

강우시 교량도로 유출수 수질 및 입경분포

조용진 · 이준호[†] · 방기웅* · 최창수*

충주대학교 환경공학부 · *한밭대학교 토목 · 환경 · 도시공학부

(2007년 11월 13일 접수, 2007년 12월 4일 채택)

Water Quality and Particle Size Distributions of Bridge Road Runoff in Storm Event

Yong-Jin Cho · Jun-Ho Lee[†] · Ki-Woong Bang* · Chang-Su Choi*

Department of Environmental Engineering, Chungju National University

*Division of Civil, Environmental and Urban Engineering, Hanbat National University

ABSTRACT : Water quality constituents, and particle size distributions were characterized in urban bridge road runoff. Bridge road runoff contains significant loads of micro-particles, heavy metals and organic constituents. Bridge road runoff was monitored on four sites of four and six lanes bridge road areas along with traffic volume. A total seven storm events were monitored to characterize the bridge road runoff. The quantity of road runoff and quality constituents, including chemical oxygen demand(COD), suspended solids(SS), total nitrogen(T-N), ortho-phosphorus(PO₄-P), total phosphorus(T-P), and particle size distribution were analyzed. The results indicate that the concentrations of SS, COD, T-N and T-P ranges were 35~2,390 mg/L, 40~1,274 mg/L, 0.03~21.25 mg/L, and 0.05~4.58 mg/L, respectively. And the results showed that the mean range of particle size and D₉₀ for bridge road runoff were 4.75~14.05 μm and 17.33~58.15 μm, respectively.

Key Words : Bridge Road Runoff, Storm Event, Non Point Source, Particle Size Distribution

요약 : 도시지역 하천으로 직접 배출되는 교량도로 유출수의 수질과 입자의 유출특성을 파악하고자 강우 유출수 시료를 분석하였다. 도로유출수에는 미세입자물질, 중금속, 유기물질 성분을 다량 함유하고 있다. 교통량이 많은 4차선과 6차선 도로 4개 지점을 대상으로 총 7회의 강우 시료를 채수하여 분석하였다. 분석항목은 유량, COD, SS, T-N, T-P, PO₄-P 그리고 입경분포이다. 도로유출수 수질농도 범위는 SS 35~2,390 mg/L, COD 40~1,274 mg/L, T-N 0.03~21.25 mg/L, T-P 0.05~4.58 mg/L로 조사되었다. 교량도로유출수의 입경을 분석한 결과 D_{Mean}값의 범위는 4.75~14.05 μm이고 D₉₀입경의 범위는 17.33~58.15 μm로 분석되었다.

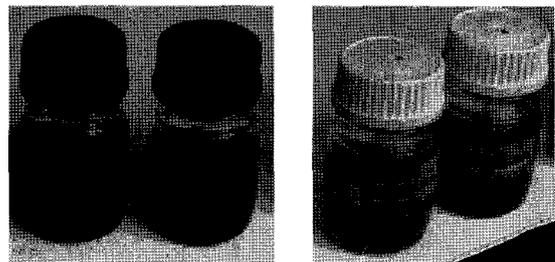
주제어 : 교량도로 유출수, 강우사상, 비점오염원, 입경분포

1. 서론

최근 비점오염원에 대한 중요성과 문제점을 인식하고 다양한 저감방안을 모색하는 연구들이 다양하게 진행되고 있다. 비점오염원 중에서 특히 도로유출수는 유기물질, 부유물질, 자동차 배기가스 침착물질, 타이어 마모물질, 기름, 윤활유, 방향족 탄화수소화합물질, 중금속 등 다종 다량의 유해물질을 함유하고 있다.^{1,2)} 대부분의 도로는 아스팔트, 콘크리트와 같은 불투수성 재질로 되어 있으므로 소규모 강우에도 초기유출(first flush)이 강하게 발생하고 유출되는 오염물질 농도 또한 높다.³⁾ 강우 시 도로유출수는 하천을 심각하게 오염시키는 비점오염원으로 알려져 있는데, 일반적으로 교통량이 많은 도시지역의 도로에서 오염물질 농도가 높은 것으로 알려져 있다.^{4,5)} 도로 중에서도 하천이나 호수를 관통하는 교량도로는 배수받이로 통해 직접 배출되므로 부유물질, 중금속 및 유해물질 등이 인근수계에 미치는 영향 및 잠재력

은 매우 크다.⁶⁾ 도로유출수는 Fig. 1에서와 같이 강우초기에 극단적인 고농도의 오염물질이 유출되는 초기유출 현상이 강하게 발생한다.

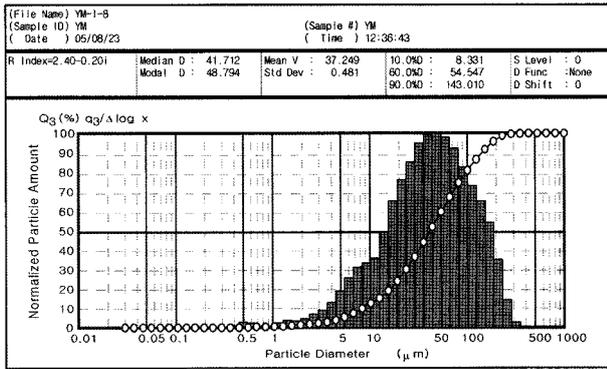
봄철 저유량 하천에서 강우 시 하상도로 유출수가 하천생태계에 치명적인 영향을 미치고 있는 사례는 많은 연구를 통하여 입증되었다.^{7,8)} 교량도로 유출수는 차량에 의한 기름성분뿐만 아니라 납, 아연, 구리, 크롬, 철, 니켈, 카드뮴과 같은 유해중금속의 농도가 우려할 수준으로 높게 함유되어 있다.^{9,10)} 교량도로 배수받이 배출 지점에 식물이 고사하거나



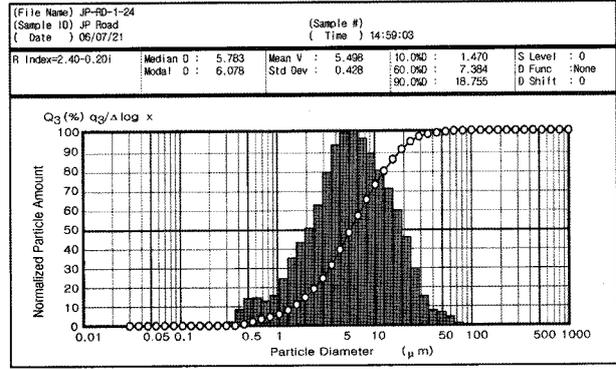
(a) During the first flush (b) After the first flush
Fig. 1. Bridge road samples during storm runoff.

[†] Corresponding author
E-mail: jlee@chnu.ac.kr
Tel: 043-841-5723

Fax: 043-841-5350



(a) Combined sewer overflow



(b) Road runoff

Fig. 2. Particle size distributions of combined sewer overflow and road runoff.

주변 토양이 검은색으로 변색되어 있는 것은 이와 같은 도로 비점오염원에 기인한 경우가 대부분이다.

현재 국내에서 교량도로에서 유출되는 비점오염 특성 및 저감방안에 대한 기초연구자료는 아직 미진한 실정으로 적절한 대안 수립을 위해서는 이에 대한 지속적인 연구가 요구된다. 최근 환경부에서는 산업단지 조성 시 비점오염을 저감시킬 수 있는 시설을 의무화하고 있으며 도로에서의 비점오염부하 저감방안에 관한 법적규제 방안도 구체화하고 있다. 이와 같이 국내에서도 최근 들어 비점오염원에 대한 중요성을 인식하고 다양한 저감방안을 모색하고 있으나, 교량도로에서의 비점오염 유출특성, 입경별 오염물질 함량 등에 대한 기초 자료는 부족한 실정이다. Fig. 2에서와 같이 합류식하수도월류수의 경우 입경범위가 주로 100~150 μm이지만 도로유출수 입경은 50 μm 이하의 입경범위를 가진 미세입자들로서 중금속, 기름성분들을 쉽게 흡착/부착하여 유사거동을 하는 것으로 알려져 있다.^{3,11)} 또한 도로유출수에 의한 오염부하를 저감시키기 위한 시설을 설계 시 강우 유출형태와 수질특성을 파악하는 것이 매우 중요하다. 본 연구의 목적은 강우 시 교량도로 유출수를 채수하여 수질성분의 유출특성을 파악하고 입경분석을 통해 미세입자의 거동 특성을 분석함에 있으며, 이러한 유출특성이 처리기술 개발을 위한 기초 자료로 활용함에 기여하고자 하였다.

2. 조사방법

2.1. 조사지점

청주시 무심천의 교량 4개 지점을 조사지점으로 선정하였다. 수영교(SY-BR)지점은 청주시 수곡동과 영운동을 연결하는 교량으로 4차선 아스팔트 포장으로 강우유출수는 교량도로 측구 배수관(16 cm)을 통해 무심천으로 배출된다. 배수면적은 약 400 m²이다.

용평교(YP-BR)지점은 분평동과 용암동 사이의 무심천을 연결하는 4차선 용평교 도로로서 집수면적은 440 m²이다. YP-BR지점은 4개의 우수측구에서 발생한 도로유출수는 직경 16 cm 원형강관을 통해 교량하부로 배출되며 시료채수를 위해 원형주름 배관을 연장시켰다. 이 조사지점 인근에는 대

Table 1. Characteristics of bridge road sampling sites

Site	Drainage area(m ²)	Road surface material	Average daily traffic	Number of lanes
SY-BR	400	Asphalt	12,000	4
YP-BR	440	Asphalt	14,000	4
BS-BR	480	Asphalt	30,000	6
JS-BR	600	Asphalt	30,000	6

규모 공동주택단지로 구성되어 있으며, 일일 평균 교통량은 약 14,000대로 보통 정도의 교통량을 가진 교량이다. 방서교(BS-BR)지점은 용암지구와 분평지구를 연결하는 6차선 교량으로서 일일 교통량은 약 30,000대이다. 강우 시 도로면 유출수는 직경이 15 cm인 원형강관을 통해 무심천으로 직접 투하되고 있었다. 시료채수를 위해 원형강관에 연장 관을 설치하여 유량 조사 및 시료를 채수하였다. 장성교(JS-BR)지점은 청주시 2차 우회도로 교량으로서 아스팔트 포장의 6차선이며 일일 교통량은 약 30,000여대이다. 조사지점별 교통량, 차선, 배수면적 등을 Table 1에 요약하였다. Fig. 3은 조사지점별 위치 및 조사지점 주변 환경을 나타낸 것이다.

2.2. 조사일시 및 분석방법

강우 시 SY-BR, BS-BR, JS-BR 지점에서의 조사는 1회, YP-BR지점은 4회 실시하였다. Table 2에 조사지점의 강우량, 강우지속시간, 침투 유출량, 선행건기일수 등의 수문특성과 시료수를 나타내었다. 교량도로와 같이 배수면적이 작고 불투수층포장인 도로에서는 강우가 시작되면 유출이 즉시 발생하기 때문에 강우 개시 이전에 현장에서 대기하여 시료를 채수하였다. 시료채수 시간은 초기유출 동안에는 1~2분 간격, 초기유출이 발생한 이후에는 3분~5분 간격으로 하였다. 분석항목은 COD, SS, VSS, T-N, PO₄-P, T-P, 그리고 입경분포 등이다. 채수된 시료는 즉시 아이스박스 보관하여 실험실로 이송하여 분석하였다. 각 항목별 분석방법으로 COD는 중크롬산칼륨 산화에 의한 전처리 및 적정법으로 분석하였고, SS와 VSS는 Whatman GF/C여지에 여과하여 건조(회화) 전·후의 무게차이에 의하여 정량하였다. T-N은 고압멸균기를 이용하여 전처리후 Brucine법으로 분석하였다. PO₄-P는

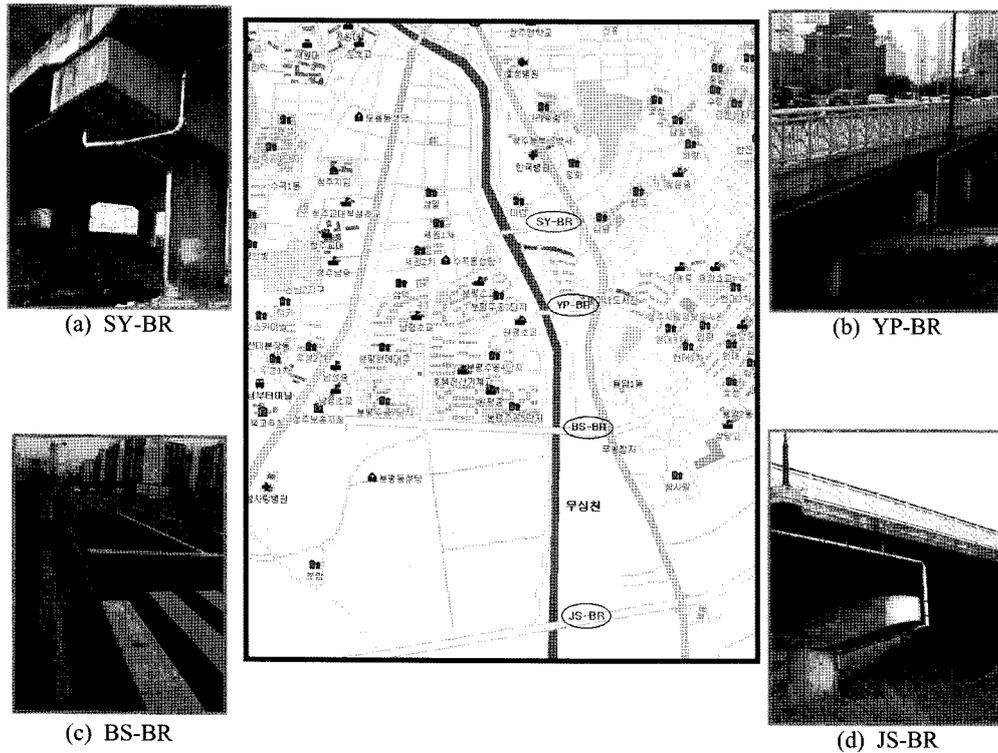


Fig. 3. Bridge road runoff sampling sites.

Table 2. Rainfall and runoff statistics of the rainfall events surveyed

Site	Date	Total rainfall(mm)	Duration(hrs)	Peak runoff(L/min)	Days since last storm	No. of samples taken
SY-BR	2006.7.26	45	5.0	35.8	5	24
	2006.7.26	45	5.0	39.0	4	20
YP-BR	2006.4.1	13.5	6.5	14.9	8	24
	2005.8.14	14	3.0	44.0	3	25
	2004.8.17	40	6.5	9.4	3	18
BS-BR	2007.6.28	15	1.0	86.7	6	14
JS-BR	2007.6.13	5	2.5	6.5	2	16

Ascorbic acid법에 의해 발색 후 흡광광도계(HACH DR4000)를 사용하여 정량하였다. T-P는 여과하지 않은 시료를 황산과 과황산칼륨을 첨가한 후, 가열판에서 백연이 발생할 때까지 분해시켜 발색하여 흡광광도계로 분석하였다. 입경분포는 Shimadzu사의 SALD-2101입경분석기¹⁶⁾(0.3~1000 μm 입경 범위)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 교량도로 유출수의 수질특성 및 입경범위

조사지점별로 측정된 유출수의 강우지속시간에 따른 유출량과 수질항목 중 대표적인 특성을 갖는 항목인 SS, COD 및 평균입경(D_{Mean}), 10%입경(D₁₀), 60%입경(D₆₀), 90%입경(D₉₀)에 대한 농도변화를 Fig. 4와 5에 나타내었다.

2006년 7월 26일 SY-BR지점의 SS, COD 농도범위는 각각 165~508 mg/L(평균 299 mg/L), 400~600 mg/L(평균

513 mg/L)를 내었다. 평균입경 범위는 3.34~6.38 μm(평균 4.52 μm)로 매우 미세한 것으로 분석되었다. YP-BR지점의 경우 최대 농도는 2006년 4월 1일에 측정된 침투농도로 SS 2,390 mg/L, COD 1,274 mg/L의 높은 농도를 나타내고 있는데 이는 봄철의 선행건기기간에 황사 및 꽃가루의 침강에 의한 영향으로 판단된다. 4회 조사된 수질농도의 범위는 SS 33~2,930 mg/L(평균 248 mg/L), COD 40~1,274 mg/L(평균 234 mg/L)로 분석되었다. 입경분포의 경우 D_{Mean}은 3.4~34.6 μm(평균 8.9 μm), D₉₀은 8.02~135.4 μm(평균 28 μm)로 분석되었다.

BS-BR지점의 경우 2007년 6월 28일 시료의 수질농도는 SS 35~1,591 mg/L(평균 301 mg/L), COD 40~280 mg/L(평균 127 mg/L)로 분석되었다. D_{Mean}은 19.5 μm이며 D₉₀은 93.2 μm이었다. JS-BR지점의 경우 2006년 6월 13일 시료의 수질 농도범위는 SS 102~358 mg/L(평균 216 mg/L), COD 127~504 mg/L(평균 430 mg/L)로 분석되었다. D_{Mean}은 14.1 μm이며 D₉₀은 58.2 μm으로 분석되었다.

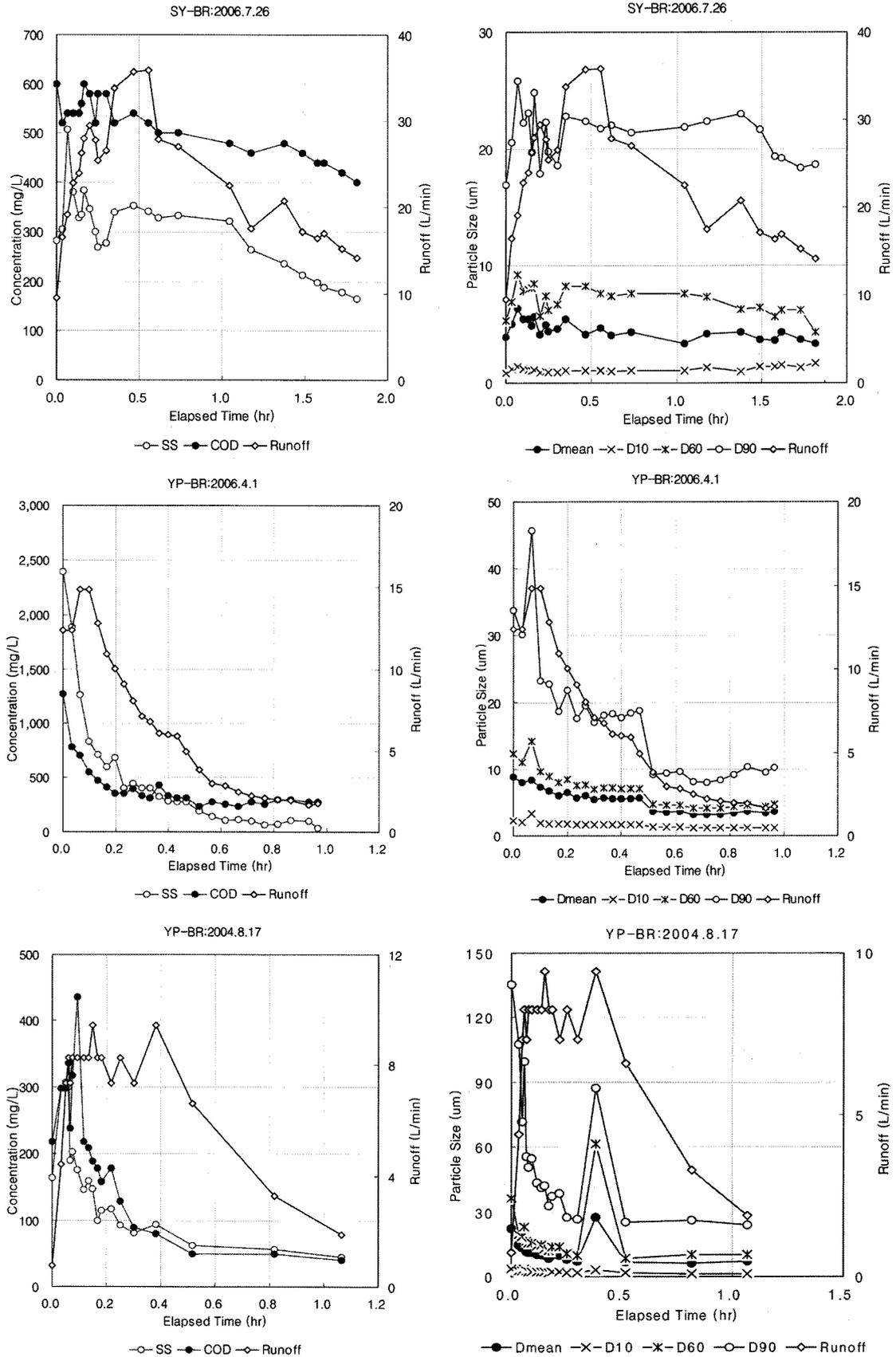


Fig. 4. Hydrograph and pollutograph of the bridge road runoff at sampling site of SY-BR and YP-BR.

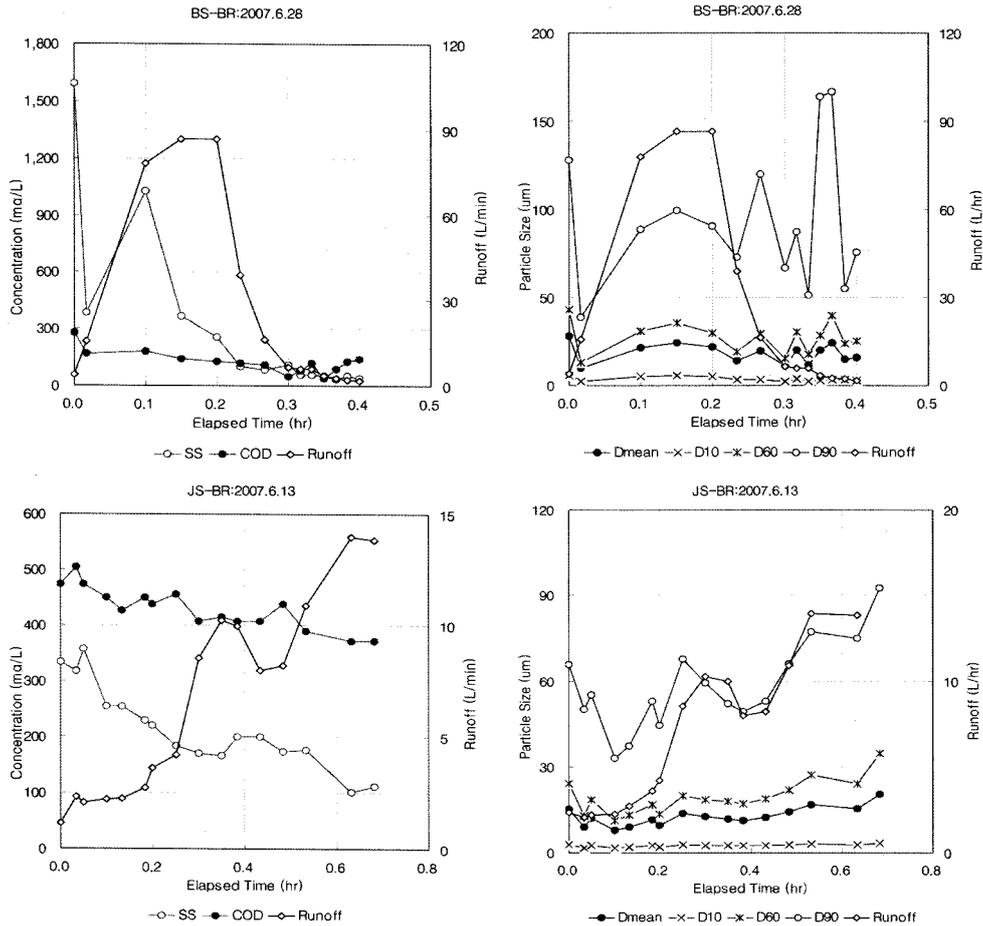


Fig. 5. Hydrograph and pollutograph of the bridge road runoff at sampling site of BS-BR and JS-BR.

Table 3. Summary of bridge road runoff and water quality at sampling sites

Site	Date	Range	Runoff (L/min)	SS (mg/L)	VSS (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	D _{Median} (µm)	D _{Mean} (µm)	D ₁₀ (µm)	D ₆₀ (µm)	D ₉₀ (µm)	
SY-BR	2006.7.26	Min	9.5	165		400	0.14	0.31		3.16	3.34	0.87	4.33	16.89	
		Max	35.8	508		600	4.57	1.00		6.84	6.38	1.69	9.22	25.80	
		Mean	23.1	299		513	1.29	0.56		4.75	4.52	1.15	7.07	21.09	
	2006.7.26	Min	3.5	83	31	300		2.55	0.01						
		Max	39.0	1028	192	550		3.51	1.84						
		Mean	8.7	211	52	337		2.96	0.34						
YP-BR	2006.4.1	Min	1.7	33		235	7.21	2.21		3.40	3.17	1.13	4.11	8.02	
		Max	14.9	2390		1274	10.09	4.58		10.23	8.82	3.28	14.23	45.69	
		Mean	6.6	488		400	8.55	3.04		5.49	5.23	1.59	6.97	17.33	
	2005.8.14	Min	0.3	49	28	79	1.44	0.34	0.03						
		Max	44.0	366	142	416	7.95	1.87	0.12						
		Mean	7.5	141	61	209	3.66	0.74	0.06						
2004.8.17	Min	0.8	45	17	40	3.36	0.37	0.01	5.23	6.23	1.21	8.37	24.25		
	Max	9.4	307	82	436	10.19	1.01	0.28	34.64	27.69	3.60	61.37	135.37		
	Mean	6.9	150	40	195	6.79	0.58	0.11	12.23	11.75	2.30	17.78	54.19		
BS-BR	2007.6.28	Min	1.7	35	13	40	3.77	0.05	0.01	10.13	9.80	2.29	13.14	38.78	
		Max	86.7	1591	287	280	21.25	2.47	0.16	29.98	27.96	5.78	43.09	166.86	
		Mean	25.3	301	67	127	8.96	0.70	0.04	19.51	18.39	3.64	27.23	93.24	
JS-BR	2007.6.13	Min	1.1	102		372	0.03	0.22		8.05	7.80	1.75	11.18	33.13	
		Max	14.0	358		504	3.65	1.14		23.96	20.33	3.45	34.64	92.57	
		Mean	6.5	216		430	1.33	0.58		14.05	12.66	2.54	19.34	58.15	

Table 4. Comparison of road and bridge road runoff concentration

Constituent	Wu ⁽¹²⁾ (1998)	Barrett ⁽¹⁾ (1998)	Berbee ⁽¹³⁾ (1999)	Sansalone ⁽⁵⁾ (1998)	Choi ⁽¹⁴⁾ (2004)	Park ⁽¹⁵⁾ (2000)	This study
SS(mg/L)	30-2,678	19-129	153-354	131	62-968	15-5,960	40-2,390
COD(mg/L)	22-603	37-130	143-149	230	85-1650	26-1,645	40-1,274
TKN(mg/L)	1.0-19.4	-	2-3	-	-	1.9-25.0	0.03-21.25
T-P(mg/L)	0.3-9.1	0.1-0.3	-	-	-	0.2-13.0	0.05-4.58

조사지점별 수질농도와 입경분포의 범위를 Table 3에 요약하였다. 일반적으로 배수면적이 작고 불투수층 면적비율이 높은 지점에서는 소규모 강우에도 오염물질의 초기유출이 강하게 발생하며, 대체로 침투유출량 발생시점 이전에 침투농도가 발생한다. 전반적으로 조사지역의 유출특성을 보면 침투유출량 발생시점 이전에 SS 침투농도가 발생하는 전형적인 초기유출현상이 뚜렷이 나타나고 있으며 침투유출량이 발생된 이후에는 강우지속시간에 따라 농도가 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

전반적으로 조사지점에서 교량도로 유출수의 수질농도범위는 SS 35~2,390 mg/L, COD 40~1,274 mg/L, T-N 0.03~21.25 mg/L, T-P 0.05~4.58 mg/L로 강우초기의 농도가 매우 높은 특성을 나타내었다. 국내의 연구자들에 의해 제시된 도로유출수에 대한 수질농도범위와 비교하여 정리하면 Table 4와 같다. 연구대상지역은 모두 불투수성 아스팔트 포장도로이며 고속도로, 교량, 일반도로 등으로 구성되었다. 본 조사에 의하면 도로에 축적되어있는 유출 가능한 오염물질은 대기로부터의 강하분진과 자동차 통행과 관련된 물질로 제한되어 있어 다른 지역에 비해 초기유출이 용이한 입자의 크기가 작아 도로유출수도 대체로 강우초기에 높고 강우지속시간에 따라 급격히 감소하는 경향을 보였다.

3.2. 강우지속시간에 따른 교량도로 유출수의 입경분포특성

Fig. 6은 JS-BR지점에서 2007년 6월 13일 채수한 시료를 강우지속시간에 따른 입경의 변화 측정하여 입경분석기 자료처리프로그램¹⁶⁾을 이용하여 Rosin-Rammler분포로 전환한 것으로 시료채수시점 2에서는 20 μm입경에서 침투입경을 나타내고 있다. 시간경과에 따라 입경이 다소 감소하는 경향을 나타내지만 급격히 입경이 증가하여 16번 시료에서는 입경이 최대인 경향을 나타내고 있다.

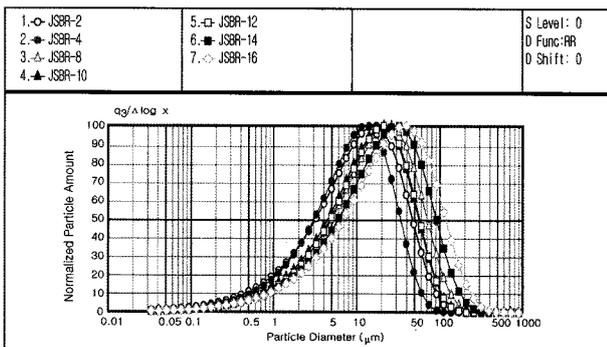
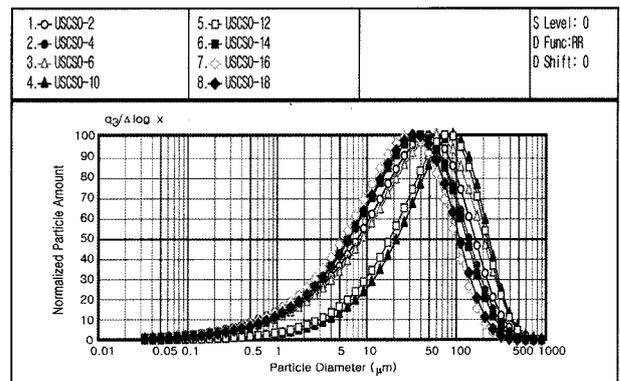
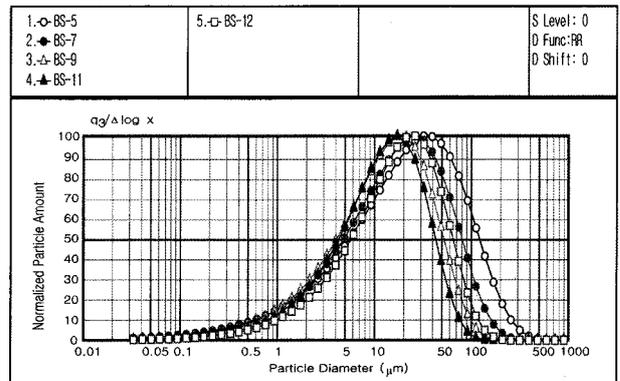


Fig. 6. Variation of particle size distribution at site JS-BR.

이와 같은 입경크기의 변화 특성은 강우유출량 증가에 따라 유역 내 도로면에서 유실(washoff)되는 오염물질의 유출 경향을 나타낸 것으로 판단된다. 특히 검은 색의 월류수가 발생한 시점에서의 입경은 크고, 갈색으로 변하면서 주로 미세한 입자성분이 유출되는 경향을 나타내기도 하였다. Fig 7(a)는 본 논문의 연구범위에 해당되는 조사지점은 아니지만 다른 유형의 강우유출수의 입경분포를 비교하기 위해 BS-BR 지점에 인접한 합류식하수도월류수 배출지점(US-CSO)에서 시간 경과별로 채수한 시료의 입경분포를 도시한 것이며, Fig. 7(b)는 BS-BR 지점에서 채수한 시료의 입경분포를 나타낸 것이다. 그림에서 도시한 것과 같이 교량도로 유출수는 10~20 μm 입경을 가진 입자가 대부분이나 합류식하수도월류수의 경우 100 μm 전후의 입경을 가진 비교적 큰 입자가 상당량 존재하는 것을 보여주고 있다. 이와 같이 강우지속시간과 유역특성에 따른 입경의 변화는 향후 비점오염물질 저감시설을 설치 시에 고려해야할 사항으로 판단된다.



(a) Combined sewer overflow at site US-CSO



(b) Bridge road runoff at site BS-BR

Fig. 7. Difference of particle size distributions between combined sewer overflow and bridge road runoff.

4. 결론

도시비점오염원 중에서 하천으로 직접 배출되는 교량도로 유출수의 수질과 입자의 유출특성을 파악하고자 청주시 무심천을 통과하는 4개 교량을 대상으로 강우 시료를 채수하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다. 본 연구에서 조사된 4개 지점에서의 교량도로 유출수 수질농도범위는 SS 35~2,390 mg/L, COD 40~1,274 mg/L, T-N 0.03~21.25 mg/L, T-P 0.05~4.58 mg/L로 강우초기의 농도가 매우 높은 특성을 나타내었다. 침투농도 발생시점은 침투유출 발생시점 이전에 발생하는 유출특성을 나타내었다.

교량도로유출수의 입경을 분석한 결과 D_{Mean} 의 범위는 4.75~14.05 μm 이고 D_{90} 의 범위는 17.33~58.15 μm 로 분석되었는데 이는 합류식하수관 월류수의 입경과 비교하여 약 1/4정도의 크기로 아주 미세한 입자분포를 나타내었다. 대체로 D_{Mean} 과 D_{90} 은 유출량에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다. 교량도로 유출수는 10~20 μm 크기의 입자가 대부분이며 강우지속시간에 따라 입경이 증가하여 초기 침투유출량 시 최대로 된 후 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.

사 사

이 논문은 충주대학교 대학구조개혁지원사업비(교육인적자원부 지원)의 받아 수행한 연구임.

참고문헌

1. Barrett, M. E. Irish, Jr., L. B., Malina, Jr., J. F., and Charbeneau, R. J., "Characterization of highway runoff in Austin, Texas, area," *J. Environ. Eng., ASCE*, **124**(2), 131~137(1998).
2. Lee, J. H. Bang, K. W., Ketchum, Jr., L. H., Choe, J. S., and Yu, M. J., "First flush analysis of urban storm runoff," *Sci. Total Environ.*, **293**, 163~175(2002).
3. 이준호, 조용진, 방기웅, "강우시 도로유출수 수질특성 및 입경분포," *대한환경공학회지*, **27**(7), 777~784(2005).
4. Deletic, A. B. and Maksimovic, C. T., "Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas," *J. Environ. Eng., ASCE*, **124**(9), 869~879(1998).

5. Sansalone, J. J., Koran, J. M., Smithson, J. A., and Buchberger, S. G., "Physical characteristics of urban roadway solids transported during rain events," *J. Environ. Eng., ASCE*, **124**(5), 427~440(1998).
6. Yousef, Y. A., Wanielista, M. P., Hvitved-Jacobsen, T., Harper, H. H., "Fate of heavy metals in stormwater runoff from highway bridges," *Sci. Total Environ.*, **33**(104), 233~244(1984).
7. 민경섭, 홍성희, 이명숙, 김용혜, 박연준, 김종우, "초기 우수에 의한 하천수질변동이 물고기 생존에 미치는 영향," 1995년도 대한환경공학회 추계학술발표회, 영남대, pp. K-10~18(1995).
8. Novotny, V. and Olem, H., *Water quality prevention, identification, and management of diffuse pollution*, Van Nostrand Reinhold, NY, pp. 735~816(1994).
9. 和田安彦, "도시지역의 우천시 도로배수에 의한 환경오염," *한국수처리기술연구회 기술보고*, **10**(4), 1~5(2002).
10. Drapper, D., "Pollutant concentrations in road runoff: Southeast Queensland case study," *J. Environ. Eng., ASCE*, **126**(4), 313~320(2000).
11. Li, Y, Lau, S. L, Kayhanian, M., Sterstrom, M. K., "Particle size distributin in highway runoff," *J. Environ. Eng., ASCE*, **131**(9),1267~1276(2005).
12. Wu, J. S., Allan, C. J., Saunders, W. L., and Evett, J. B., "Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff," *J. Environ. Eng., ASCE*, **124**(7), 584~4592(1998).
13. Berbee, R., Rijs, G., Brouwer, R., and van Velzen, L., "Characterization and treatment of runoff from highways in the Netherlands paved with impervious and pervious asphalt," *Water Environ. Res.*, **71**(2), 183~190(1999).
14. 최영화, 오재일, 황환구, 김종화, "교량부 비점오염원 배출특성분석: 1. 오염물질별 유출 거동분석," *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2004공동추계학술발표회*, 대전, pp. P-765~772(2004).
15. Park, J. Y., Jo, Y. M., and Oh, J. M., "Characterization of nonpoint sources from urban runoff," *Water Eng. Res.*, **1**(1), 39~48(2000).
16. Laser diffraction particle size analyzer SALD-2101 Software section, Shimadzu, Co. Kyoto Japan(2004).