

농촌 소하천 유역의 건설 현장이 하천오염에 미치는 영향에 관한 연구

김준영 · 장인성*

호서대학교 반도체 디스플레이공학과, *호서대학교 환경공학과
(2007년 5월 8일 접수; 2008년 2월 12일 채택)

Effect of Construction Sites on Water Quality of Small Stream in Rural Area

Jun-Young Kim and In-Soung Chang*

Department of Semiconductor and Display Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

**Department of Environmental Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea*

(Manuscript received 8 May, 2007; accepted 12 February, 2008)

Abstract

For last couple of years many apartments, roads and bridges are constructed along the Kok-kyo stream which is penetrating Asan city, Chung-Nam Province. The effect of construction on stream environment was investigated in this study. Various kinds of water qualities of the Kok-kyo stream were monitored for 5 months. As it passed through the construction sites, COD_{Cr} concentration increased abruptly whereas the increment of the BOD_5 was not so great, indicating that non-biodegradable organics were flowed from the construction sites to the stream. Particularly, 0.2 mg/L of N-hexane was measured, which is believed to be mainly responsible for the organic pollution from construction sites. In spite of short periods of water quality monitoring, it could be concluded that there was a good correlation between construction sites and stream pollution. Therefore, legislative activity or enforced management by local government to the construction sites are needed for keeping the small stream environment better.

Key Words : Construction, Kok-kyo stream, N-Hexane, Urbanization

1. 서론

하천의 환경기능은 이수와 치수의 기능과 더불어 동식물의 서식처, 자정작용 그리고 친수 기능과 같은 환경기능으로 세분할 수 있다^{1,2)}. 하지만 국내의 하천은 환경기능을 고려하지 않은 채 도시화와 산

업화로 인한 각종 용수수요의 급등에 대응하기 위해 다목적댐을 건설하는 등 주로 이수와 치수의 기능에 중점을 두어 개발하여 왔다. 또한 인공적이고 획일적인 하천 정비로 인해 하천 주변유역은 황폐해졌으며 생물다양성 보전에도 악영향을 끼쳤다^{3~5)}. 결과적으로 하천의 상태를 고려하지 않은 무분별한 개발은 주변 환경과의 조화성을 무너뜨려 생태계의 균형을 파괴시키고 하천의 자정작용 감소나 부영양화 초래, 동·식물상의 감소 등 많은 문제점들을 발생시켜 왔다. 이러한 문제점에 대한 관심은 21세기

Corresponding Author: In-Soung Chang, Department of Environmental Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795
Phone: +82-41-540-5744
E-mail: cis@hoseo.edu.

에 접어들면서 국민들의 생활수준 향상과 보다 깨끗한 물 수요에 대한 높아지는 욕구와 맞물려 훼손된 자연환경 질서의 회복과 생태계의 균형을 복원·유지시킬 수 있는 개선방안에 대해 관심을 가지게끔 하였다⁶⁻⁸⁾. 즉, 자연형 하천공법이나 비점오염원 관리 그리고 수질오염총량관리제 등 하천수질 개선을 목적으로 하는 다양한 정책들이 제시되고 있다.

본 연구의 대상지역인 곡교천은 충남 아산시를 통과하여 삼교호로 유입되는 전형적인 농촌 소하천으로 자연정화가 가능한 독립성이 유지된 건강한 하천이다. 곡교천 유역은 현재 아산 신도시 개발 예정지역으로써 하천변을 따라 대규모 아파트 단지가 건설 중이며 하천을 가로지르는 교량이 건설 중이다. 이로 인해 곡교천 유역은 곧 도시하천으로 전환될 시점에 놓이게 되었다. 도시화에 따른 하천환경의 변화는 하천의 건천화, 지하수 고갈과 오염, 수계의 변화, 수질오염 등 많은 문제점들을 수반할 수 있는 가능성이 있다^{9,10)}.

따라서 본 연구에서는 도시화가 진행 중인 하천 유역을 조사 대상지역으로 선정하여 하천을 소 구간으로 구획하여 도시화 진행이 하천에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 이를 위해 하천변을 따라 건설 중인 대규모 아파트단지와 교량 건설 지점을 포함한 약 12 km 범위를 선정하여 하천수질을 모니터링 하였다. 다만 현실적으로 공사 진행 시기별에 따른 하천수질의 모니터링이 어렵기 때문에 공사가 한창 진행 중인 5개월 동안 연구대상 범위 내에서 도시화가 진행 중인 소구간과 그렇지 않은 지류들을 모니터링 하여 각각의 하천 상태와 하천들이 합류 한 후의 오염기여도를 비교·관찰하였다. 또한

지속적인 유량감소로 인해 생성된 하천 내 토사의 오염도를 조사하였고, 수질오염총량관리제 관점에서 공사현장과 지류에 의한 곡교천 본류의 오염 기여도를 오염부하량으로 나타내어 연구대상지역의 오염부하량 삭감을 통한 하천의 수질개선 대책을 세우고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지점 선정

곡교천은 지방1급 하천으로 구분되며 천안·아산 등 충남의 주요 지역을 동·서로 관통하는 금강 권역의 삼교천수계의 제1지류이다. 총 연장 49.5 Km에 유역면적이 604.5 km², 평균경사는 19.9%, 유역의 평균 폭은 12.2 Km, 형상계수는 0.247, 하천밀도는 0.08로 천안시 광덕면 광덕리 갈재고개 부근에서 발원하여 아산시를 지나 삼교호로 유입된다. 전체 유역 중 대부분이 임야이고 밭과 논이 각각 20.1%, 11.1%를 차지하고 있다¹¹⁾.

곡교천 중에서 본 연구의 대상이 되는 지역을 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구대상지역은 ⑤~⑥지점[Fig. 1(a)]에 위치하고 있으며, 농지가 중심인 전형적인 농촌의 소하천유역이었다. 또한 본 연구대상 지역을 좀 더 세부적으로 도식화하고(b), 연구 대상 지역을 원 안에 표시하였다. 표시된 연구대상지점 중 S2~S3지점의 하천유역은 과거 농지로 활용되다가 최근 아파트공사가 진행 중에 있으며, 그 규모는 약 7 ha (70,000 m²) 정도이다. 또한 하천변을 따라 국도 및 교량을 건설 중에 있다. 시료채취 지점은 S로 표시하였다. 곡교천 본류에 위치하고 있는 S1지점이 상류이며 바로 위에는 정수 취수장이 자리 잡고 있다. 그리고 S2와 S3지점의 주변은 아파트

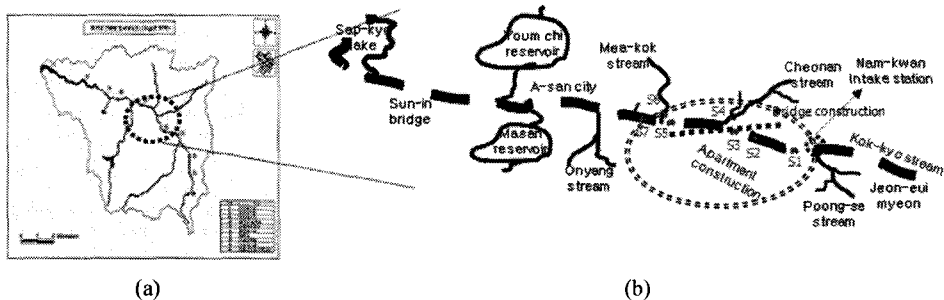


Fig. 1. Schematic diagram of Kok-kyo stream (a) and Kok-kyo stream basin and study area (highlighted) (b).

단지와 교량건설로 인한 도시화가 진행 중인 곳이다. 또한 S4는 천안천이 곡교천과 합류하기 직전 지점이며, 합류 후의 시료 채취지점은 S5 지점이다. 매곡천이 곡교천과 합류하기 전·후의 지점은 S6과 S7지점으로 표시하였다. 그리고 S4와 S6조사지점 부근의 토지는 전형적인 농지이며 축사가 자리 잡고 있다. Fig. 2와 Table 1은 각각 국가수자원관리 종합정보시스템 (WAMIS)에서 제공받은 곡교천 주변의 토지피복도와 토지피복별 면적을 나타낸 것이다. Fig. 2에서 연구대상지역이 속한 곳은 곡교천 중류이다.

2.2. 시료의 채취 및 분석방법

시료는 총 7지점에서 채취하였으며 여름 (8월)부터 겨울 (12월)까지 총 5차례에 걸쳐 실시하였다. 또한 유량감소로 인해 형성된 하천의 토사가 하천에 미치는 오염정도를 확인하기 위해 토양시료를 1회 채취하였다. 연구대상지역 내 가장 크게 형성된 토사 두 곳을 임의로 선정해 각각의 토사에서 세 지점을 선정해 토양 표면과 내부의 시료를 채취하여 혼

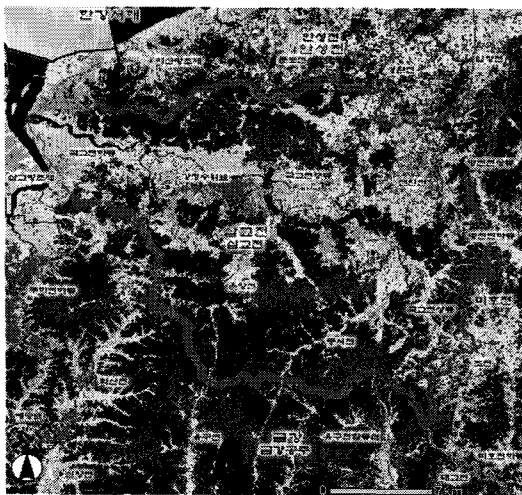


Fig. 2. Land cover map of Kok-kyo stream.

Table 1. Area according to Land cover of Kok-kyo stream watershed (Unit: km²)

Watershed	14.28	Urban	38.71
Wetland	5.18	Forest	295.53
Paddy field	31.88	Upland field	142.44

합하였다. 채취된 시료는 수질공정시험법에 따라 DO, BOD₅와 N-Hexane 추출물질을 분석하였으며 유량은 유속-면적법으로 계산하였다¹²⁾. 총질소 (TN, Total Nitrogen)와 COD_{cr}은 흡광광도계 (DR/4000 Hach, USA)를 이용하여 측정하였으며, 중금속은 시료에 질산과 염산을 가해 용출시킨 후, ICP AES (ULTIMA 2, JOVIN YVON, France)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 이화학적 특성 변화

Fig. 3에 각 구간별 DO 농도의 변화 추이를 월별로 나타내었다. 구간별 전체적인 DO 농도는 7.5 mg/L 이상으로 하천수질기준 I 등급으로 나타났으며, 기타 삼교천 수계들 (삼교천, 무한천 등)과 비슷한 수치를 보이고 있다¹³⁾. 조사구역 내에서는 DO 농도가 구간별로 크게 차이가 나지 않았으며 천안천 (S4)이 다른 지점보다 다소 낮은 수치를 보였다. 다만 공사현장 (S2 & S3)이 특정 오염원으로써 작용할 것으로 예상한 것과는 달리 뚜렷한 DO 감소 없이 기타 지점과 비슷한 값을 나타내었다. 또한 계절 변화에 따라 수온이 감소하면서 모든 지점에서 DO 농도가 증가되었다.

Fig. 4에는 각 구간별 BOD₅ 농도의 변화 추이를 월별로 나타내었다. 공사현장을 지나면서 BOD₅의 농도가 크게 증가하는 현상이 관찰되지는 않았다. 그보다는 지류 (S4 & S6)에서 유입되는 유기물의 오염부하량 증가가 곡교천 본류의 BOD 농도에 큰 영

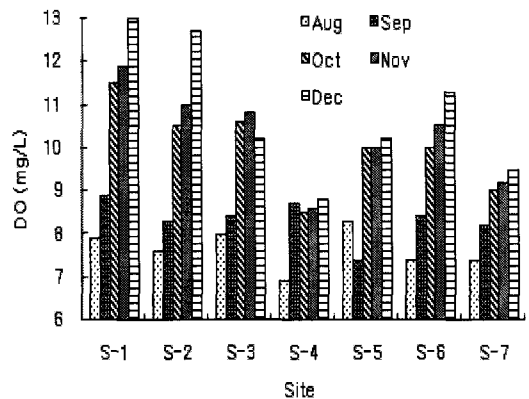


Fig. 3. Variation of DO concentration along the sampling sites.

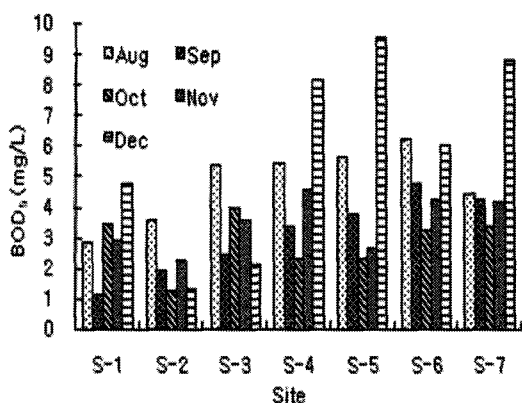


Fig. 4. Variation of BOD₅ concentration along the sampling sites.

향을 미치는 것으로 나타났다. Fig. 5는 연구조사 대상 하천의 구간별 COD_{cr}의 농도변화를 월별로 나타낸 것이다.

공사현장인 S2와 S3 지점을 지나면서 농도가 갑자기 증가하는 현상을 보였으며, 이는 공사 현장으로부터 하천에 유입되는 난분해성 오염물질이 하천의 오염에 지배적인 인자로 작용하고 있다는 것을 의미한다. 물론 증금속이나 기타 공사 현장으로부터 유입될 가능성이 있는 기타 오염물질들에 대한 데이터를 본 논문에서는 제시되지 않았지만 S1~S2 구간까지 하천 주변은 축사나 농지로써 활용되지 않았기 때문에 S1~S2 주변의 특정 오염원이 존재하지 않은 상황에서 낮은 COD 농도가 건설현장(S2 & S3)들을 지나면서 약 4~8배까지 증가한 것은 공사 지점으로부터 유기물질이 유입되었을 가능성이 있다고 사료되어진다. 즉, S2와 S3 지점에서 BOD₅ 농

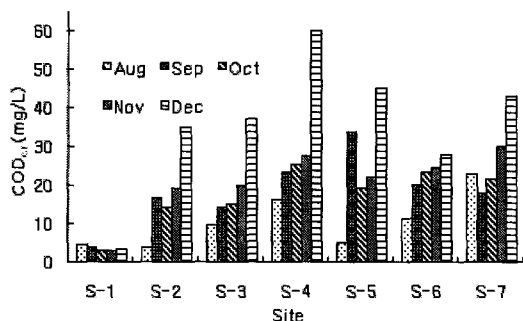


Fig. 5. Variation of COD_{cr} concentration along the sampling sites.

도는 상류에 비해 큰 증가치를 보이지 않았지만 (Fig. 4), COD_{cr}값이 갑자기 증가한다는 의미는 이 두 지점에서 난분해성 유기물질이 유입되고 있다는 반증이다.

연구가 진행된 후 약 8주후에 연구초기 설치되지 않았던 부표가 S6지점 아래에 설치되었다. 그리고 부표 근처에 기름띠가 형성된 것을 확인하였다(Fig. 6). 기름띠가 형성된 지점의 바로 위에서 교량공사를 하고 있었다. 이는 아파트 건설 현장보다는 상대적으로 방지시설이 미약한 교량건설 현장으로부터 하천으로 유입될 가능성이 있음을 시사하고 있다.

따라서 공사현장(S2 & S3)을 지나 천안천과 합류하기 전 지점에 N-Hexane 추출물질의 하천 유입의 가능성을 알아보았다. 분석 결과 검출량은 0.2 mg/L로 나타났다. 하천 수질기준항목에는 N-Hexane 추출물질에 대한 기준이 제시되어 있지 않다. 그만큼 검출되어서는 안 되는 항목이다. 결국 하천 주변의 공사현장에서 유류 사용과 이로 인한 누출로 인해 N-Hexane 추출물질이 검출된 것이며, 이는 COD_{cr}의 증가로 나타난 것으로 추정된다.

이는 공사현장에서 유류에 의한 하천오염이 발생할 수 있는 개연성을 확인한 결과로, 공사현장에 대한 지방정부의 관리감독이 필요할 것으로 사료된다. 한편 천안천(S4)에서의 높은 COD_{cr} 오염부하량 역시 하류의 오염에 직접적인 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 이는 천안천(S4) 역시 매곡천(S6)과 더불어 BOD₅가 곡교천 본류의 오염부하량 증가에 큰 영향을 미친 것과 마찬가지로 두 지류의 유역 모두 농지와 축사가 지배적인 곳이다. 이는 전형적



Fig. 6. Picture of oil girdle formed with installation of buoy.

인 농촌 소하천 주변의 농지와 축가가 비점 오염원으로써의 그 역할을 하기 때문이라고 사료된다. 즉 특정오염원존재로 간주될 수 있는 S2와 S3(공사현장 존재)지점과 비교하기 보다는 S1(상류)지점과 비교를 한다면 두 지류 모두 곡교천 본류의 오염부하량 증가에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

또한 영양물질인 총 질소 (TN)의 경우에도 S2와 S3 지점에서 COD_{cr}의 경우보다는 덜하지만 농도가 약간 증가하는 현상을 보였다 (Fig. 7). 또한 곡교천 본류보다는 천안천 (S4)에서의 농도 증가가 하류에 지속적으로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한, 천안천 주변의 축가와 논으로부터 비료와 분뇨 등의 미차집된 비점오염원이 하천으로 유입되면서 본류에 오염부하가 증가한 것으로 생각된다.

Fig. 8은 Chlorophyll-a의 농도변화를 나타낸 것이다. Chlorophyll-a는 수온 감소에 따라 대체적으로 감소하는 경향을 나타내었지만 그 차이는 미미하였으며 모든 조사지점에서 빈 영양상태 (< 4 mg/L)를 나타내었다. 또한 SS (Fig. 9)의 경우 전반적으로 하천 수질기준 I 등급 (<25 mg/L)을 유지하고 있었으며 공사 현장으로부터 직접적인 기여도가 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 공사현장에서의 세륜·세차 시설 및 토사유출방지시설 (침사지 등)의 설치로 인해 탁도 유발물질 및 토사의 하천 유입은 방지할 수 있지만 유기물 유입에 의한 하천오염(Fig. 5참고)을 방지하기에는 다소 미흡한 처리방법들이라 생각되어진다.

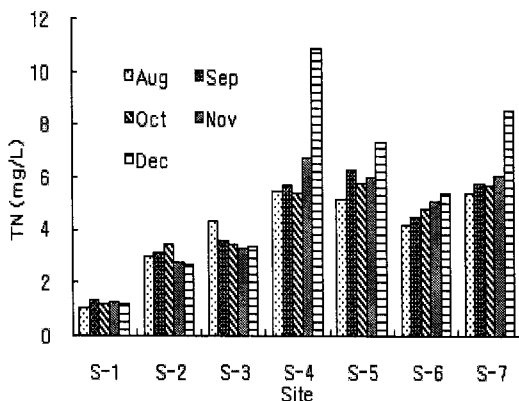


Fig. 7. Variation of TN concentration along the sampling sites.

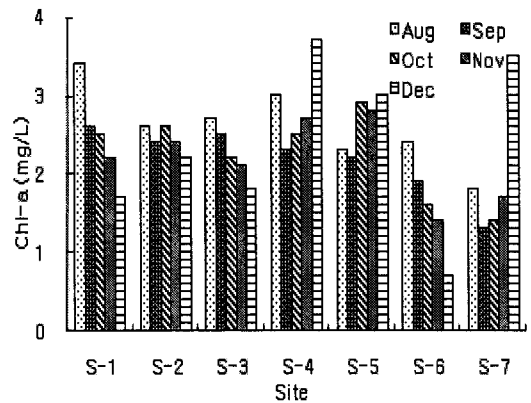


Fig. 8. Variation of Chlorophyll-a concentration along the sampling sites.

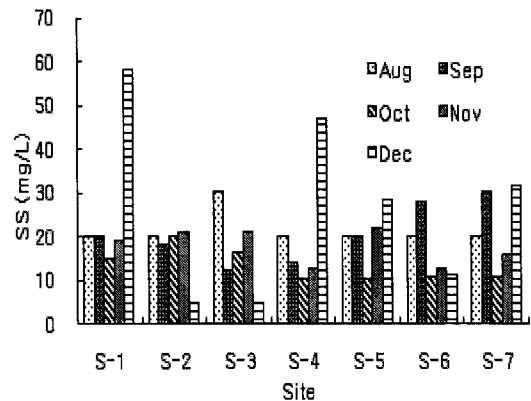


Fig. 9. Variation of SS concentration along the sampling sites.

3.2. 하천 내 토사 축적

곡교천의 유량이 지속적으로 감소함에 따라 하천 바닥에 축적된 토사가 드러났다. 이렇게 생성된 토사의 중금속 함유량을 측정하여 보았다. 이는 강우 시 토사로부터 용출 혹은 유실로 인한 하천 오염원으로 작용할 가능성이 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 하천 내 가장 크게 형성된 토사 두 지점을 선정하고 각각의 지점에서 세 곳을 선정해서 샘플을 채취하여 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다.

총 6개 항목을 분석한 결과 4가지 항목 (As, Hg, Cd, Cr⁶⁺)은 검출되지 않았으며 검출된 항목은 Zn과 Pb으로, 토양 오염 기준치에는 못 미치는 것으로 나타났다. 하지만 강우 시 토사의 중금속 유출에 의한

Table 2. Heavy metals concentration of soil deposited in the stream (unit : mg/kg)

Sample #	As	Hg	Zn	Cd	Pb	Cr ⁶⁺
a-1	N.D	N.D	13	N.D	9	N.D
a-2	N.D	N.D	22	N.D	14	N.D
a-3	N.D	N.D	19	N.D	12	N.D
b-1	N.D	N.D	19	N.D	10	N.D
b-2	N.D	N.D	16	N.D	8	N.D
b-3	N.D	N.D	16	N.D	7	N.D
Soil standard for heavy metal	6	4	300	1.5	100	4

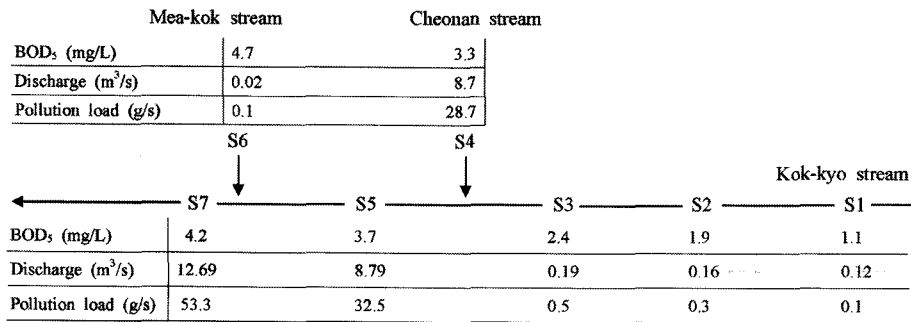
N.D : Non-detected

하천 오염의 가능성을 배제할 수는 없다고 생각되어진다. 이러한 토사 속의 중금속이 주변 건설 현장으로부터 기인한 것이라는 직접적인 연관성은 찾을 수 없다. 또한 과거의 측정자료 또한 존재하지 않기 때문에 중금속의 증가 원인을 선분리 판단할 근거는 없다. 따라서 중금속 용출 가능성에 대한 지속적인 조사가 이루어져야 할 것으로 생각되어진다.

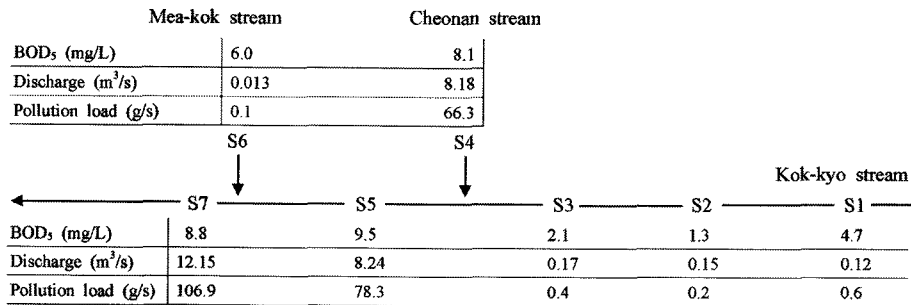
3.3. 오염부하량 산정

본 연구의 대상인 곡교천은 지방 소하천으로 구분되어 수질오염 총량관리제 대상지역은 아니다. 현재 총량관리제가 대형 수계를 중심으로 실시되고 있지만 이후 적용대상 지역이 지방 소하천까지 확장될 것이다. 따라서 본 연구에서는 오염총량제 관점에서 곡교천의 오염 현황을 관찰하여 보았다. 연구를 시작한 후 각각 50일과 130일 이후에 측정된 유량과 BOD₅ 농도를 곱해서 각 지점마다 오염부하량을 계산한 후 Fig. 10에 나타내었다.

공사현장 (S2 & S3) 두 지점은 계산된 오염부하량이 0.2 ~ 0.5 g/s 로 비슷한 경향을 나타내었다. 이는 상류인 S1과 비교하였을 때도 큰 차이가 나지는 않았다. 다만 앞 절에서 설명한 것처럼 오염부하량 산정을 BOD₅가 아닌 COD를 기준으로 계산한다면 건설현장을 지나면서 더 큰 오염부하량 증가가 예상된다. 한편, 9월과 12월에 천안천이 합류한 후 지점인 S5에서 오염부하량은 각각 32.5 g/s와 78.3 g/s로 급격하게 증가되었다. 이는 천안천 (S4)에서의



(a)



(b)

Fig. 10. Calculated pollution loading after 50day(a) and 130day(b).

오염부하량이 다른 지점보다 약 100배 정도 크기 때문이다. 즉, 건설현장을 지나면서 발생하는 오염부하량보다 훨씬 큰 오염부하가 천안천으로부터 발생하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

농촌 소하천을 대상으로 하천유역에 건설 중인 대규모 아파트 단지과 교량 건설로 인한 도시화가 진행 중인 소구간과 그렇지 않은 지류를 비교하여 각각의 하천 상태와 하천들이 합류 한 후의 오염기여도를 비교·관찰하여 하천에 미치는 오염부하 특성과 수질오염총량관리제의 관점에서 하천의 소구간별로 수질분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 공사 현장을 지나가면서 COD_{cr}의 농도가 뚜렷하게 증가되는 현상이 관찰되었다. BOD₅ 농도는 상류에 비해 큰 증가치를 보이지 않았기 때문에 공사 지점으로부터 난분해성 유기물질이 유입되고 있다고 볼 수 있다. 난분해성 유기물로 의심되는 N-Hexane 추출물질의 농도는 0.2 mg/L로 나타났다.

2) 유량 감소에 따라 하천 내 퇴적된 토사의 중금속 6종을 분석하였다. As, Hg, Cd, Cr⁶⁺는 검출되지 않았고 Zn과 Pb은 검출되었으나 토양오염 기준치에 비해 매우 작은 것으로 나타났다. 하지만 강우 시 토사의 중금속 유출에 의한 하천 오염의 가능성을 배제할 수 없으며, 지속적인 측정 및 조사가 필요하다고 생각된다.

3) 수질오염총량관리제 관점에서 오염부하량을 계산한 결과 공사지점이 곡교천 하류의 오염부하량 증가에 큰 영향을 끼치지 않았다. 이는 공사현장에서 현재 수질오염총량관리제의 기준이 되는 분해성 물질보다는 난분해성 물질의 하천유입이 크기 때문이다. 결과적으로 곡교천 하류의 오염부하량 증가에 큰 영향을 미치는 곳은 곡교천에 유입되는 천안천이 지배적이었다. 또한 곡교천에 유입되는

매곡천의 경우 천안천과 비슷한 농도를 보이지만 곡교천에 유입되는 유량이 적기 때문에 큰 영향은 끼치지 않았다. 다만 강우 시 매곡천의 유량이 증가한다면 곡교천 하류의 오염부하량을 증가시킬 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 최지용, 2002, 물환경 생태복원을 위한 수질관리(수변완충녹지(Buffer Zone)관리를 중심으로), 환경생물학회지, 20, 20-29.
- 2) 김창완, 이두환, 우효섭, 2006, 새로운 하천관리기술 개발을 위한 다기능 하천실험장 구축, 대한토목학회지, 54(10), 14-23.
- 3) 이진희, 이행렬, 이재근, 이동근, 김훈희, 1998, 하천에 있어서 자연성의 보전, 정비, 창출에 관한 연구(I)-농촌지역에서의 토지이용과 하천수질과의 상관성-, 한국환경복원녹화기술학회, 1(1), 84-89.
- 4) 김정수, 채진학, 구태희, 2003, 양재천에서 자연형 하천공법적용에 의한 조류 군집의 변화, 한국육수학회지, 36(1), 74-82.
- 5) 조현길, 한갑수, 2005, 도시하천 하도구조와 경관의 계절변화, 한국환경과학회지, 14(8), 739~748.
- 6) 김성철, 이철영, 2004, 현황분석을 통한 도시 소하천의 생태하천 계획요소에 관한 연구, 한국환경과학회지, 13(9), 747~757.
- 7) 최미희, 2006, 하천 복원사업 평가기준의 과제, 환경영향평가, 15(1), 13-22.
- 8) 권동민, 손정원, 유은희, 정재원, 윤나나, 황인정, 권기원, 빈재훈, 최홍식, 2007, 자연형 하천 운천천의 물환경 특성-하천유지 용수 공급 전, 후-, 한국환경과학회지, 16(7), 831~838.
- 9) 손명원, 1998, 도시하천의 생태학적 역할과 개선방안, 한국지역지리학회지, 4(1), 15-25.
- 10) 심재현, 2005, 우리나라 도시하천관리의 문제점, 대한지방행정공제회지, 33(360), 71-78.
- 11) 김영철, 이동률, 황길순, 2005, 하구호 유입하천의 유역특성에 따른 장기 대표 수질결정, 대한환경공학회지, 27(3), 262-272.
- 12) 최규철 외 7인, 2001, 수질오염공정시험방법주해, 2판. 신평문화사. 172~176pp, 187~190pp, 258~261pp.
- 13) <http://water.nier.go.kr/weis/>.