을 설정하여 적용하기로 하였다(표 2).

표 1. 오존 관리 경위

대상기간	용존오존 농도 목표치 (오존접촉조 출구)	오존 주입률 상한치
2002년 이후 (연중)	0.1 mg/L (GAC 입구)	...
2004년 이후	브롬산염 수질기준 추가 (기준치 0.01 mg/L)	
2006년 이후 (연중)	0.1 mg/L	0.8 mg/L
2007년	여름철 GAC 상부 공간에 깔따구 성충 발생	
2008년 여름철 깔따구 대책	4~6월/10~3월	0.1 mg/L
	7~9월	0.1 mg/L (하한치 0.05 mg/L)
2014년 이후 (연중)	0.1 mg/L	1.0 mg/L

*오존 출구 용존오존 농도가 0.05 mg/L 미만인 경우 최대 오존 주입률까지 상승

표 2. 최대 오존 주입률 상한치*

원수 수온 (°C)	2	3	4	5	6	7	8	9~10	11~12	13~15	16~19	20~24	25~30
최대 오존 주입률 (mg/L)	2.8	2.5	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2

*브롬산염 농도 0.007 mg/L 초과 방지 및 오존 출구 용존오존 농도 0.05 mg/L 미만 시에 적용

2.2 오존 관리 현황

2007년 9월에 K1계열 GAC 상부 공간에 깔따구 성충이 다수 발생했다(그림 1). 원인은 여름철 고수온 시에 용존오존의 자기분해가 촉진되고 오존 출구의 용존오존 농도가 저하됨으로써 GAC 상부 공간에 오존이 소실되어 오존 소독효과가 감소함에 따라 깔따구 성충의 번식활동이 활발해졌기 때문으로 여겨진다. 따라서 2008년부터 깔따구(성충) 대책을 위해 여름철(7~9월)에 오존 주입률 상한치를 0.8 mg/L에서 1.0 mg/L로 높이고, 깔따구 성충이 증가하는 징후가 있는 경우(오존 출구의 용존오존 농도가 0.05 mg/L 미만)에는 최대 오존 주입률까지 상승시키는 방법을 적용하기로 하였다. 깔따구 성충 대책을 실시하면서 브롬산염 생성도 억제하기 위한 것이다.

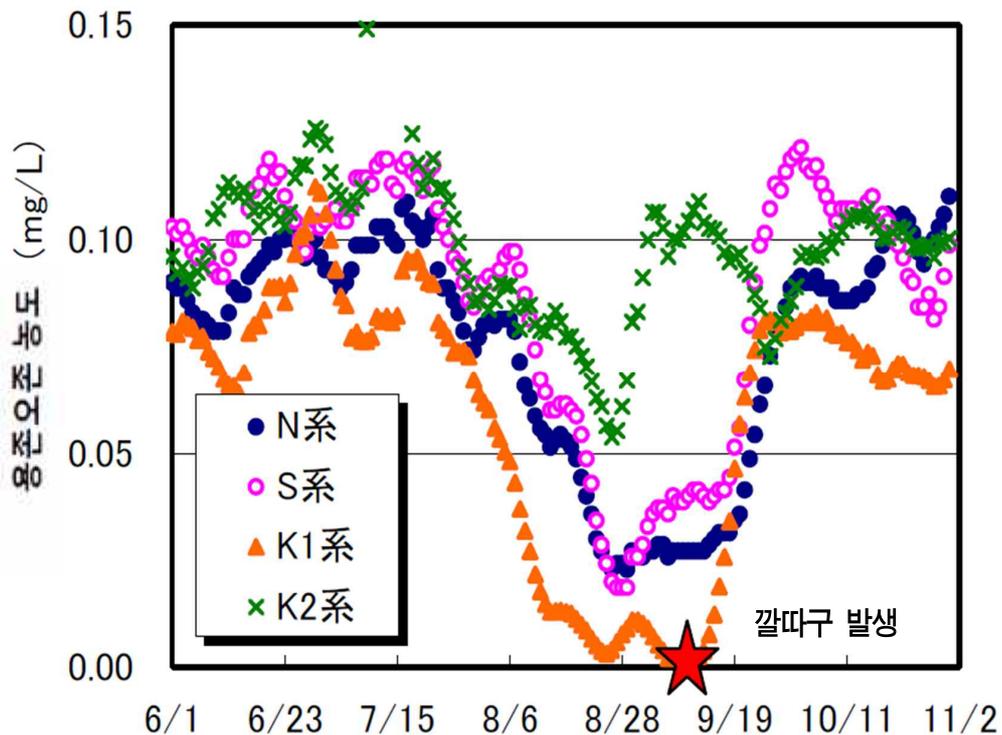


그림 1. 2007년 오존집축조 출구(유출수) 용존오존 농도(7일 이동평균치)

3. 하절기 깔따구 대책 개요

3.1 깔따구 특징

깔따구(그림 2)는 모기와 마찬가지로 쌍시목(雙翅目)에 속하는 곤충으로 호소, 하천, 바다, 온천 등에 분포한다. 유충은 나비·나방의 유충 모양으로 하천 등의 바닥에 퇴적된 유기물이나 표면 위에 번성한 조류 등을 먹으며 급속히 성장하고 번데기를 거쳐 성충이 되면 먹이도 먹지 않고 때를 지어 생식(生殖) 활동을 하며 산란을 마치고 숨을 거둔다. 그러나 5℃ 이하의 수온에서는 거의 활동하지 않고 유충은 진흙 속에서 휴면한다. 몸길이는 일반적으로 1 cm 이하로 작으며 종류는 수천 종이 넘는다. 오염된 환경에 서식하는 깔따구 유충은 붉은색을 띤다.



그림 2. 깔따구 성충과 유충

수도시설에서 침전지나 여과지에서 다량의 산란이 있을 경우 부화한 유충이 여과층을 통과하여 여과수로 유출된다. 유충은 키틴(chitin)질의 머리와 체절(體節)로 되어 있어 염소에 의해 유충이 쉽게 파괴되지 않으나 산화력이 강한 오존을 일정농도를 확보함으로써 제거도 가능하다. 무라노 정수장의 정수처리 과정에서 밀폐형 GAC 상부 공간에 깔따구 발생이 확인되었는데, 앞서 언급한 깔따구의 생태로 볼 때 원수 중의 알이나 유충집(tube nest, 유충 스스로 만든 실크 튜브)에 서식하는 유충 등이 오존 접촉조를 거쳐 GAC로 유입되어 증식한 것으로 추정된다. 정수장에서는 전염소 주입을 완전히 폐지한 상태이다.

3.2 하절기 깔따구 성충 대책 (예방적 대책)

오존 관리에 의한 대책은 GAC 상부 공간에 가능한 한 오존이 잔류하도록 하고 깔따구 성충이 GAC 상부에서 번식·발생시키지 않도록 하는 것을 목적으로 한 예방적 대책이다. 이와 같이 깔따구의 한살이(life cycle) 중 성충기 부분에서 끊어야 증식이나 새로운 발생을 막을 수 있다. 오존 출구의 용존오존 농도 목표치를 0.1 mg/L, 하

한치를 0.05 mg/L로 하고 오존의 자기분해가 촉진되는 여름철에 이 농도를 확보하기 위해 오존 주입률 상한치를 이전의 0.8 mg/L에서 1.0 mg/L까지 상승시켜 운영하고 있다.

또한 GAC 상부 공간에서 날아다니는 성층의 발생 현황을 GAC 상부 창(밀폐형 내부를 볼 수 있는 창)을 통해 육안으로 감시하고 용존오존 농도의 하한치를 확보할 수 없는 경우에는 처리 수질을 확인한 후 오존 주입률 상한치를 단계적으로 최대 오존 주입률까지 상승시켜 대응하기로 했다(표 3).

표 3. 하절기 깔따구 성층 대책 (예방적 대책)

대상기간	2008년 이후	7월 1일 ~ 9월 1일
오존관리	오존접촉조 출구 용존오존 농도	오존 주입률
	0.1 mg/L(하한치 0.05 mg/L)	1.0 mg/L 용존오존 농도 하한치 미만 ⇒ 최대 오존 주입률까지 상승
깔따구 성층 감시	GAC 상부 창으로 깔따구 성층 감시 (주 1회 정도)	

오존 주입률을 상승시키면 브롬산염 생성량도 증가하기 때문에 본 대책 시행중에는 브롬산염 농도 증가에 유의하면서 모니터링한다. 필요한 계통만 개별적인 판단을 통해 오존 주입률을 상승시키는 등의 방법으로 정수에서 브롬산염 농도가 증가하지 않도록 고려할 필요가 있다.

4. 오존 강화 대책 평가

4.1 고수온기 오존 강화에 의한 브롬산염 농도 증가 우려

2008년도부터 하절기 깔따구 대책으로 고수온기(7~9월)에 오존의 주입률 상한치를 0.8 mg/L에서 1.0 mg/L로 높임으로써 브롬산염 농도가 증가할 우려가 있었으나 2008~2013년까지의 발생 현황(그림 3)을 보면 브롬산염 농도는 기준치의 40% 미만으로 낮게 유지되고 있었다는 것을 확인할 수 있다.



그림 3. 정수 중 브롬산염 농도 추이

4.2 오존 강화 후 갈따구 성층 개체수 추이

갈따구 성층의 육안 감시결과를 보면 2008년 이후에는 평면형 고도정수처리계열의 GAC 상부 공간에서 갈따구 성층이 관찰되지 않았으며 수직형에서는 매년 감소 추세이다(그림 4).



그림 4. 오존 강화 후 갈따구 성층 개체수 추이

또한 GAC 유출수에서 깔따구 유충이 한 개체라도 검출되었을 경우에는 GAC 세척 주기를 통상적인 72시간에서 36시간으로 단축하고 있다. 또는 10 mg/L 차아염소산나트륨에 의해 GAC 하부집수장치를 약 1일간 침지(침지는 K1계열, K2계열의 블록별 실시)시켜 GAC층의 생물을 관리하고 있다(표 4).

표 4. 깔따구 유충 검출 시 대응법

대상기간	2008년 이후 7월 1일 ~ 9월 1일
GAC 역세척주기 단축	72시간 ⇒ 36시간으로 단축
염소수 침지(浸漬) (블록별)	GAC 하부집수장치를 24시간 차아염소산나트륨 10 mg/L에 침지

GAC 하부집수장치를 침지하는 것은 유충 등의 발생에 즉효성이 있는 유효한 방안이다. 하지만 침지 중에 해당 블록의 GAC를 운휴하게 되면 여과수량, GAC 역세척수량, 송수량 등을 고려한 계열별 처리수량 할당 등 정수장 운영에 영향을 주므로 이에 대한 고려도 필요하다.

5. 향후 오존 관리방법 전망

5.1 오존 관리의 변경

하절기 깔따구 대책으로 현재 7~9월에만 오존 주입률 상한치를 1.0 mg/L로 설정하고 있지만 2014년부터는 연중 오존 주입률 상한치를 1.0 mg/L로 적용할 예정이다. 오존 상한치를 높임에 따라 브롬산염 상승이 우려된다. 하지만 오존 주입률을 증가시켜야 하는 수질악화 시와 수온이 높은 7~9월을 제외하면 주입률 0.8 mg/L 이하에서 오존 출구의 용존오존 농도 0.1 mg/L을 확보할 수 있으므로 주입률 상한치를 연중 1.0 mg/L로 하더라도 브롬산염 생성량은 이전과 크게 다르지 않을 것으로 판단된다.

5.2 깔따구 성충 감시의 변경

평면형 계열에서는 2008년부터 약 6년간 깔따구 성충이 발견되지 않아 2014년부터 성충 감시를 폐지할 예정이다. 수직형 계열에서는 매년 몇 개체 정도 관찰되기 때문에 감시를 계속하면서 평면형 계열과 같은 억제 효과를 얻을 수 있도록 하절기 깔따

구 대책을 강화할 예정이다.

깔따구 성충의 개체수가 평면형 계열보다 수직형 계열에서 많은 것은 GAC 유입수의 용존오존 농도가 평면형 계열보다 수직형 계열이 더 낮고 0 mg/L의 농도가 되는 기간도 길기 때문이라고 생각된다(그림 5).

이러한 이유는 수직형 계열이 용량의 50%만 가동하고 있고 오존접촉조에서 GAC까지 체류시간도 길어 오존의 자기분해가 진행되기 때문이다.

수직형 계열의 체류시간이 평면형 계열보다 긴 이유는 유량, 관경 등이 관련되어 있지만 내년부터는 GAC 유입수의 용존오존 측정기를 이용해 보다 적절한 오존 주입률을 검토하여 수직형 계열의 생물관리에 더욱 노력할 예정이다.

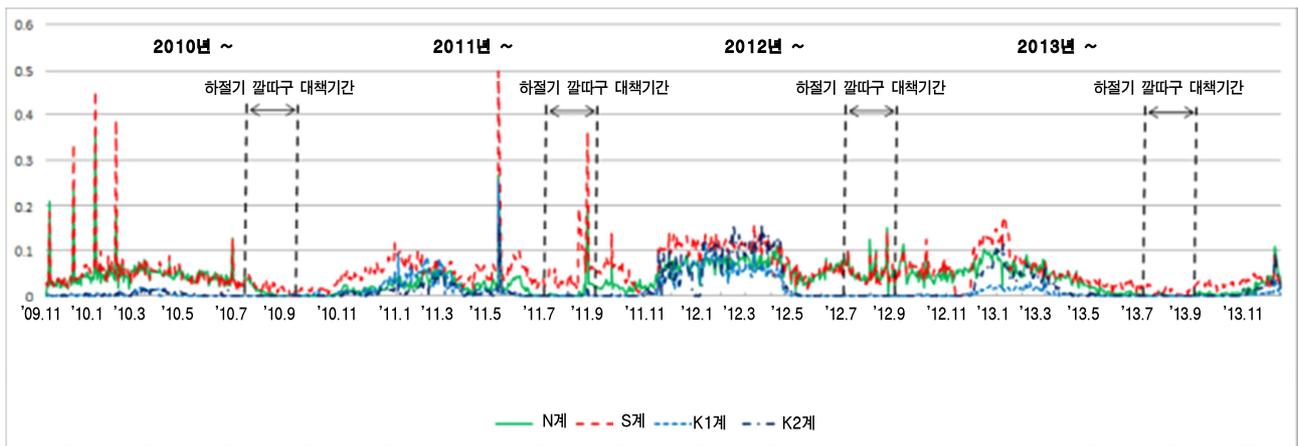


그림 5. 계열별 GAC 입구 용존오존 농도 추이

6. 결론

2008년부터 실시한 하절기 깔따구 대책에서 약 6년간 브롬산염 농도는 기준치의 40% 미만의 낮은 수준으로 관리되어 하절기 오존 주입률 상한치 증가에도 브롬산염 제어가 가능한 것으로 나타났다.

지난 6년간 평면형 계열의 밀폐형 GAC 상부 공간에서 깔따구 성충이 발견되지 않았으며 수직형 계열에서는 감소하는 경향을 보였다.

따라서 하절기 깔따구 대책을 실시한 이후 6년간의 결과를 바탕으로 2014년부터 오존 주입률 상한치를 연중 1.0 mg/L로 운영하여 수직형 계열에서 브롬산염과 생물 대책을 더욱 강화할 예정이다.

참고문헌

- 1) 鯛谷將司, 小田原光宏, 林信吾: 「臭素酸對策とユスリカ對策を兩立するためのオゾン管理方法」, 水質試驗成績並びに調査報告, 大阪水道部, 第49集, 調査報告2 (2008 WEB版)
- 2) 高度淨水處理10年の軌跡-課題の總括と今後の展望- p.48-52 :2-5 「臭素酸生成とユスリカの發生」
- 3) 日本水道協會: 日本の水道生物 -寫眞と解説- p.160

水道給水栓から発見されたユスリカ幼虫
(Unexpected contamination of chironomid larvae into tap water)
수도 급수전에서 발견된 깔따구 유충

Nobuhisa Tanaka¹, Tadashi Kobayashi², Hidefumi Tanaka², Manabu Sasa², Ichiro Kayahara¹, Yasunobu Yamaguchi¹, Harutoshi Hayashi¹ and Kunihisa Kozawa¹

1. Gunma Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences, 378 Kamioki, Maebashi, Gunma, 371-0052 Japan

2. Kankyo Fukushi Kenkyusho, 135-3 Aramata-Sunaba, Kurobe, Toyama, 938-0001 Japan

요약

군마현(도쿄도 북쪽 100 km 거리)의 상수도 급수전에서 깔따구 유충이 발견되는 민원이 발생했다. 요시무라츠야(*Cricotopus yoshimurai* Tokunaga) 깔따구와 무늬깔따구 속(*Polypedilum*) 유충이었다. 정수장에서도 발견된 깔따구 성충 및 유충과 동일한 것으로 확인되어 정수장에서 공급계통으로 깔따구 유충이 유출되어 급수전에서 나온 것으로 추정된다. 전염소 농도와 응집제(PAC) 투입량을 높이고 여과지 역세척 빈도를 늘리는 등 적극적이고 신중한 관리를 통해 효과적으로 대응했다.

Key words : Chironomidae, *Cricotopus yoshimurai*, tap water, water purification plant, contamination

서론

쌍시목(雙翅目) 깔따구과에 속하는 곤충(이하 깔따구)은 부영양화가 진행된 호수, 도시하천, 하수처리장, 양어장 등에서 자주 발생하는 해충으로서 문제가 되고 있다(大倉·田原, 1975; Tabaru 등, 1987; 佐藤, 1998). 최근에는 실내수영장에서 유충 발생이 문제가 된 경우도 있다(平林, 2001). 정수시설에서도 깔따구 유충의 발생이 확인되었지만(Hirabayashi 등, 2001; Hirabayashi 등, 2004), 정수장에서 서식하는 깔따구 유충이 급수전까지 도달하여 문제가 된 사례는 없었다.

본 논문에서는 수도 급수전에서 깔따구 유충이 발견된 사례에 대해 종합적으로 조사한 내용을 보고한다.

경과

2003년 5월 7일 18시경, 군마현 A읍의 B수도사업소 관할구역인 보건복지사무소로부터 「급수전에서 벌레가 나온다」는 민원이 접수되었다고 연락이 왔다. 민원 신고한 기업체는 식품을 제조하는 회사로 수도꼭지에 필터(유제품 이물질 검사용 Milk sediment disk, 직경 33 mm, 약 50 μm)를 설치하여 일상적으로 필터를 관찰하고 있었다. 이 필터에 벌레가 부착·포집되었다. 민원을 접수한 A읍 수도과에서는 민원을 확인하고 물을 공급한 C정수장을 조사한 결과, 침전지에서 곤충류를 확인했다. 착수정, 혼화지, 배수지에서는 곤충류가 확인되지 않았다.

5월 8일, 군마현 위생식품과, 보건복지사무소, A읍 수도과는 합동으로 현장 조사를 실시하고 C정수장의 침전지 주변에 깔따구 성충으로 추정되는 곤충이 다수 날아다니는 것을 발견했다. 배수지에서는 곤충이 확인되지 않았다. 취수구 4개소(D1~D4) 중 2개소(D3, D4)에서 깔따구 성충으로 추정되는 곤충의 비상(飛翔)을 확인했다. 이러한 상황으로 볼 때 깔따구 유충이 유입된 것으로 판단하고 12일 ‘군마현 깔따구 대책 검토회의’를 개최했다.

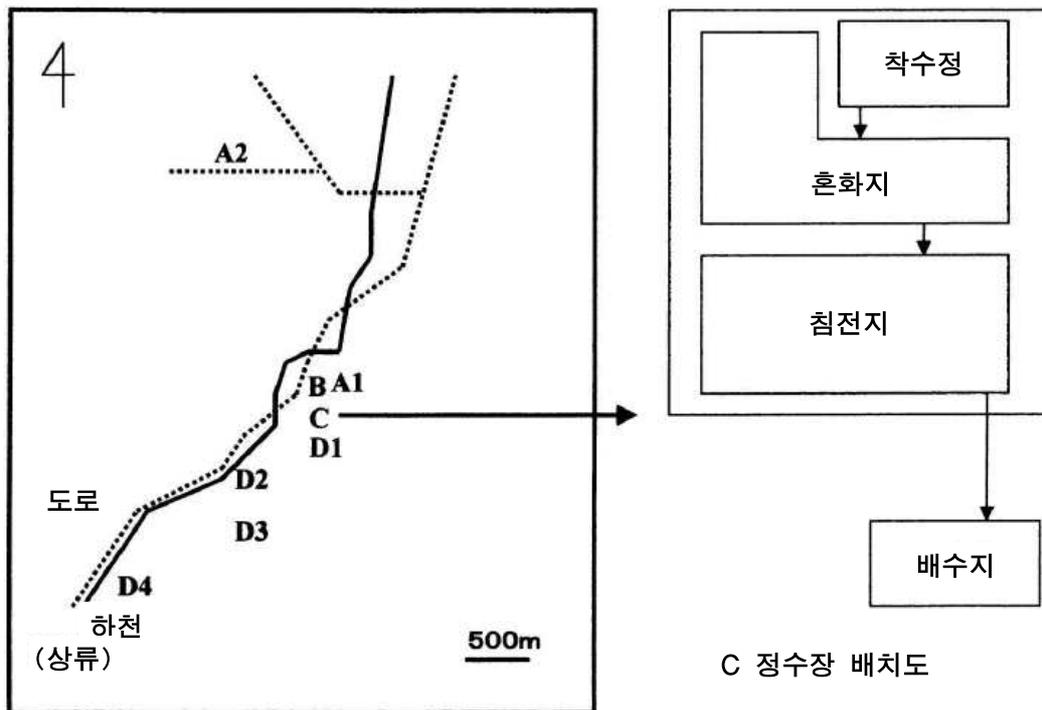


그림 1. 지역현황

A: 조사대상(가구), B: B수도사업소, C: C정수장, D: 취수구

14일에 군마현 위생환경연구소가 중심이 되어 C정수장 및 취수구 4개소(D1~D4)에 대해서 현장조사를 실시했다. 그림 1에 B수도사업소, C정수장, 취수구 및 C정수장 배치 현황을 나타냈다.

A읍에서는 긴급대책으로 8일에 급속여과탱크의 여과사 역세척을 수동으로 1회, 자동으로 2회 실시했다. 9일부터 1주일간 수동으로 1일 1회 역세척을 지속했다. 역세척은 평소에 거의 1일 1회 빈도로 여과압력 상승 시 자동으로 실시하고 있다.

8일부터 1주일간 C정수장 착수정에서 주입하고 있는 염소의 농도를 0.3 mg/L에서 0.6~0.7 mg/L로 증가시키고, 폴리염화알루미늄(PAC) 응집제도 평소 투입량(10~15 mL/h, 수량은 약 90 m³/h)의 약 2배로 늘였다. 12일에는 C정수장 각 공정을 비우고 저니(底泥, bottom sediment)를 제거하는 동시에 고압수로 지별 벽면과 침전지 경사판을 세척했다. 이후 지별 청소 간격을 3개월에서 1개월로 단축했다.

A읍에서 관리하는 C정수장의 정수방식은 응집, 침전(경사판), 밀폐식 급속여과(탱크)로 현재 처리수량은 약 1,500 m³/일이다. 급수 세대수는 1,205호로 B수도사업소 관할지역 이외에서는 민원이 없었다.

그림 2는 C정수장의 처리시설 흐름도이다.

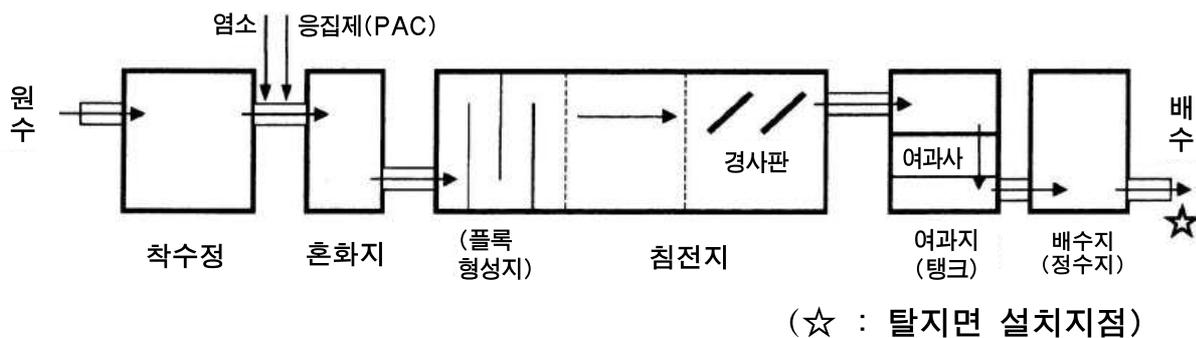


그림2. C정수장 흐름도

조사방법

2003년 5월 14일, C정수장 및 취수구 부근(D1~D4)에서 포충망으로 이용하여 갈따구 성충을 채집했다. 동시에 유충, 알, 번데기를 채집하기 위해 C정수장의 착수정, 혼화지, 침전지, 배수지, 취수구 각 지점에서 물, 저질(底質), 지별 벽면에 붙은 식물(植物) 등을 포함해 약 1.5 L씩 채취하여 위생환경연구소에 가져갔다. 이를 2 L

의 PE병으로 옮기고 에어펌프로 공기를 주입하면서 실온에서 사육(飼育) 실험을 실시하였고, 채집한 성충은 표본으로 제작했다.

갈따구 중 동정에는 Sasa and Kikuchi(1995), Wiederholm(1989), Saether 등(2000)을 참고하였고 갈따구의 일본명은 近藤ら(2001)의 분류를 따랐다.

갈따구 채집 시 각 지점의 기온, 수온, 투시도를 측정하고 약 2 L의 물을 채취하여 위생환경연구소에서 pH, BOD, 잔류염소 농도, 색도, 탁도를 측정했다. 측정법은 일본수도협회 상수시험방법(2001)을 따랐다.

공급계통에서는 C정수장의 배수지 유출수(그림 2의 ☆표기), B수도사업소 건물내부 수도꼭지, 급수구역의 2개 가구(그림 1의 A1 및 A2) 등 총 4개소에서 갈따구 유충 검출시험을 실시했다. 4개 지점에서 5월 8일, 13일, 20일 등 3회에 걸쳐 수도꼭지에 탈지면 필터(주먹 크기)를 설치하고 수돗물 300 L(5 L/min × 1h)를 통과시켰다. 물을 통과시킨 탈지면 필터를 위생환경연구소로 가져가 1 L 비커에 넣고 사전에 준비한 수돗물을 첨가한 후 사육·우화 실험을 실시했다. B수도사업소 건물 내 수도꼭지에서 5월 9일에 회수한 필터를 실체 현미경으로 이용해 갈따구 유충을 확인·채취하여 동정하였다.

결과 및 고찰

조사지점의 기온, 수온, 수질검사 결과 등은 표 1과 같다. 취수구 D1 지점은 색도와 탁도가 약간 높았지만 인위적인 오염은 아니고 식물로부터 유래한 것으로 판단된다.

표 2는 갈따구의 채집 및 동정 결과이다.

B수도사업소(건물 내 수도꼭지)에 설치한 필터(5월 9일)에서 요시무라츠야(*Cricotopus yoshimurai* Tokunaga) 갈따구 유충이 1개체 있었다. 그와 함께 발견된 10개체는 갈따구 유충으로 추정되나 파손 상태가 심해 동정이 불가능했다. C정수장의 배수지 유출수(수도꼭지)에 설치한 탈지면 필터(5월 8일)에서 발견된 죽은 유충 1개체는 무늬갈따구 속(*Polypedilum* sp.)이었다. C정수장의 급수구역 내 2개 가구에서는 성충이나 유충은 발견되지 않았다.

C정수장에서는 총 5종의 갈따구가 확인되었다.

정수장 내에서 채집한 갈따구 성충 중 57개체가 요시무라츠야 갈따구, 1개체는 *Limnophyes prolongatus* Kieffer 이었다. B수도사업소에 설치한 필터에서 요시무라츠야 갈따구 유충이 발견된 것으로 보아 정수장 내에 서식하는 요시무라츠야 갈따구 유충이 어떠한 원인으로 B수도사업소까지 도달했을 가능성이 높은 것으로 추정되

었다.

정수장 침전지에서는 *Rheocricotopus tamahumeralis* Sasa가 6개체, *Polypedilum kasumiense* Sasa가 4개체 이었고 혼화지에서는 *P. nubeculosum*(Meigen)이 14개체로 각각 사육·우화로 확인했다.

표 1. 수질 등 조사결과(2003년 5월 14일)

항목	단위	취수구				C정수장		
		D1	D2	D3	D4	착수정	혼화지	침전지
시 간		11:15	13:30	13:45	14:10	10:45	10:45	10:45
기 온	℃	20.0	19.0	-	-	19.0	19.0	19.0
수 온	℃	12.6	16.6	13.2	14.2	13.8	13.4	13.2
투시도	cm	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
잔류염소	mg/L	-	-	-	-	-	1.1	0.8
pH		7.5	8.0	7.5	7.3	7.1	6.9	6.9
BOD	mg/L	0.7	0.7	1.3	1.9	-	-	-
색 도		15	4	1	4	2	1	1
탁 도		9.5	1.0	0.5	1.4	0.6	0.8	0.9

- 은 결측치

표 2. 채집·동정된 깔따구 종

	B수도사 업소	배수지	전역 (全域)	침전지	혼화지	취수구 D4 지점
<i>Cricotopus yoshimurai</i> Tokunaga, 1936	유충○		성충○			성충○
<i>Limnophyes prolongatus</i> Kieffer, 1921			성충○			
<i>Rheocricotopus tamahumeralis</i> Sasa, 1981				성충*		
<i>Polypedilum kasumiense</i> Sasa, 1979				성충*		
<i>Polypedilum nubeculosum</i> (Meigen, 1804)					성충*	성충○
<i>Polypedilum</i> sp.		유충○				
동정 불가	유충○					

○은 채취·채집, *은 사육·우화(飼育·羽化)

5월 8일에 배수지 유출수(수도꼭지)에서 발견된 깔따구 유충이 무늬깔따구 속 (*Polypedilum* sp.) 1종이었던 점으로 보아 정수장 내에서 서식하던 유충이 어떠한 원인에 의해 도달한 것으로 추정된다.

취수구 4개 지점 중 D4 지점에서 요시무라츠야 깔따구 성충 1개체, 우스몬 깔따구 성충 7개체를 채집했다. D1, D2, D3 지점에서는 깔따구류가 발견되지 않았다. 요시무라츠야 깔따구와 무늬깔따구 속은 C정수장, 배수지, B수도사업소(건물 내 수도꼭지)에서 확인되었으므로 취수구 부근에서 서식하는 깔따구 유충이 정수장까지 도달했을 가능성도 있다.

5월 8일 이후 A읍에서는 앞서 언급한 대책을 강구하였고, C정수장 주변은 환경정비의 일환으로 잡목 벌채 작업을 실시했다. 또한 깔따구 유충의 존재가 확인된 취수구 D4에서는 취수를 중지했다. 5월 9일 이후에는 B수도사업소 급수구역에서 깔따구 유충의 발견이나 민원이 발생하지 않았다.

수도협회(1993)에 따르면 수도꼭지로부터 발견되는 생물은 다양하며 깔따구 유충도 그 중 하나이다. 이번 경우는 기업체에서 필터를 설치하고 관찰하는 특별한 과정에서 발견된 것으로 일반적으로 수도꼭지로부터 나오는 수돗물에서 유충을 육안으로 확인하는 것은 어렵다고 생각되므로 동일한 사례가 타지방에서도 잠재적으로 일어날 가능성도 있다. 공급계통으로의 깔따구 유충 유입을 방지할 수 있는 대책으로는 깔따구 발생 시기에 전염소 농도와 응집제 투입량을 높이고, 여과지 역세척 빈도 증가, 철저한 청소 실시 등 적극적이고 신중한 정수장 관리라고 할 수 있다.

참고문헌

- 平林公男 (2001) 室内プールから發生するユスリカの生態とその防除. 水, 12:24-29.
- Hirabayashi, K., M. Matsuzawa, M. Yamamoto and N. Nakamoto (2004) Chironomid fauna (Diptera, Chironomidae) in a filtration plant in Japan. Journal of the American Mosquito Control Association, 20(1):(in press)
- Hirabayashi, K., M. Yamamoto and N. Nakamoto (2001) Chironomid midges (Diptera, Chironomidae) in filtration plants in Japan during summer-Filtration plants in Honshu compared with those in the Sakishima Islands. Medical Entomology and Zoology, 52:129-135.
- 近藤繁生, 平林公男, 岩熊敏夫, 上野隆平 (2001) ユスリカの世界 306pp. 培風館, 東京.
- 日本水道協會 (1993) 日本の水道生物一寫眞と解説一, 271pp., 日本水道協會, 東京.
- 日本水道協會 (2001) 上水試験方法, 795pp., 日本水道協會, 東京.
- 大倉 正, 田原雄一郎 (1975) 養魚池から發生するユスリカ防除に関する研究. 水産増殖, 23:1-7.
- Sather, O. A., P. Ashe and D. A. Murray (2000) Contributions to a Manual of Palaearctic Diptera-Appendix (eds. Papp, L. and Darvas, B.). 113-334, Science Herald, Budapest
- Sasa, M. and M. Kikuchi (1995) Chironomidae (Diptera) of Japan, 333pp., University of Tokyo Press, Tokyo
- 佐藤英毅 (1998) ユスリカの生態と防除. ベストロジー學會誌, 13:95-99.
- Tabaru, Y., K. Moriya and A. Ali (1987) Nuisance midges (Diptera: Chironomidae) and their control in Japan. Journal of the American Mosquito Control Association, 3:45-49.
- Wiederholm, T. (1989) Chironomidae of the Holarctic region Part 3. Adult Males. Entomologica Scandinavica Supplement, 34:532pp.

「Problem Organisms in Water: Identification and Treatment」

Chapter 6 Bloodworms or Midges(Chironomid Larvae)

깔따구

“깔따구(Midge)”라는 것은 모기처럼 생긴 쌍시류(雙翅類, Two-winged flies) 깔따구과(Chironomidae)에 속하는, 물지 않는 곤충류를 말한다. 깔따구 유충(Chironomid Larvae)은 여러 나라의 배급수시스템에서 자주 발생한다고 보고되고 있다. 깔따구 생물종은 매우 다양하여 전 세계적으로 10,000~15,000종으로 추정되고 있어 어느 종인지 정확한 확인을 위해서는 전문가의 도움을 받아야 한다.

이 장에서는 생물학자, 곤충학자, 공중보건 담당자 등과의 논의사항 및 연구보고서, 논문 등을 근거로 작성한 내용이다. 깔따구를 성공적으로 퇴치하기 위해서는 먼저 깔따구 종이 단성생식(처녀생식, parthenobenic)을 하는지 비단성생식(nonparthenogenic)을 하는지를 확인하고 이에 따라 대책을 마련하는 것이 필요하다.

깔따구의 생물학적, 생태학적 특성

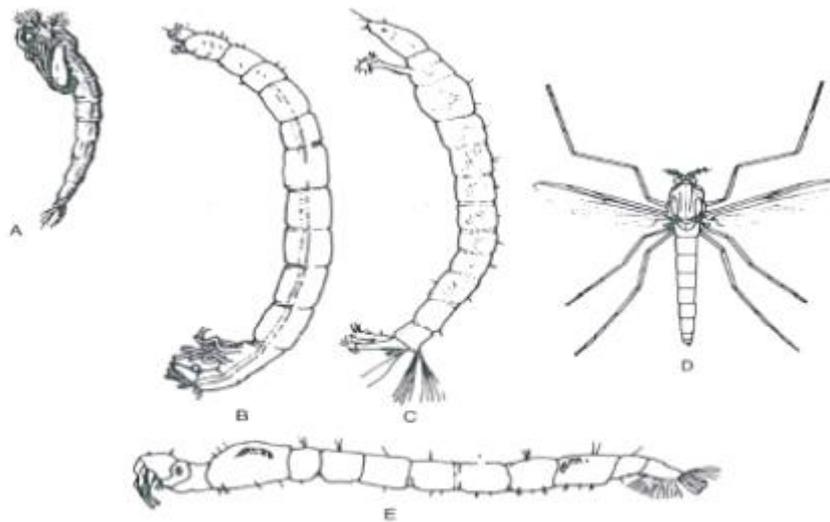
깔따구(성충)의 몇몇 종은 수 주 정도 생존하기도 하지만 대부분 며칠밖에 살지 못한다. 비단성생식 깔따구 성충들은 물체 표면이나 공중에서 무리지어 짝짓기를 한다. 저수지, 연못, 시냇가 등에는 100여종이나 되는 많은 깔따구들이 높은 밀도로 무리를 지어 다니기도 한다. 일부 호숫가의 경우에는 개체수가 50,000/m² 이상 되기도 한다.

깔따구는 정수장과 공급계통에서 문제가 되지만 지표수에서는 이들의 존재와 상태가 하천 생태계의 건강성을 나타내는 지표가 되기도 한다. 오염되지 않는 하천에서 대형 무척추동물종(macroinvertebrate)은 수서곤충(aquatic insects)의 50~90%를 차지한다. 호수 생태계를 복원하고자 하는 경우 깔따구의 존재와 종의 다양성은 호수 생태계의 건강성에 대한 긍정적인 지표가 된다(Fleming, 1988).

또한 깔따구는 수중 독성물질에 대한 유용한 지표가 되기도 한다. 1986년 스위스 바젤에서 산도즈(Sandoz)사의 농약 창고 화재 사고로 살충제가 라인강에 유출되었을 때 깔따구의 사체가 800 km 하류까지 발견된 적이 있다(van Urk and Kerkum, 1987). 깔따구가 오염물질에 민감하고 실험실 조건에서도 관리가 용이하기 때문에 오염물질 허용농도를 결정하는데 있어 깔따구를 이용한 시험법도 개발되었다(깔따구를 이용한 독성시험 방법: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 8010 and 8750).

깔따구의 한살이(life cycle)

깔따구 성충은 종에 따라 차이가 있지만 0.5 mm 만큼 작은 것도 있으며 모기와 유사하다. 깔따구의 한살이(life cycle)는 알(egg), 유충(larva), 번데기(pupa), 성충(adult)의 4단계이다(그림 6-1).



- A - 번데기(Pupa midge), *Chironomus*, Chironomidae
 - B - 유충(Larva midge), *Chironomus*, Chironomidae (5 ~ 30 mm)
 - C - 유충(Larva midge), *Ablabesmyia*, Chironomidae (5 ~ 10 mm)
 - D - 성충(Adult midge), Chironomidae (4 ~ 12 mm)
 - E - 유충(Larva, phantom midge), *Chaobours*, Culicidae (8 ~ 12 mm)
- Source: *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*

그림 6-39. 파리목 쌍시류(雙翅類, Two-winged flies)

깔따구 성체는 3~3,000개의 알을 함유한 젤라틴 형태로 알을 낳으며 종에 따라 다소 차이가 있다. 난괴(卵塊, egg mass)는 물 표면에 부유하다가 물 가장자리에 있는 수생식물이나 돌에 붙기도 하며, 저수조, 폭기시설, 고가수조 등의 벽에 부착될 수도 있다. 물체에 부착되지 않은 난괴는 바닥에 가라앉는다. 알에서 부화한 유충들은 빠르게 움직이면서 사방으로 흩어진다.

부화한 유충들은 흩어진 다음 그림 6-2와 같이 자신의 주위에 유충집(실크 튜브, silken tube)을 만든다. 유충집의 한쪽 끝은 열려 있어 그 곳을 통해 물속의 영양분을 섭취한다. 먹이는 주로 썩은 식물, 조류, 원생동물, 살아있는 미생물, 미생물 사체 등이다. 유충은 선홍색, 녹색, 노란색, 갈색을 띄기도 하고 투명한 것도 있다.

크기는 1 mm 미만에서 2.5 mm까지 다양하다. 깔따구 유충은 먹이, 온도, 종 등에 따라 몇 주에서부터 몇 년까지 생존할 수 있다.

유충에서 번데기로 변화하는 용화(蛹化)는 유충집에서 이루어진다. 번데기 단계는 보통 3일간 지속된다. 번데기는 유충집을 떠나 표면으로 이동해 성충이 된다.



Source: Drs. J.H.M. van Lieverloo, Kiwa N.V. Research and Consultancy, Nieuwegein, The Netherlands

그림 6-2. 깔따구 유충집(곤충강, 파리목, 깔따구과), 20배, dorsal view(등쪽 사진)

상수도 발생사례

깔따구 중에서 단성생식하는 *Paratanytarsus grimmii* 종은 1930년대에 처음으로 알려졌다(Langton, Craston, and Armitage, 1988). 제거방법이 없던 그 당시에 유일하게 제거된 사례는 수도관이 동결되었을 때였다. 이 종은 영국 동부와 남부에 널리 분포했다. 1986년에는 키프로스에서 발생했다. 그 이후 전 세계적으로도 이러한 문제가 발생하고 있다는 것이 알려지게 되었다.

대부분의 경우 깔따구 개체수가 급격히 증가하기 전까지는 사회적인 문제로까지 되지는 않았다(Bay, 1989). 깔따구 유충의 증가는 스크린 청소, 오래된 여재(filter) 교체, 관로 물세척 체계 등 이를 어떻게 하는가도 관련된다. 깔따구 유충은 정수장 여과지를 통과하여 배급수 관망으로 유입될 수 있다. 개체수가 급증했거나 관 물세척 증가로 인해 관로 내부가 교란되었을 때도 수도꼭지로 나올 수 있다.

로웰 수도국(Lowell Water Utility, Lowell, Ind.)이 미국 남부에 있는 주 보건국에 제출한 사례보고서에 따르면, 시민들 대부분은 깔따구 유충 문제를 경험한 것으로 나타났다. 다음은 내용 일부를 인용한 것이다(추가적인 내용은 참고문헌 참조).

- 노스캐롤라이나주 워싱턴 카운티 - 깔따구류가 폭기탑(aeration tower)을 둘러싼 스크린을 뚫고 들어감. 폭기탑 저류조와 칸막이 등을 집중적으로 소독했으나 유충을 완전히 제거하지 못함. 최종적으로 여과지(filter)를 건설해 유충이 공급계통으로 유입되는 것을 막았음.

- 노스캐롤라이나주 개스턴 카운티 - 정수장 여과지의 역세척 빈도를 높여 유충이 배급수계통으로 유입되는 것을 차단함. 유충이 끊임없는 움직임으로 여과지를 통과하였으나 여과지 역세척을 8시간마다 실시한 후 여과지 유출수에서 유충이 발견되지 않았음.

- 미주리주 : 정수지의 염소처리구역 2곳과 염소 미처리구역 2곳 등 총 4개 구역에서 깔따구 유충이 발생함. 주 보건국은 정수장에 차아염소산나트륨을 투입해 잔류염소가 2.5 mg/L에서 4~5 mg/L가 되도록 하고 환기구에 방충기능을 추가하도록 함. 또한 성충을 죽일 수 있는 전기트랩을 설치하여 성공적으로 대응함.

대책

비단성생식 깔따구를 막는 방법은 정수장내 모든 구역에서 깔따구 성충을 없애는 것이다. 만약 성충이 있다면 깔따구의 군무(swarming)와 짝짓기를 차단하여 궁극적으로 알을 낳지 못하도록 하는 것이 문제 발생의 시스템을 제거하는 근본적인 해결방법이다.

단성생식 깔따구(*Paratanytarsus grimmii*)의 제거는 매우 어렵다. 이 경우에는 군무와 짝짓기 행동을 차단한다고 해서 깔따구 발생을 막을 수 있는 것은 아니다. 단성생식 깔따구는 암컷이 성충이 되기 전 상태인 번데기 내에서 알을 낳을 수 있기 때문이다(Langton, Cranston, Armitage, 1988) (그림 6-3 참조).

단성생식 깔따구 제거에 가장 성공적이었던 대책은 화학적 방법이었다. 이 자료를 작성하는 시기에든 새로운 방법들이 개발 중이었지만 개발되기에는 상당한 시간이 걸릴 것으로 보인다. 단성생식 깔따구를 제거하는 것은 중소규모의 수도사업자가 할 수 있는 가용 자원의 한계를 넘는 것으로 판단되므로 전문가에게 도움을 요청하는 것이 최선이다.



Source: Drs. J.H.M. van Lieverloo, Kiwa N.V. Research and Consultancy, Nieuwegein, The Netherlands.

그림 6-3. 단성생식 깔따구 번데기(곤충강, 파리목, 깔따구과) 복부에 형성된 난자, ventral view(복부쪽 사진), 70배

D.A. Williams(1974)는 배관망 내에서 성충 단계를 거치지 않고 번식이 가능한 단성생식 깔따구의 발생을 보고했다. 이것은 1971년 영국의 에섹스에서 발생했다. 배수지 청소, 전기방충기 및 방충망 설치 등 통상적인 방법으로는 깔따구 유충을 제거하지 못했다. 에섹스 상수도회사는 마이크로스트레이너도 설치했지만 성공하지 못했다.

1973년 6월, 그 깔따구가 단성생식한다는 것이 밝혀졌다. 상수도 및 보건의료 관계자들이 논의하여 피레트린(pyrethrin)을 이용한 화학적 방법을 적용하였다. 미국에서 사용이 제한된 살충제인 피레트린을 0.025 mg/L 주입한 결과 수돗물에서 죽은 유충에 대한 민원이 단 1건만 접수됐다.

노틀담대학교의 Martin B. Berg 박사는 1988년 로웰시에서 단성생식하는 깔따구가 발생한다는 것을 확인했다. 시의 동부지역에 물을 공급하는 배수지에서 발생하기 시작한 것으로 추정되었다. 배수지를 수회에 걸쳐 세척하고 소독했지만 고농도의 염소도 유충에게 거의 영향을 주지 못했다. 배수지 수직배관을 50 mg/L 이상의 염소로 48시간 동안 소독을 했지만 물을 퇴수했을 때 깔따구가 여전히 살아 있었다. 이 자료를 작성하는 시점에는 상수도 공급계통에서 단성생식 깔따구를 퇴치하는 효과적인 방법은 없다.

로웰시에서는 먹이 공급을 제한하는 다양한 방법을 통해 깔따구 유충을 통제할 수 있는지 여부를 판단하기 위한 새로운 방법을 시도했다. 실험실 테스트에서 어느 정도 성공적이라고 보여지는 방법은 양이온 폴리머의 사용이다. 미시간 주립대학의 곤충학부에서 시행된 테스트에 따르면, 정수처리에 사용되는 양이온 폴리머가 단성생식 깔따구를 성공적으로 제어할 수 있다고 하며, 아연 정인산염을 첨가하면 배급수시스템에 추가적인 제어를 제공할 수 있다고도 한다.

깔따구 문제가 발생하는 상수도 시스템은 첫 번째로 발생 징후가 있다면 그 종을 확인하기 위해 전문가에게 연락해야 한다. 구체적인 동정은 그 분야의 전문가 몇 명만이 가능하다. 깔따구 발생 시스템을 제거할 수 있는 체계적인 계획을 세우고 이를 실행하기 위해서는 깔따구의 종류를 확인하는 것이 중요하다. 앞서 언급했듯이 비단성생식의 깔따구라면 제거하기는 유리한 편이다.

정수장의 모든 구조물은 미세스크린이나 필터 재질로 방충이 되도록 해야 한다. 20×20 메시 스크린도 일부 깔따구 종을 배제하기에는 충분하지 않을 수 있다. 고가 또는 지상 배수지의 밀폐된 구조물이 진공에 의해 파손되지 않도록 통풍구를 설계할 필요가 있다. 깔따구 성충의 제거를 위해 여과지와 배수지를 미세스크린으로 덮고 전기트랩을 설치하면 도움이 된다. 모든 구조물을 철저히 청소해야 한다. 고농도 염소를 사용하여 깔따구를 제거하는 데에는 한계가 있다.

참고문헌

- Alexander, M., and R.W. Merritt. Not yet published. Project Report on the control of *Paratanytarsis grimmii* Infesting the Lowell, INdiana Drinking Water Distribution System. East Lansing, Mich.: Michigan State University Department of Entomology.
- Ali, A. Nuisance Chironomids and Their Control: A Review. Agricultural Research and Education Center, *JFAS*.
- Ali, A., and P.K. Chaudhuri. 1988. Evaluation of a New Benzoylphenylurea Insect Growth Regulator (US 84572) Against Chironomid Midges in Experimental Ponds. *J. Am. Mosquito Control Assoc.*, 4:542-544.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th ed. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Arnold, G.E. 1936. Plankton and Insect Larvae Control in California Waters. *Jour. AWWA*, 28:1469.
- Bahlman, C. 1932. Larval Contamination of a Clear-Water Reservoir. *Jour. AWWA*, 24:660.
- Bay, E. 1989. Personal communication.
- Brown, K.W. 1933. Experiences With Well Water in Uncovered Reservoir. *Jour. AWWA*, 25:337.
- Burfield, I., and D.N. Williams.. 1975. Control of Parthenogenetic Chironomids With Pyrethrins. *Water Treat. Exam.*, 24:57-67.
- Coffman, W.P., and L.C. Ferrington Jr. *Chironomidae*. Univ. of Pittsburgh and State Biological Survey of Kansas.
- Fleming, C.R. 1988. Effects of Reclamation on an Urban Winter-Kill Lake at Winona, Minnesota. Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie Verhandlungen *IVTLAP*, 23:1:341-345.
- Flentje, M.E. 1945. Control and Elimination of Pest Infestation in Public Water Supplies. *Jour. AWWA*, 37:1194.
- Flynnm, T., and P.M. Bolas. 1985. A Simple Method of Chironomid Control at Water Treatment Works. *Inst. Water Eng.*, 39:5:414-422.
- Hechmer, C.A. 1932. *Chironomus* in Water Supply. *Jour. AWWA*, 24:665.
- Ingram, W.M., and A.F. Bartsch. 1960. Animals Associated With Potable Water Supply. *jour. AWWA*, 52:1,521-1,550.

- Langton, P.H. 1974. On the Biology of the Parthenogenetic *Paratanytarsus* Breeding in the Essex Water Company Distribution System. *Water Treat. Exam.*, 23:230-231.
- Langton, P.H., P.S. Cranston, and P. Armitage. 1988. The Parthenogenetic Midge of Water Supply Systems *Paratanytarsus Grimmii* Scheider (Diptera: Chironomidae). *Gull. Entomol. Res.*, 78:317-328.
- Mackenthun, K.M. 1973. *Toward a Cleaner Aquatic Environment*. Washington, D.C.: US Environmental Protection Agency.
- Mundie, J.H. 1956. The Biology of Flies Association With Water Supply. *J. Inst. Water Eng.*, 55:178-190.
- Silvey, J.K.G. 1956. Bloodworms in Distribution Systems. *Jour. AWWA*, 48:275-280.
- van Urk, G., and F.C.M. Kerkum. 1987. Chironomid Mortality After the Sandoz Accident and Deformities in *Chironomus* Larvae Due to Sediment Pollution in the Rhine. *Aqua*. International Water Supply Association. Rijkswaterstaat, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment. Pergamon Press.: Lelystad, The Netherlands. 4:191-196.
- Walker, E.D., E.J. Olds, and R.W. Merritt. 1988. Gut Analysis of Mosquito Larvae (Diptera: Colicidae) Using DAPI Stain and Epifluorescence Microscopy. *J. Med. Entomol.*, 25:551-554.
- Walshe, B.M. 1951. The Feeding Habits of Certain Chironomid Larvae (Subfamily Tendipedinae). *Proc. Zool. Soc.*, London, England. 121:63.
- Williams, D.A. 1974. An infestation by a Parthenogenetic Chironomid. *Water Treat. Exam.*, 23:215-219.