

## 도로 유형별 비점오염원 유출특성 분석

윤영삼\* · 권헌각 · 이윤정 · 유재정 · 이춘식<sup>1)</sup> · 이재관

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, <sup>1)</sup>진주산업대학교 환경공학과  
(2010년 8월 24일 접수; 2010년 10월 19일 수정; 2010년 10월 25일 채택)

### Analysis of Nonpoint Sources Runoff Characteristic by Road Types

Young-Sam Yoon\*, Hun-Gak Kwon, Youn-Jung Yi, Jay-Jung Yu  
Chun-Sik Lee<sup>1)</sup>, Jae-Kwan Lee

*Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research,  
Goryeong 717-873, Korea*

<sup>1)</sup>*Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea*  
(Manuscript received 24 August, 2010; revised 19 October, 2010; accepted 25 October, 2010)

#### Abstract

Growth in population and urbanization has progressively increased the loading of pollutants from nonpoint sources as well as point sources. Especially in case of road regions such as city trunk road, national road and highway are rainfall and pollutants runoff intensive landuses since they are impervious and emit a lot of pollutants from vehicle activity. This research was conducted to investigate the nonpoint sources concentration and quantifying stormwater pollutants which are contained in rainfall runoff water. Three different monitoring sites in Jinju and Changwon city were equipped with an automatic rainfall gauge and flow meter for measuring rainfall and the volume of rainfall runoff. In the case of average EMC value, city trunk road was shown the highest value in target water quality items like as BOD, COD, SS, TN and TP. Or the amount of runoff loads by water quality items showed the highest value in city trunk road. And runoff load in city trunk road was 43.8 times high value compared to highway by value of city trunk road 356.7 mg/m<sup>2</sup>, highway 8.150 mg/m<sup>2</sup>, national road 19.99 mg/m<sup>2</sup> in the case of BOD.

**Key Words :** Nonpoint source, Runoff, Runoff load, Stormwater, Road

#### 1. 서론

자연상태의 경우, 오염물질이 토양내로 침투하게 되며 식물에 의해서 흡수되거나, 토양층을 통과하면서 여과 등의 자연정화과정을 거치게 되어 그 양이 줄

어떻게 되지만, 산업의 발달 및 도시화로 인해 강우유출 특성이 변화되어 강우유출수에 포함된 다양한 종류의 비점오염물질이 수계로 유입되어 하천 및 호소의 수질을 악화시킨다(김 등, 2006).

토지이용은 도시지역(상업용지, 산업단지, 주거지역, 공공지역, 나대지, 공원, 도로, 주차장 등), 농업지역(논, 밭 등), 삼림지역, 건설현장, 골프장 등으로 분류되며, 토지이용의 특성에 따라 유출되는 오염물질의 종류와 양이 다르다. 이러한 토지이용 중에서 도시지역의 비점오염원에 관한 관심이 큰 이유는 높은 불

\*Corresponding author : Young-Sam Yoon, Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea  
Phone: +82-54-950-9711  
E-mail: ysyoon3sf@korea.kr

투수율에 의하여 적은 유역면적에 비하여 기타 토지 이용에 비해 강우유출수의 양 및 오염물질의 유출량이 크기 때문이다(김과 이, 2005). 특히, 강우 발생 시 도시지역의 불투수율의 증가로 인해 다양한 환경적, 수리학적 문제들이 야기된다.

일반적으로 불투수층 중에서 비점오염원에 가장 큰 영향을 끼치는 지역은 도시지역이며, 특히 많은 차량의 운행이 일어나고 있는 도로 및 주차장 지역 등이다. 도시화에 따른 불투수층 증가는 주로 도로, 주차장, 광장 등의 증가에 의한 영향이며, 이는 강우 시 수량의 증가와 함께 수질의 악화를 초래한다(김과 이, 2005; Deletic과 Mahsimivic, 1998). 최근 비점오염원에 대한 중요성과 문제점을 인식하고 다양한 저감방안을 모색하는 연구들이 다양하게 진행되고 있다. 비점오염원 중에서 특히 도로 유출수는 유기물질, 부유물질, 자동차 배기가스 침착물질, 타이어마모물질, 기름, 윤활유, 방향족탄화수소화합물, 중금속 등 다종 다량의 유해물질을 함유하고 있다(Barrett 등, 1998; Lee 등, 2002).

또한 대부분의 도로는 불투수성 포장 재료를 사용하기 때문에 일정량 이상의 강우가 발생하면 도로노면위에 축적된 각종오염물질들이 유출되는 도로노면 유출현상이 발생한다. 이러한 도로노면 유출수의 경우 도시 내 비점오염발생원의 주된 구성원으로 알려져 있으며, 강우강도, 강우량, 선행건기일수, 차량통행량, 포장형태 등의 다양한 인자에 의하여 오염물질의 유출정도가 다양하게 변동되는 것으로 알려져 있고 다량의 유기성 오염물질, 영양염류 및 각종 중금속 성분 등이 유출수내에 포함되어 배출되고 있는 것으로 알려져 있다(김 등, 2004; 김과 강, 2004; 이 등, 2005).

도로면에서 발생하는 오염물질 중 자동차에 의한 것은 브레이크 라이닝에서 구리, 니켈, 크롬 등과 같은 중금속 물질이 다량 함유되어 있고, 엔진의 연소과정에서 철, 망간, 크롬, 구리 등의 중금속이 도로에 배출되는 것으로 알려져 있으며, 제설염 보관을 위해 사용된 고화방지제에 의해 시안이 발생될 수 있다(Darren 등, 2000). 도로노면 강우유출수의 경우 차량의 타이어마모 분진 등에 의해 오염물질 농도가 높고, 특히 초기 강우유출수의 하천 및 호소에 대한 영향이 큰 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 토지이용 형태 중 강우유출수의 농도가 높은 도로지역에 대해 강우시 다양한 도로이용(국도, 고속도로, 시내간선도로)에서 유출되는 비점오염물질의 유출 특성을 조사하였다. 또한 도로에서 강우에 의해 발생하는 비점오염물질 유출량은 강우량, 총유출고, 평균시간당 강우량, 평균시간당 유출량, 선행무강우일수, 강우지속시간 등 다양한 수리수문 인자들과 복합적으로 연관되어있다(윤 등, 2010). 따라서 이러한 복잡한 비점오염물질의 유출현상을 도로이용 특성별로 구분하여 강우에 따른 비점오염물질의 유출현상을 BOD, COD, SS, TOC, TN, TP 항목을 중심으로 조사하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 조사지점현황

본 연구의 조사지점은 도심간선도로, 고속도로 그리고 국도를 대상으로 강우시 강우유출수 모니터링을 실시하였다. 경남 창원시 반송동에 위치한 교통지역 중 도심간선도로는 왕복 6차선 도로로 본 연구에서는 편도 3차선을 대상지역으로 선정하였다. 강우 시 교통지역에서 대상지점으로 유입되는 도로의 길이는 124 m, 도로의 폭은 10 m로 총 면적은 1,240 m<sup>2</sup>이다. 대상지역의 상단부에서 하단부 즉, 대상지점까지의 경사도는 5%이며 우수관거는 6개, 우수받이는 15개가 설치되어 있었으며, 대상지점의 강우 강우관측소는 대상지점으로부터 2.4 km 떨어진 창원시청에서 확인이 가능하였다.

진주시 내동에 위치한 교통지역 중 고속도로는 왕복 4차선 도로로 본 연구에서는 상행선 편도 2차선을 대상지역으로 선정하여 모니터링을 수행하였으며, 중앙분리대 및 노선주변의 갯길을 포함하여 강우시 우수관거를 통하여 조사대상 지점으로 유입되는 노면은 길이 200 m, 폭 10 m로 면적은 총 2,000 m<sup>2</sup>이었다. 조사대상 지점이 위치하고 있는 우수관거로 차집 되는 노면은 V자형 노면 형상을 따라 경사도 2% 정도로 노면 측벽을 따라 차집 되어 지고 있다. 또한 고속도로 조사 대상지점은 우수관거가 U자형 개수로로서 관거 폭(W)은 360 mm, 수로의 높이(H)는 590 mm이며, 조사지점의 차량고속 주행의 위험으로부터 방지 할 수

있는 외부접근이 용이한 지점으로서 비점오염물질의 유출 특성조사가 용이하였다.

창원시 가포동에 위치한 교통지역 중 국도의 경우 왕복 6차선 도로이며, 본 연구에서는 6차선 도로 전체를 대상으로 모니터링을 수행하였으며, 중앙분리대 및 갓길을 포함하여 강우시 우수관거를 통하여 조사 대상 지점으로 유입되는 노면은 폭은 31 m, 길이 400 m로 면적은 총 12,400 m<sup>2</sup>이었다. 국도의 경우 약 5%의 일부 투수지역을 포함하는 최근에 준공된 구간으로 유지관리가 비교적 잘 되어 있었으며, 우수관거로 차집 되는 노면은 경사도 4% 정도의 완만한 내리막으로 노면을 따라 유출되거나 노면 측벽을 따라 차집되었다.

**2.2. 강우유출수 현장 조사**

강우유출수에 대한 특성을 조사하기 위하여, 먼저 조사대상 지점인 도심간선도로, 고속도로, 국도가 속해 있는 구역의 10년간 일 강우 분석을 통해 집중 강우 시기 및 강우량을 조사 하여 현장모니터링의 기초 자료로 활용하였다.

현장 조사는 기상청의 일기예보를 통해 현장에 강우 강도계 및 유량계를 설치하여 조사대상지점에서 일어나는 강우 형태에 따른 유출수의 변화를 살펴보았다. 실측에 사용된 강우강도계는 tipping bucket mechanism 방식의 호주 Environdata Environmental Monitoring & Management 사의 RG-20으로 1 min 단위의 강우량 측정이 가능하고, 유량계의 경우 비만관 전자식 유량계로 미국 Marsh McBirney 사의 Flo-Tote3로 1 min 단위의 유량측정이 가능하다. 조사대상지점에 대한 유량계의 설치는 최종 유출구에 설치하여 외부로부터 강우유출수의 유입이 없는 상황에서 유출량을 조사 하였다.

2009년 1년간에 걸쳐 조사된 강우사상은 도심간선 도로가 9회, 고속도로 8회, 국도 7회 등 총 24회 실시되었으며, 이들 강우사상에 대해 시간대별 유량과 수질농도로부터 EMC 값을 산정하였다. 시료의 채취 및 분석의 경우 환경부 국립환경과학원에서 작성한 ‘강우 유출수 조사방법’에 준하여 이루어 졌으며, 강우량의 경우 현장에서 강우강도계를 활용하여 실측을 원칙으로 하였으며, 불가할 시 가장 근접한 기상청인 진

주 및 창원 관측소의 자료를 활용하였다.

**2.3. 수질분석방법**

수질 분석용 시료의 채취는 강우에 따라 유출이 발생하는 시점을 S1으로 하여 이후 유출 초기에는 5분 간격으로 시료를 채취하고, 이후 10분, 30분, 1시간, 2시간 등 유출 지속 시간에 따라 조사자가 결정하여 실시하였다. 채수 지점은 유량측정에 영향을 주지 않는 최종 말단 부위에서 채수하였고, 시료의 전처리 및 분석은 Table 1에 수록된 바와 같이 Standard method 및 수질오염공정시험법에 따라 실시하였다.

**Table 1.** Analysed items and analysis methods

| Item         | Uunits | Methods   |
|--------------|--------|---|
| Temperature  | ℃      | 556mps (YSI)  |
| pH           | -      | 556mps (YSI)  |
| DO           | mg/ℓ   | 556mps (YSI)  |
| Conductivity | μs/cm  | 556mps (YSI)  |
| BOD          | mg/ℓ   | 20°C 5days cultivation & check DO before incubation and after incubation DO |
| COD          | mg/ℓ   | KMnO <sub>4</sub> method at 100°C   |
| SS           | mg/ℓ   | Total solids dried at 103~105°C   |
| T-N          | mg/ℓ   | Ultraviolet methods   |
| T-P          | mg/ℓ   | Persulfate digestion method   |

**2.4. 강우사상별 EMC 산정**

강우 시 발생하는 강우유출수 농도 및 유량의 경우 강우량, 강우강도, 선행무강우일수, 강우시간 등에 따라 지속적으로 변화되기 때문에 특정시간의 유량과 농도 자료만을 가지고 특정강우사상의 대표 유량 및 농도로 사용할 수 없다. 따라서 각각의 강우사상별 대표 농도를 확보하기 위해서는 각각의 강우사상 전 기간 시간대별 유량 및 수질을 조사하여 각각의 수질 농도에 유량이 가중된 농도를 조사하여 각 강우사상별 대표 농도로 사용하여야 강우사상별 특성을 농도 값에 반영할 수 있다. 이와 같이 유출 시간대 별 유출량이 고려된 농도가 유량가중평균농도(EMC : Event Mean Concentration)이며, 이는 식 (1)에서 보는 바와 같이 강우 발생 시 대상구역에서 유출되는 오염물질

의 각 시간대별 총량을 유출량으로 나눈 값으로 정의된다(Vladimir Novotny, 1995).

$$EMC = \frac{\sum_{t=0}^T C(t) \cdot Q(t)}{\sum_{t=0}^T Q(t)} \quad (1)$$

여기서, t는 유출시점으로부터의 경과시간, Q(t)는 시간 t에서의 유출량(m<sup>3</sup>/s), C(t)는 시간 t에서의 오염물질농도(mg/L)이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 강우사상별 교통지역 유출특성

3.1.1. 도심간선도로의 강우사상별 유출부하량 및 EMC  
교통지역 중 도심간선도로의 경우 편도 3차선을 대상지역으로 하여 2009년 1년간에 걸쳐 진행된 강우유출수 모니터링 결과를 Table 2에 수록하였다. Table 2에 수록된바와 같이 강우량은 5.0-86.1 mm 범위로 다양한 강우사상이 본 연구에 포함되었으며, 다양한 강우특성에 따라 조사대상 1,240 m<sup>2</sup> 면적의 도로에서 3.9-96.1 m<sup>3</sup>의 강우유출수가 유출되었다. 강우량의 변화에 따른 유출율의 경우 평균 62%를 보였으며, 최소 27%에서 최대 88%의 다양한 유출율 범위를 나타내었다. 조사대상 면적 1,240 m<sup>2</sup>에서 유출되는 BOD,

COD 등 수질항목별 유출부하량의 경우 Table 2에 수록된 바와 같이 선행무강우일수 및 강우량에 민감하게 반응하였다. BOD와 TP 항목의 경우 조사대상 강우사상 들 중 최대 강우량을 보인 CE9 강우사상이 아닌 강우량 14.1 mm, 선행무강우일수 21일의 CE3 강우사상에서 최대 유출부하량을 보였다.

COD, SS, TN 항목 역시 CE3 강우사상에서 최대 유출부하량을 보이지는 않았지만 낮은 강우량에 비해 유출부하량은 대단히 높게 나타났다. 도심간선도에 대해 조사된 강우사상별 EMC 값의 경우 선행무강우일수가 8일로 비교적 길었던 CE6 강우사상의 EMC 값이 BOD, COD, SS, TN, TP 각각 90.6, 761.0, 119.9, 13.592, 1.668 mg/ℓ 로 대단히 높은 농도를 보였다. 수질항목별 최대 유출부하량과 최소 유출부하량의 비는 BOD 51.3, COD 45.0, SS 20.0, TN 20.2, TP 33.8의 값으로 최대유출량과 최소유출량의 비인 24.6에 비해 BOD, COD 항목이 특히 최대와 최소 유출부하량의 차이가 크게 나타났으며, TP 항목 역시 강우의 최대와 최소 유출량 차이에 비해서는 최대와 최소 유출부하량이 높은 차이를 보였다. 또한 동일 지점에 대해 강우사상별로 최대값과 최소값의 비가 각각 BOD 42.2, COD 149.2, SS 13.5, TN 13.4, TP 22.2로 조사되어 최대강우량과 최소강우량 비인 17.2에 비해 특히 BOD와 COD 항목의 EMC 값의 범위가 대단히 넓게 나타났다.

Table 2. Runoff loads and EMC according to monitoring time for city trunk road

| Date     | Event No. | Rainfall (mm) | Runoff (m <sup>3</sup> ) | Runoff rate | Dry days | Runoff loads(g) |        |        |       |      | EMC(mg/ℓ) |       |       |        |       |
|----------|-----------|---------------|--------------------------|-------------|----------|-----------------|--------|--------|-------|------|-----------|-------|-------|--------|-------|
|          |           |               |                          |             |          | BOD             | COD    | SS     | T-N   | T-P  | BOD       | COD   | SS    | T-N    | T-P   |
| 09/03/13 | CE1       | 11.5          | 3.89                     | 0.27        | 7        | 11.8            | 94.6   | 167.6  | 7.7   | 0.5  | 3.0       | 24.3  | 43.0  | 1.968  | 0.120 |
| 09/03/21 | CE2       | 25.4          | 18.8                     | 0.60        | 7        | 42.1            | 345.9  | 444.9  | 25.3  | 2.0  | 2.2       | 18.4  | 23.6  | 1.343  | 0.104 |
| 09/04/13 | CE3       | 14.1          | 11.3                     | 0.65        | 21       | 605.6           | 2797.5 | 794.6  | 154.0 | 16.9 | 53.5      | 246.9 | 70.1  | 13.592 | 1.496 |
| 09/04/20 | CE4       | 34.5          | 19.1                     | 0.45        | 7        | 560.6           | 4247.6 | 1203.7 | 155.2 | 11.5 | 29.4      | 222.6 | 63.1  | 8.134  | 0.605 |
| 09/04/24 | CE5       | 14.9          | 16.2                     | 0.88        | 4        | 442.3           | 2635.8 | 578.7  | 97.5  | 6.7  | 27.3      | 162.7 | 35.7  | 6.021  | 0.415 |
| 09/05/12 | CE6       | 5.0           | 4.79                     | 0.77        | 8        | 433.6           | 3643.7 | 574.2  | 41.3  | 8.0  | 90.6      | 761.0 | 119.9 | 8.619  | 1.668 |
| 09/05/17 | CE7       | 28.3          | 20.1                     | 0.57        | 4        | 63.4            | 182.9  | 816.8  | 26.1  | 2.7  | 3.2       | 9.1   | 40.7  | 1.302  | 0.134 |
| 09/06/09 | CE8       | 15.3          | 8.71                     | 0.46        | 5        | 40.1            | 94.5   | 77.2   | 15.8  | 1.5  | 4.6       | 10.8  | 8.9   | 1.810  | 0.174 |
| 09/06/21 | CE9       | 86.1          | 96.1                     | 0.90        | 5        | 240.6           | 489.6  | 1541.3 | 97.7  | 7.2  | 2.5       | 5.1   | 16.0  | 1.017  | 0.075 |
| Average  |           | 26.1          | 22.1                     | 0.62        | 7.6      | 271.1           | 1614.7 | 688.8  | 69.0  | 6.3  | 24.0      | 162.3 | 46.8  | 4.867  | 0.532 |
| Max      |           | 86.1          | 96.1                     | 0.88        | 21       | 605.6           | 4247.6 | 1541.3 | 155.2 | 16.9 | 90.6      | 761.0 | 119.9 | 13.592 | 1.668 |
| Min      |           | 5.0           | 3.9                      | 0.27        | 4        | 11.8            | 94.5   | 77.2   | 7.7   | 0.5  | 2.2       | 5.1   | 8.9   | 1.017  | 0.075 |

3.1.2. 고속도로 지점의 유출부하량 및 EMC

본 연구의 조사대상 고속도로는 최근에 완공된 도로로 유지관리가 잘 되어 있었으며, 이와 같은 고속도로 지점에 대해 진행된 강우유출수 모니터링 결과를 Table 3에 수록하였다.

Table 3에 수록된 바와 같이 강우량은 6.2-102.5 mm 범위로 다양한 강우사상에 대해 모니터링이 수행되었으며, 조사대상 고속도로 면적 2,000 m<sup>2</sup>에서 강우시 유출된 유출량의 범위는 6.8-169.1 m<sup>3</sup>으로 넓은 강우량 분포와 마찬가지로 유출량 분포 또한 넓게 나타났다. 강우량의 변화에 따른 유출율의 경우 평균 72%를 보였으며, 최소 37%에서 최대 89%의 다양한 유출율 범위를 나타내었으며, 도심간선도로에 비해서는 다소 높은 유출율을 보였다. 조사대상 면적 2,000 m<sup>2</sup>에서 유출되는 BOD, COD 등 수질항목별 유출부하량의 경우 Table 3에 수록된 바와 같이 도심간선도로와는 다소 다른 경향으로 선행무강우일수 보다는 강우량에 민감하게 반응하였다. 이는 도심간선도로의 경우 고속도로에 비해서는 유지관리가 원활하게 이루어지지 않는 지역으로 인위적인 영향을 더 높게 받아 선행무강우일수에 민감하게 유출부하량이 영향을 받았으나 고속도로의 경우 유지관리가 잘 진행되어 선행무강우일수에 비해 강우량의 영향을 높게 받는 것으로 나타났다.

고속도로에 대한 유출부하량의 경우 Table 3에 수록된 바와 같이 강우량이 102.5 mm로 가장 많은 강우

량을 보인 강우사상 HE6에서 TN 항목을 제외하고는 가장 높은 값을 보였으며, TN 항목의 경우 가장 높은 유출율을 보인 강우사상 HE3에서 174.6 g으로 가장 높은 유출부하량을 보였다. 최소 유출부하량의 경우 강우량 6.2 mm, 유출율 74%로 나타난 강우사상 HE4에서 조사대상 모든 수질항목에서 가장 낮은 유출부하량을 보였다. 고속도로 지점에 대한 수질항목 별 최대/최소 유출부하량 값을 살펴보면 BOD 39.1, COD 14.3, SS 27.7, TN 18.8, TP 28.8의 값으로 최대/최소 강우 유출량 비 24.9와 유사한 값을 나타내었다. 이는 고속도로 지점의 수질항목별 유출부하량의 경우 EMC 농도 값보다는 강우에 의한 유출량에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

고속도로에 대한 EMC 농도의 경우 도심간선도로에 비해서는 대단히 낮은 농도로 평균 BOD 2.3, COD 3.7, SS 25.0, TN 1.350, TP 0.070 mg/ℓ 을 각각 보였으며, 강우사상 별 최대 EMC 값에 대한 최소 EMC 값의 비는 각각 BOD 5.2, COD 5.7, SS 23.4, TN 2.4, TP 2.2의 값으로 고속도로에 대한 최대/최소 강우량 비인 16.5에 비해서 SS 항목을 제외하고는 낮은 최대/최소 EMC 비로서 강우사상 별로 고속도로 지점에 대한 EMC 값의 최대/최소 비는 낮게 나타났다.

3.1.3. 국도지점의 유출부하량 및 EMC

국도의 경우 왕복 6차선 도로 전체를 대상으로 모니터링을 수행하였으며, 강우시 우수관거를 통하여 조사대상 지점으로 유입되는 노면은 폭은 31 m, 길이

Table 3. Runoff loads and EMC according to monitoring time for highway

| Date     | Event No. | Rainfall (mm) | Runoff (m <sup>3</sup> ) | Runoff rate | Dry days | Runoff loads(g) |       |         |       |      | EMC(mg/ℓ) |      |      |       |       |
|----------|-----------|---------------|--------------------------|-------------|----------|-----------------|-------|---------|-------|------|-----------|------|------|-------|-------|
|          |           |               |                          |             |          | BOD             | COD   | SS      | T-N   | T-P  | BOD       | COD  | SS   | T-N   | T-P   |
| 09/03/13 | HE1       | 9.1           | 13.3                     | 0.73        | 7        | 24.5            | 112.4 | 517.9   | 21.6  | 1.4  | 1.8       | 8.4  | 38.9 | 1.625 | 0.102 |
| 09/03/21 | HE2       | 22.9          | 33.9                     | 0.74        | 7        | 194.7           | 669.4 | 2,374.2 | 70.1  | 3.4  | 5.7       | 19.8 | 70.1 | 2.072 | 0.099 |
| 09/04/20 | HE3       | 56.2          | 92.6                     | 0.82        | 5        | 208.0           | 791.5 | 2,180.3 | 174.6 | 5.3  | 2.2       | 8.5  | 23.5 | 1.885 | 0.058 |
| 09/04/24 | HE4       | 6.2           | 6.8                      | 0.55        | 3        | 9.4             | 65.1  | 104.6   | 9.3   | 0.5  | 1.4       | 9.5  | 15.3 | 1.362 | 0.068 |
| 09/05/15 | HE5       | 14.9          | 11.0                     | 0.37        | 3        | 16.3            | 105.7 | 219.8   | 22.5  | 0.5  | 1.5       | 9.6  | 20.0 | 2.055 | 0.046 |
| 09/05/21 | HE6       | 102.5         | 169.1                    | 0.82        | 3        | 367.6           | 929.0 | 2,899.3 | 146.3 | 14.4 | 2.2       | 5.5  | 17.1 | 0.865 | 0.085 |
| 09/06/22 | HE7       | 19.9          | 32.4                     | 0.81        | 10       | 36.6            | 112.1 | 397.7   | 28.0  | 2.8  | 1.1       | 3.5  | 12.3 | 0.863 | 0.086 |
| 09/06/29 | HE8       | 20.7          | 36.7                     | 0.89        | 6        | 87.4            | 186.5 | 111.9   | 52.6  | 1.7  | 2.4       | 5.1  | 3.0  | 1.431 | 0.048 |
| Average  |           | 31.6          | 49.5                     | 0.72        | 5.5      | 118.1           | 371.5 | 1,100.7 | 58.3  | 3.3  | 2.3       | 3.7  | 25.0 | 1.350 | 0.070 |
| Max      |           | 102.5         | 169.1                    | 0.89        | 10       | 367.6           | 929.0 | 2899.3  | 174.6 | 14.4 | 5.7       | 19.8 | 70.1 | 2.072 | 0.102 |
| Min      |           | 6.2           | 6.8                      | 0.37        | 3        | 9.4             | 65.1  | 104.6   | 9.3   | 0.5  | 1.1       | 3.5  | 3.0  | 0.863 | 0.046 |

400 m로 면적은 총 12,400 m<sup>2</sup>이었다. 본 연구의 조사 대상 지점인 국도의 경우 약 5%의 일부 투수지역을 포함하는 최근에 준공된 구간으로 유지관리가 비교적 잘 되어 있었으며, 이와 같은 국도 지점에 대해 진행된 강우유출수 모니터링 결과를 Table 4에 수록하였다.

Table 4에 수록된 바와 같이 강우량은 3.5-119.5 mm 범위로 조사대상 3개의 교통지역 중 강우량 범위는 가장 넓게 조사되었으며, 조사대상지점의 집수면적은 12,400m<sup>2</sup>으로 조사대상 교통지역 3개의 도로 들 중 가장 넓은 집수면적을 보였으며, 강우시 유출된 유출량의 범위는 16.25-835.6 m<sup>3</sup>으로 넓은 강우량 분포와 마찬가지로 유출량 분포 또한 넓게 나타났다. 강우량의 변화에 따른 유출율의 경우 평균 40%를 보였으며, 최소 32%에서 최대 56%의 범위로 도심간선도로와 고속도로에 비해서는 낮은 유출율을 보였다. 이는 넓은 집수구역에 따른 초기 손실과 일부 집수구역 내에 포함된 투수지역에 의한 영향으로 판단되며, 조사대상 집수면적 12,400 m<sup>2</sup>에서 유출되는 BOD, COD 등 수질항목별 유출부하량의 경우 Table 4에 수록된 바와 같이 고속도로의 유출 특성과 유사하게 강우량의 변화에 민감하게 유출부하량이 반응하였다. 이는 고속도로와 같이 본 연구의 조사대상 지역인 창원지역에 위치한 국도의 경우 최근에 완공되었으며, 유지관리가 원활하게 이루어진 지역으로 인위적인 영향이 지배적인 선행무강우일수에 비해 자연적인 영향인 강우량의 변화에 민감하게 반응하는 것으로 조사되었다.

국도에 대한 유출부하량의 경우 Table 3에 수록된

바와 같이 강우량이 119.5 mm로 가장 많았던 강우사상 NE7에서 조사대상 모든 항목의 유출부하량이 가장 높게 나타났으며, 강우량이 가장 작았던 강우사상 NE6에서 COD 항목을 제외하고는 유출부하량이 가장 작았다. 국도 지역에 대한 평균 유출부하량을 항목 별로 살펴보면 BOD 539.5 g, COD 1,516.1 g, SS 3,709.6 g, TN 177.2 g, TP 13.9 g을 각각 보였으며, 수질항목 별 최대/최소 유출부하량 값의 경우 BOD 10.3, COD 6.5, SS 34.3, TN 9.1, TP 55.2의 값으로 최대/최소 강우 유출량 비 51.4의 값으로 TP 항목을 제외하고는 최대/최소 유출부하량의 값이 최대/최소 강우유출량의 값에 비해서는 낮게 조사되었다. 이는 강우량이 적을 경우 국도 집수구역 내에 산적한 오염 물질을 희석시킬 수 있는 유출량이 작아 높은 EMC 농도를 보인 반면 강우량이 많을 경우 많은 강우유출량에 따라 오염물질이 희석되어 비교적 낮은 EMC 농도를 나타내어 최대/최소 강우유출량에 비해 최대/최소 유출부하량 값이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

국도 지역에 대한 EMC 농도의 경우 SS와 TP 항목을 제외하고는 고속도로에 비해서는 높은 EMC 농도를 보였으며, 항목별 평균 EMC 값은 BOD 4.0, COD 15.2, SS 14.9, TN 1.430, TP 0.050 mg/ℓ을 각각 보였으며, 강우사상 별 최대 EMC 값에 대한 최소 EMC 값의 비는 각각 BOD 4.9, COD 10.1, SS 5.9, TN 5.7, TP 3.9의 값으로 국도에 대한 최대/최소 강우량 및 유출량 비인 34.1과 51.4에 비해서 모든 항목에서 대단히 낮은 값을 나타내었다. 이는 본 연구의 조사대상인

Table 4. Runoff loads and EMC according to monitoring time for national road

| Date     | Event No. | Rainfall (mm) | Runoff (m <sup>3</sup> ) | Runoff rate | Dry days | Runoff loads(g) |         |         |       |      | EMC(mg/ℓ) |      |      |       |       |
|----------|-----------|---------------|--------------------------|-------------|----------|-----------------|---------|---------|-------|------|-----------|------|------|-------|-------|
|          |           |               |                          |             |          | BOD             | COD     | SS      | T-N   | T-P  | BOD       | COD  | SS   | T-N   | T-P   |
| 09/03/13 | NE1       | 27.5          | 167.45                   | 0.49        | 7        | 515.2           | 1983.8  | 1291.1  | 189.2 | 6.2  | 3.1       | 11.8 | 7.7  | 1.130 | 0.037 |
| 09/04/25 | NE2       | 20.0          | 91.71                    | 0.37        | 3        | 247.9           | 541.3   | 1079.0  | 111.7 | 2.7  | 2.7       | 5.9  | 11.8 | 1.218 | 0.030 |
| 09/05/12 | NE3       | 5.0           | 19.95                    | 0.32        | 8        | 139.7           | 555.3   | 394.6   | 64.9  | 1.0  | 7.0       | 27.8 | 19.8 | 3.255 | 0.052 |
| 09/05/21 | NE4       | 104.0         | 409.52                   | 0.32        | 3        | 848.7           | 1820.8  | 9406.5  | 334.9 | 32.3 | 2.1       | 4.4  | 23.0 | 0.818 | 0.079 |
| 09/06/10 | NE5       | 34.0          | 153.16                   | 0.36        | 5        | 500.7           | 1481.3  | 598.8   | 191.5 | 18.0 | 3.3       | 9.7  | 3.9  | 1.250 | 0.118 |
| 09/06/21 | NE6       | 3.5           | 16.25                    | 0.38        | 10       | 134.7           | 688.9   | 374.3   | 51.9  | 0.9  | 8.3       | 42.4 | 23.0 | 3.193 | 0.055 |
| 09/06/29 | NE7       | 119.5         | 835.6                    | 0.56        | 6        | 1389.6          | 3541.3  | 12822.7 | 473.5 | 49.7 | 1.7       | 4.2  | 15.3 | 0.567 | 0.060 |
| Average  |           | 44.8          | 242.0                    | 0.40        | 6        | 539.5           | 1,516.1 | 3,709.6 | 177.2 | 13.9 | 4.0       | 15.2 | 14.9 | 1.430 | 0.050 |
| Max      |           | 119.5         | 835.6                    | 0.56        | 10       | 1389.6          | 3541.3  | 12822.7 | 473.5 | 49.7 | 8.3       | 42.4 | 23.0 | 3.255 | 0.118 |
| Min      |           | 3.5           | 16.25                    | 0.32        | 3        | 134.7           | 541.3   | 374.3   | 51.9  | 0.9  | 1.7       | 4.2  | 3.9  | 0.567 | 0.030 |

국도 집수구역의 경우 유지관리가 철저하게 진행된 지역으로 선행무강우일수 증가에 따라 비례적으로 오염물질이 축적되지 않았으며, 이에 따라 강우량이 많을수록 강우유출수의 EMC 값은 오히려 낮게 나타나 EMC 농도가 높은 저강우량과 강우가 많았던 고강우량의 비의 변화폭이 강우에 의한 물의 유출출량 변화에 비해 낮게 나타나는 결과를 나타내었다.

**3.2. 특정 강우사상을 활용한 도로 유형별 유출특성비교**  
도로의 유형별 특성을 파악하기 위하여 강우량이

유사한 강우사상을 대상으로 수질항목별, 유출시간대별 수질농도, EMC 값, 수질 항목별 유출부하량 및 유출율 등을 조사하여 Table 5-6에 수록하였으며, 강우에 따른 유출량변화 및 수질항목별 변화 특성을 Fig. 1-3에 도시하였다.

Table 5에 수록된 바와 같이 도로유형별 강우-유출 관련 기초자료의 경우 강우량은 도심간선도로 14.9 mm, 고속도로 14.9 mm, 국도 20.0 mm였으며, 강우강도의 경우 도심간선 1.76, 고속도로 3.47, 국도 2.43 mm/h의 값으로 고속도로의 시간당 강우량이 가장 높은 값

**Table 5.** The rainfall and runoff data according to roads use

| Road use | Area (m <sup>2</sup> ) | Dry days | Rainfall (mm) | Rainfall Intensity (mm/hr) | Rain start time | Rain end time  | Runoff start time | Runoff end time | Total rainfall (m <sup>3</sup> ) | Total Runoff (m <sup>3</sup> ) | Runoff rate |
|----------|------------------------|----------|---------------|----------------------------|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Trunk    | 1240                   | 4        | 14.9          | 1.76                       | 09/04/24 19:00  | 09/04/25 03:27 | 09/04/24 19:30    | 09/04/24 03:30  | 18.5                             | 16.2                           | 0.88        |
| Highway  | 2000                   | 3        | 14.9          | 3.47                       | 09/05/15 21:35  | 09/05/17 01:53 | 09/05/16 14:43    | 09/05/16 22:53  | 29.8                             | 11.0                           | 0.37        |
| National | 12400                  | 3        | 20.0          | 2.43                       | 09/04/24 19:07  | 09/04/25 04:20 | 09/04/24 20:30    | 09/04/25 04:30  | 248.0                            | 91.7                           | 0.37        |

**Table 6.** The concentrations of rainfall-runoff water in three kinds of roads use

(mg/ℓ)

| Conc.                           | BOD   |         |          | COD   |         |          | SS    |         |          | T-N    |         |          | T-P   |         |          |
|---------------------------------|-------|---------|----------|-------|---------|----------|-------|---------|----------|--------|---------|----------|-------|---------|----------|
|                                 | Trunk | Highway | National | Trunk | Highway | National | Trunk | Highway | National | Trunk  | Highway | National | Trunk | Highway | National |
| S1                              | 138.8 | 1.7     | 6.61     | 693.0 | 8.5     | 17.6     | 107.0 | 27.1    | 26.0     | 36.394 | 2.302   | 2.746    | 1.014 | 0.094   | 0.112    |
| S2                              | 130.6 | 1.8     | 5.04     | 712.0 | 9.2     | 13.9     | 86.0  | 22.3    | 15.6     | 41.539 | 2.137   | 2.434    | 1.108 | 0.085   | 0.060    |
| S3                              | 127.1 | 2.1     | 4.84     | 581.0 | 19.3    | 14.1     | 124.0 | 19.2    | 23.2     | 31.622 | 2.171   | 2.408    | 1.127 | 0.070   | 0.068    |
| S4                              | 110.0 | 2.3     | 5.97     | 579.0 | 16.1    | 18.2     | 74.0  | 24.2    | 60.0     | 37.046 | 2.222   | 2.138    | 1.184 | 0.060   | 0.202    |
| S5                              | 75.4  | 2.1     | 4.02     | 547.0 | 14      | 12.2     | 80.0  | 13.6    | 28.0     | 33.859 | 2.002   | 1.544    | 1.139 | 0.071   | 0.073    |
| S6                              | 64.5  | 2.0     | 3.52     | 629.0 | 13.5    | 7.0      | 112.0 | 38.3    | 38.0     | 22.109 | 2.165   | 1.367    | 1.028 | 0.101   | 0.028    |
| S7                              | 54.7  | 1.7     | 3.04     | 480.0 | 12.1    | 6.8      | 54.0  | 16.2    | 9.6      | 18.274 | 2.021   | 1.405    | 0.941 | 0.056   | 0.028    |
| S8                              | 40.1  | 1.5     | 3.12     | 254.0 | 10.4    | 6.1      | 40.0  | 12.4    | 8.8      | 1.968  | 2.275   | 1.123    | 0.724 | 0.052   | 0.029    |
| S9                              | 25.0  | 1.5     | 2.84     | 154.0 | 9.2     | 6.1      | 51.0  | 17.5    | 10.4     | 2.102  | 2.053   | 1.001    | 0.509 | 0.053   | 0.034    |
| S10                             | 17.5  | 1.3     | 2.61     | 57.6  | 8.4     | 5.3      | 34.0  | 11.1    | 6.8      | 1.739  | 2.248   | 1.024    | 0.288 | 0.029   | 0.029    |
| S11                             | 14.5  | 1.3     | 2.31     | 44.4  | 7.9     | 4.2      | 24.0  | 20.2    | 6.8      | 0.828  | 2.017   | 0.785    | 0.134 | 0.036   | 0.025    |
| S12                             | 8.0   |         | 2.0      | 35.2  |         | 3.8      | 14.0  |         | 5.6      | 0.797  |         | 1.188    | 0.185 |         | 0.007    |
| S13                             | 5.9   |         | 1.8      | 30.8  |         | 4.3      | 14.0  |         | 6.4      | 0.607  |         | 1.682    | 0.100 |         | 0.018    |
| S14                             |       |         | 1.6      |       |         | 3.5      |       |         | 6.0      |        |         | 1.787    |       |         | 0.020    |
| Ave.                            | 62.5  | 1.8     | 3.5      | 369.0 | 11.7    | 8.8      | 62.6  | 20.2    | 17.9     | 17.606 | 2.150   | 1.617    | 0.729 | 0.060   | 0.052    |
| Max.                            | 138.8 | 2.3     | 6.6      | 712.0 | 19.3    | 18.2     | 124.0 | 38.3    | 60.0     | 41.539 | 2.302   | 2.746    | 1.184 | 0.101   | 0.202    |
| Min.                            | 5.9   | 1.3     | 1.6      | 30.8  | 7.9     | 3.5      | 14.0  | 11.1    | 5.6      | 0.607  | 2.002   | 0.785    | 0.100 | 0.029   | 0.007    |
| EMC                             | 27.3  | 1.5     | 2.7      | 162.7 | 9.6     | 5.9      | 35.7  | 20.0    | 11.8     | 6.021  | 2.055   | 1.218    | 0.415 | 0.046   | 0.030    |
| Unit roads (mg/m <sup>3</sup> ) | 356.7 | 8.150   | 19.99    | 2126  | 52.85   | 43.65    | 466.7 | 109.9   | 87.02    | 78.63  | 11.25   | 9.008    | 5.403 | 0.250   | 0.218    |

을 보였으며, 유출율의 경우 낮은 강우강도에도 불구하고 도심간선도로의 유출율이 가장 높은 88%로 조사되었다.

Table 6에 수록된 시간대별 비점오염물질의 농도의 경우 도로유형별, 수질항목별로 다소 차이를 보였지만 불투수지역의 전형적인 유출 특성인 유출 초기 높은 강우유출수에서 강우가 지속됨에 따라 희석 효과 등에 기인 강우유출수의 수질 농도가 낮아지는 경향을 보였으며, 수질항목별로 초기세척 정도는 다르게 나타났지만 조사대상 모든 도로에서 초기세척효과 즉 초기씻김 현상을 보여주었다.

강우초기 강우유출수 수질의 경우 SS 항목을 제외하고는 고속도로의 수질항목별 유출수의 농도가 가장 낮게 조사되었지만, EMC의 경우 BOD 항목을 제외하고는 국도의 EMC 농도가 고속도로에 비해 오히려 낮은 결과를 나타내었다. 이는 고속도로의 경우 강우강도가 높아 유출초기에 희석효과에 기인 비교적 낮

은 유출 농도를 보였으나 유출이 지속됨에 따라 유출수의 농도가 낮아지지 않고 유사한 농도를 보임에 따라 EMC 값이 국도에 비해 다소 높게 나타나는 결과를 보였다.

도로유형 별 단위면적당 유출된 수질 항목별 유출부하량의 경우 조사 대상 모든 수질 항목에서 도심간선도로의 단위 면적당 유출부하량이 가장 높게 나타났으며, BOD 항목을 제외하고는 국도지역의 단위면적 당 유출부하량이 가장 낮은 값을 보였다. 항목별로 살펴보면 BOD의 경우 도심간선 356.7 mg/m<sup>2</sup>, 고속도로 8.150 mg/m<sup>2</sup>, 국도 19.99 mg/m<sup>2</sup>의 값으로 도심간선도로의 BOD 유출부하량이 고속도로에 대해 43.8배 높은 값을 나타내었다. 이는 도심간선도로의 경우 많은 통행량, 상업활동, 공업활동 등 다양한 인위적인 영향에 기인 기타 도로 이용에 비해 높은 비점오염물질 유출부하량을 보이는 것으로 판단할 수 있다.

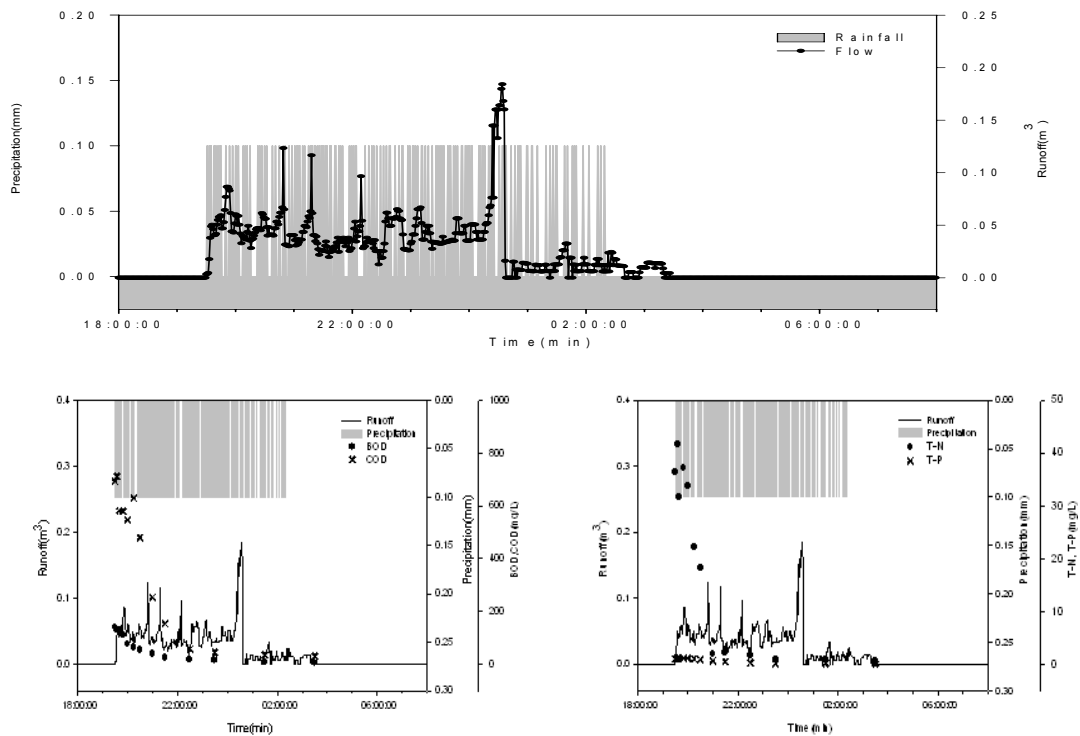


Fig. 1. The rainfall-runoff, runoff- water quality in city trunk road(09/04/24).



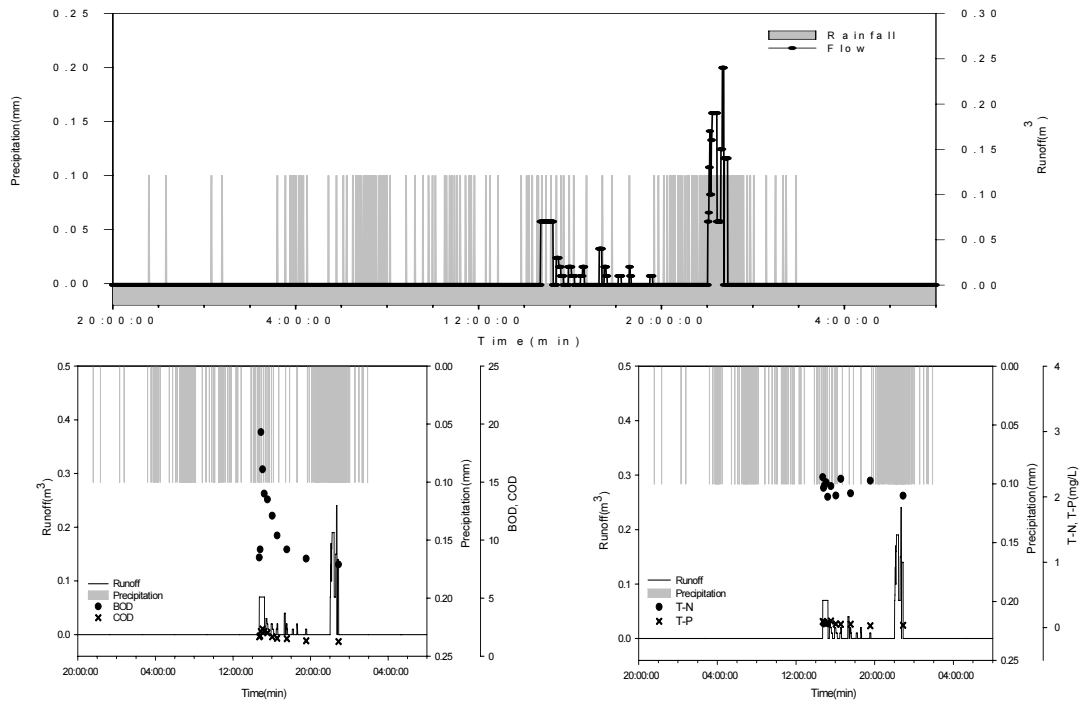


Fig. 2. The rainfall-runoff, runoff-water quality in highway(09/05/15).

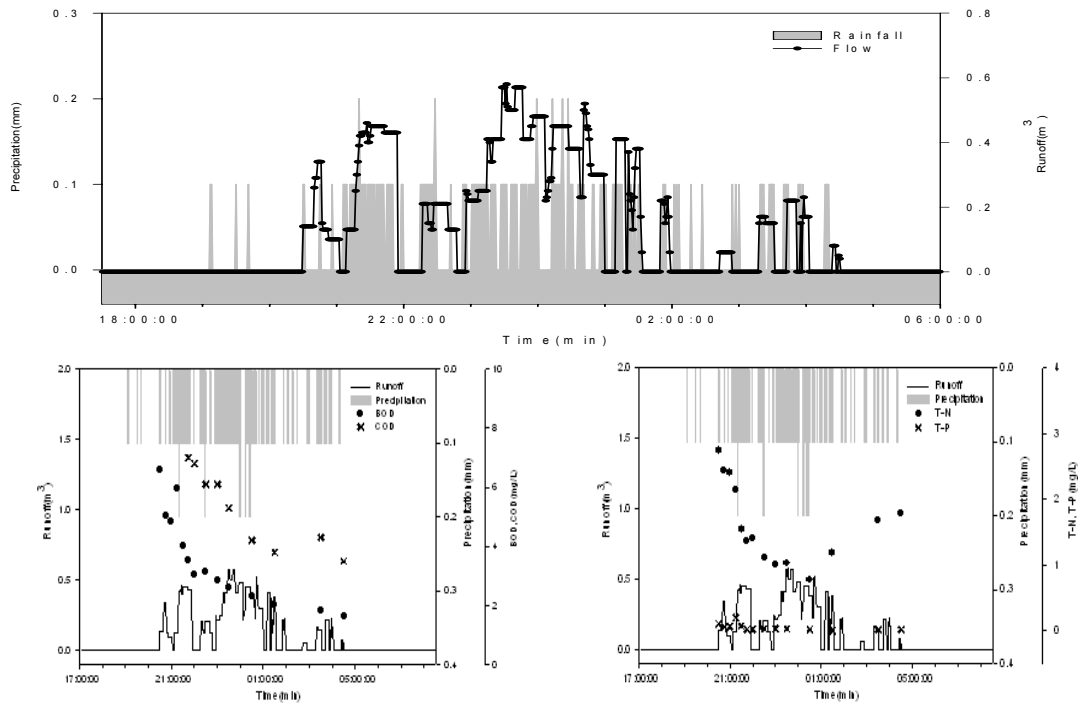


Fig. 3. The rainfall-runoff, runoff-water quality in national road(09/04/24).

## 4. 결론

도로 유형별로 강우유출수에 대한 비점오염물질 조사결과 수질항목별로 동일한 유출 특성을 보이지는 않았지만 조사대상 수질 전 항목에서 인위적인 영향을 가장 많이 받는 도심 간선도로의 비점오염물질의 유량가중평균 농도가 높게 나타났다. 강우사상별 최대와 최소 EMC 값 역시 SS 항목을 제외하고는 도심 간선도로에서 BOD 41.2배, COD 149.2배 등으로 강우사상별로 대단히 넓은 EMC 범위를 보였다.

또한 강우초기 강우유출수 수질의 경우 SS 항목을 제외하고는 고속도로의 수질항목별 유출수의 농도가 가장 낮게 조사되었지만, EMC의 경우 BOD 항목을 제외하고는 국도의 EMC 농도가 고속도로에 비해 오히려 낮은 결과를 나타내었다. 이는 고속도로의 경우 강우강도가 높아 유출초기에 희석효과에 기인 비교적 낮은 유출 농도를 보였으나 유출이 지속됨에 따라 유출수의 농도가 낮아지지 않고 유사한 농도를 보임에 따라 EMC 값이 국도에 비해 다소 높게 나타나는 결과를 보였다.

도로유형 별 단위면적당 유출된 수질 항목별 유출 부하량의 경우 조사 대상 모든 수질 항목에서 도심 간선도로의 단위 면적당 유출부하량이 가장 높게 나타났으며, BOD 항목을 제외하고는 국도지역의 단위면적 당 유출부하량이 가장 낮은 값을 보였다. 항목별로 살펴보면 BOD의 경우 도심간선 356.7 mg/m<sup>2</sup>, 고속도로 8.150 mg/m<sup>2</sup>, 국도 19.99 mg/m<sup>2</sup>의 값으로 도심 간선도로의 BOD 유출부하량이 고속도로에 대해 43.8배 높은 값을 나타내었다. 이는 도심 간선도로의 경우 많은 통행량, 상업 활동, 공업 활동 등 다양한 인위적인 영향에 기인 기타 도로 이용에 비해 높은 비점오염물질 유출부하량을 보이는 것으로 판단할 수 있다.

## 참고 문헌

- 김석구, 김영임, 윤상린, 이용재, 김이호, 김종오, 2004, 강우강도에 따른 노면유출수의 유출특성, 한국물환경학회지, 20(5), 494-499.
- 김이형, 이은주, 고석호, 강희만, 이주광, 2006, 아스팔트 포장 고속도로의 강우지속시간별 오염물질 유출 경향, 8(1), 99-106.
- 김이형, 이선하, 2005, 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성비교 및 동적 EMC, 한국물환경학회지, 21(3), 248-255.
- 김이형, 이선하, 2005, 주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMC, 한국물환경학회지, 21(4), 385-392.
- 김이형, 강주현, 2004, 강우시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준, 한국물환경학회지, 20(6), 641-646.
- 윤영삼, 권현각, 이운정, 유재정, 이재관, 2010, 포도밭에 대한 비점오염물질 유출량 추정 모델식개발, 한국환경과학회지, 19(7), 907-915.
- 이준호, 조용진, 방기웅, 2005, 강우시 도로유출수 수질 특성 및 입경분포, 대한환경공학회지, 27(7), 777-784.
- Barrett, M. E., Irish, Jr., L. B., Malina, Jr., J. F., Charbeneau, R. J., 1998, Characterization of highway runoff in Austin, Texas area, J. Environ. Eng., ASCE, 124(2), 131-137.
- Darren, D., Rodger, T., Philip, W., 2000, Pollutant concentrations in road runoff (Southeast queensland case study, J. of Environ. Eng., 131(2), 232-241.
- Deletic, A. B., Mahsimivic, C. T., 1998, Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas, J. of Envir. Eng., 124(9), 869-879.
- Lee, J. H., Bang, K. W., Ketchum, Jr., L. H., Choi, J. S., Yu, M. J., 2002, Firsh flush analysis of urban storm runoff, Sci. Total Environ., 293, 163-175.