

도시 하천에서의 어류 폐사 원인 분석 I - 일반조사 및 실험

Causes of Fish Kill in the Urban Streams I - Field Surveys and Laboratory Experiments

이은형¹ · 서동일^{2,*} · 황현동¹ · 윤진혁¹ · 최재훈¹

Lee, Eun-hyoung¹ · Seo, Dongil^{2,*} · Hwang, Hyun-dong¹ · Yun, Jin-hyuk¹ · Choi, Jae-hun¹

1 (주)엠큐빅

2 충남대학교 환경공학과

(2006년 3월 20일 논문 접수; 2006년 7월 31일 최종 수정논문 채택)

Abstract

This study was carried out to investigate the causes of fish kills in the Yudeung Stream in Daejeon, Korea using literature reviews, governmental and our water quality monitoring data of the study site, rainfall data, intensive water quality monitoring during rainfall events, sediment pollutant contents and laboratory bioassay tests. Fish kill in urban streams can be caused by combined effect of reduction in dissolved oxygen concentration, increase in toxic material or increase in turbidity in waterbody due to introduction of surface runoff or effluent of combined sewer overflows after rainfall from the watershed areas. Despite of extensive and intensive field surveys and laboratory tests, it was found that those conventional methods have limitations to identify causes of fish kills in urban streams. It would be necessary to use dynamic water quality modeling to predetermine the range and level of water pollution in the stream and automatic water quality monitoring system that can collect water samples and detect water quality continuously.

Key words: Fish Kill, Urban Stream, Yudeung Stream, Daejeon, CSO.

주제어: 어류 폐사, 도시 하천, 대전, 유등천, 합류식하수관거

1. 서론

대전시의 3대 하천으로 불리는 갑천, 유등천, 대전천 등은 대전시의 도심을 통과하는 하천들로서 시민들의 일상생활 공간과 매우 가깝게 위치하며, 시민들의 휴식처 및 생태공원 등의 친수 공간으로서 역할을

충분히 할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 이들 하천의 수질은 수질환경 보전에 대한 관심의 증가와 하수처리장의 건설, 하수관거의 정비 등에 대한 투자를 통해 점차적으로 개선되는 경향을 나타내고 있다(환경부, 2006). 그러나 이러한 수질 개선의 노력에도 불구하고 **Table 1**에 나타난 바와 같이 갑천의 원촌동 하수처리장 방류구 상류 부근 및 서구 변동의 태평교

*Corresponding author Tel: +82-42-821-6679, FAX: +82-42-822-5610, E-mail: seodi@cnu.ac.kr (Seo, D.I.)

Table 1. Fish kill events occurred in streams of Daejeon city

| 발생 시기 | 장소 | 피해 내용 | 원인 분석 또는 추정 |
|----------------------------|------------------------------|----------------------------|--|
| 2001.5.23 (14:00) | 유등천 수침교 부근 | 피라미 폐사 약 5kg | 5월 22일 강우시 하수관거 월류수에 의해 DO부족, 사고지점 DO 3.4 mg/l, pH 7.4 |
| 2001.8.22 (09:30-11:00) | 유등천 삼천교~한밭대로 구간 | 피라미 폐사 약 400마리 | 8월 21일 18:00경 10mm내외의 소나기성 강우로 하수 월류수에 의한 DO부족 |
| 2001.9.10 (08:30-11:00) | 유등천 삼천교~한밭대로 사이 | 피라미 폐사 약 5kg | 9월 10일 18:00경 10mm내외의 강우로 하수 월류수에 의한 DO부족 |
| 2001.9.17 (08:30-11:00) | 유등천 유등교~수침교 구간 | 피라미 폐사 약 20kg | 유등천내 수초 밀집 구간으로 DO 부족, 야간시 DO 0 mg/l |
| 2002.9.29 (06:00-08:30) | 유등천 태평교~수침교 구간 | 피라미 폐사 약 50kg | 21.5mm의 강우에 의한 하수 월류수에 의한 DO부족 |
| 2003.6.16 (8:40) | 유등천 태평교~수침교 구간 | 피라미 폐사 약 1,000마리 | 6월 5일 강우에 의한 노상퇴적물이 하천에 유입되어 DO 부족 |
| 2004.8.5 (14:40-16:10) | 갑천 원촌교 하류지역 (약 1km) | 누치, 피라미 등 약 500여 마리 폐사 | 8월4일 발생한 지역적 소나기(강수량19mm)에 의한 하수월류수에 의한 DO 부족 |
| 2004.8.14 (17:10-17:20) | 유등천 태평교 상류지역 (약 500km) | 피라미 등 치어 약 20여 kg 폐사 | 8월 14일 발생한 지역적 소나기(강수량 19mm)에 의한 하수월류수에 의한 DO 부족 |
| 2005.9.10 (09:20) | 유등천 태평교 상류지역 | 2~5cm 치어 등 약 500여 마리 폐사 | - |

자료 : 한국건설기술연구원(2003), 대전광역시 수질관리과 업무보고 자료(2004, 2005)

상류, 중구 태평동의 수침교 상류 등에서 어류 폐사 사고가 반복적으로 발생하고 있다. 이러한 가시적인 오염사고는 시민들의 대전시 하천 수질에 대한 불신의 원인이 되고 있을 뿐만 아니라 하천 자체가 친수 공간으로서의 역할을 하는데 큰 방해 요인이 되고 있다.

2. 연구대상 지역

본 연구에서는 대전시 3대 하천 중 어류폐사 사고가 가장 많이 발생한 유등천의 태평교 상류 지점을 중심으로 조사 사업을 수행하고 어류 폐사의 원인을 규명하고자 하였다. 유등천은 충남 금산군 복수면의 경계에서 시작하여 대전시 중구와 서구 도심을 통과한 후 대전천이 합류하고 서구 삼천동에서 갑천으로 합류되는 유로연장 44.40km, 유역면적 289.14km²의 국가하천이다.

대전광역시는(2004) 시내의 하천 42개 지점에 대



Fig. 1. Frequent fish kill areas in the Gab stream, Daejeon.

Table 2. Fish collected for Daejeon and Yudeung streams, Daejeon

| 한국명 | 학 명\정 | 점(St.) | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 총계 | RA (%) | 비고 |
|-----------|--|--------|------------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|-------------|--------|-------|
| 피라미 | <i>Zacco platypus</i> | | 47 | 212 | 122 | 398 | | 68 | 161 | 1008 | 52.64 | 일 |
| 갈겨니 | <i>Zacco temmincki</i> | | 45 | 18 | 1 | | | | | 64 | 3.34 | 일 |
| 끄리 | <i>Opsarichthys bidens</i> | | | 1 | 1 | 6 | | 5 | | 13 | 0.68 | 일 |
| 각시붕어 | <i>Rhodeus uyekii</i> | | 20 | 1 | | | | | | 21 | 1.10 | 일,고 |
| 납자루 | <i>Acheilognathus intermedia</i> | | | 4 | | 16 | | 3 | 44 | 67 | 3.50 | 일 |
| 칼납자루 | <i>Acheilognathus koreensis</i> | | 40 | 3 | | | | | | 43 | 2.25 | 일,고 |
| 가시납지리 | <i>Acanthorhodeus gracilis</i> | | | | | 2 | | | 5 | 7 | 0.37 | 일,고 |
| 잉어 | <i>Cyprinus carpio</i> | | | | | 6 | 2 | 6 | 3 | 17 | 0.89 | 일 |
| 붕 어 | <i>Carassius auratus</i> | | | 1 | 75 | 52 | 13 | 44 | 47 | 232 | 12.11 | 일 |
| 중고기 | <i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i> | | | 1 | | | | | | 1 | 0.05 | 일,고 |
| 참붕어 | <i>Pseudorasbora parva</i> | | | | | 4 | | 12 | 24 | 40 | 2.09 | 일 |
| 돌고기 | <i>Pungtungia herzi</i> | | 31 | 54 | 17 | 13 | | 2 | | 117 | 6.11 | 일 |
| 감돌고기 | <i>Pseudopungtungia nigra</i> | | 8 | 14 | | | | | | 22 | 1.15 | 일,멸,고 |
| 쉬리 | <i>Coreoleuciscus splendidus</i> | | 1 | | | | | | | 1 | 0.05 | 일,고 |
| 줄물개 | <i>Gnathopogon strigatus</i> | | | | | 13 | | 5 | 16 | 34 | 1.78 | 일 |
| 긴물개 | <i>Squalidus gracilis majimae</i> | | | | 1 | | | | | 1 | 0.05 | 일,고 |
| 누치 | <i>Hemibarbus labeo</i> | | | | | | | | 18 | 18 | 0.94 | 일 |
| 참마자 | <i>Hemibarbus longirostris</i> | | 2 | | 36 | 4 | | | | 42 | 2.19 | 일 |
| 모래무지 | <i>Pseudogobio esocinus</i> | | 2 | 3 | 3 | 1 | | | | 9 | 0.47 | 일 |
| 돌마자 | <i>Microphysogobio yaluensis</i> | | 19 | 60 | 8 | | | | | 87 | 4.54 | 일,고 |
| 참중개 | <i>Iksookimia koreensis</i> | | 1 | 1 | | | | | | 2 | 0.10 | 일,고 |
| 자가사리 | <i>Liobagrus mediadiposalis</i> | | 1 | | | | | | | 1 | 0.05 | 일,고 |
| క్క지 | <i>Coreoperca herzi</i> | | 2 | 4 | | | | | | 6 | 0.31 | 일,고 |
| 동사리 | <i>Odontobutis platycephala</i> | | | 1 | | | | | | 1 | 0.05 | 일,고 |
| 밀어 | <i>Rhinogobius brunneus</i> | | 9 | 10 | 3 | 5 | | 1 | 2 | 30 | 1.57 | 육 |
| 떡붕어 | <i>Carassius cuvieri</i> | | | | | | | 11 | 20 | 31 | 1.62 | 외 |
| 계(중수/개체수) | | | 14/ 228 | 16/ 388 | 10/ 267 | 12/ 520 | 2/ 15 | 10/ 157 | 10/ 340 | 26/ 1915 | 100 | |

비고: 일:일차담수어, 멸:멸종위기종, 고:한반도 고유어종, 육:육방형 어류, 외:외래어종

하여 2002년 5월부터 2003년 9월까지 장미기간 전과 후를 고려하여 어류 현황을 조사한 바 있다(Fig. 1 참조). 본 연구의 조사 대상 지역인 유등천과 대전천 일대에서는 모두 26종 1,915개체의 서식 어류가 확인되었으며, 특히 피라미가 전체 개체수의 52.7%인 1,008 개체를 차지하여 우점종이었으며, 붕어가 232 개체로 아우점종이었다(Table 2 참조). 유등천 유역은 합류식 하수관거 시스템이 설치되어 있으며, 인구 밀집도가 높고 하천 주변에 포장마차 밀집지역이 위치하고 있어서 강우시 다량의 유기물질이 유입될 가능성이 큰 지역이다. 따라서 유등천은 갑천 및 대전천에 비해 서식하고 있는 어류의 개체수가 다른 하천에 비해 월등히 높으며 특히 피라미 등의 우점종 비율이 매우 높아 단일 어종의 개체수가 우점하는 불균

형적인 서식 환경을 나타내고 있다. 피라미는 운동성이 매우 강한 1차 담수어종으로서 특히 용존산소 소비율이 다른 어종에 비해 크며 따라서 외부의 오염물질 유입 특성에 민감하게 반응할 가능성이 더욱 클 것으로 추정된다.

3. 관련 연구 및 연구 방법

3.1. 관련 연구 현황

어류 폐사의 원인 규명을 위한 연구는 국내에서도 다수의 연구자들에 의해 수행된 바 있다. 이인선(2001)은 물고기가 폐사하는 요인을 수명을 다하여 죽는 자연사, 질병에 의한 어병사, 용존산소부족 등에 의한 질식사, 독성물질에 의한 어독사로 구분하여

Table 3. Fish kill events in the Han river

| 일자 | 사고 내용 |
|-----------|---|
| '00.04.21 | 중랑천 한양대학교 부근 살고지 다리 아래 잉어 약 20여 마리 폐사 |
| '00.05.10 | 안양천 세월교 주변에서 잉어 약 21마리 폐사 |
| '00.07.23 | 인천 계양구 서운동 농수로부근 물고기 폐사 |
| '01.06.02 | 중랑천 제3낙차공 이화교 철교부근 잉어 100여 마리 폐사 |
| '01.10.05 | 반월도금단지내 현대도금에서 방류구 원리교 상류 200m구간에 황산이 유출되어 붕어200여 마리 폐사 |
| '01.11.22 | 평택시 도일천 일대 약4km 물고기 떼죽음 |
| '01.12.30 | 학의천(의왕시덕장천 안양시)일대 약4km 구간 어류 폐사 |
| '02.04.06 | 고양시 법곶동 농업용수로에 DO부족으로 물고기 천여 마리 폐사 |
| '02.04.09 | 화성시 장안면 농수로에 농약병 농약 유입으로 붕어 200여 마리 폐사 |
| '02.06.12 | 서울 방화대교와 가양대교 사이 한강 본류에서 물고기 수 십 마리 폐사 |
| '02.06.25 | 안산천 상류지역에서 하천 방역소독의 영향으로 물고기 수백마리 폐사 |
| '02.07.09 | 시흥시 물왕저수지에서 녹조 현상으로 약 0.5톤의 물고기 폐사 |
| '02.08.20 | 안양천에서 DO부족으로 누치 800여 마리 폐사 |
| '02.09.03 | 수원시 원천 및 신내저수지에서 서식하는 어종이 폭우로 인해 원천천에 유입, 수 환경변화에 의해 700여 마리 폐사 |
| '02.10.13 | 안산천에서 부유물질의 증가로 물고기 300여 마리 폐사 |
| '03.04.21 | 황구지천에서 갈수기 하천 유량이 감소한 상태에서 초기강우에 의한 용존산소 부족으로 물고기 약 100여 마리 폐사 |
| '04.02.12 | 양재천 수질정화시설(역간접축정화시설)의 보에 동절기 동안 누적된 오니가 갑작스런 기온 상승으로 일시에 부상하여 하천하류의 정체수역에 유입되어 물고기 약 100여 마리 폐사 |

제시한 바 있다. Table 3에 나타난 바와 같이 한강유역환경청(www.hg.me.go.kr)의 자료에 의하면 한강 유역 하천에 대해 2000년부터 2004년까지 총 18건의 물고기 폐사 사건이 발생하였으며, 4월부터 6월까지의 기간 동안 어류 폐사 발생 사례가 가장 많았던 것으로 보고되고 있다.

2000년 중랑천에서는 4월, 6월 동안 3차례에 걸친 어류 집단 폐사 사건이 발생한 바 있었으며, 이를 계기로 중랑천의 하천환경 및 수질상태 등에 대한 전반적인 상태 연구를 위해 서울특별시의회 환경수자원위원회(2000a, 2000b)는 “중랑천 수질환경조사 소위원회”를 구성하여 중랑천 어류 폐사의 원인을 조사하는 연구를 수행한 바 있다. 소위원회에서는 중랑천의 하수처리 문제, 수량문제, 퇴적물, 생물상, 생태환경 등을 고려한 연구 용역을 수행한 바 있으며, 연구 결과 물고기 대량 폐사의 원인을 소규모 하수관거 용량 부족, 낙차공 속의 고농도 오염물질, 의정부 하수종말처리장의 용량 부족, 중랑 하수종말처리장의 용량

부족 등의 4가지로 제시하였다. 이에 대한 해결 방안으로는 하수종말처리장과 하수관에서 처리하는 용량을 높이는 한편 서울시계 중랑천 상류지역에 하수종말처리장을 만들어 북부지역 하수를 처리하여 중랑처리장의 과부하를 해소하고, 생태통로, 친수환경의 낙차공 설치, 친수환경의 독 조성 등 중랑천에 대해 친수환경 조성 방안 등을 제안한 바 있다. 한편 환경부(2004)에서는 봄철 수환경변화에 따른 어류 폐사 방지 대책으로, 강우 이전, 강우 시, 폐사 발생 시로 구분하여 각 단계별 추진해야할 세부사항을 기술하고 있다.

호주의 Northern Territory 주정부에서는 “Fish Kill Investigation Manual”을 작성하여 어류 폐사 사고에 대한 기록, 자료 수집, 평가 및 보고 등을 위한 정보를 제공하고 있으며, 사고 보고를 위한 자세한 서식을 제공하고 있어 신속한 원인 규명이 이루어지도록 하고 있다 (Meyer and Henman, 2004). 호주 Queensland 주의 Department of Environment and Heritage에서도 “Fish Kill Reporting and Investigation

Table 4. Fish kill causes - Interpretation guide : Physical signs

| 물리적 폐사 징후 | 어류 폐사의 원인 | | |
|-------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | 용존산소 부족 | 독성 조류 증식 | 살충제 독성 |
| 영양 어류의 행동 | 수표면에서 호흡 | 경련, 불규칙적 유평 및 혼수상태 | 경련, 불규칙적 유평 및 혼수상태 |
| 선택적 폐사 어류종 | 대부분의 어류 폐사 | - | 하나의 종이 다른 종에 비해 우선적으로 폐사 |
| 폐사 어류 크기 | 크기가 큰 어류가 우선적으로 폐사 | 크기가 작은 어류가 우선적으로 폐사 | 크기가 작은 어류가 우선적으로 폐사 |
| 폐사 시간 | 이른 아침 또는 밤 시간 | 주간 | - |
| 용존산소 농도 | < 2 mg/l | 과포화상태 | - |
| pH | 6.0 ~ 8.3 | 9.0 이상 | 7.5 - 9.0 |
| 수체 색깔 | 검은색, 회색 및 갈색 | 청녹색, 갈색, 황금색 강한 냄새를 수반 | - |
| 조류 및 플랑크톤 양 | 조류가 거의 없으며, 소량의 동물성플랑크톤 | 단일의 우점 조류종, 소량의 동물성플랑크톤 | |

[자료] Meyer, F.P. and Herman, R.L.(1990)

Table 5. Fish kill causes - Interpretation guide : Environmental conditions

| 하천 상태 | 가능 원인 |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> · 물고기가 수표면으로 떠올라 공기를 마심 · 2 mg/l 이하의 용존산소 농도 | <ul style="list-style-type: none"> · 유기물질이 용존산소를 고갈시킴 · 유기물질 유입원 조사(하수처리장, 축사, 조류증식, 초기강우에 의한 유기물 유입(선행무강우 일수가 장기간인 경우)) |
| <ul style="list-style-type: none"> · 물고기가 수표면으로 떠올라 공기를 마심 · 정상적인 용존산소 농도 | <ul style="list-style-type: none"> · 순간적인 용존산소 농도 감소 후 회복된 상태 · 유기물질 유입원 조사 · 암모니아 독성 가능성 · 독성 조류 증식 · 높은 유리 염소 농도 |
| <ul style="list-style-type: none"> · 집중 강우 후 어류 폐사 | <ul style="list-style-type: none"> · 인근 지역에서 살충제 또는 기타 화학물질 유출 · 독성물질 및 유기물 농도가 높은 저니층의 부상 |
| <ul style="list-style-type: none"> · 수표면에 기름 막 형성 | <ul style="list-style-type: none"> · 관, 트럭, 주유소 등으로부터의 석유 물질의 유출 |
| <ul style="list-style-type: none"> · 수체 내 비정상적으로 높은 전기전도도 | <ul style="list-style-type: none"> · 하구 유역에서의 염수의 유입 |
| <ul style="list-style-type: none"> · 수체 내 비정상적으로 낮은 전기전도도 | <ul style="list-style-type: none"> · 하구 유역에서의 강수 또는 담수의 유입 |
| <ul style="list-style-type: none"> · 해안가를 따라 물고기 폐사, 낮은 기온 | <ul style="list-style-type: none"> · 낮은 수온에 의한 폐사 |
| <ul style="list-style-type: none"> · 댐 하류의 작은 물고기 집단 폐사 | <ul style="list-style-type: none"> · 수력 발전 터빈 또는 수문 통과시 사멸 · Gas bubble disease · 저농도 용존산소의 저층수 유입 |
| <ul style="list-style-type: none"> · 냉각수를 배출하는 산업시설 하류에서 작은 물고기 집단 폐사 | <ul style="list-style-type: none"> · 급격한 온도변화에 의한 쇼크 |
| <ul style="list-style-type: none"> · 단일종 또는 제한된 크기의 물고기 폐사 | <ul style="list-style-type: none"> · 산란시 스트레스 · 질병 · 악화된 수질 |

[자료] American Fishery Society(1992)

Manual(1998)”을 제작하여, 어류 폐사사고의 보고, 조사 및 원인 분석 과정에 대한 지침을 제시하고 있다. 미국의 IOWA 주 자연자원국(Department of Natural Resource)에서는 1995년 5월부터 2005년 5월 까지 총 345건의 어류 폐사 사고 중 계절적인 요인 또는 용존산소 농도 부족 등의 자연적인 요인에 의한 사고는 135건, 농약 및 유기 오염물질 등 인위적인 오염원 유입에 의한 사고는 168건, 그 외 42건에 대해서는 원인규명이 이루어지지 않고 있다고 보고한바 있다(<http://www.iowadnr.com/water/tmdlwqa/wqa/fishkill.html>)

Table 4와 Table 5는 호주의 Department of Environment and Heritage(1998)에서 발간한 어류폐사의 보고 및 조사를 위한 지침서에서 사용되는 폐사 발생시의 물리적 또는 환경 조건 및 원인을 요약하고 있다.

3. 2. 연구 방법

3.2.1. 연구대상지역 환경부 수질 자료 조사

Fig. 2는 환경부 수질 측정망 자료를 이용한 유등천 내 5개 지점의 항목별 수질 변화추이를 나타내고 있다(Fig. 1 측정지점 참조). 모든 항목은 상류(Y1)에서 하류(Y5)로 갈수록 악화되는 경향을 나타내는 것으로 조사되고 있으며, 계절적으로는 봄철인 3월부터 6월까지의 수질 농도가 비교적 높게 나타나고 있다.

유등천 유역은 현재 합류식 하수관거가 설치되어 있으며, 비강우시에는 배출하수 전량이 차집되어 대전시 하수처리장으로 이송되나, 강우시에는 월류되어 하천으로 직접 유입된다. 대형 하수 관로에 연결된 정확한 처리 인구는 하수관거 처리구역도를 통해 산정될 수 있으나, 유등천 및 대전천 유역의 하수관거에 대한 처리구역도 및 관련 자료의 확보는 불가능하였다.

대전광역시(2005b)의 자료에 의하면 유등천 지역은 대전의 구도심을 포함하는 대전천 유역에 비하여 단위면적당 인구수가 약 2배에 달하며(0.0092:0.019 인/m²), 유역내 산업체의 수(34:49개소) 또한 상대

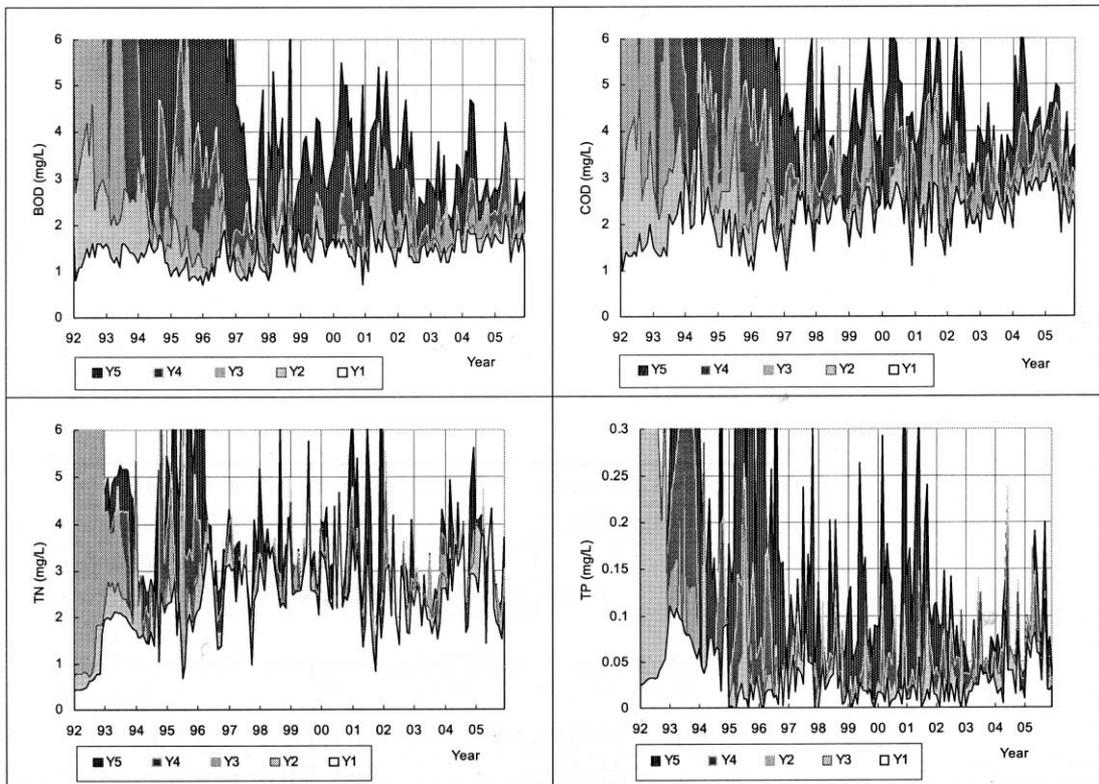


Fig. 2. Yudeung stream water quality data (1992-2005) (환경부, 2006).

적으로 많은 것으로 조사되고 있다. 산업체의 경우 대전천 유역의 산업체는 대부분 위탁처리를 하고 있는 반면, 유등천 유역의 경우에는 하수처리장으로 이송 처리하는 것으로 보고되고 있으므로 이로 인해 강우시 수질농도가 더욱 증가하는 것으로 볼 수 있다. 또한 물고기 폐사지역 직상류에는 포장마차 밀집지역과 시외버스터미널의 하상 주차장이 위치하고 있어서 유등천의 수질에 악영향을 미칠 수 있는 요인을 제공하고 있다. 그러나 환경부에서는 통상 강우시에 정기 수질 측정용 시료를 채취하지 않는다는 점을 감안할 때, 강우시의 수질 자료는 Fig. 2에 나타난 것보다 더욱 악화된 농도를 나타낼 것으로 추정된다.

3.2.2. 정기 및 강우시 수질 조사

본 연구에서는 Fig. 3-a에 나타난 지점들에 대하여 정기 수질 조사 및 강우시 수질 측정을 실시하였다. 조사 항목은 유량, 수온, pH, DO와 BOD, COD_{Mn}, T-N, NH₃-N, NO₃-N, T-P 등의 일반항목과 Cd, CN, Pb, Cr⁶⁺, As, Hg 등의 중금속에 대하여 2005년 4월부터 11월까지 월 1회씩 총 8회 정기 수질 조사를 실시하였으며, 강우시 총 3회의 연속 수질 조사를 실시하였다. R1, R4, R7은 하수관거 월류수 측정지점을 나타내며, R2, R5, R8은 월류수가 직접적으로 유

입되는 하천지점을 나타낸다. 또한 R3, R6, R9는 관거와 관거 사이의 하천지점으로 월류수 유입 후 하천 수질 변화를 파악하기 위하여 선정하였다. 또한 Fig. 3-b에 나타난 바와 같이 태평교 상류 하수관거 월류지점에 수질측정장비를 설치하여 연속 수질 모니터링을 실시하였으며 분석결과는 이은형(2005)에 의해 자세히 보고된 바 있다.

3.2.3. 하수 관거 및 하천 퇴적물 조사

하수 내 유기물질 등은 하수관거 바닥에 침전하게 되며, 강우 발생시 이 침전물은 하수와 함께 유출되어 하천 수질 악화의 주요 원인으로 작용한다. 본 연구에서는 어류 폐사 발생 지점의 하수관거내의 퇴적물 및 하천의 퇴적물에 대한 조사를 실시하였다.

Fig. 3-b와 같이 하수관거내 퇴적물(S1)과 하천내 퇴적물(S2, S3)을 대상으로 총 3회에 걸쳐 COD, TN, TP 등의 오염물질의 함유량과 Pb, Cu, Cr⁶⁺ 등에 대한 중금속 함유량 그리고 강열감량을 측정하였다. 퇴적물내 중금속은 Cd, Hg, As, CN 등에 대하여도 실시되었으나 이들 항목은 검출되지 않았다.

3.2.4 용존산소와 어류폐사 상관관계 실내 실험 물고기 생존에 가장 큰 영향을 미치는 용존산소 농

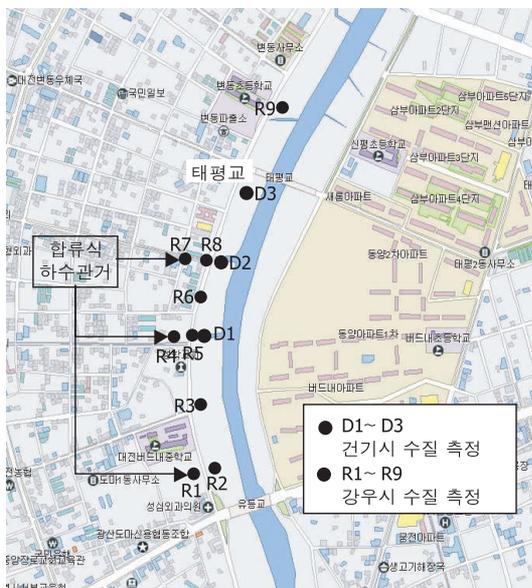


Fig. 3-a. Water quality monitoring sites in the study area.



Fig. 3-b. Sediment survey and continuous water quality monitoring sites.



Fig. 4-a. Continuously mixed water bath for fish mortality test.



Fig. 4-b. Still water bath for fish mortality test.

도는 수중의 유기물질의 양, 수초 및 플랑크톤의 양, 수온 등의 여러 환경적인 요소에 의해 결정이 되며, 낮은 용존산소 농도에 대한 어류의 저항능은 어류의 종류 및 크기에 의해 결정된다. 송어 등의 특정 종은 용존산소 농도에 매우 민감한 것으로 보고되고 있으며, 따라서 용존산소 농도 감소에 따라 가장 우선적으로 폐사될 수 있는 종이다. 용존 산소 부족으로 인한 어류 폐사의 경우에 어류의 반응은 숨을 쉬기 위하여 수체의 표면으로 올라오며, 폐사 후에는 아가미의 표면이 벌어지고, 분홍색을 띠게 된다(Reynold et al, 1986).

유등천 유역의 어류 폐사는 주로 강우 발생 후 하수관거 지점 하류에서 빈번히 발생하는 것으로 조사되었다. 하수관거 하류 지점은 강우시 월류수의 영향으로 웅덩이가 형성되어 다른 지점에 비해 수심이 깊으며, 하상에 다량의 퇴적물이 존재하여 어류의 서식처를 제공하고 있다. 수체내 용존산소 농도는 하천 저니층에 의한 산소 소비율과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고된 바 있으며(Hellawell, 1986) 특히 본 연구 대상 유역의 경우 하수관거 월류수에 의한 퇴적물이 다량 존재하므로 저니층에 의한 산소 농도 감소에 따른 물고기의 반응을 파악하기 위하여 실내 실험을 실시하였다. 실내 실험을 위하여 피라미, 붕어, 모래무지 등의 어류를 직접 채집하였으며, 약 10cm의 크기의 어류를 선택하여 각 수조에 10마리를 넣은 후 실험을 실시하였다. Fig. 4는 실내 실험을 위한 수조로 60cm(가로)×30cm(세로)×45cm(높이)의 아크릴로 제작하였으며, 어류가 가장 많이 서식하고 있는

지점(연속 수질 모니터링 지점)에서 저니층을 채취하였다. 유등천의 자연 현상을 그대로 재현하기 위하여 실험 대상 물고기와 수 시료는 유등천에서 직접 채집/채수하여 사용하였다. 어류 폐사가 주로 발생하는 시기는 강우시 저니층의 교란이 발생하는 시기이므로 이러한 영향을 파악하기 위하여 Fig. 4에 나타난 바와 같이 하나의 수조는 펌프를 이용하여 교란을 유도하였으며, 다른 하나의 수조는 정체된 상태를 유지시켰다.

4. 결과 및 고찰

4.1 정기 및 강우시 집중 수질 분석 결과

조사 기간중 유등천의 유량은 0.52~2.98m³/s의 범위를 나타내고 있으며 강우량이 적었던 5월의 경우 최저 유량을 나타내었다. 유등천의 DO 농도는 하천 수심이 낮고, 수초 등의 광합성에 의해 주간에는 7.6~15.43mg/l의 범위로 매우 높은 값을 나타내고 있다. BOD 농도의 경우는 0.8~3.99mg/l, COD 농도는 3.32~5.64mg/l의 범위를 나타내고 있어 하천 수질 환경기준인 항목을 기준으로 2~3 등급 정도의 수질을 나타내고 있는 것으로 조사되었다. T-N 농도는 1.40~4.36mg/l 그리고 T-P농도의 경우는 0.002~0.109mg/l의 범위를 나타내고 있어 일반적인 도시 하천의 수질 농도와 유사한 범위의 수질을 나타내는 것으로 조사되었다. 강우량이 상대적으로 적었던 4월과 5월의 유량은 각각 0.62, 0.52m³/s였으며,

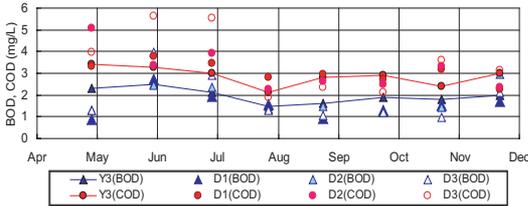


Fig 5-a. Water quality measurement results (BOD5, CODMN) of site D1, D2 and D3 (Markers only) and solid lines represent government data in Yudeung3(Y3).

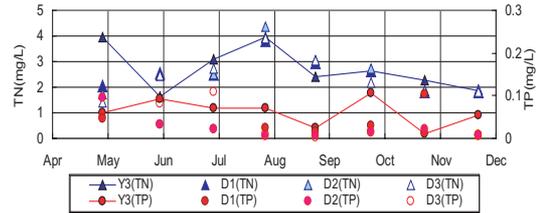


Fig 5-b. Water quality measurements (TN, TP) of site 1, 2 and 3 (Markers only) and solid lines represent government data in Yudeung3(Y3).

현장 조사 결과 다량의 수초 등이 서식하고, 퇴적물질이 두껍게 층을 형성하고 있어 비린내와 같은 냄새와 외관상 불쾌감을 유발하는 문제점이 발견되었다. 또한 D2 지점의 경우 하수관거 유출부 지점으로 강우시 월류수 유입으로 인해 웅덩이가 형성되었으며, 다수의 물고기가 서식하고 있는 것으로 조사되었다.

Fig. 5는 본 연구에서 실측된 D1, D2 및 D3지점의 월별 측정 자료와 환경부의 유등천 3(Y3) 지점의 자료를 비교한 것이다. 유등천 3 지점은 본 연구 대상 지역에서 가장 가까운 지점이나 연구 대상지역의 하류에 위치해 있으며 또한 본 연구와 환경부의 시료 채취 일자는 다소 차이가 있다. 따라서 측정 자료들도 다소 차이를 나타내고 있으나 전반적으로 D3 지점의 자료는 환경부의 수침교(Y3) 자료와 유사한 경향을 나타내고 있다. 그러나 이러한 정기적인 수질 조사 결과는 오염물질의 증감 요인을 파악하거나 물고기의 폐사 시기와 정확하게 일치되는지를 알 수 없으며 따라서 물고기의 폐사원인 분석을 위해 활용하기는 어려운 실정이다.

Fig. 6은 본 연구에서 실시한 강우시 집중 조사 자료를 나타낸다. 본 연구에서는 총 3회의 강우시 집중 조사를 실시하였으나, 강우의 시작과 함께 실측 조사를 할 수 있었던 것은 2005년 6월 1일 1회에 불과하였다. 실제로 강우 시작시간을 맞추어 현장에 도착하여 시료를 채취하는 데에는 현실적으로 많은 어려움이 따른다. 그럼에 나타난 바와 같이 하천 및 하수관거의 유출수의 수질은 강우 및 유출의 변화와 함께 뚜렷한 변화를 나타내고 있으며 하수관거에서 유출되는 최대 농도는 하수처리장의 유입수 수준과 비슷한 범위를 나타내고 있다. 하천의 수질 또한 급격히 변화하는 것이 관찰되었으나 이 기간 동안 어류의 폐사가 관찰되지는 않았다. 따라서 이러한 방법에 의한

수질 조사가 어류 폐사의 원인을 직접적으로 규명하기는 어려우며 역시 한계가 있는 방법이라는 것을 알 수 있다.

4. 2. 퇴적물 오염물질 함유량 조사 결과

Table 5는 본 연구 대상 지역의 퇴적물의 오염물질 함유량을 나타낸다. 관거내 퇴적물은 하천의 퇴적물에 비하여 높은 오염물질 함유량을 나타내었으며, 특히 유기물의 지표인 COD 농도의 경우 퇴적물이 적은 하천지점(S3)에 비해 최고 10배 이상의 높은 농도를 나타내었다. 유기물의 함량을 나타내는 강열감량의 경우에도 관거 퇴적물의 경우 최고 18%로 매우 높은 값을 나타내고 있다. 시기별로는 10월에 가장 낮은 농도를 나타내고 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 하수관거 및 하천의 퇴적물의 축적량은 선행강우강도와 시기에 따라 매우 크게 변화할 것으로 판단된다. 1차 분석이 이루어진 10월 27일의 경우에는 6일 전인 10월 21에 4.5mm의 선행강우가, 11월 25일의 경우에는 15일 전인 11월 8일에 5mm의 강우가 발생한 바 있다. 12월 29일의 경우에는 12월 초부터 퇴적물이 축적되고, 이 시기에 발생한 강수량은 주로 강설에 의한 것이므로 장기간 동안 유기물질이 퇴적된 상태로 가장 높은 농도를 나타내는 것으로 추정된다. 따라서 동절기 동안 관거에 축적된 유기물질은 이듬해 봄철 다량의 강우 발생시 일시적으로 하천으로 유출될 가능성이 매우 높으며 이로 인한 급격한 DO 농도 감소 및 탁도 농도의 증가가 어류 서식 환경에 지대한 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 퇴적물 조사 자료 또한 어류의 폐사 시기 및 원인과 관련지어 해석하기는 매우 어려운 실정이다.

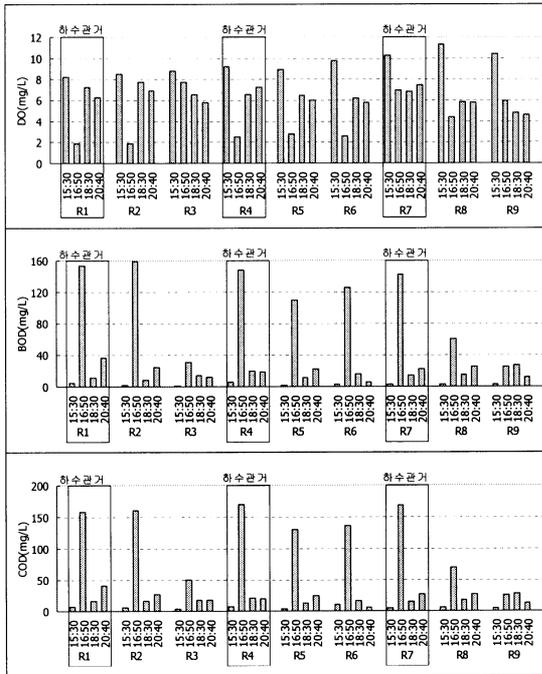


Fig. 6-a. Water quality during rainfall - DO, BOD5, CODMN (June 1).

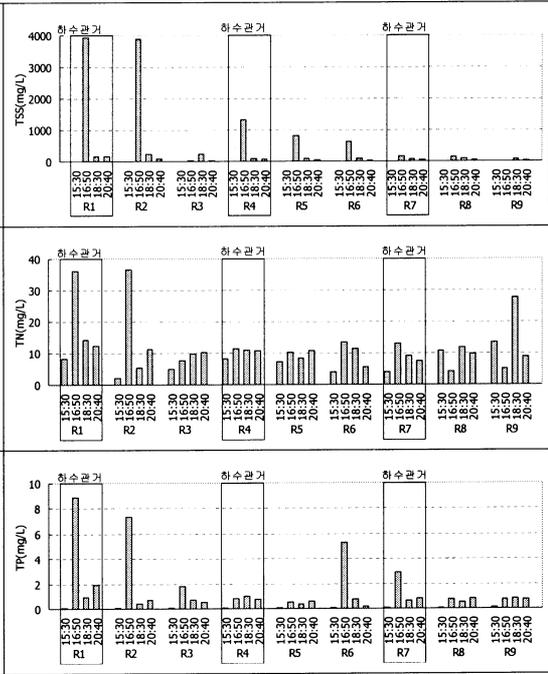


Fig. 6-b. Water quality during rainfall - TSS, TN, TP (June 1).

4. 3. 용존산소와 어류폐사 상관관계 실내실험

어류 폐사와 저니층에 의한 산소 소비와의 관계를 파악하기 위한 실내 실험은 총 10회에 걸쳐 실시되었다. 정체 수조의 경우 0차 반응을 따르며 평균 0.026mg/l/min 정도의 일정한 산소 소비율을 나타내는 반면, 교반 수조의 경우에는 1차 반응의 경향을 나타내며 지수 함수적으로 감소하는 것으로 관찰되었다. 교반

수조의 경우 실험 시작 후 40분 사이에 용존산소농도는 초기 농도의 약 50% 가량으로 감소하며 이 기간 동안 감소율은 0.1/min로서 정체 상태에 비하여 매우 급격한 감소 경향을 나타낸다. 실험용 어류는 용존산소 농도가 2mg/l 이하가 되면 폐사되어 수조 위로 떠오르기 시작하였으며, 1mg/l 이하에서는 모든 어류가 폐사하는 것으로 관찰되었다.

Table 5. Sediment organic and nutrient contents in the study site.

| 측정 지점 | 측정일 | COD (mg/kg) | T-N (mg/kg) | T-P (mg/kg) | 강열감량 (%) |
|---------|-------|-------------|-------------|-------------|----------|
| S1 (관거) | 10/27 | 880 | 250 | 111.5 | 14.40 |
| | 11/25 | 7,700 | 638 | 147.9 | 18.04 |
| | 12/29 | 8,909 | 668 | 240.3 | 17.60 |
| S2 (하천) | 10/27 | 375 | 115 | 97.0 | 14.01 |
| | 11/25 | 2,120 | 120 | 87.5 | 12.63 |
| | 12/29 | 4,465 | 325 | 158.9 | 17.40 |
| S3 (하천) | 10/27 | 306 | 130 | 62.9 | 9.60 |
| | 11/25 | 713 | 100 | 99.8 | 8.50 |
| | 12/29 | 899 | 165 | 137 | 10.40 |

교반 강도를 증가시킨 경우에 산소 소비율은 더욱 증가되었으며, 교반 시작 후 약 20분 경과 후에 DO 농도는 1mg/l 이하로 감소되어 실험용 물고기는 순간적으로 폐사하였다. 그러나 현장에서의 연속 모니터링 결과 강우시 하수관거의 월류 및 하천 저니층의 교란 등으로 인해 DO 농도가 순간적으로 1mg/l 이하로 감소한 경우가 발생하였으나 어류의 폐사는 관찰되지 않았다. 이는 현장조건의 특정 지점에서 DO 농도가 감소해도 물고기들은 용존 산소 농도가 높은 다른 곳으로 이동이 가능하나 수조 내에서는 이동이 불가능하므로 사멸한 것으로 판단된다. 따라서 어류 폐사의 원인은 DO 농도가 감소되는 공간 및 시간적인 특성에 따라 크게 좌우될 것으로 판단된다.

4. 4. 독성물질의 유입과 어류폐사 상관관계 실내 실험

본 연구 대상 지역에서는 2005년 9월 9일 오후 6시부터 7시경에 소나기성 집중 강우가 발생하였으며, 같은 시간대에 폐사가 주로 발생하는 지점 부근 유등천변 산책로에 대해 우레탄 포장공사가 실시되었다. 우레탄 포장 공사시에는 바닥의 콘크리트와 우레탄칩의 접착을 위한 프라이머와 우레탄칩의 접착을 위한 바인더 등의 화학물질이 사용되고 있다. 프라이머의 경우에 희석 용제로 시너(thinner) 성분이 사용되므로 강우시 시너 성분의 하천 유입으로 인한 어류 폐사의 가능성을 파악하기 위해 실내 실험을 실시하였다. 실내 실험은 5L의 수조를 이용하여 현장에서 잡은 모

래무지를 대상으로 실시하였으며, DO 농도를 2.0 mg/l 이하의 저농도로 유지한 경우와 10mg/l 이상의 고농도로 유지한 경우로 구분하였다. 각각의 수조에 동일한 양의 시너를 주입하면서 어류의 운동성을 관찰하였으며, 실험 결과 DO 농도가 낮은 수조에서는 시너가 약 3mg/l의 농도를 나타냈을 때 물고기의 운동성이 없어지는 것으로 나타났으며, DO 농도가 높은 수조에서는 7mg/l 이상의 시너 농도에서 물고기의 운동성이 없어지는 것으로 나타났다. 이러한 실험 결과에 의하면 소나기성 집중강우에 의해 DO의 농도가 2mg/l 이하로 급격히 저하되고, 강우 유출에 의해 공사시 사용되었던 시너가 하천으로 유입되었을 경우 복합적인 효과가 어류의 폐사를 촉진시킬 가능성이 있는 것으로 판단된다. 그러나 이러한 실내 실험은 시너 성분 유입 여부 및 유입량이 정확히 파악되지 않은 상태에서, 시너로 인한 어류 폐사의 개연성만을 제시할 뿐 정확한 원인을 규명하지는 못한다.

5. 결론

본 연구에서는 어류 폐사가 빈번히 발생되고 있는 대전시 유등천의 유등교 - 태평교 구간을 연구대상구역으로 선정하여 국내외의 어류 폐사관련 문헌 조사, 환경부의 수질 측정망 자료, 기상청의 강수량자료, 현지 수질 조사 및 강우시 집중 수질 조사, 퇴적물 오염물질 함유량 조사 그리고 실험실의 산소농도 및 화학물질 농도변화에 따른 어류 폐사 실험 등을 통해

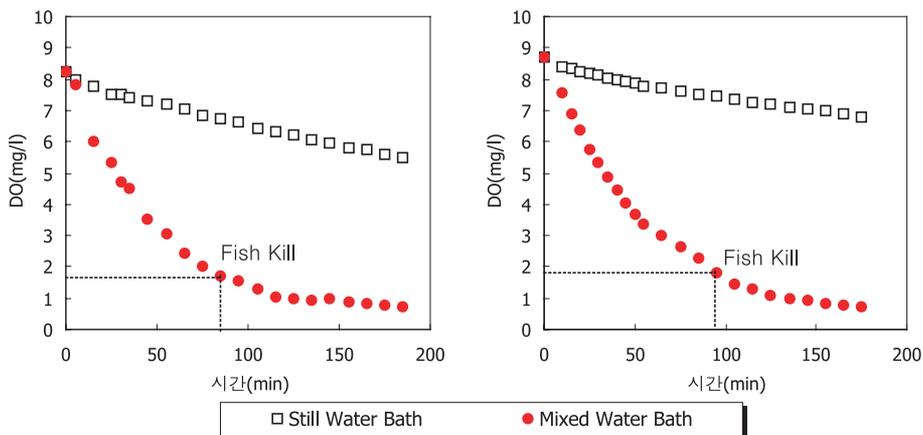


Fig. 9. Variation of dissolved oxygen concentrations and fish kill point in fish tanks.

어류 폐사의 원인을 분석하고, 폐사 방지를 위한 방안을 수립하기 위해 수행되었다.

유등천의 태평교 및 수침교 부근의 경우 다른 하천에 비해 유기물 농도가 높으며 따라서 어류의 밀집도가 높게 나타나고 있다. 어류 폐사의 원인으로는 다량의 강우에 의한 하수관거 월류수의 하천 유입과 이로 인한 용존산소 농도의 감소, 탁도 유발 물질의 증가 등 복합적인 원인에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 본 연구 대상지역내의 태평교 상류 지점에서는 2005년 9월 10일에 물고기 약 500 마리가 폐사하는 사고가 발생하였다. 그러나 이 시기에는 수질 측정 또는 현장 조사가 이루어지지 못하였으며 따라서 어류 폐사의 원인이 무엇이었는지 정확하게 파악하기는 어려웠다. 환경부 및 본 연구에서 수행한 월별 수질 자료는 청천시에 채취된 수질 시료를 분석하는 경우가 대부분이므로 강우 등에 의해 유등천에서 실제 발생 가능한 최악의 수질 상황을 반영하지는 못하는 것으로 판단된다.

물고기의 폐사원인은 집중강우에 의한 오염 또는 생태여건의 변화에 의하거나 독성물질 등의 유입에 의한 것으로 추정될 수 있다. 어류 폐사 사고는 강우의 발생 패턴과 밀접한 관계가 있는데 무강우 일수가 지속될수록 그리고 초기강우의 강도가 클수록 하천의 수질에 미치는 영향이 큰 것으로 추정된다. 그러나 본 연구에서 수차례의 강우시 해당 시간에 맞추어서 인력을 투입하는데 매우 큰 어려움이 있었으며 집중강우시에 측정이 가능하였던 조사 기간에는 어류가 폐사하지 않았다. 퇴적물 조사와 실내 어류 폐사 실험 등의 자료를 조합해 볼 때, 용존산소의 결핍이나 유해물질의 유입이 어류의 폐사의 일반적인 원인이 될 수는 있으나 본 연구 대상 지역에서 어류 폐사가 일어나는 조건과 어떻게 관련이 있는지 파악하는 데에는 충분하지 못하였던 것으로 판단된다. 따라서 본 고에서 열거된 장기간 및 집중적인 시기의 수질 자료, 퇴적물 및 어류 실내 실험 등의 자료는 어류 폐사에 대한 일반적인 가능성만을 제시할 뿐 어느 특정 지점과 특정 순간에 물고기가 대량 폐사할 것을 예측하는 데에는 한계가 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구대상지역의 어류 폐사의 원인을 더욱 정확하게 파악하기 위해서는 인력을 매번 투입하지 않아도 수질 시료를 채취하거나 연속적으로 수질 측정이 가

능한 자동 모니터링시스템을 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 대전 환경 기술 개발 센터의 2005년도 연구 개발 사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 국립환경연구원 (2004) *물환경종합정보*, 5, pp. 28-29.
2. 대전광역시 (2004) *대전광역시 자연환경조사*, pp. 7-1-7-40, 대전환경기술개발센터.
- 대전광역시 (2005b) *대전광역시 금강오염총량관리 기본계획*, pp. 4-9-4-44.
- 서울특별시의회 (2000a) *서울시 중랑천의 바닥침전물 특성 조사 및 검토*, pp. 15, 고려대학교부설 환경기술정책연구소.
- 서울특별시의회 (2000b) *중랑천 수질환경조사 - 중랑천 생태적 복원을 위한 실천계획 수립*, pp. 58-59, 낙동강환경원.
- 이은형 (2005) *대전시 3대하천 물고기 폐사원인 규명 및 대책수립 연구 최종 보고서*, 대전·충남지역 대전환경기술개발센터.
- 이인선 (2001) *수질오염에 따른 어류의 피해*, 21세기 물관리 정책방향 심포지움 proceeding.
- 한국건설기술연구원 (2003) *도심생태하천조성 학술용역 중 하천환경 실태조사*.
- 환경부 (2006) *물환경정보 시스템 수질 측정망 자료* <http://water.nier.go.kr/weis/>.
<http://www.iowadnr.com/water/tmdlwqa/wqa/fishkill.html>.
- American Fishery Society (1992) *Investigation and Valuation of fish Kills*, Special Publication 24, American Fishery Society, Maryland.
- Department of Environment and Heritage (1998) *Fish Kill Reporting and Investigation Manual*, pp. 20-21, Queensland Government.
- J. M. Hellawell (1986) *Biological Indicator of Freshwater pollution and Environmental Management*, pp. 78-79, Elsevier Applied Science Publishers LTD.
- Meyer, F.P. and Herman, R.L (1990). *Interpreting the Science, in Field Manual for the Investigation of Fish Kills* (F.P Meyer and L.A Barclay, eds.). U.S. Fish and Wildlife Service resource publication 177.
- Reynolds, L.F. and Scribner, E.A. (1986). *Fish Kills Advisory Note*. Department of Agriculture New South Wales.