

도시 하천에서의 어류 폐사 원인 분석 II - 자동수질측정장치 및 수질모델의 사용

Causes of Fish Kill in the Urban Stream and Prevention Methods II - Application of Automatic Water Quality Monitoring System and Water Quality Modeling

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 6월 27일 최종 수정논문 채택)

Abstract

This study focused on the causes of fish kills and its prevention methods in Yudeung Stream, Daejeon, Korea. Intense field data, continuous water quality monitoring system and water quality modeling were applied to analyze the causes. Pollutant can be delivered to urban streams by surface runoff and combined sewer overflows in rainfall events. However, water quality analysis and water quality modeling results indicate that the abrupt fish kills in the Yudeung stream seems to be caused by combined effect of DO depletion, increase in turbidity and other toxic material. Excessive fish population in the study area may harm the aesthetic value of the stream and also has greater potential for massive fish kills. It is suggested to implement methods to reduce delivery of pollutants to the stream not only to prevent fish kills but also to keep balance of ecosystem including human uses. Frequent clean up of the urban surface and CSO, installation of detention basin will be helpful. In the long run, it seems combined sewer system has be replaced with separate sewer system for more effective pollutant removal in the urban area.

Key words: Fish Kill, Automatic Water Quality Monitoring, Water Quality Modeling, Yudeung Stream, CSO

주제어: 어류 폐사, 자동모니터링, 수질 모델링, 유등천, 합류식 하수관거

1. 서론

대전시의 3대 하천인 갑천, 유등천, 대전천에서는

어류 폐사 사고가 반복적으로 발생하고 있으며 이에 대한 대책이 시급한 실정이다(대전광역시, 2004). 이은형 등(2006)은 유역 및 하천 조사, 정기 및 강우시 수질시료 채취 및 분석, 퇴적물 오염물질 함유량 분

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

석, 용존산소와 어류의 생존률 실험 그리고 어류 독성 실험 등 다양한 조사를 실시하였으나 어류 폐사의 원인을 직접적으로 파악하는 데에는 충분하지 않았음을 보고 한 바 있다. 서울시에서도 중랑천의 어류 폐사 문제를 해결하기 위하여 “중랑천 수질환경조사 소위원회”가 구성되어 중랑천 어류 폐사의 원인을 조사하는 연구를 수행한 바 있다(서울특별시의회 2000a, 2000b). 이 소위원회에서는 중랑천의 하수처리 문제, 수량문제, 저니층, 생물상, 생태환경 등을 고려한 연구 결과 물고기 대량 폐사의 원인을 소규모 하수관거 용량 부족, 낙차공 속의 고농도 오염물질, 의정부 하수종말처리장의 용량 부족, 중랑 하수종말처리장의 용량 부족 등의 4가지로 제시한 바 있다. 그러나 이러한 연구들은 개인적인 원인 및 대안을 제시할 뿐 직접적으로 물고기들이 폐사한 원인과 그에 대응하는 대책을 수립하는 데에는 충분하지 않은 것으로 판단된다.

일반적으로 어류 폐사는 강우와 같은 하천의 갑작스러운 서식 여건 변화에 따라 단기간에 발생한다. 도시 하천의 수리, 수질 여건의 변화는 강우에 의한 것이 지배적이나 최근과 같이 국지성 폭우가 자주 발생하는 경우 인력에 의존하여 발생 순간 및 원인을

파악하는 것은 현실적으로 한계가 있다. 따라서 저자들은 도시하천 어류 폐사의 원인 규명을 위해서는 연속적인 측정을 통한 수질 변화 파악이 필요하며 이를 위해서는 자동 채수기나 수질 측정 센서를 통한 연속 모니터링이 요구된다고 판단하였다.

환경분야에 있어서 자동 수질 모니터링 시스템은 이미 널리 활용되고 있으며 이에 대한 가장 대표적인 예로는 수처리시설에서 활용되는 자동제어 시스템 들 수 있다. 자동 모니터링 시스템은 측정 센서 및 전송기술의 발달에 따라 해양, 하천 및 호소에서의 적용이 점차 증가되는 추세에 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 수질 분석 자료만으로는 파악하기 어려운 도시 하천의 어류 폐사의 원인을 파악하기 위해 자동수질모니터링 및 무선자료 전송을 위한 연속 수질 감시 시스템을 적용하였다.

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



Fig.1-a. Proposed site for a continuous monitoring system.



Fig 1-b. Picture of the proposed site in dry(upper) and wet(lower) periods.

경계에서 시작하여 대전시 증구와 서구 도심을 통과한 후 대전천이 합류하고 서구 삼천동에서 갑천으로 합류되는 유로연장 44.40km 유역면적 289.14km²의 국가하천이다. 현장에 대한 자세한 사항은 이 은형 등(2005)에 의해 설명된 바 있다.

어류 폐사 사고는 합류식 하수관거의 월류수 유입과 밀접한 관계를 나타내는 것으로 추정되며, 보다 정확한 원인 규명을 위해서는 강우에 따라 월류가 발생하는 시점에 대한 보다 정확한 자료 파악이 필요하다. 본 연구 대상 지역은 합류식 하수관거가 설치된 지점으로 대형 합류식 관거 토출구가 다수 존재하며 Fig. 1-b와 같은 대형 토출구가 유등교와 태평교 사이에 3개가 존재하고 있다. 본 연구에서는 Fig. 1-a에 나타낸 바와 같이 어류 폐사 사고가 반복적으로 발생하는 것으로 보고되고 있는 태평교 상류 하수관거 유출부 지점에 연속 수질 모니터링 장비를 설치하는 것이 적절할 것으로 판단하였다.

3. 연구 방법

3.1. 자동 모니터링 시스템의 활용

우리나라에서는 낙동강 폐놀사건 이후, 전국의 4대강에 자동수질측정망을 설치하여 운영중에 있으며, 이 석모 등(2001)은 낙동강, 금강 그리고 영산강의 자동 수질 측정 시설을 평가하고 추가 설치 위치 및 방법에 대해 자세히 보고한 바 있다. 서동일 등(2002)은 금강의 자동측정시스템의 문제점 및 개선

방안에 대하여 보고한 바 있으며 Lee et al.(2002)은 대청호에 설치된 자동수질모니터링 장치의 측정 결과를 2차원 수리 및 수질 모델인 CE-QUAL-W2에 적용한 결과를 보고한 바 있다. Lee et al.(2004)은 대청호를 대상으로 1997년에 설치된 자동모니터링 시스템의 유지 관리 과정 및 현재 인터넷을 통한 자동 제어 시스템으로의 발전과정 등을 소개하고 수질관리 대책 수립을 위한 활용 방안을 제시한 바 있다.

미국의 경우 1970년대 EPA의 National Water Quality Surveillance(NWQSS)에 의해 시작되어 1980년도에 완성된 Basic Monitoring Program은 전국적으로 약 1,000개의 측정지점을 관리하기에 이르렀다. 한편, 1960년대 중반에 시작된 USGS의 수질데이터 관리소(Office of Water Data Coordination)의 조사는 1980년도에 518개의 측정지점을 관장하는 National Stream Quality Accounting Network (NASQAN)으로 발전하였다. 현재의 미국 수질감시망은 USGS와 EPA가 상호 협조하면서 Intergovernment Task Force on Monitoring Water Quality (ITFM)라는 통합기관으로 발전하여 운영되고 있다. 유럽에서도 라인강과 엘베강 유역의 자동수질감시 시스템이 대표적인 사례로 거론되며, 일본의 경우 비와호 등에서 자동수질 측정 장치를 사용하는 것으로 보고되고 있다(이석모 등, 2001).

3.2. 자동모니터링 시스템의 현장 설치

본 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 자동수질



Fig. 2-a. Water quality sensor installed in the study site.



Fig. 2-b. Water quality data transmission system installed in the study site.

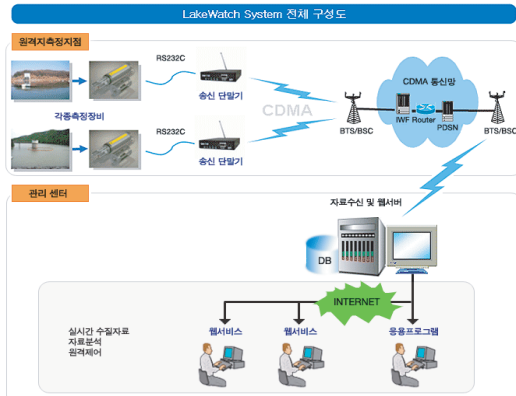


Fig 3-a. Conceptual organization of automatic water quality monitoring system.

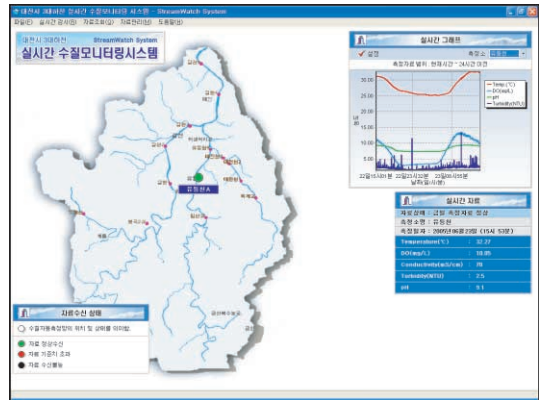


Fig. 3-b. Application Program for analysis of monitoring data.

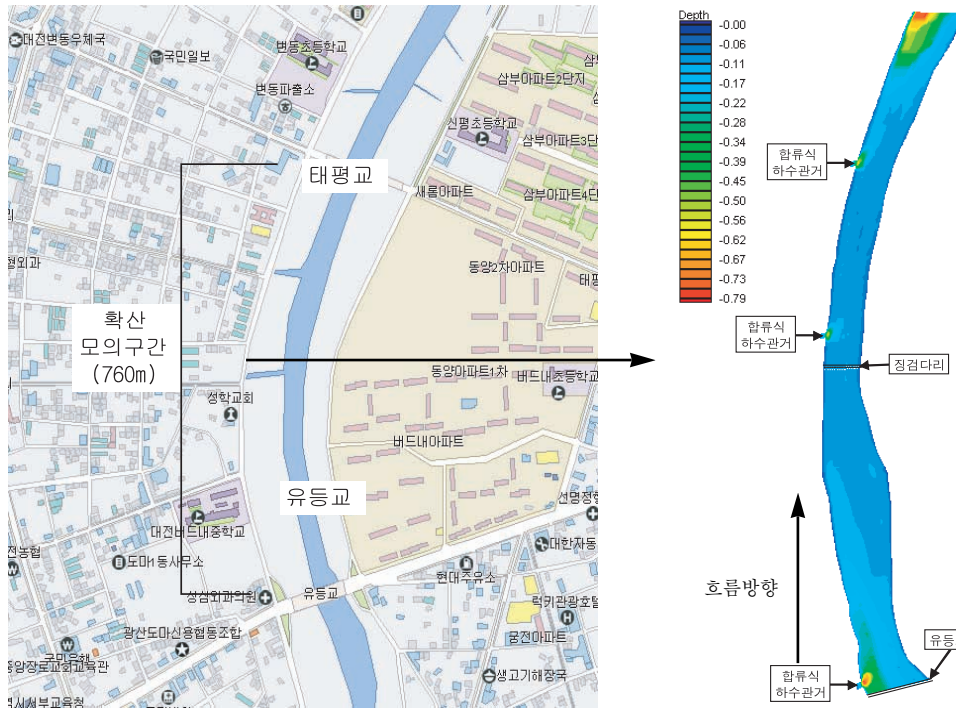


Fig. 4. Depth distribution of the dispersion modeling site.

측정 센서를 이용하여 현장에서 측정 가능한 항목을 연속적으로 측정하고 무선전송 및 인터넷 기술을 활용하여 실내에서 현장의 자료 열람이 가능한 시스템을 구축하였다. Fig. 2는 본 연구 대상 지점에 설치된 수질 센서와 무선 전송을 위한 제어 장치를 나타내고 있다. 자동 수질 측정 센서는 호주 InSitu Inc. 의 MP

Troll 9000 모델로서 이 장치는 용존산소, 전기전도도, 수온, 탁도, 염도, pH, ORP, Salinity, 그리고 수심 등의 측정이 가능하다. 본 장치는 일시적으로 증가하는 하천의 흐름에도 견딜 수 있도록 Fig. 2-a와 같이 스테인레스 스틸을 이용하여 보호구 및 지지대를 제작하여 현장에 설치하였으며 자료 전송 장치는

무선통신 전문업체에 의뢰하여 제작하고 Fig. 2-b에 나타난 바와 같이 연결선을 이용하여 하천변의 전신주에 장착하였다.

자동 모니터링 시스템은 크게 센서부, 자료전송 장치 그리고 자료저장 및 열람장치로 구분된다. Fig. 3-a는 본 연구에서 사용된 연속모니터링 시스템의 구성을 나타내고 있으며, Fig 3-b와 같은 홈페이지와 응용프로그램을 제작하여 실시간 측정 자료를 모니터링하고 수집된 자료의 분석을 통해 수질 변화 추이를 파악할 수 있도록 하였다.

3.3. 수질모델의 이용

본 연구에서는 강우시 발생하는 월류수가 하천으로 유입된 후 확산되는 특성을 분석하기 위하여 확산 모델을 적용하였다. 사용된 모델인 SMS(Surfacewater Modeling System) Version 8.1 모델은 미국 Brigham Young University의 EMRL(Environmental Modeling Research Laboratory)에서 개발된 GUI(Graphical User Interface)이며, 이 모델이 지원하고 있는 모델로는 미공병단에서 개발된 TABS-MD(GFGEN, RMA-2, RMA-4, RMA10, SED2D-WES), HIVEL2D, ADCIRC, CGWAVE, STWAVE 및 M2D 등이 있다. 본 연구에서는 TABS-MD의 3개 부프로그램인 GFGEN, RMA-2, RMA-4를 이용하여 관거 월류수 유입시 하천에서의 확산 양상을 모의하였다(EMS Inc. 2006)

확산을 위한 모의 구간은 어류 폐사가 주로 발생하는 지점인 유등천의 유등교 지점부터 하류 태평교 지점까지의 총 760m 구간으로 모의를 위한 격자는 총 9,664개의 격자로 구성하였으며, 현장 실측을 통하여 수심자료를 입력하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 연속 수질 자료를 이용한 어류의 폐사 원인 유추

Fig. 5와 Fig. 6은 2005년 6월, 7월 및 9월에 대하여 기상청에서 확보한 분 단위 강우자료와 함께 연속 모니터링 장치에 의해 측정된 수온, 탁도 및 DO 농도의 변화를 나타내고 있다. 무강우일이 지속되는 경우 DO 농도는 일출 이후 오전 6시 이후부터 하천내의 식물 및 조류의 광합성 작용에 의해 점차 증가되기 시작하며 오후 1시 경에 최고 농도를 나타낸 후 서서히 감소하여 야간에는 호흡에 의한 산소 소비로 인해 낮은 농도를 유지한다. 수온 또한 하루 중 태양 에너지량의 변화에 따라 DO와 유사한 변화 경향을 나타내고 있다. 그러나 다량의 강우 발생시 이러한 주기적인 변화 패턴이 사라지며 DO 농도는 급격히 감소되는 현상을 나타낸다. 특히 야간에 다량의 강우가 발생하는 경우에는 DO 농도가 더욱 뚜렷하게 감소하는 경향을 나타내고 있다. 수온의 경우에는 강우 발생 초기에 약간 상승하는 경향을 나타내고 있으나,

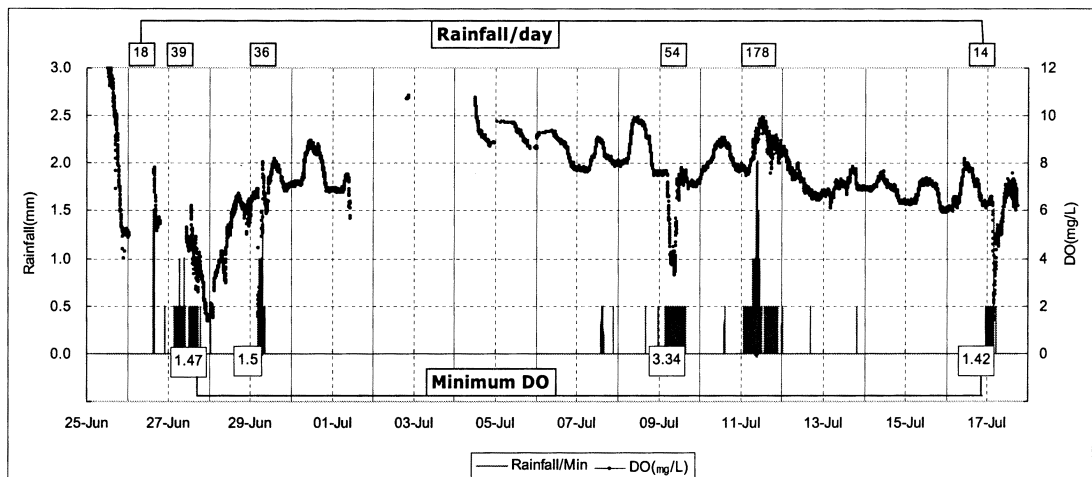


Fig. 5. Rainfall and DO variations in June-July of the study site (2005).

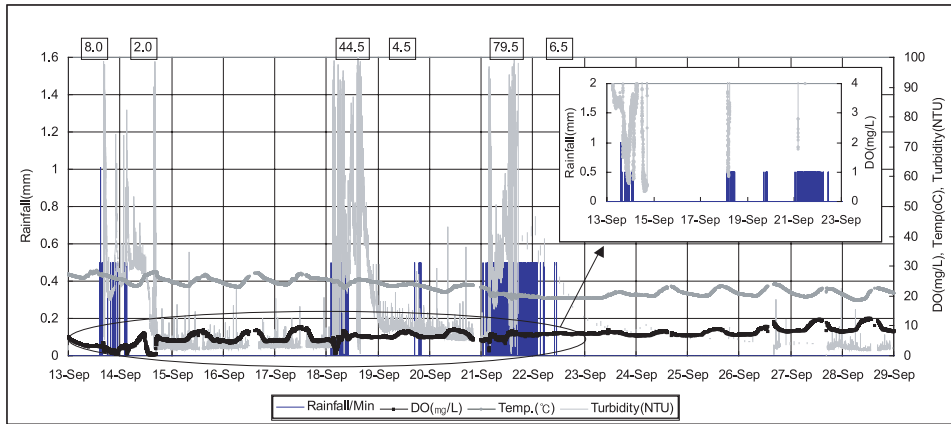


Fig. 6. Rainfall, water temperature, turbidity and DO variations in september of the study (2005).

강우가 지속되면서 점차 감소되는 경향을 나타내고 있다. 강우로 인한 수온의 변화는 약 2°C 이내이며, 이러한 온도 상승은 어류의 폐사에 큰 영향을 나타내지는 않을 것으로 분석된다. 다량의 강우가 발생하는 경우 표면 유출량 및 합류식 하수관거 유량의 유입량 증가에 따라 하천의 탁도 또한 급격하게 증가하는 것이 관찰되고 있으며 강우시 100 NTU에 이르던 탁도는 강우 종료후 10 NTU 이하의 수준으로 빠르게 회복되는 경향을 나타내고 있다. 하천의 DO 농도는 강우가 종료되고 난 후 탁도와 같이 빠르게 회복되지는 않는 경향을 나타내고 있으며, 무강우시 태양에너지의 변화에 따른 DO 농도의 변화 경향을 회복하는데에는 최소 2일 가량이 소요되는 것으로 관찰된다. 이는 하천내의 식물성 플랑크톤 농도가 회복되는 데까지 소요되는 시간과 직접적인 관계가 있을 것으로 추정된다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 6월 27일의 경우 39mm의 강우가 발생하였으며, 최저 DO 농도는 1.47mg/l를 기록하였다. 2일 후인 6월 29일에도 36mm의 강우가 발생하여 최저 DO 농도 1.5mg/l를 나타내었다. 그러나 이후 7월 9일에 54mm의 강우가 발생하였으나 최소 DO 농도가 3.34 mg/l로 관찰되었고, 7월 11일에는 178mm의 다량의 강우가 발생하였으나 괄목할만한 DO 농도의 감소가 관찰되지 않았다. 이는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 6월 26일-7월 3일 사이에 하루 평균 30mm 이상의 강우가 꾸준히 발생하여 유역의 오염물질이 다량 씻겨 나갔으며 7월 7일과 8일

에 각각 1mm와 1.5mm씩 강우가 발생하여 오염물질이 추가로 씻겨나간 효과 때문인 것으로 추정된다.

Fig 6은 9월의 수질 측정 결과를 나타내고 있으며, 2005년 9월 13일의 경우 DO 농도가 2mg/l 이하인 경우가 지속적으로 유지되는 것으로 관찰되었으며 이러한 상황이 계속되는 경우 어류의 집단 폐사가 일어날 가능성이 매우 높을 것으로 추정된다. 9월 14일의 경우에는 강우와 상관이 없이 1 mg/l 이하의 낮은 용존산소 농도가 5시간가량 지속되었는데 이는 기기 설치지점에 유량의 흐름이 발생하지 않아 나타난 현상으로 확인되었으며 현장에서 별도로 DO 농도를 측정할 결과 8 mg/l 이상의 농도를 나타낸 것으로 측정되었다.

Fig. 7에 나타난 9월의 강우 자료를 살펴보면 9월 2일 30mm의 강우가 발생하였으며, 이후 1주일간 강수량이 없다가 9월 9일 다시 약 30mm의 강우가 발생하였다. 그런데 9월 2일 발생한 강우의 영향으로 측정장비의 문제가 발생하였으며 기기 수리 도중인 9월 10일에 연구대상 지역에서 2005년에는 유일하게 어류의 폐사 사고가 발생하였다. 따라서 사고 발생 당시 실측자료를 확보하는 데에는 성공하지 못하였다.

Fig. 8은 어류 폐사가 발생한 2004년 8월 14일과 2005년 9월 10일의 강우자료를 나타내고 있다. 위 기간 동안에는 연속 수질 모니터링이 실시되지 않았으므로 강우자료와 수질과의 관계를 규명하는 것은 불가능하였다. 그러나 특기할만한 사항으로는 두 시기에 15분 동안의 누적강우량과 60분 동안의 누적 강우

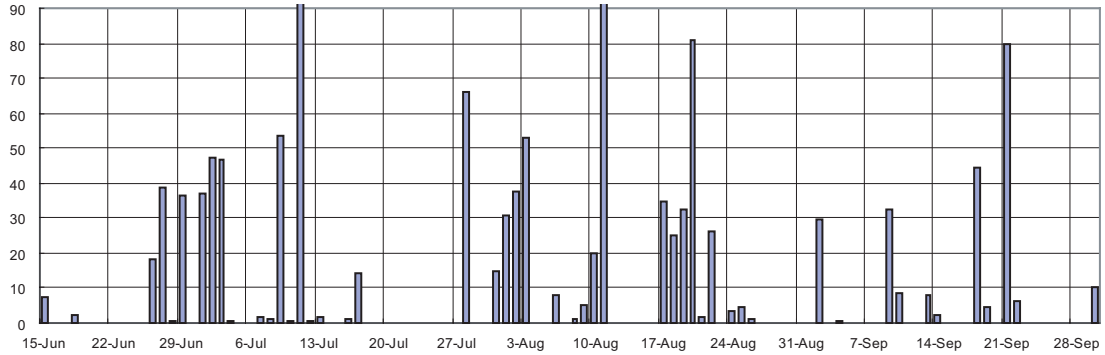


Fig. 7. Daily rainfall data in Daejeon in June-September(2005).

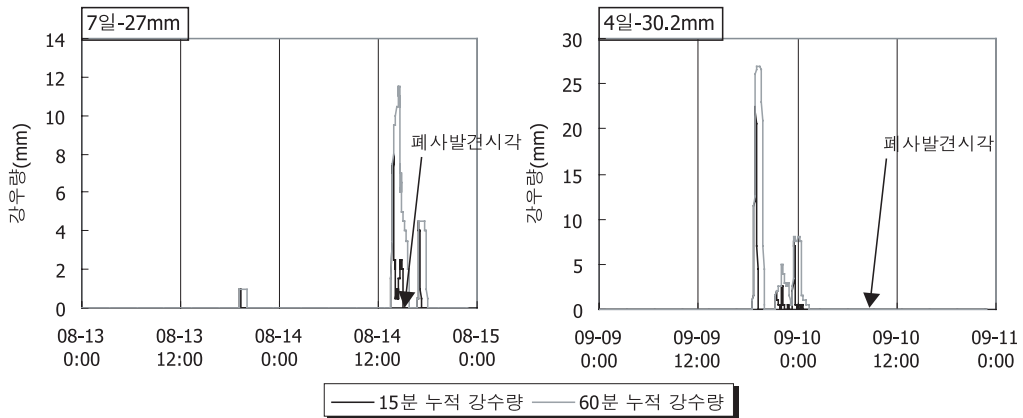


Fig. 8. Rainfall data on the day of fish kill events (numbers in upper boxes indicate number of dry days and total rainfall of 3 days prior to dry days)

Table 1. Extended dry day periods between June 1 - Sept. 30 in the study area

Dry days period	Number of dry days(days)	Rainfall after dry Period (mm/day)	Fish Kills
6.03-6.09	7	56	No
6.20-6.25	6	18	No
7.18-7.27	9	66	No
8.12-8.16	5	34.5	No
8.27-9.01	6	29.5	No
9.03-9.08	6	32.5	Yes
9.23-9.30	7	10	No

량이 유사하며, 강우 발생 전에 무강우 일수가 각각 7일과 4일로서 비교적 길게 유지되었음을 알 수 있다. 2004년 8월 14일의 경우 강우 발생 후 20분 이내에 8mm의 집중강우가 발생하였으며, 2005년 9월 9일의 경우에도 강우 발생 후 20분 이내에 22.5mm의 강우가 발생하였다. 그러나 Table 1에 나타낸 바와

같이 본 연구대상 지역에서 2005년 6월 1일-9월 30일의 하절기 기간 중 5일 이상 무강우일이 지속되 난 후 10mm 이상의 다량의 강우가 발생한 경우는 다 수 존재한다. 따라서 2005년 9월 9일에 발생한 사고 는 용존산소 농도의 결핍에 더하여 또 다른 원인이 추가적으로 작용하여 발생한 것으로 추정된다.

4. 2. 수질 모델링을 이용한 월류수의 영향 분석

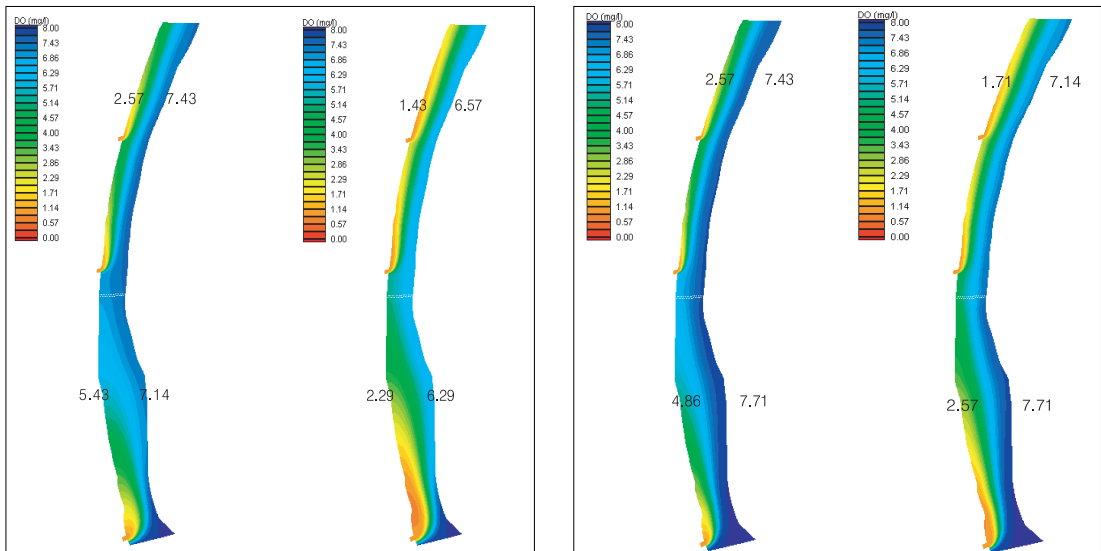
Fig. 9는 RMA4 모델을 이용하여 상류 하천의 유량 조건 변화에 따른 하천의 용존산소 변화를 모의한 결과를 나타내고 있으며, 유등천의 유량을 $2\text{m}^3/\text{sec}$ 와 $6\text{m}^3/\text{sec}$ 로 가정한 두 가지의 경우에 대하여 합류식 하수관거의 월류수가 유입된 직후와 30분 경과 후의 변화를 나타낸다. 상류 하천의 용존산소 농도는 $8\text{mg}/\text{l}$, 월류수의 용존산소 농도는 $1\text{mg}/\text{l}$ 로 유입되는 것으로 각각 가정하였다. 월류수의 유량은 강우시 1회 실측을 하였으며 실제로 이러한 상황에서 월류수의 유량 측정은 물리적으로 매우 위험한 과정이다. 월류수의 유량은 **Fig. 4**의 상류 지역부터 각각 4, 3, $2.5\text{m}^3/\text{sec}$ 로 측정되었다. 실제로는 월류유량이 강우 특성에 따라 변화하나 본 모의는 가상적인 조건을 이용하여 하천에서 발생할 수 있는 상황을 예측하는 것을 목적으로 실시되었으므로 동일한 유량이 지속되는 것으로 가정하였다. 월류수 유입 직후에는 상류 하천수에 의한 영향이 거의 나타나지 않고 있으나, 30분 경과 후에는 하천 유량이 $2\text{m}^3/\text{sec}$ 인 경우 좌안이

$1.43\text{mg}/\text{l}$, 우안이 $6.57\text{mg}/\text{l}$ 인 것으로 모의되었으며, 하천의 유량을 증가시켜 $6\text{m}^3/\text{sec}$ 로 가정한 경우에는 좌안이 $1.71\text{mg}/\text{l}$, 우안이 $7.14\text{mg}/\text{l}$ 인 것으로 모의되었다. 본 모의는 확산에 의한 희석효과만 고려한 단순 모의로 수체내 미생물과 어류에 의한 산소 소비와 광합성에 의한 산소 생성과정은 고려되지 않았다. 또한 퇴적물에 의한 산소 소비 효과도 포함되지 않았다.

현장 조사 결과 유등천의 하수관거는 강우후 유달 시간이 매우 짧은 관계로 본류의 유량 증가가 발생하기 전에 이미 하수관거 월류수가 유입되는 것을 확인하였으며 DO 농도는 강우에 따른 합류식 하수관거의 월류 발생시 수분 이내에 급격히 감소되는 것을 또한 확인하였다. 그러나 **Fig 9**에 나타난 바와 같이 월류수의 유입에 따라 하천 양안의 DO가 모두 감소되는 것은 아니며 월류수 유입구가 위치한 반대편의 하안에서는 $5\text{mg}/\text{l}$ 이상의 높은 DO 농도가 유지되는 것으로 모의되었다.

5. 결론

본 연구에서는 어류 폐사가 빈번히 발생되고 있는



a) Stream $Q = 2\text{m}^3/\text{sec}$, after 0 min and 30 min CSO overflow occurs, respectively

b) Stream $Q = 6\text{m}^3/\text{sec}$, after 0 min and 30 min CSO overflow occurs, respectively

Fig. 9. RMA4 water quality modeling of the DO concentration of the study site to evaluate CSO overflow effects.

대전시 유등천의 유등교 - 태평교 구간을 연구대상구역으로 선정하여 연속 수질 모니터링 및 수질모델링을 통해 어류 폐사의 원인을 분석하고, 폐사 방지를 위한 대안을 수립하고자 하였다.

수온의 경우에는 강우 발생 초기에 약간 상승하는 경향을 나타내고 있으나, 강우가 지속되면서 점차 감소되는 경향을 나타내고 있다. 강우로 인한 수온의 변화는 약 2°C 이내이며, 이러한 온도 상승은 어류의 폐사에 큰 영향을 나타내지는 않을 것으로 분석된다. 비강우시 유등천의 탁도는 평상시 2~3NTU의 양호한 상태를 나타내고 있으나, 강우가 발생하는 경우 합류식 하수관거 월류수의 유입 및 저니층의 교란으로 인해 100NTU 수준으로 급격한 증가를 나타내고 있다.

하천의 DO 농도는 월류수의 유입이 시작되고 난 후 수분 내에 급격하게 감소되는 것으로 관찰되었으며 강우가 종료되고 난 후 탁도와 같이 빠르게 회복되지는 않는 경향을 나타내고 있으며, 일반적으로 DO농도는 탁도의 변화와 반대의 관계를 나타내고 있다. 강우 종료 후 태양에너지의 변화에 따른 정상적인 DO 농도의 변화 경향을 회복하는 데에는 최소 2일 가량이 소요되는 것으로 관찰된다. 이는 하천내의 식물성 플랑크톤 농도가 회복되는 데까지 소요되는 시간과 직접적인 관계가 있을 것으로 추정된다.

또한 어류 폐사 사고는 강우의 발생 패턴과 밀접한 관계가 있는데 무강우 일수가 지속될수록 초기강우의 강도가 클수록 하천의 수질에 미치는 영향이 큰 것으로 분석된다. 본 연구 기간 중 연구 지역에서 5일 이상 무강우 일수가 지속되고 난 후 10~66mm의 강우가 발생한 경우는 7 건이 관찰되었으나 이 기간 중에 어류의 폐사는 보고된 바 없었다.

월류수의 발생이 유등천의 수질에 미치는 영향을 가상적으로 모의하여 본 결과 월류수가 유입되는 좌안은 2mg/l 이하의 수준을 나타내나 월류수가 잘 혼합되지 않는 우안은 5mg/l 이상의 용존산소가 유지되는 것으로 나타났다. 따라서 하천의 폭 방향 전체적으로 용존산소 농도가 저하되는 것은 아니며 월류수의 유입에 의해 하천의 산소가 모든 장소에서 고갈되는 것은 아닌 것으로 추정된다.

따라서 어류의 폐사의 원인으로는 다량의 강우에 의한 하수관거 월류수의 하천 유입과 이로 인한 용존

산소 농도의 감소, 탁도 유발 물질의 증가 그리고 독성물질을 포함한 유역의 기타 오염물질의 유입 등 복합적인 원인에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 또한 본 연구 대상지역인 유등천의 경우 대전의 여타 하천에 비해 어류의 밀집도가 크기 때문에 상대적으로 외부의 영향에 취약한 환경을 갖고 있으며 어류 집단 폐사 가능성은 여전히 존재하는 것으로 판단된다. 유등천에서의 어류 과밀화는 고농도의 유기오염물질 유입에 기인한 것으로 어류 폐사 방지 뿐 아니라 하천의 수질 개선을 위해 오염물질의 유입을 제어하는 기술을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

하천으로의 오염물질 유입 억제를 위해서는 유역내 산재하는 오염원을 제어하고, 현재 합류식하수관거 시스템을 단계적으로 분류식 시스템으로 전환하여야 하는 것이 바람직하다. 또한 초기 강우 효과를 최소화하는 노력이 필요하며 이를 위해 저류지 설치, 고품질물 유입 제어 장치 또는 주기적인 관거 청소 등을 통해 초기 강우의 영향을 최소화 시킬 수 있는 노력이 필요하다고 판단된다.

사사

본 연구는 대전환경기술개발센터의 2005년도 연구개발사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 대전광역시 (2004) 대전광역시 자연환경조사, pp. 7-1-7-40, 대전환경기술개발센터.
2. 서동일, 김주식, 이은형, 이준기 (2002) 금강수계 수질 자동측정망 추가설치를 위한 우선순위분석, 한국물환경학회/대한상하수도학회 공동춘계학술발표회, 충주대학교.
3. 서울특별시의회 (2000a) 서울시 중랑천의 바닥침전물 특성조사 및 검토, pp. 15, 고려대학교부설 환경기술정책연구소.
4. 서울특별시의회 (2000b) 중랑천 수질환경조사 — 중랑천 생태적 복원을 위한 실천계획 수립, pp. 58-59, 낙동강환경원.
5. 이석모, 서동일, 백도현 (2001) 낙동강·금강·영산강수계의 수질자동측정망 확대 설치 타당성 조사 최종 보고서, 환경관리공단 보고서.

6. 이은형 (2005) 대전시 3대하천 물고기 폐사원인 규명 및 대책수립 연구 최종 보고서, 대전·충남지역 대전환경기술개발센터.
7. 이은형, 서동일, 황현동, 윤진혁, 최재훈 (2006) 도시하천의 물고기 폐사원인 분석 I — 일반항목 및 실내실험, *상하수도학회지*, **20**(4), pp. 573-584.
8. Environmental Modeling Systems, Inc. (2006) http://www.ems-i.com/SMS/SMS_Overview.
9. Lee Jung Woo, Jay Choi, H. Hwang, Dongil Seo (2004) New Generation Automatic Lake Water Quality Monitoring System, *The 24th International Symposium of North American Lake Management Society*, Victoria, Canada.
10. Lee Sanguk, Dongil Seo, Jusik Kim, H.J. Oh (2002) Automatic Monitoring and CE-QUAL-W2 Modeling of Stratification Characteristics in Daechung Lake, Korea, *The 22th International Symposium of North American Lake Management Society*, Anchorage, AK, USA.
11. Vladimir Novotny (2003) *Water Quality-Diffuse Pollution and Watershed Management*, second edition, 00 407-425, pp. 664, Wiley.