Journal of Korean Society of Water and Wastewater
Vol.25, No.3, pp.407-417, June, 2011

상하수도학회지, 논문
25권 3호, pp.407-417, 6월, 2011

청양-홍성간 도로에서의 초기강우에 의한 유출부하량 평가 및 기여율 산정

Evaluation of Runoff Loads and Computing of Contribute ratio by First Flush Stormwater from Cheongyang-Hongseong Road

이춘원[1] · 강선홍[1*] · 최이송[2] · 안태웅[2]

Chun Won Lee[1] · Seon-Hong Kang[1*] · I Song Choi[1] · Tae-Woong Ahn[2]

1 광운대학교 환경공학과, 2 경희대학교 환경학 및 환경공학과

(2011년 5월 25일 접수 ; 2011년 6월 10일 수정 ; 2011년 6월 14일 채택)

Abstract

Nowadays, the high land use, mainly used for urbanization, is affecting runoff loads of non-point pollutants to increase. According to this fact, increasing runoff loads seems like to appear that it contributes to high ratio of pollution loads in the whole the pollution loads and that this non-point source is the main cause of water becoming worse quality. Especially, concentrated pollutants on the impermeable roads run off to the public water bodies. Also the coefficient of runoff from roads is high with a fast velocity of runoff, which ends up with consequence that a lot of pollutants runoff happens when it is raining. Therefore it is very important project to evaluate the quantity of pollutant loads. In this study, I computed the pollutant loadings depending on time and rainfall to analyze characteristics of runoff while first flush storm water and evaluated the runoff time while first flush storm water and rainfall based on the change in curves on the graph. I also computed contribution ratio to identify its impact on water quality of stream.

I realized that the management and treatment of first flush storm water effluents is very important for the management of road's non-point source pollutants because runoff loads of non-point source pollution are over the 80% of whole loads of stream. Also according to the evaluation of runoff loads of first flush storm water for SS, run off time was shown under the 30 minute and rainfall was shown under the 5mm which is less than 20% of whole rainfall. These are under 5mm which is regarded amount of first flush storm water by the Ministry of Environment and it is judged to be because run off by rainfall is very fast on impermeable roads. Also, run off time and rainfall of BOD is higher than SS. Therefore I realized that the management of non-point source should be managed and done differently depending on each material.

Finally, the contribution ratio of pollutants loads by rainfall-runoff was shown SS 12.7%, BOD 12.7%, COD 15.9%, T-N 4.9%, T-P 8.9%, however, the pollutants loads flowing into the steam was shown 4.4%. This represents that the concentration of non-point pollutants is relatively higher and we should find the methodical management and should be concerned about non-point source for improvement on water quality of streams.

Key words : Non-point Source Pollution, First Flush Stormwater, Contribution Ratio, Rainfall-Runoff , Pollutant Loading

주제어 : 비점오염원, 초기우수, 기여율, 강수유출, 오염부하량

* Corresponding author Tel:+82-2-940-5075, Fax:+82-2-911-2033, E-mail: seonhong@kw.ac.kr(Kang, S.)

Journal of Korean Society of Water and Wastewater
Vol.25, No.3, pp.407-417, June, 2011

1. 서 론

우리나라는 1960년대 이후 산업화를 거치면서 댐 건설, 각종 용수의 확보, 홍수 조절을 목적으로 많은 인공저수지를 건설하였다. 그로 인하여 유역주변에서 발생되는 다양한 오염원이 지천을 통하여 유입됨으로써 수리적으로 정체성을 보이는 이들 수역에서는 부영양화 발생이 빈번해지고 있고, 하류역의 수체에서도 오염현상이 심화되는 등 하천 및 호소의 수질오염이 심각하게 진행되고 있는 상황이다.

이에 대한 현실적인 대응방안으로 주로 점오염원에 국한하여 집중적으로 수질관리를 실행하여 왔고 부분적으로 그 효과를 얻을 수 있었다(이 외 2001). 그러나 최근에는 이와 같은 지속적인 노력에도 불구하고 하천과 호소의 오염도를 더 이상 저감시키는데 한계가 있으며, 그 이유는 점오염원에 대한 관리대책 소홀보다는 비점오염원으로 인해 대량으로 유입되는 오염물질을 저감하지 않는 이상 하천 오염부하량의 절대적인 량을 저감하는데 한계가 있기 때문으로 추정된다(우 외 2006).

최근 도시화가 진행되고 이로 인하여 증가된 도로, 주차장, 옥상 등과 같은 불투수면은 강우 시 오염부하량이 높게 발생되는 토지이용형태이다. 그 이유는 불투수면적이 증가하게 되면 유출계수가 증가하게 되고, 강우량의 대부분은 지표유출에 의하여 유출되며, 그 과정에서 노면에 퇴적된 오염물질을 같이 유출시키기 때문이다(대전국토관리청 2010, 한국건설기술연구원 2000). 특히 도로와 같은 교통관련 불투수면에서 발생되는 비점오염물질 유출은 배수시스템과 직접적으로 연결되어 있기 때문에 수문학적 및 환경적으로 하천에 미치는 영향이 보다 크게 나타난다.

자동차 증가와 더불어 도로가 정비됨에 따라 도로표면에 쌓인 오염물질들이 갈수기가 끝날 때 발생하는 강우의 씻김현상으로 인해 우수 유입구로 유입되어 수질에 영향을 미친다(김 외 2003). 도로에서 발생되는 오염원의 형태는 도로의 신설 및 확장 시 습지나 식생대의 훼손이 불가피하고, 절·성토 사면 침식물의 증가, 도로상의 타이어 마모, 분진, 기름 등이 강우 시 일시에 하천으로 유입되어 오염부하를 증가시키고 있다(최 2004). 특히 초기우수는 수계 및 하수처리시설에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 판단되며, 도로변 등의 오염물질이 하천으로 유입되어 수계에 적지 않은 환경문제를 일으킬 것으로 판단된다(Buffleben 외 2002).

도로노면에 축적된 오염물질은 강우시작과 동시에 유출되는 현상이 나타나며, 이것은 초기우수로 인한 유출 오염부하량을 집중시키는 효과를 발생시킨다. 따라서 현재까지 비점오염물질에 대한 연구가 꾸준히 지속되어오는 과정에서 초기유출에 대한 관심도 증가하고 있다(최 2009). 그러나 비점오염물질은 발생특성상 강우사상 및 강우강도, 발생지역, 발생상황 등 많은 지형적, 기상학적 요인에 따라 유출현상이 다르게 나타나기 때문에 각각 비점오염 발생요인별 초기우수의 수질 특성과 처리시설의 설계기준에 대한 기초자료가 부족해 이에 대한 적절한 대책을 수립하기가 곤란한 실정이다(최 1997).

따라서 본 연구의 목적은 연구대상 지점인 청양-홍성간 도로에서 강우 시 유출유량, 오염물질의 농도변화를 조사하고, 이를 토대로 오염부하량을 산정하여 누적오염부하량 변화곡선을 분석함으로써 강우에 따른 초기유출부하량을 평가하는 것이다. 또한 본 연구는 강우사상에 따른 누적오염부하량을 파악하고 주변 하천에 미치는 영향을 분석함으로써 비점오염 저감을 위한 대책을 수립하는데 있어서 기초자료로 활용될 수 있도록 하기위하여 실시되었다.

2. 연구 방법

2.1 조사 방법 및 지점

본 연구에서는 강우유출수의 초기 강우현상을 조사하기 위하여 강우 시작 후 유출이 발생하는 시점을 초기 강우로 하고 5분 및 10분 간격으로 초기에 시료를 집중 채수하고, 이후부터는 15분, 20분, 30분 등으로 시료의 채수시간 간격을 늘리면서 모니터링을 수행하였다. 본 연구의 조사대상 지점은 불투수성인 청양-홍성간 도로로부터 발생되는 비점오염물질 발생특성을 조사하기 위하여 비점오염 유출구 3곳(W1~W3)과 수용하천에 대한 비점오염의 영향을 파악하기 위하여 수용하천의 비점오염 유입 전과 유입, 유입 후 3곳(W4~W6)을 선정하였다. 조사지점의 특성 및 조사지점에 대한 자세한 위치는 다음의 **Table 1 및 Fig. 1**에 나타내었다.

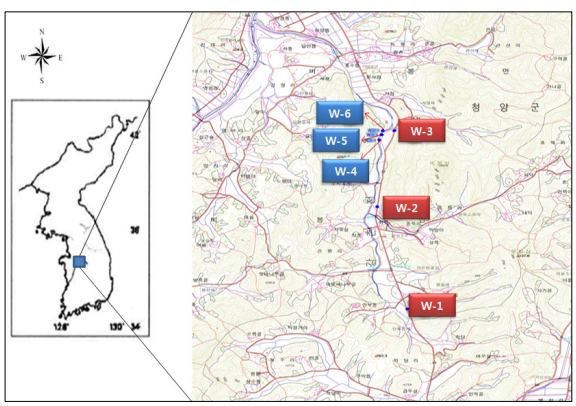

Fig. 1. 연구대상지역

상하수도학회지, 논문
25권 3호, pp.407-417, 6월, 2011

Table 1. 조사지점의 특성

조사지점	특성
오르막 도로 (W-1)	유하거리가 짧아 일시에 다량의 오염물질이 배출되는 도로임
평지도로 (W-2)	일반 도로로 상시 오염물질이 배출되는 도로임
점오염원 포함 도로 (W-3)	주변에 점오염원(주유소)이 포함된 도로임
도로비점오염 유입 전 강촌천 (W-4)	수용하천에 대한 비점오염원의 기여율을 평가하기 위해 선정
도로비점오염 유입부 (W-5)	수용하천에 대한 비점오염원의 기여율을 평가하기 위해 선정
도로비점오염 유입 후 강촌천 (W-6)	수용하천에 대한 비점오염원의 기여율을 평가하기 위해 선정

Table 2. 분석항목 및 방법

항 목	분석기기	분석방법
BOD	BOD INCUBATOR	배 양 법
SS	Chemical balance SS filter unit	유리섬유 거름종이법
COD	Water bath	산성 $KMnO_4$
T-N	Optizen 2120UV	흡광광도법
T-P	Optizen 2120UV	흡광광도법(아스코르빈산환원법)

2.2 분석항목 및 방법

본 연구의 대상 지역에 대한 도로의 비점오염물질 및 하천수질 조사는 각 조사 지점별로 BOD, SS, COD, T-N. T-P에 대하여 수질분석을 실시하였다(**Table 2**). 수질조사를 위한 시료의 채수는 강우 5 mm 이상 시 적절한 시간간격으로 실시되었다. 모든 시료는 수질오염공정시험법에 준하여 보존하고 실험하였으며, 시료는 최대보존기간 이내에 모든 분석을 완료하도록 하였고, 현장에서 채취된 시료는 실험실에 도착하기 전까지 별도의 ICE BOX 용기에서 4℃로 유지하였다.

3. 연구 결과

3.1 강우사상 개요

본 연구에서는 도로 강우유출수에 대한 지역적인 특성을 파악하기 위하여 최근 10년간 청양-홍성간 강우일수를 조사하였다. 조사 결과, 10년 평균 강우일수는 105일이었고, 가장 많은 강우일수를 나타낸 것은 2010년의 124일이었으며, 가장 적은 강우일수는 92일로 2006년이었다. 대부분 여름철인 7월과 8월에 집중적으로 강우가 내리는 경향을 보였으며, 겨울철에는 강우사상이 비교적 드문 것으로 조사되었다. 비점오염의 경우 선행 무강우 일수가 중요한데 그 이유는 선행 무강우일수가 길면 길수록 노면 퇴적물량이 많아지고 강우에 의하여 유출되는 비점오염물질의 농도가 높아지기 때문이다. 본 연구대상지역에서의 3일 이상 무강우일수 후 강우횟수를 조사한 결과, 평균 3일 이상 무강우일수 후 강우횟수는 30회로 크게 줄어들었으며, 최고의 강우횟수는 2009년의 37회로 나타났고, 최소의 강우횟수는 2006년의 23회인 것으로 조사되었다. 또한 강우강도에 따른 강우빈도를 조사한 결과, 시간당 강우량 5 mm 이하가 최근 10년을 기준으로 602회로 가장 많았고, 30 mm 이상은 최근 10년을 기준으로 114회로 조사되었다. 특히 10년 전인 2001년보다 최근인 2010년에 강우량과 강우일수 모두 증가한 것으로 나타나 최근 기후변화로 인하여 발생되는 기상현상이 반영된 것으로 판단된다. 그리고 시간당 강우 최고, 최저, 평균치를 조사한 결과, 시간당 강우 최고치는 69.0 mm, 최저치는 0.1 mm이었으며, 월평균 강수량의 범위는 67.8~145.3 mm로 조사되었다.

3.2 강우에 의한 도로유출수의 오염도 특성

본 연구에서는 강우에 의한 도로유출수의 오염도 특성을 파악하기 위해 강우가 시작되는 시점부터 유량을 측정하고 비점오염물질에 대한 분석을 실시하였다. 이에 대한 조사결과는 **Table 3 ~ Table 5**에 나타내었다.

W-1 지점의 조사 결과, 도로유출수의 오염 농도는 SS가 5.2~442.5 mg/L, BOD 6.4~19.5 mg/L, COD 9.3~28.2 mg/L의 범위로 나타났다. 또한 T-N의 농도범위는 1.061~2.092 mg/L로 조사되었고, T-P는 0.018~0.035 mg/L의 범위를 보였다. 부유물질의 경우, 강우가 시작되고 20분 이내에 오염물질의 농도가 매우 높게 나타나는 경향

을 보였으며, 이는 초기세척에 의한 영향을 받기 때문으로 사료된다. 또한 BOD의 경우에도 초기강우 이후에는 오염물질의 농도가 낮아지는 경향을 보였다.

W-2 지점에 대한 조사 결과, 강우 시 도로유출수 각 오염물질농도의 범위는 SS의 경우 29.4~754 mg/L, BOD 8.2~22.4 mg/L, COD 14.5~33.3 mg/L인 것으로 조사되었다. 부유물질의 경우, 강우 초기 농도가 754 mg/L로 매우 높게 나타났으며, 이는 도로에 집적되어 있던 부유성 물질이 초기강우에 의해 유출되었기 때문으로 사료된다. BOD의 경우에도 강우 초기에 농도가 높아지다가 강우시간이 길어질수록 농도가 낮아지는 경향을 보였다. 평지 도로의 경우 강우 시 집적되어 있던 오염물질들이 강우강도가 약하거나 강우지속시간이 짧을 경우에는 유출이 되지 않고 도로에 정체되어 있다가 일시에 유출되기 때문에 오염물질의 농도가 더 높아지는 것으로 판단된다.

W-3지점의 조사 결과, SS는 13~182 mg/L, BOD 13.5~25.2 mg/L, COD 24.0~42.5 mg/L의 범위를 보였다. 부유물질인 SS의 경우, 강우 초기 농도가 다른 지점에 비해 낮게 나타나는 경향을 보인 반면 COD의 농도는 높은 경향을 보였는데, 이는 난분해성 물질이 도로에 집적되어 있다가 강우에 의해 오염물질이 지속적으로 유출되었기 때문으로 판단된다.

Table 3. W-1지점 도로유출수의 유량 및 오염도 조사 결과

1차 조사					
유량(L/min)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
180	442.5	19.5	28.2	1.412	0.034
80	127.3	19.2	29.5	1.072	0.035
50	165.7	17.8	28.1	2.092	0.033
25	84.1	15.1	24.5	1.575	0.028
25	11.0	13.3	22.8	1.061	0.023
25	5.2	7.7	10.2	1.439	0.018
25	6.5	6.4	9.3	1.231	0.019
2차 조사					
유량(L/min)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
100	781.5	13.6	18.4	1.147	0.502
80	358.0	8.7	16.8	1.194	0.323
50	169.0	10.5	15.4	1.691	0.245
180	47.3	7.2	10.8	1.157	0.245
50	19.5	6.3	9.8	1.251	0.268
25	21.8	13.0	12.6	1.173	0.201
25	29.5	7.5	8.6	1.733	0.279
50	30.8	6.3	8.6	1.184	0.301
25	22.7	6.6	6.4	1.194	0.267
25	19.5	5.8	6.8	1.315	0.234
3차 조사					
유량(L/min)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
186	559.0	17.0	22.0	1.965	0.524
122	223.2	13.2	18.4	1.923	0.371
37	86.4	12.0	18.6	1.765	0.52
122	80.6	13.5	15.0	1.812	0.249
96	76.2	9.3	15.8	1.731	0.341
5	80.4	8.8	11.5	1.695	0.545
5	66.8	7.5	13.8	1.816	0.261
53	66.0	9.3	10.0	1.741	0.28
64	48.0	6.8	8.2	1.625	0.341
53	47.0	4.7	5.8	1.681	0.281

상하수도학회지, 논문
25권 3호, pp.407-417, 6월, 2011

Table 4. W-2지점 도로유출수의 유량 및 오염도 조사 결과

1차 조사					
유량(L/min)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
290	754.0	22.4	33.3	1.885	0.464
120	439.8	12.2	20.8	2.196	0.123
85	314.4	19.8	31.4	0.941	0.187
40	54.3	13.5	20.1	1.549	0.138
40	49.2	9.0	14.5	2.431	0.173
40	48.9	11.5	15.7	1.464	0.159
40	29.4	8.2	17.1	1.601	0.197
2차 조사					
유량(L/min)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
170	118.4	17.0	21.6	1.514	0.424
120	244.5	17.5	21.6	1.375	0.681
80	184.3	8.2	12.0	1.482	0.323
290	34.1	7.7	10.0	1.241	0.334
80	24.5	2.8	4.8	1.194	0.368
40	14.3	3.0	6.0	1.325	0.256
40	74.5	3.9	4.8	1.420	0.201
80	57.5	5.5	6.4	1.189	0.189
40	39.5	6.4	9.2	1.911	0.167
40	48.5	4.5	6.7	1.801	0.146
3차 조사					
유량(L/min)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
298	180.0	12.0	18.8	1.764	0.361
196	175.0	9.5	15.4	1.537	0.349
59	80.4	13.0	20.0	1.815	0.531
196	65.6	14.5	15.5	1.649	0.297
153	70.0	8.6	13.4	1.734	0.381
8.0	68.0	8.5	10.4	1.661	0.349
8.0	62.4	6.5	8.8	1.811	0.541
85	25.0	5.2	8.4	1.710	0.267
102	60.2	5.6	6.5	1.767	0.208
85	35.0	4.5	6.0	1.572	0.319

3.3 시간 및 강우에 따른 도로의 초기유출 오염부하량 산정 및 평가

앞의 결과를 보면, 강우로 인해 발생되는 비점오염물질은 초기의 강우유출수에서 농도가 높게 나타나는 특성을 보인다. 따라서 강우로 인해 발생되는 비점오염물질로부터 공공수역의 수질을 유지하고 개선하기 위해서는 초기강우에 의해 유출되는 오염부하량에 대한 효과적인 대책이 무엇보다 중요하다. 그렇지만 초기강우에 의한 유출수를 어디까지로 한정할 것인가에 대해서는 많은 어려운 문제가 있다. 이는 강우지속시간이나 강우강도, 선행 무강우일수와 같은 강우사상의 특성, 강수지역의 지형 및 토지이용특성, 수용하천의 목표수질 및 특성 등 다양한 요인이 서로 복합적으로 작용하기 때문이다. 본 논문에서는 시간 및 강우량에 따른 누적오염부하량을 도시하고 변화곡선을 분석하여 초기우수로 인해 유출되는 부하량 및 유출시간, 초기유출강우량을 평가하여 보았다.

Fig. 2는 시간에 따른 누적오염부하량의 변화를 나타낸 것이고, **Fig. 3**은 강우량에 따른 누적오염부하량의 변화를 도식한 것이다. 본 논문에서 초기우수에 의한 유출오염부하량은 누적오염부하량 곡선의 변곡점을 파악하고 이를 통하여 평가하였다. **Fig. 2**와 **Fig. 3**에서 변곡점은 초기의 시간 및 강우량에 대한 누적오염부하량 곡선의 접선과 반대로 나

Table 5. W-3지점 도로유출수의 유량 및 오염도 조사 결과

1차 조사					
유량(L/min)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
450	182.2	25.2	42.5	1.392	0.244
200	61.4	21.9	34.2	1.758	0.662
130	144.0	17.4	23.5	1.856	0.419
60	15.0	21.0	32.8	1.432	0.453
60	14.4	22.5	36.4	1.281	0.558
60	16.0	13.5	24.0	1.261	0.15
60	13.0	13.0	24.9	1.497	0.437
2차 조사					
유량(L/min)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
260	326.0	14.4	18.6	1.707	0.491
200	217.0	3.5	6.5	1.639	0.111
130	63.0	3.4	4.5	1.613	0.145
460	12.5	3.2	4.7	1.644	0.137
130	5.0	3.8	5.8	1.487	0.135
60	6.5	2.8	5.4	1.163	0.078
60	5.5	3.1	5.5	1.482	0.075
130	4.0	3.5	4.5	1.144	0.056
60	11.0	3.6	6.6	1.023	0.034
60	6.0	3.3	5.8	1.076	0.022
3차 조사					
유량(L/min)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
466	222.6	14.0	24.0	1.708	0.491
306	104.3	13.5	20.8	1.743	0.372
93	85.0	9.2	16.8	1.619	0.361
306	76.0	9.7	18.0	1.809	0.337
240	70.0	7.6	17.4	1.642	0.38
13	55.4	9.2	13.8	1.731	0.541
13	53.0	8.6	15.0	1.706	0.297
133	36.0	12.7	18.6	1.519	0.264
160	35.2	7.6	13.4	1.537	0.235
133	25.0	6.8	9.0	1.608	0.228

중 곡선의 접선을 각각 도시하여 교점을 파악한 후 교점을 이등분하여 누적오염부하량 곡선과 만나는 점으로 하였으며, 이때 x축은 초기우수 유출시간 및 강우량을, y축은 초기우수에 의한 누적오염부하량을 나타낸다. 오염항목은 강우유출수에 의한 비점오염물질에 있어서 가장 중요한 평가항목인 SS 및 BOD 만을 대상으로 하였다. 이에 따라 산정된 각 지점별 초기우수 유출부하량 및 유출시간, 초기유출강우량에 대한 결과를 **Table 6**에 요약하여 제시하였다.

W-1 지점의 1차 조사에서 시간에 따른 SS의 초기우수에 의한 유출부하량은 129.0 kg/day인 것으로 조사되어 총유출부하량 145.1 kg/day 중 88.9%를 차지하였으며, 이때의 유출시간은 4.5분으로 나타났다. 강우에 따른 유출평가 결과를 보면, 초기유출부하량은 129.4 kg/day로 나타나 시간에 따른 초기유출부하량(129.0 kg/day)과 거의 차이를 보이지 않았다. 또한 전체 강우량 6.5 mm 중 초기강우는 1.0 mm인 것으로 산정되어 전체 강우량의 15.4% 정도인 것으로 조사되었다. 환경부 자료를 보면 초기우수처리시설 대상기준을 5~10 mm로 하고 있으며, 이는 초기유출을 발생시키는 최소 강우량을 5 mm 이상으로 한다는 것을 의미한다(노 2010). 본 연구에서 나타난 결과를 보면 도로에서의 초기강우에 의한 유출부하량은 환경부 고시 자료보다 훨씬 적은 강우량에서 일어난다는 사실을 알 수 있다. 이와

상하수도학회지, 논문
25권 3호, pp.407-417, 6월, 2011

Table 6. 각 지점별 초기우수 유출부하량 및 유출시간, 강우량 평가 결과

항목	지점	조사 시기	시간에 따른 유출평가			강우에 따른 유출평가		
			총유출 부하량 (kg/day)	초기유출 부하량 (kg/day)	유출시간 (min)	총 강우량 (mm)	초기유출 부하량 (kg/day)	초기유출 강우량 (mm)
SS	W-1	1st	145.1	129.0	4.5	6.5	129.4	1.0
		2nd	185.2	122.0	8.5	14.0	153.0	0.8
		3rd	232.1	190.5	6.5	26.0	188.8	0.6
	W-2	1st	439.6	402.5	9.5	6.5	388.5	0.8
		2nd	126.2	85.5	8.0	14.0	86.5	1.8
		3rd	184.9	133.4	10.0	26.0	128.4	2.8
	W-3	1st	167.5	144.8	8.4	6.5	125.4	0.6
		2nd	208.8	186.5	12.5	14.0	185.0	1.2
		3rd	286.2	206.4	19.5	26.0	206.0	3.0
BOD	W-1	1st	10.1	7.5	12.0	6.5	6.2	0.6
		2nd	7.7	5.7	10.0	14.0	4.5	2.3
		3rd	12.8	8.5	25.0	26.0	7.1	6.4
	W-2	1st	16.3	12.5	18.0	6.5	13.8	1.0
		2nd	13.3	8.1	25.0	14.0	7.9	1.9
		3rd	17.1	11.4	12.5	26.0	9.4	3.8
	W-3	1st	31.9	23.2	18.5	6.5	20.4	0.9
		2nd	11.6	8.6	11.5	14.0	6.8	1.8
		3rd	29.4	20.5	22.0	26.0	17.2	3.8

같은 결과가 나타난 원인은 도로의 경우 불투수층으로 되어 있어 유출율이 높고 배수가 잘 이루어지도록 노면 경사를 두고 있어 유출속도도 빠르기 때문인 것으로 판단된다. W-1 지점의 2차 및 3차 조사에서 시간에 따른 유출평가의 결과는 누적유출부하량이 각각 122.0 kg/day, 190.5 kg/day인 것으로 나타났으며, 이때의 유출시간이 각각 8.5분, 6.5분으로 1차 조사보다 길었다. 또한 총강우량에 대한 초기유출강우량은 각각 0.8 mm, 0.6 mm인 것으로 조사되었다.

W-2 지점에서의 시간에 따른 초기우수에 의한 SS의 유출부하량은 1차 및 2차, 3차에서 각각 402.5 kg/day, 85.5 kg/day, 133.4 kg/day로 각각 총유출부하량의 91.6%, 67.7%, 72.1%로 산정되었으며, 이때의 유출시간은 각각 9.5분, 8.0분, 10.0분으로 조사되었다. 초기유출을 발생시키는 강우량은 1차 및 2차, 3차에서 각각 0.8 mm, 1.8 mm, 2.8 mm인 것으로 조사되어 총강우량의 12.3%, 12.9%, 10.8%에 해당되었다. 유출시간 및 강우량에 따른 초기오염물질 유출부하량은 W-1지점과 마찬가지로 큰 차이를 보이지 않았으며, 강우량에 따라 평가된 초기유출부하량이 유출시간에 따른 것보다 상대적으로 다소 작게 평가되었다. 평지도로인 W-2 지점은 W-1 지점에 비하여 유출속도가 느리기 때문에 총유출부하량에 비하여 초기우수에 의한 유출부하량이 W-1 지점보다 낮게 산출된 것으로 보이며, 초기강우에 의한 오염물질의 유출시간도 상대적으로 길었다. 이와 같은 이유로 초기유출을 유발하는 강우량도 W-1 지점에 비하여 다소 높게 나타난 것으로 판단된다.

W-3 지점에서의 시간에 따른 초기우수에 의한 SS의 유출부하량은 1차 및 2차, 3차에서 각각 144.8 kg/day, 186.5 kg/day, 206.4 kg/day로 나타났으며, 이때의 유출시간은 각각 8.4분, 12.5분, 19.5분인 것으로 조사되었다. 각 조사시기별 유출부하량의 차이는 많은 요인에 의하여 발생되는 것으로 판단되지만, 가장 큰 요인은 강우량 및 강우강도 때문으로 사료된다. 이제까지의 결과를 보면 대체로 강우량이 많을수록 초기강우에 의한 유출부하량이 많았고, 강우강도가 높을수록 역시 많은 초기 유출부하량이 발생되었다. 다만 본 연구에서는 데이터가 부족하기 때문에 이에 대한 명확한 해석은 어려우며 차후 연구가 더 필요할 것으로 사료된다. 강우량에 따른 유출부하량의 누적곡선에서 초기유출이 발생한 강우량은 1차, 2차, 3차에서 각각 0.6 mm, 1.2 mm, 3.0 mm로 나타나 전체 강우량의 9.2%, 8.6%, 11.5%를 차지하였다. 이와 같은 결과는 앞서 W-1 지점과 W-2 지점의 결과와 큰 차이가 없는 것으로, SS로 평가할

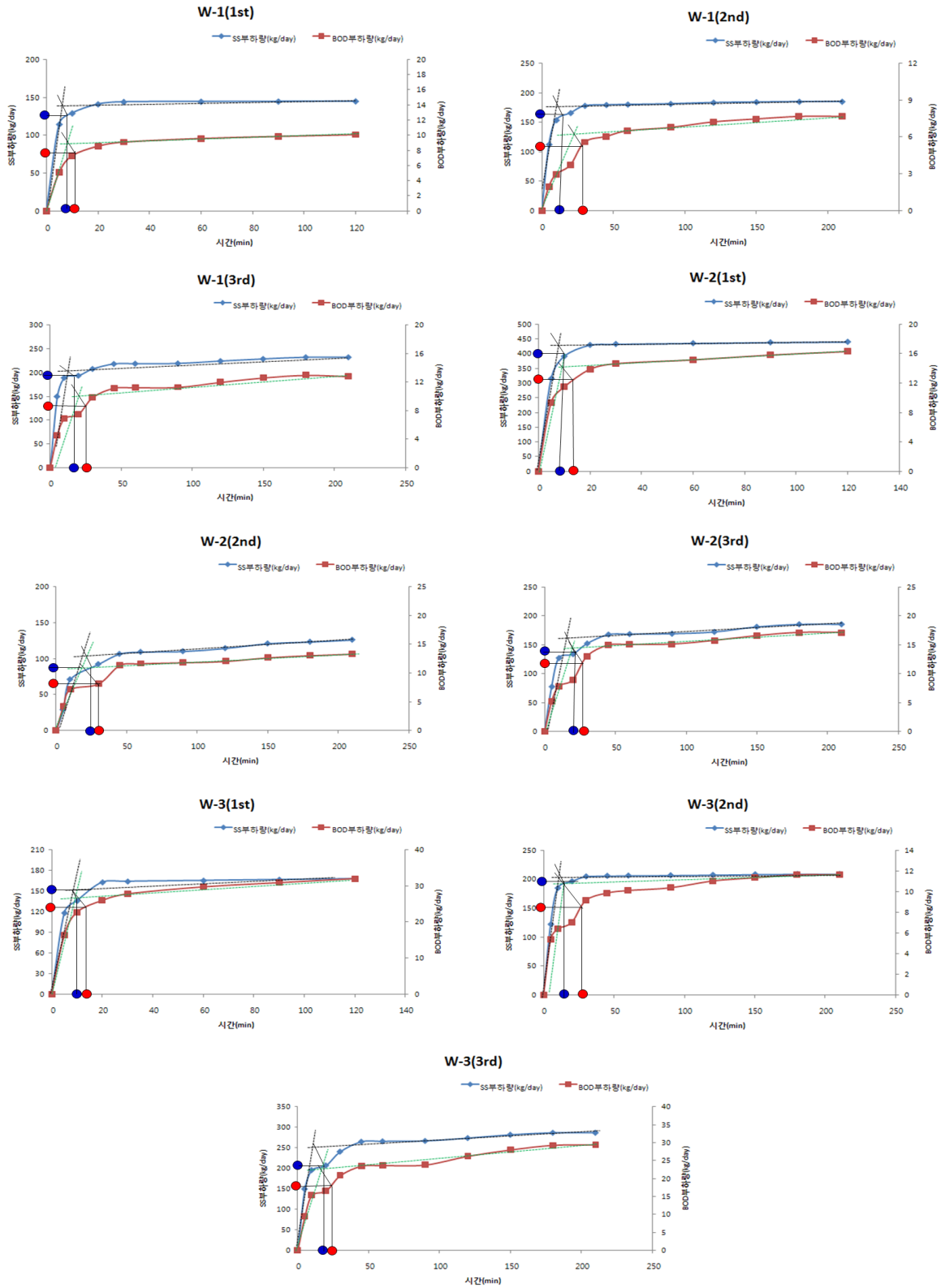

Fig. 2. 시간에 따른 부유물질 및 BOD의 누적 오염부하량

상하수도학회지, 논문
25권 3호, pp.407-417, 6월, 2011

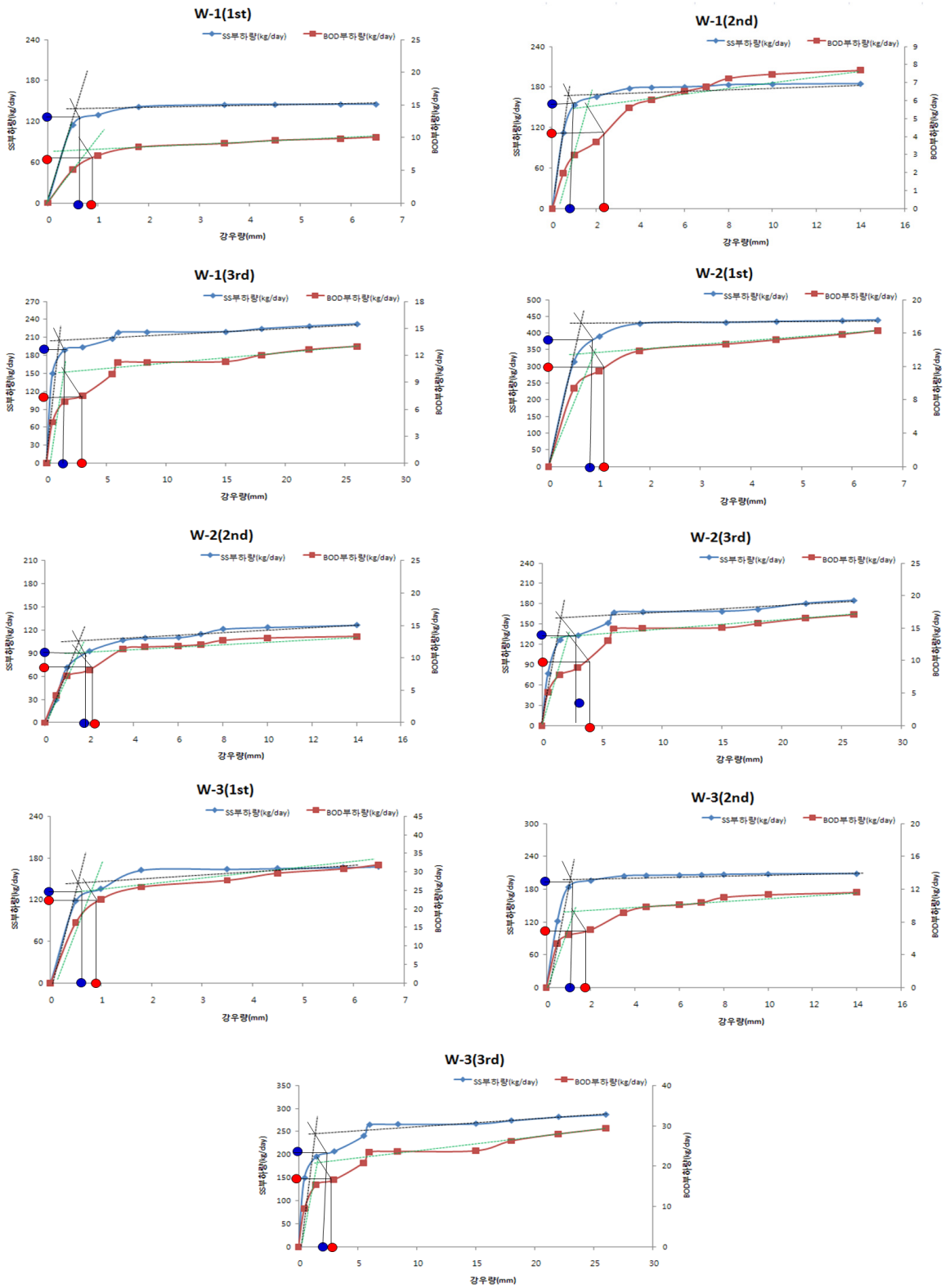

Fig. 3. 강우량에 따른 부유물질 및 BOD의 누적 오염부하량

때, 초기우수로 인한 오염도가 높은 유출수는 불투수성의 포장된 도로의 경우 환경부 지침보다 훨씬 적은 강우량에서 발생되기 때문에 현 초기우수처리시설의 시설용량보다 작게 할 수 있을 것으로 사료된다.

현재 우리나라에서 비점오염에 대한 대책기준은 대부분 SS에 중점을 두고 있다. 이는 비점오염으로 발생되는 오염물질은 대부분 무기성 입자상 물질이 매우 많은 부분을 차지하기 때문이다. 실제로 본 연구의 결과에서도 전 지점에서의 오염물질 유출부하량을 보면, SS가 120~440 kg/day인 반면 BOD는 8~32 kg/day에 불과한 것으로 나타나 비점오염에 대한 평가는 SS를 기준으로 하는 것이 타당한 것으로 판단된다. 그러나 하천에서의 오염도는 BOD 항목을 가장 중요한 기준으로 보는 경우가 많기 때문에 SS에서 평가한 것과 같은 방법으로 초기우수에 의한 BOD의 유출부하량을 **Fig. 3** 및 **Table 6**에 나타내었고 이에 대해 평가해 보았다.

W-1 지점의 1차 및 2차, 3차 조사의 결과에서 BOD의 초기우수에 의한 유출부하량은 각각 7.5 kg/day, 5.7 kg/day, 8.5 kg/day으로 나타났으며, 이는 총유출부하량 10.1 kg/day, 7.7 kg/day, 12.8 kg/day의 74.3%, 74.0%, 66.4%에 해당하였다. 이와 같은 초기유출부하량의 비율은 SS의 비율보다 낮은 것으로 나타났고, 유출시간에서도 1차 및 2차, 3차에서 각각 12.0분, 10.0분, 25.0분으로 SS에 비하여 크게 증가하였다. 이는 강우에 의한 유출로 인하여 SS는 초기에 빠르게 유출되는 반면 BOD는 서서히 유출되고 있다는 사실을 의미한다. 강우량에 있어서도 1차 및 2차, 3차에서 각각 0.6 mm, 2.3 mm, 6.4 mm로 나타나 SS에 비하여 BOD가 유출되는데 보다 많은 강우량을 요구하는 것으로 평가되었다.

W-2 지점의 1차 및 2차, 3차 조사에서 초기강우에 의한 BOD의 유출부하량은 각각 12.5 kg/day, 8.1 kg/day, 11.4 kg/day 이었고, 이에 따른 유출시간은 각각 18.0분, 25.0분, 12.5분으로 W-1 지점과 마찬가지로 SS에 비해서 유출시간이 길었다. 강우에 따른 유출부하량 평가에서 초기유출을 발생시키는 강우량은 1차 및 2차, 3차 조사에서 각각 1.0 mm, 1.9 mm, 3.8 mm로 조사되었다.

W-3 지점의 1차 및 2차, 3차 조사에서 초기우수에 의한 BOD 유출부하량은 각각 23.2 kg/day, 8.6 kg/day, 20.5 kg/day로 총유출부하량과 비교해 볼 때 각각 72.7%, 74.1%, 69.7%로 나타났으며, 이때의 유출시간은 18.5분, 11.5분, 22.0분이었다. W-3 지점의 1차 및 2차, 3차 초기유출부하량을 발생시키는 강우량은 각각 0.9 mm, 1.8 mm, 3.8 mm로 전체 강우량의 13.8%, 12.9%, 14.6%에 해당되었다.

3.4 도로 강우유출수의 하천 유입 오염부하량 평가

본 연구 지역인 청양-홍성간 도로의 강우유출수에 대한 오염부하를 평가하였으며, 청양-홍성간 국도에 위치한 비봉주유소 앞 강촌천 유입 전과 후의 하천을 대상으로 비점오염물질의 유입에 따른 하천의 오염부하량에 미치는 영향 및 기여도를 평가해 보았다.

오염부하량은 청양-홍성간 도로 강우유출수에 의한 수질오염물질 농도와 유량 조사 결과를 토대로 산정하였으며, **Fig. 4**는 수용하천인 강촌천에서의 상류(W-4), 비점오염 유입(W-5), 하류(W-6) 조사에 대한 SS, BOD, COD, T-N, T-P 오염부하량을 나타내었다. 도로에 의한 강우유출수의 오염부하량 산정결과, SS의 경우 하천의 상류 32.2 kg/day, 비점오염 유입 9.9 kg/day, 하류 35.7 kg/day로 조사되었고, BOD는 하천 상류 13.3 kg/day, 비점오염 유입 4.0 kg/day, 하류 14.1 kg/day로 조사되었다. 또한 COD의 오염부하량은 상류 16.2 kg/day, 비점오염 유입 6.4 kg/day, 하류 17.7 kg/day로 조사되었다.

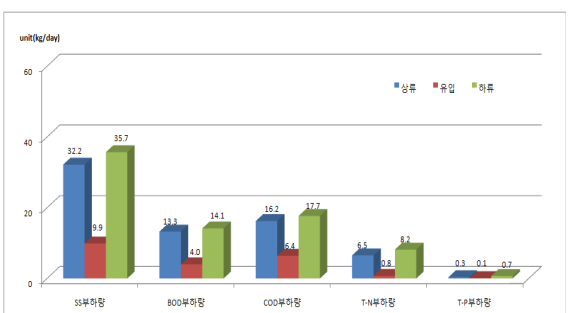

Fig. 4. 도로 강우유출수의 하천유입에 따른 오염부하량 조사 결과

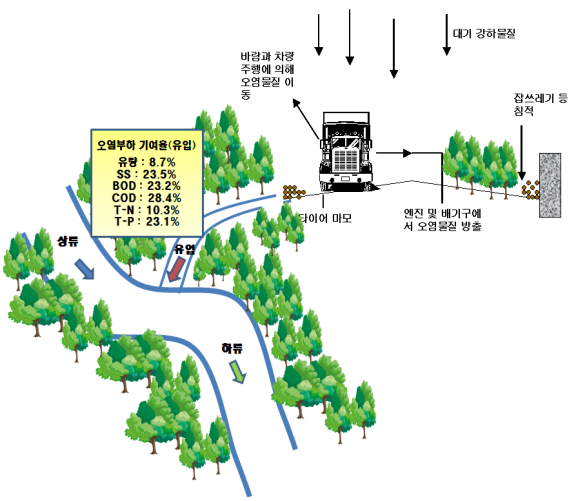

Fig. 5. 도로 비점오염에 의한 오염부하 기여율

상하수도학회지, 논문
25권 3호, pp.407-417, 6월, 2011

청양-홍성간 도로의 강우유출수에 의한 오염부하 기여율은 SS 23.5%, BOD 23.2%, COD 28.4%, T-N 10.3%, T-P 23.1%인 것으로 나타났으며(**Fig. 5**), 유입되는 유량이 하천 유량의 8.7%에 불과하다는 점을 고려한다면 비점오염물질 유입에 의한 오염부하 기여율은 상대적으로 매우 높다는 것을 알 수 있다. 비점오염물질의 하천에 대한 기여도는 유역의 특성 및 하천의 크기 등 외부적 요인의 영향을 크기 받기 때문에 각 특성별 기여도에 대한 연구가 보다 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 청양-홍성간 도로의 3개 지점에서 강우 시 유출되는 비점오염물질에 대한 특성을 파악하고자 청양-홍성 지역의 강우사상에 대하여 조사하였고, 강우 시 초기우수에 따른 유출영향을 파악하고자 시간 및 강우량에 따른 유출 오염부하량을 산정하였으며, 초기우수 유출시간 및 강우량을 평가하였고, 도로 비점오염물질이 하천수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 기여율을 산정하였다. 이에 따른 청양-홍성간 도로의 강우 시 비점오염에 대한 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 강우에 따른 비점오염물질의 초기유입 오염부하량은 본 연구의 평가방법으로 산정할 경우 SS 총부하량의 70%를 상회하는 것으로 나타나 초기우수 유출수에 대한 확실한 처리만으로도 유역하천의 수질개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.
2) SS에 대한 초기우수 유출부하량 평가 결과, 유출시간은 대체로 10분 미만인 것으로 나타났으며, 강우량은 대부분 전체 강우량의 15% 이하인 3 mm 미만으로 나타났다. 이와 같은 결과는 도로의 경우 불투수면으로 되어있어 강우로 인한 유출이 매우 빠르게 일어나며 이때 노면에 퇴적된 오염물질도 빠른 시간에 유출된다는 것을 의미한다. 따라서 도로 비점오염물질에 의한 주변 환경의 수질오염을 예방하기 위해서는 초기유출 오염부하량에 대한 체계적인 관리방안 및 저감노력이 무엇보다 중요하다.
3) 조사 지점별로 비점오염원을 조사한 결과, 1차 조사의 결과가 2차 및 3차 조사에 비하여 오염부하량이 작고 유출시간이 짧게 나타난 것은 강우량이 2차 및 3차에 비하여 적었고 강우지속시간도 짧았기 때문으로 판단된다. 따라서 비점오염에 대한 평가는 발생지역의 특성 및 강우강도, 강우지속시간 등 다양한 요인에 민감하게 영향을 받기 때문에 각 오염원 별로 보다 체계적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.
4) BOD에 대한 유출특성 평가결과도 비교적 SS와 비슷한 경향을 보였으나, 유출시간에 있어서는 SS보다 긴 시간을 필요로 한다는 사실을 알 수 있었다. 따라서 비점오염에 의한 초기유출수 대책을 수립할 경우 대상 오염물질에 따라 유출시간을 달리 설정하여 관리방안을 수립해야 할 것으로 판단된다.
5) 청양-홍성간 도로의 강우유출수에 의한 오염부하 기여율은 SS 23.5%, BOD 23.2%, COD 28.4%, T-N 10.3%, T-P 23.1%인 반면 유입되는 유량은 8.7%인 것으로 나타났다. 이는 비점오염물질의 유입부하가 상대적으로 높다는 것을 의미하는 것으로 하천수질의 수질개선을 위해서는 비점오염물질에 대한 지속적인 관심과 체계적인 관리방안이 모색되어야 한다.

참고문헌

김중은, 안건혁, 이창무, 2003, 하천유역 토지이용과 비점오염물질 발생강도간의 상관관계분석 :도로와 건물의 비율 및 공간적 분포를 중심으로, 대한국토계획학회지 38(2), pp.203~216.

국토해양부, 2006, 환경친화적 도로유지관리지침.

노성덕. 2010, 도시지역 비점오염물질 처리를 위한 강우유출수 여과시설의 개발, 수원대학교 박사논문, pp.114~35.

대전국토관리청. 2010, 도로의 오염특성에 적합한 비점오염처리시스템 연구, pp. 30~31.

우수혜, 최이송, 최준혁, 오종민, 2006, 화성호 비점오염물질 저감을 위한 유입하천의 오염부하량 유달율 산정, 한국수자원학회 학술발표회, pp.1047~1051.

이현동, 안재환, 김운지, 배철호, 2001, 토지이용별 강우시 비점오염물질의 유출특성, 한국물환경학회지, 17(2), pp.147~156.

최상용, 2004, 도심지역의 도로노면을 지나는 초기우수의 수질 특성규명, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동학술발표회, pp. 88.

최원석, 2009, 도로노면유출수내 오염물질 제거를 위한 여재별 특성에 관한 연구, 호남대학교 석사논문.

최지용, 신은성, 1997, 도시지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책평가연구원.

한국건설기술연구원, 2000, 팔당상수원 비점오염원 유출특성과 최적관리방안.

Buffleben, M, S., Zayeed, K.. Kimbrough, D. Stenstrom, M. K., Suffet, I. H., 2002, Evluation of urban non-point source runoff of hazardous metal entering Sanra Monica Bay, California. Water Sci. Technol. 45(9), pp. 263~268.