

도로 유형별 비점오염원의 수질특성

Water Quality Characteristics of Nonpoint Pollutants based on the Road Type

장대창* · 강선홍

Dae-Chang Jang* · Seon-Hong Kang

광운대학교 환경공학과

(2009년 9월 22일 접수 ; 2009년 10월 5일 수정 ; 2009년 10월 10일 채택)

Abstract

This study has its intention to investigate the water quality of non-point source which is runoff from roads. We have classified and selected twelve sites as city road, industrial road, national road and mountain road by considering their traffic volume and surroundings. Water quality was analyzed based on BOD, COD, SS, T-N and T-P and the concentrations were measured by sampling after rainfall with the interval of 10 minutes, 20 minutes, and 30 minutes. BOD was the highest in city road with 57.6 mg/L and the lowest in mountain road with 45.0 mg/L. For COD, the highest concentration in industrial road was 146.5 mg/L and the lowest was in mountain road with 98.0 mg/L. The run off concentration of SS was up to maximum 630.0 mg/L (average 280.4 mg/L) which was remarkable compared to other types of road. It showed its lowest concentration in national road with 76.0 mg/L. T-N and T-P were the highest in industrial road and the lowest in mountain road. We found out that the runoff concentration was high with large amount of traffic volume and it seemed to be high in city road and industrial road where they were largely affected by their surroundings. Relatively, national road and mountain road seemed to show low concentration as they have less traffic volume and less affected by their surroundings.

Key words : Non-point source, water quality, BOD, COD, SS, T-N, T-P

주제어 : 비점오염원, 수질, BOD, COD, SS, T-N, T-P

1. 서론

비점오염원은 강우 시 유출되기 때문에 일간, 계절별 기상 상황에 따라 변화가 심하여 예측과 정량화가 어려운 특징이 있고, 최근까지도 수질관리의 정책방향이 점오염원에 대한 처리 중심으로 치우쳐 있었다. 점오염원 중심의 관리정책은 수질개선의 한계성을 들어냄에 따라 수질에 상당한 영향을

미치는 비점오염원의 병행관리가 요구되어, 이에 대한 관심이 증가하고 있고 또한 연구가 진행되고 있다.

도시 내 비점오염원 배출원은 도로, 지붕, 공원, 녹지, 주차 등으로 구분할 수 있으며, 이중 도로노면에서 오염의 정도가 매우 높은 것으로 알려져 있고, 토지이용의 유역면적에 비하여 오염물질의 축적과 유출이 심하다(김과 강, 2004). 특히 많은 차량의 운행으로 인하여 중금속, 오일, 입자상오염물질

* Corresponding author Tel:+82-2-2125-2700, Fax:+82-2-2125-2711, E-mail: dcjang@korea.kr.(Jang, D.C.)

의 함량이 높으며, 강우시 집중 유출되어 인근수계로 유입되어 수질오염을 야기한다(Kim, 2003).

도로노면의 비점오염원의 선행연구로 Lee(2004)는 도로유출수의 계절적 초기유출현상을 규명하여, 우기초반의 배출농도와 우기 중류시 배출농도의 차이를 발표하였고, 김과 강(2004)은 고속도로에서 강우시 발생하는 유출수의 초기유수 특성 및 기준에 대하여, 김 등(2004)은 도로노면에서 발생하는 비점오염원의 기초연구를 보고한 바 있다.

비점오염원을 토지이용의 형태 또는 불투수성의 특성에 따라 주거 및 상업지역, 공업지역 등으로 구분(최와 신, 2002)하기도 하지만 보다 세밀한 유형으로 구분하여 관리해야 실효성이 있을 것으로 판단된다. 또한 기후변화로 인한 여름철 폭우가 동반되고 있어 비점오염원의 관리가 보다 철저하게 요구되고 있는 상황이다.

본 연구는 도로노면에서 발생하는 수질특성을 도로유형별로 파악하기 위해 서울 및 경기도내의 도로 특성을 감안하여 시내도로, 산업도로, 일반국도, 산간도로로 구분하였다. 각

도로 유형별로 3개소를 선정하여 도로노면에서 강우 초기유출수의 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 수질특성 및 각 항목의 강우 후 감쇄농도를 분석하여 도로 특성별 비점오염원의 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 조사지역

서울 및 경기도내의 도로 특성을 감안하여 시내도로, 산업도로, 일반국도, 산간도로로 구분하여 각 3개소를 선정하여 총 12개 지점을 선정하였다. 시내도로는 교통량이 많고, 차량 이외에 다양한 오염원이 존재하는 특성이 있고, 산업도로는 교통량이 많고, 대부분이 차량에서 배출되는 오염원을 고려한 구분이다. 일반국도는 주행속도가 빠르고 오염원이 단순한 형태이며, 산간도로는 차량이외에 배출되는 오염원이 적은 특성 등을 고려하였다.

Table 1. 도로 특성별 유형 분류

구분	선정사유	지점수
시내도로 (City Road, CR)	- 주행속도가 낮고 보행자 등의 오염원이 다양한 시내의 오염특성 파악	3
산업도로 (Industrial Road, IR)	- 산업 물동량이 많은 산업도로의 오염원 특성을 고려한 오염특성 파악	3
일반국도 (National Road, NR)	- 주행속도가 빠르고 일반적 도로 형태에 대한 오염 특성 파악	3
산간도로 (Mountain Road, MR)	- 교통량 이외의 오염원이 비교적 적은 도로의 오염특성 파악	3

Table 2. 조사지점의 행정구역 위치

구분	위 치	비 고
시내도로 (City Road, CR)	서울 구로구 개봉동 403번지 45호	개봉2동 자치센터주변
	경기도 광명시 광명7동 295번지 4호	광명사거리 주변
	서울 영등포구 대림동 740번지 5호	대림3동 자치센터주변
산업도로 (Industrial Road, IR)	경기 안산시 상록구 사사동 235-2	수인산업도로
	경기 안산시 상록구 장상동 3-385(안산경영정보고앞)	수인산업도로
	경기 의왕시 왕곡동 482-8	경수산업도로
일반국도 (National Road, NR)	경기 화성 매송 송라리	국도47호선
	경기 남양주시 진접읍 내곡리 376-22	국도47호선
	경기 광주시 초월읍 대쌍령리 274-33	국도3호선
산간도로 (Mountain Road, MR)	경기 의왕시 내손1동 계원예대 뒤 산간도로	국도37호선
	경기 광주시 퇴촌면 도수리 103	지방도88호선
	경기 성남시 수정구 양지동 산 37-1	지방도308호선

2.2 수질분석

도로노면에서 배출되는 수질특성을 분석하기 위하여 12개 지점에 대하여 10mm/hr 이상의 강우강도가 있는 날을 택하여 3회 조사를 실시하고, 각 조사시 강우가 시작된 후부터 10분 간격으로 3회 샘플링을 실시하였다. 시료채취는 grab sampling을 원칙으로, 1ℓ의 샘플을 채취하여 시료는 수질오염공정시험법에 준하여 보존하였다. 시료는 최대 보존기간 이내에 모든 분석을 완료하도록 하였으며, 현장에서 채취된 시료는 실험실에 도착하기 전까지 별도의 ICE BOX 용기에서 4℃로 유지하였다. 각 수질항목인 BOD, COD, SS, T-N, T-P 농도 분석은 수질오염공정시험법(환경부, 1999)에 따라 분석하였다. 본 논문에서 초기 유출농도는 강우후 10분후 채취한 수질의 농도를 기준으로 하였다.

First-flush 분석은 강우 후 10후 채취한 샘플의 유출농도를 100%로 하여 감쇄되는 농도로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 도로유형별 수질 특성

강우초기의 BOD농도는 시내도로의 경우에 배출 농도의 범위가 43.5~79.4 mg/L(평균농도 57.6 mg/L)였고, 산업도로는 배출농도가 33.0~72.0 mg/L(평균농도 56.3 mg/L)이었다. 일반국도의 배출농도 범위는 33.0~66.2 mg/L(평균농도 50.9 mg/L)였고, 산간도로는 28.0~57.6mg/L(평균농도 45.0 mg/L)로 나타났다. 도로유형별 BOD 농도는 시내도로> 산업도로> 일반국도> 산간도로 순이었고, 시내도로와 산업도로의 BOD 농도가 산간도로에 비하여 상대적으로 높았다. 기존의 국내 연구에 의하면 도로노면의 BOD농도는 48.6~153.4 mg/L의 범위로 보고된 바 있는데(노 등, 2004; 김 등, 2004), 본 연구에서는 최대 BOD 농도가 이에 못 미치는 것으로 나타났다. BOD는 오염농도가 가장 낮은 산간도로의 평균농도가 최와 신(2002)이 보고한 토지유형별 배출농도와 비교하면 고밀도 아파트지역, 단독주거지역, 공업지역, 주차장 보다 높아 도로에서 차량운행으로 발생하는 오염유발 물질이 다른 토지 이용의 형태보다 영향을 많이 주는 것으로 나타났다. 또한 강우시 도로와 인접한 인도와 상가의 영향이 가중 되었을 것으로 판단된다.

강우초기의 COD농도는 산업도로> 시내도로> 일반국도> 산간도로 순이었고 시내도로와 산업도로, 일반국도와 산간도로가 서로 비슷한 양상을 나타내었다. 시내도로의 경우에 배출 농도의 범위가 122.1~168.0 mg/L(평균농도 140.5 mg/L)였고, 산업도로는 배출농도가 110.7~187.1 mg/L(평균농도 146.5 mg/L)이었다. 일반국도의 배출농도

범위는 82.6~141.7 mg/L(평균농도 104.7 mg/L)였고, 산간도로는 86.0~117.5 mg/L(평균농도 98.0 mg/L)로 나타났다. COD는 BOD 오염농도보다 훨씬 높게 나타났는데, 중금속 등의 난분해성 물질을 많이 포함하고 있어 나타난 결과로 사료되며, 최와 신(2002)이 보고한 고밀도아파트지역, 단독주거지역, 공업지역 에서보다는 높았으나, 상업지역과 주차장 등에서보다는 낮았다.

SS농도의 강우초기 유출농도는 시내도로에서 92.7~201.0 mg/L(평균농도 146.4 mg/L)였고, 산업도로에서는 115.0~630.0 mg/L(평균농도 280.4 mg/L)로 다른 도로에 비하여 현저히 높았다. 일반국도는 14.0~105.7 mg/L(평균농도 76.0 mg/L), 산간도로는 56.0~100.2 mg/L(평균농도 78.9 mg/L)로 나타나 다른 항목에 비하여 시내 및 산업도로, 일반국도 및 산간도로의 유출농도차가 심하였다. 이는 교통량과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되었으며 차량 운행이 많을수록 SS를 유발하는 물질의 축적이 증가될 가능성이 높다고 사료된다. 초기 강우시 SS유출농도는 산업도로>시내도로>산간도로>일반국도 순이었다.

T-N의 강우초기 유출농도는 시내도로에서 10.0~18.9 mg/L(평균농도 14.7 mg/L)였고, 산업도로는 배출농도가 14.5~28.2 mg/L(평균농도 20.0 mg/L)이었다. 일반국도의 배출농도 범위는 8.0~19.7 mg/L(평균농도 13.3 mg/L)였고, 산간도로는 6.5~10.9 mg/L(평균농도 8.7 mg/L)로 나타나 산업도로>시내도로>일반국도>산간도로 순이었다. 최와 신(2002)의 토지이용에 따른 연구결과와 비교할 때 대부분이 유사하여, 특별한 질소유발 물질이 없는 경우에는 도로 또는 토지유형에 따른 T-N오염농도의 차이는 보이지 않았다.

초기강우시 T-P의 유출농도는 시내도로에서 0.39~1.01 mg/L(평균농도 0.61 mg/L)였고, 산업도로는 배출농도가 0.55~1.78 mg/L(평균농도 1.15 mg/L)이었다. 일반국도의 배출농도 범위는 0.43~1.68 mg/L(평균농도 0.77 mg/L)였고, 산간도로는 0.37~0.62 mg/L(평균농도 0.48 mg/L)로 나타나 산업도로>시내도로>일반국도>산간도로 순이었다. 최와 신(2002)의 연구결과 도로노면의 T-N은 7.5, mg/L, T-P는 0.48 mg/L로 나타났는데, 본 연구결과와 비교하여 볼 때 T-N은 일반국도와 유사하였고, T-P는 산간도로와 유출농도가 유사하였다.

도시지역은 불투수성 면적비율이 높아 오염물질이 강우초기에 일시에 배출되는 초기유출(first flush)현상이 두드러져, 초기에 하천에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 수질에 영향을 미치는 오염물질로 오염퇴적물, 오니, 기름, 중금속, 각종 도시폐기물, 점토, 모래 등이 영향을 미친다. 시내도로에서는 차량운행에 의한 오염물 축적과 도로주변

에서의 상가와 주거지에서 초기강우에 흘러드는 협잡물, 기름, 토사, 영양물질 등이 가중되어 BOD, COD 및 SS 등의 농도가 높은 것으로 사료된다. 시내도로와 산업도로는 차량의 운행에 따른 오염유발 물질이 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 산업도로의 특징인 고속주행과 많은 차량 이동은 SS농도에 영향을 미치는 정도가 클 것으로 판단되며, 추후 면밀한 분석이 필요하다. 일반국도나 산간도로는 상대적으로 각 수질항목의 오염 농도가 낮았다. 이는 교통량이 적고, 강우시 주변에서 오염을 유발하는 물질의 영향이 별로 크지 않기 때문인 것으로 사료된다. T-N과 T-P의 경우에는 최와 신(2002)의 연구결과와 비교하면 유형별로 큰 차이를 보이지 않아, 차량과 관련된 오염물이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 본 연구에서 분석한 수질항목 이외에 도로 유형별 중금속 오염물질과 종합적인 분석을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3.2 감쇄농도

강우초기에 도로노면에서 유출되는 BOD농도는 강우 시작 후 10분이 경과하였을 때를 기준으로 10분이 경과한 20분 후 농도 감쇄는 시내도로에서는 33.4%, 산업도로는 43.0%, 일반국도는 30.2%, 산간도로는 25.3%로서 산간도로에서 농도감소가 가장 많았다. 30분이 경과하였을 때에는 시내도로 21.4%, 산업도로는 24.3%, 일반국도는 15.8%, 산간도로는 15.4%로서 교통량과 주변의 영향이 많은 시내도로와 산업도로 보다 일반국도와 산간도로의 BOD농도의 감소가 많았다. 이는 시내도로와 산업도로의 경우 초기 강우 후에도 오염물질이 지속적으로 배출되기 때문인 것으로 판단된다.

COD 유출농도는 20분 강우 후 10분이 경과하였을 때보다 시내도로에서는 31.5%, 산업도로는 54.7%, 일반국도는 31.7%, 산간도로는 26.4%로서 산업도로에서 감소가 적었고, 산간도로에서 가장 많았다. 30분이 경과한 후에도 산

업도로에서 31.0%로서 초기에 비하여 감쇄되는 정도가 상대적으로 다른 도로 유형에 비하여 적었다. 산간도로의 경우에는 초기에 비하여 14.1%까지 낮아지는 것으로 나타났다. 산업도로는 COD의 농도가 다른 도로유형에 비하여 높을 뿐만 아니라 다른 도로유형에 비하여 중금속 등의 난분해성 물질을 많이 포함한 오염물이 지속적으로 유출되어 나타난 결과로 사료된다.

SS농도는 산업도로가 다른 유형의 도로에 비하여 매우 높았고, 강우 후 20분 후에는 초기인 10분에 비하여 66.7%까지 감소하였는데, 이는 시내도로의 37.3%, 산간도로의 35.8% 보다는 감쇄되는 정도가 매우 적었다. 강우 후 30분 경과 후 시내도로가 20.9%까지 낮아져 SS농도 감쇄가 가장 많았고, 산업도로는 33.2%로 가장 높았다. 일반국도는 26.8%, 산간도로는 24.4%까지 감쇄되었다. 산업도로는 SS농도에 영향을 미치는 오염물이 초기세척 효과에 의해 감소되었더라도 다른 도로유형에 비하여 오염물이 많아 초기에 비하여 감쇄비율이 적었으나 30분이 경과하면 다른 도로유형과 비슷하게 감쇄하였다.

T-N유출 농도는 20분 경과 후 초기 10분에 비하여 산업도로에서 61.8%로 감쇄 정도가 가장 적었고, 산간도로에서 37.4%로 감쇄가 가장 많았다. 30분이 경과하면 시내도로가 31.4%로 감쇄가 가장 적었고, 나머지 도로유형은 26.3~27.8%로 대부분 유사하였다. T-N유출 농도의 시간 경과 후 감쇄의 정도는 T-N유출 농도와 양상이 비슷하여 산업도로에서 20분 경과 후 67.1%로 감쇄의 정도가 가장 적었으나 30분이 경과 할 때에는 산업도로에서 34.0%, 산간도로는 감쇄가 적어져 35.8%로 농도의 감소가 가장 적었다. 시내도로와 일반국도의 감쇄는 초기에 비하여 각각 22.9%, 21.8%로 나타났다.

오염물질의 감쇄는 강우 초기에 피크를 나타내다가 강우 후 30분이 경과하면 초기에 비하여 BOD농도는 80.8%, COD 농도는 79.1%, SS농도는 73.7%, T-N농도는

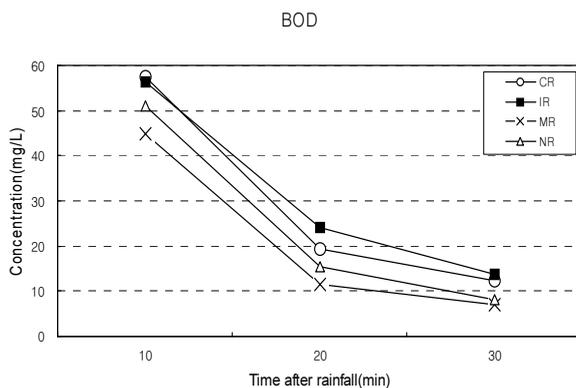


Fig.1. 도로유형별 BOD 유출농도 특성.

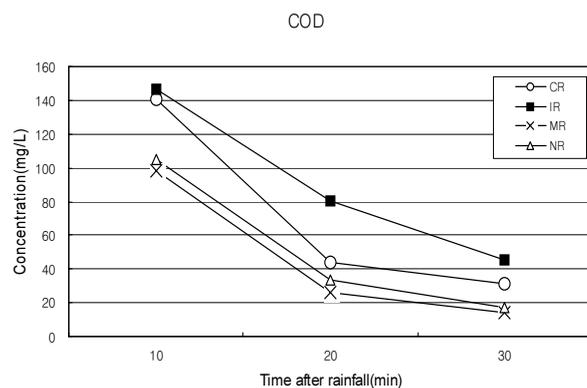


Fig.2. 도로유형별 COD 유출농도 특성.

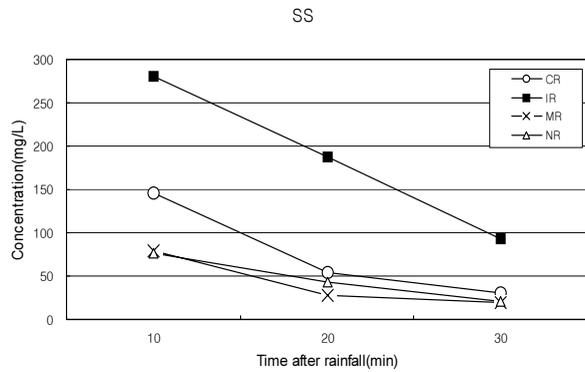


Fig.3. 도로유형별 SS 유출농도 특성.

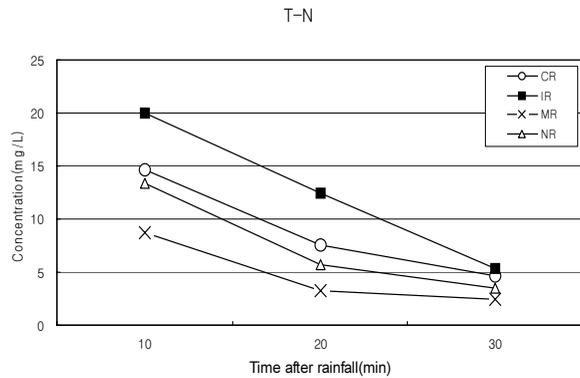


Fig.4. 도로유형별 T-N 유출농도 특성.

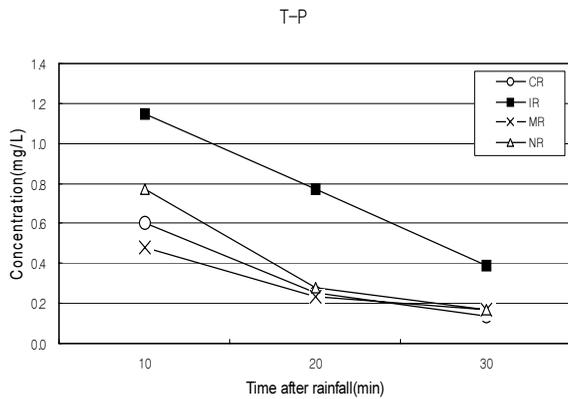


Fig.5. 도로유형별 T-P 유출농도 특성.

72.0%, T-P농도는 71.4%로 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 도로 비점오염원 관리시 강후 초기 30분 내에 처리가 매우 중요한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 도로 노면에서 발생하는 비점오염원의 특성을 파악하기 위하여 도로의 유형을 구분한 후 강우 초기유출수의 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 수질특성을 조사하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 강우초기의 BOD농도는 시내도로의 경우에 배출 농도의 범위가 43.5~79.4 mg/L(평균농도 57.6 mg/L)로 가장 높았고, 산간도로에서 28.0~57.6mg/L(평균농도 45.0 mg/L)로 가장 낮았다. 도로유형별 BOD 농도는 시내도로> 산업도로> 일반국도> 산간도로 순이었다.

2) 강우초기의 COD농도는 산업도로에서 배출농도가 110.7~187.1 mg/L(평균농도 146.5 mg/L)로 가장 높았고, 산간도로는 86.0~117.5 mg/L(평균농도 98.0 mg/L)

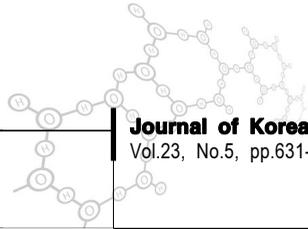
로 가장 낮았다. 배출농도는 시내도로> 산업도로> 일반국도> 산간도로 순이었다.

3) SS농도의 강우초기 유출농도는 산업도로에서 115.0~630.0 mg/L(평균농도 280.4 mg/L)로 다른 도로에 비하여 현저히 높았고, 일반국도는 14.0~105.7 mg/L(평균농도 76.0 mg/L)로 가장 낮았다. 다른 수질항목에 비하여 시내 및 산업도로, 일반국도 및 산간도로의 유출농도차가 심하였다.

4) T-N의 강우초기 유출농도는 시내도로에서 10.0~18.9 mg/L(평균농도 14.7 mg/L)로 가장 높았고, 산간도로에서 6.5~10.9 mg/L(평균농도 8.7 mg/L)로 가장 낮았다. 배출농도는 산업도로>시내도로>일반국도>산간도로 순이었다.

5) 초기강우시 T-P는 산업도로는 배출농도가 0.6~1.8 mg/L(평균농도 1.1 mg/L)로 가장 높았고, 산간도로는 0.4~0.6 mg/L(평균농도 0.5 mg/L)로 가장 낮았다. 배출농도는 산업도로>시내도로>일반국도>산간도로 순이었다.

6) 강우후 시간이 경과하면서 BOD는 일반국도와 산간도로에서 강우 30분 경과 후 10분 후 농도에 비하여 각각 15.8%, 15.4%로 배출농도가 낮아졌다. COD 노면 배출농도는 산업도로가 다른 유형의 도로에 비하여 초기 배출농도도 높고, 30분 후 초기농도의 31.0%로 낮아졌지만 일반국도 16.0%, 산간도로는 14.1%에 비하여 감쇄되는 비율이 낮았다. 도로노면에서 배출되는 SS농도는 30분이 경과한 후 산업도로에서 초기의 33.2%로 낮아졌지만 일반국도와 산간도로에 비하여 유출농도가 높았다. T-N농도는 강후 30분 경과 후 초기에 비하여 시내도로가 31.4%로 감쇄정도가 적었으며, 일반국도에서 26.3%로 가장 많이 감쇄되었다. T-P는 강우후 30분 경과후 일반국도에서 초기농도의 21.8%로 나타나 가장 많은 감쇄를 보였고, 산간도로에서 35.8%로 감쇄가 가장 작았다.



참고문헌

1. 김석구, 김영임, 윤상린, 이용재, 김이호, 김종오 (2004) 강우강도에 따른 노면 유출수 유출특성, *한국물환경학회지*, 20(5), 99-494-499.
2. 김이형, 강주현 (2004) 강우시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준, *환경물환경학회지*, 20(6), pp. 641-646.
3. 노성덕, 이대근, 전양근(2004) 도로상의 비점오염물질 저감을 위한 초기 우수 유출수 처리에 관한 연구, *한국물환경학회지*, 20(5). pp. 525-533.
4. 최지용, 신창민(2002) 비점오염원 유출 저감을 위한 우수유출수 관리방안, 한국환경정책평가연구원.
5. 환경부 (1999). 수질오염공정시험법
6. Kim, Lee-Hyung(2003) Determination of Event Mean Concentrations and First Flush Criteria in Urban Runoff, *Korea Society of Environmental Engineers*, 8(4), pp. 163-176.
7. Lee, bang(2000) Characterization of Urban stormwater Runoff, *Water Research*, 34(6), pp. 1773-1780.