

산업공단에서의 지표유출수 오염물질 특성

김연권 · 신응배 · 이두진 · 배요섭 · 윤현식*

한양대학교 토목·환경공학과
*한국과학기술연구원

(1999년 4월 29일 접수, 2000년 1월 17일 채택)

Pollutants Characteristics of Surface Runoff from the Industrial Complex

Youn-Kwon Kim · Eung-Bai Shin · Doo-Jin Lee · Yo-sop Pae · Hyun-Sik Yoon*

Dept. of Civil & Environmental Engineering, Hanyang University
**Korea Institute of Science and Technology*

ABSTRACT

The quality of stormwater runoff has been a major concern in water quality preservation. Characteristics of heavy metals and conventional pollutants in surface runoff from industrial complex, during the first flush, were not completely understood. Generally, separated sewer system is known for their water quality with untreated wastewater during storm events.

In this study, the quality and characteristics of surface runoff from the industrial complex were investigated. The target area in the industrial complex catchment was divided 4 sub-areas, and the quality of stormwater runoff from the selected drainage areas was investigated using a grab sampling method.

The petro-chemical industry and the junkyard discharged relatively high concentration of conventional pollutants, such as BOD, COD, SS, and TN through the first flush runoff samples. On the other hand, a higher level of heavy metals was found in the first flush runoff from the metal-mechanical industry and the scrap storage yard. For metals, Fe, Zn and Cu were the most prevalent species found in the first flush runoff from all sites for every surface runoff samples, while Pb, As, Cd, Cr and Ni were the least prevalent species and Hg was not found in any sample at any site.

These results suggest that the nature of pollutants in surface runoff from the industrial complex was related to the type of industry, and the concentration of

pollutants was determined by the degree of exposed pollutant sources and the characteristic of rainfall events at the sites.

Key Words : Stormwater, First Flush, Surface Runoff, Industrial Complex, Pollution

요약문

강우시 발생하는 강우유출수는 배수구역내 지표오염물질로부터 기인한 다양한 오염물질을 포함하고 있으며 전세계적으로 이에 대한 많은 연구가 진행중에 있다. 초기강우시 산업공단에서 발생하는 지표유출수내 오염물질의 특성은 아직도 완벽하게 이해되지 못하고 있다. 일반적으로 분류식 배제방식이 채택된 공단에서 발생하는 우수유출수는 다양한 오염물질을 함유한 채 미처리 상태로 전량 지천으로 배출되고 있다.

본 연구는 산업공단을 대상으로 강우시 지표유출수의 수질과 특성을 분석·평가하였고 시료 채취는 공단을 배수구역별 4개 구역으로 구획 후 해당 배수구역에 대해 grab sampling 방법을 적용하였다.

석유·화학산업과 일반 야적장 등에서는 BOD, COD, SS, TN 등의 일반오염물 항목들이 주로 검출된 반면, 기계·금속산업, 고철 야적장 지역에서는 중금속항목의 오염물이 고농도로 측정되었다. 초기강우유출시 전 조사지점의 지표유출수에서 Fe, Zn, Cu 등의 항목이 주로 검출된 반면, Pb, As, Cd, Cr, Ni 등은 미량으로 검출되었고 Hg는 어느 지점에서도 검출되지 않았다.

산업공단에서 발생하는 지표유출수내 오염물질들은 대부분 업종과 연관성을 나타내었고, 각 지점별 발생 오염물질의 농도는 오염물질의 노출정도 및 강우사상의 특성에 따라 결정되어지는 것으로 나타났다.

주제어 : 강우, 초기강우유출수, 지표유출수, 산업공단, 오염

1. 서론

강우시 초기 유출수가 수역에 미치는 영향은 그동안 큰 주목을 받지 못하였으나 최근 교통량의 증가와 토지이용의 다변화에 따른 비점오염원에 대한 관심의 증가와 함께 그 중요성은 점차 강조되고 있다. 더욱이 우수에 대한 별도의 처리를 고려하지 않는 분류식 우수배제 방식의 경우, 강우의 시작과 함께 발생하는 초기강우 유출수는 지상활동에서 발생한 다량의 지표 오염물들을 우수관거를 따라 인접수역으로 직접 유입, 오염을 증가시키는 원인이 되고 있다.¹⁻³⁾ 강우시 우수관으로 유입되는 지표오염물들의 물리적 특성은 대부분 유출수내 입자성 물질들과 상관관계를 갖게 되는데 우수와 함께 이동하는 오염물질들은 거대입자의 경우 일부는 관거내 침전되고 차기강우에 의해 일부가 재부상하여 이동하게

된다. 반면 콜로이드 입자와 같은 미세입자들은 부유상태로 보다 광범위한 이동이 가능하므로 입자의 입경분포는 강우로 인한 입자의 이동과 그에 따른 오염결과에 대해 공간적, 시간적으로 매우 중요한 인자로 작용하게 된다. 이러한 강우시 지표유출수의 영향력은 매우 커서 지역내 수체로 유입되는 가정 및 산업폐수의 영향과 함께 중요한 고려요소가 되고 있다.⁴⁾

일반적으로 비점오염부하의 특징은 발생원이 분산되어 있으므로 유역특성과 강우조건에 직접적인 영향을 받게 된다.^{5,6)} 특히 도시지역이나 공단지역은 농촌지역에 비해 주거 및 상업지역이 많이 발달해 있으며 도로와 건축물로 인해 대부분의 지표가 불투수성 표면으로 이루어져 있다. 따라서 도심 및 공단지역에서의 강우시 토사유출율은 농촌지역에 비해 상대적으로 작으나 강우의 지표유출율이 더

크고 이동경로 및 과정이 신속하여 각종 일반오염물질과 중금속 등 지표오염물이 쉽게 주변수체로 이동되게 된다.

강우시 지표유출을 동반하는 초기강우 유출수(First-flush)는 지형, 토양조건, 개발 및 이용정도, 불투수 지표의 분포정도 등 지역적인 조건에 따라 매우 다양하게 나타나며 기후조건, 선행건기일수 및 강우강도와 강우지속시간, 수리·수문학적인 조건에 따라 그 성상이 다변화된다. 특히 공단지역에서 발생하는 강우 유출수는 주변의 업종과 그 형태에 따라서 다양한 발생원을 가지게되며 이때 발생하는 지표유출수는 난분해성 물질과 중금속물질 등 다양한 오염성상을 나타내게 되므로 도심지나 기타 다른 지역에서 발생하는 초기강우 유출수에 비해 수체에 미치는 악영향은 더욱 클 것으로 예상된다.³⁾ 그러나 국내에는 강우시 지표유출로 인한 오염발생에 대해 조사된 자료가 매우 빈약한 실정으로, 특히 중금속 및 독성물질의 다량 발생이 예측되는 공업단지에서의 지표유출수에 대한 기초자료 조사는 전무한 상태이며 적정규제 기준조차 마련되어있지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 분류식 배제방식을 적용한 산업공단을 대상으로 초기강우시 지표유출수내 발생 오염물질과 입주업종간의 관계와 공단내 입주업종별 지표유출수의 물리적 특성을 분석하였다.

본 연구는 공단내 비점오염원에서의 오염물질별 발생특성을 파악하고 초기강우시 지표유출수의 발생특성과 물리적 특성을 규명하므로써 고농도의 지표유출수에 대한 적절한 제어방법의 도출과 효과적인 수집 및 운반체계를 확립하여 유입 오염물질의 근원적인 차단에 기여하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 지점선정

2.1.1. 조사지역 개황

본 연구의 대상지역인 시화공단은 총 면적 16km²으로 30.3%의 주거단지와 68%의 공업단지, 그리고 1.7%의 기타 토지이용형태를 보이고 있는 종합공업단지이다. 주요업종으로는 조립금속과 화학, 기

계장비업종이 전체업종의 50.6%를 차지하고 있으며 화학업종과 기타 업종들이 다양하게 입주되어 있으며 공단내 발생하는 우수는 구역별 간선배수로를 통해 전량 인접수역으로 방류된다.

2.1.2. 조사지점 선정

본 연구에서는 초기강우시 공단에서 발생하는 지표유출수내 오염물질의 성상과악과 물리적 특성을 규명하기 위해 공단내 업종분포를 고려하여 주요입주업종인 기계·금속 및 화학업종과 강우시 직접적인 영향을 받을 것으로 예상되는 야적장 및 주거지역내 도로에 대해 조사지점을 선정하였다. 선정된 대상업종군에 대해 배수구역의 크기와 산업활동정도, 지역 특성, 예상오염원의 외부노출 및 예상 이동로 등 '업종군별 특성조사'를 실시하였다. Fig. 1은 '업종군별 특성조사'를 기초로 실시된 연구 진행도이다.

조사지점은 각 업종별로 대표성을 갖는 배수구역의 우수관 유입부를 시료채취지점으로 선정하고, Fig. 2에서와 같이 시료를 채취하였다. 이외에도 지상활동으로 인한 오염물의 우수관 유입정도를 조사하기 위하여 대상지역의 지표유출 가능성과 지표저류, 우수관망 및 관망접속상태, 맨홀의 위치 등을 고려하였다.

2.2. 샘플링 조건 및 방법

조사지점별 특징과 대상 강우사상의 측정일은

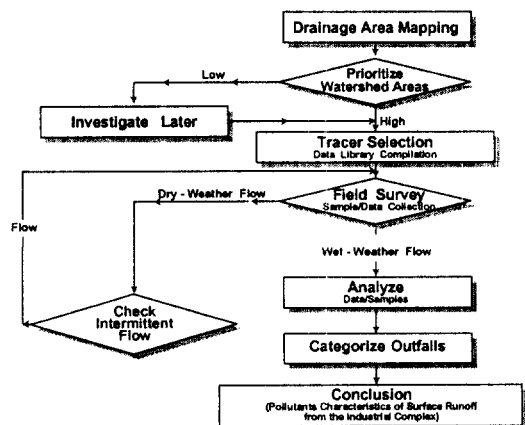


Fig. 1. Typical investigation steps.

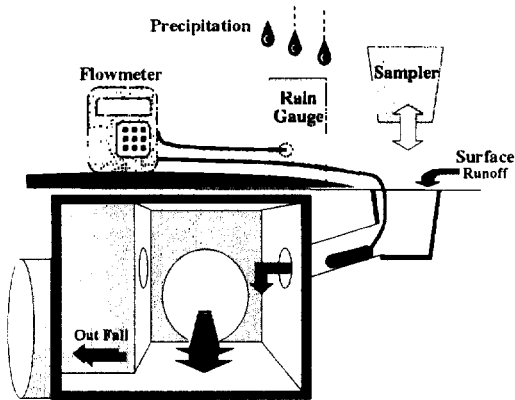


Fig. 2. Sampling equipment in a gully-hole.

Table 1에 나타내었다. 조사지점별 면적은 공단입주계획에 따른 업체별 면적을 적용하였으며 1 : 12,000 관망도를 이용하였다.

시료채취는 지표유출 후 지상오염원의 충분한 교반이 일어나는 우수관 유입지점에서 실시하였으며 강우사상 발생 30분 이내에 실시하는 것을 원칙으로 하였다. 그러나 지점에 따라 강우강도 또는 지체시간의 차이로 인해 초기강우 후 30분 이내에 지표유출이 발생하지 않는 경우도 있기 때문에 현지상황을 고려하여 충분한 지표유출이 일어난 시간에 시료채취를 실시하였으며 당시 상황을 기록하였다.

무인유량측정기를 사용하여 강우강도 및 유량을 측정하였고 우수관 유입부와 동일한 크기의 시료채수기를 제작하여 시료채취와 유량측정을 병행하였으며, 측정당시의 pH와 DO에 대한 기록을 실시하였다.

2.3. 분석항목 및 방법

수질측정항목은 일반오염항목과 중금속항목 이외에도 공단지역임을 감안하여 벤젠, 톨루엔, 피리렌 등의 VOC항목을 측정하였다. 특히 VOC 측정 대상 시료는 질산과 아스콜빈산을 이용하여 전처리 후 갈색병에 보관하였고, 일반 시료는 폴리에틸렌병으로 지점별 2ℓ를 채수하여 4℃ 이하로 보관·운반하였다. 각 시료는 유리섬유필터(Whatman GF/C, 1.2μm)를 이용하여 원수 및 여액으로 구분한 후 각각 수질오염공정시험법과 Standard Methods를 적용하여 분석하였다.

이외에도 대장균 및 고형물질을 측정하였으며 자세한 측정항목은 Table 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우특성

본 연구기간중의 대상 강우별 특성은 Table 3에 나타내었다. 첫 번째 강우사상은 선행건기일이 10일로써 본 연구기간 강우사상 중 가장 긴 선행건기일수를 가지고 있으며 이는 각 업종별 오염물질들의 충분한 지표축적시간을 제공하는 것으로 판단된다. 9시간 동안의 강우량은 26.5mm. 시료채취시의 강우강도는 5.3mm/hr로 강우지속시간 중 강우량의 대부분이 강우사상 초기에 집중되어 있었다. 이에 비해 두 번째 강우사상은 5일간의 선행건기일과 8시간 동안 총 7.6mm의 강우량을 나타내었다. 특히 시

Table 1. Characterization data and sampling dates for the study site

Group	Site ID	Site Area(m ²)	Imperviousness (%)	Slope (%)	Exposed Material	Sampling Dates		
						Storm I	Storm II	Storm III
Metal Industries	M	31,582	80	< 5	Yes	4/22/98	6/19/98	7/9/98
Chemical Industries	C	11,655	95	< 5	No	4/22/98	6/19/98	7/9/98
Junk Yards	JY	33,052	80	< 5	Yes	4/22/98	-	-
Domestic Area	D	65,824	90	< 5	Yes	-	6/19/98	7/9/98

*Chemical material was enclosed by a vessel

Table 2. Stormwater sampling parameters

<p>Sediments/Solids</p> <ul style="list-style-type: none"> - Total Solids (TS) - Fixed Solids (FS) - Volatile Solids (VS) - Suspended Solids (SS) - Volatile Suspended Solids (VSS) <p>Nutrients</p> <ul style="list-style-type: none"> - TP - PO₄³⁻-P - Total Khildal Nitrogen(TKN) - Organic Nitrogen - NH₄⁺-N - NO₂⁻-N - NO₃⁻-N <p>Organics</p> <ul style="list-style-type: none"> - Volatile Organic Compounds (VOCs) : Pyrene, Benzene, Toluene - Phenols - n-Hexane 	<p>Metals</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arsenic - Cadmium - Chromium (total) - Copper - Lead - Mercury - Nickel - Zinc - Ferric <p>Bacteria</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>E. coli</i> <p>Others</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rain - Flowrate - pH - Biochemical Oxygen Demand (BOD) - Chemical Oxygen Demand (COD_{Cr}) - Dissolved Oxygen (DO) - Color - Conductivity
---	--

Table 3. Characterization data for the study on storm event

Parameters Storm	Dry Period (days)	Total Rain (mm)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Mean Rainfall Intensity (mm/hr)	Duration (hours)
Storm I	10	26.5	5.3	2.94	9
Storm II	5	7.6	3.4	0.95	8
Storm III	1	7.0	2.6	0.39	18

료채취시의 강우강도는 3.4mm/hr로 첫 번째 강우에 비해 다소 약하게 나타났으며 지표유출 역시 지점에 따라 1시간을 초과하여 나타나기도 하였다.

이외에도 지속적인 강우로 인한 지표오염물의 씻김현상의 영향정도와 지표유출수내 오염물질의 저감정도 및 변화특성을 비교·관찰하기 위하여 선행 건기일이 1일인 강우사상을 세 번째 조사대상 강우사상으로 선정하였다. 세 번째 강우사상은 18시간 동안 총 7mm의 강우량을 나타내었으며 조사지점별 지표유출은 약 4시간이 경과된 후 발생하였다.

3.2. 일반오염항목

강우시 발생하는 지표유출수내 오염물질의 농도는 입자상 오염물질에 의한 농도와 용존성 오염물질

에 의한 농도의 합으로 구성되는데 이러한 오염물질의 농도변화는 크게 강우사상에 의한 특성과 오염원 주변의 상태에 따라 다양하게 나타난다.

일반적으로 초기강우시 증가하는 유출량과 함께 지표유출수내 오염물질의 농도는 증가하게 된다. 이때 대부분의 오염물질들이 입자성 물질의 거동과 관련이 있는 것으로 알려져 있는데, 공단지역에서 발생하는 오염물질의 입자성은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 대부분이 잔류고형물질의 형태로 존재하고 있는 것으로 나타났다. 특히 강우사상에 의한 잔류고형물질의 검출특성은 휘발성 고형물에 비해 총고형물의 발생특성과 유사한 추이를 나타냈다. 지점별 고형물질의 검출농도는 예상과 달리 공단지역보다 주거지역에서의 총고형물 발생이 더 월등한 것으로 나타났으며, 이러한 잔류고형물질의 원수내 %분율

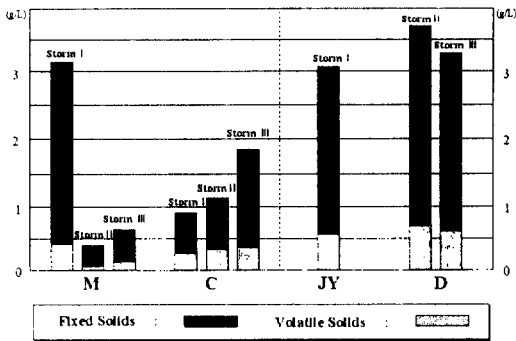


Fig. 3. Fraction of total solid at various sampling sites.

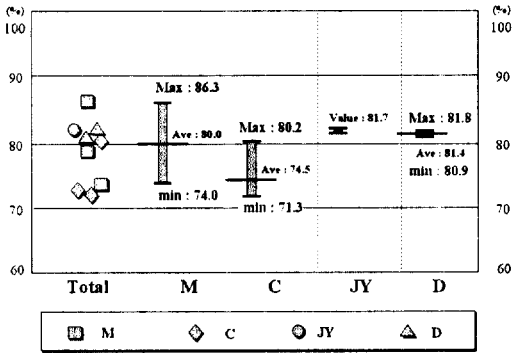


Fig. 4. Percentage of fixed solids at each site.

은 Fig. 4에서와 같이 지점별로 상이하나 대부분이 70% 이상을 나타내고 있다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 지점별 원수의 COD 농도 역시 매우 다양하게 나타났는데, 이는 공단내 COD 발생원이 산재해 있는 결과로 사료된다. 그 중에서도 예상오염원의 대부분이 외부로 노출되어 있는 기계·금속업종과 야적장에서의 COD 농도가 가장 높게 나타났고, 특히 선형건기일수가 길고 초기 강우강도가 큰 1차 강우사상에 대해 384mg/L로 조사기간 중 가장 높은 수치를 나타내기도 하였다. 그러나 1차 강우사상의 결과와는 달리 2차, 3차 강우사상의 경우는 화학업종과 주거지역에서의 COD 농도가 기계·금속업종에서의 지표유출수내 COD 농도보다도 높게 나타났다.

각 시료를 원수와 여액으로 분리한 결과 시료 중 1.2 μ m 이상의 입자성 물질과 관련된 BOD와 COD

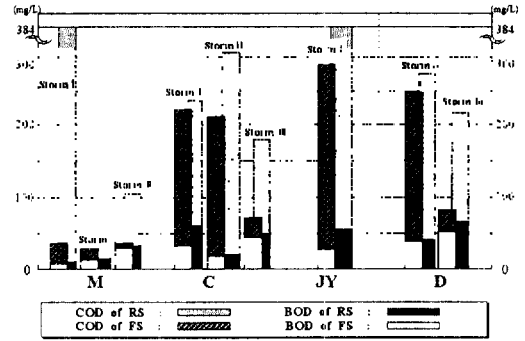


Fig. 5. Concentration of BOD & COD at various sampling sites.

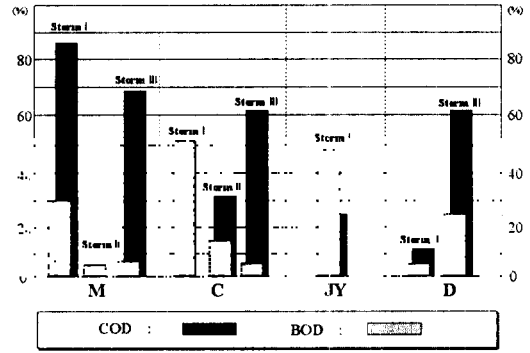


Fig. 6. Percentage of BOD & COD with constituents larger than 1.2 μ m in raw sites.

의 % 분율은 Fig. 6과 같이 나타났는데, 그림에서 알 수 있듯이 1.2 μ m 이상의 입자성 물질과 관련된 BOD와 COD의 % 분율은 기계·금속업종에서 가장 두드러지게 나타나고 있었다.

강우사상의 특성에 따른 분포를 보면 강우강도가 가장 적었던 3차 강우사상에서의 원수내 COD 분율이 지점과 상관없이 2차 강우사상에서의 측정결과치 보다 더 높게 나타났다. 또한 BOD는 지점에 상관없이 선형건기일수가 길고 강우강도가 큰 1차 강우사상이 선형건기일수가 짧고 강우강도가 작은 3차 강우사상에 비해 1.2 μ m 이상의 입자성 BOD를 더 많이 유발함을 알 수 있다.

각 지점별 phosphorous의 농도는 Fig. 7에서 알 수 있듯이 총고형물의 발생추이와 유사한 양상을 나타내고 있다. Fig. 6과의 비교를 통해서 초기강우시

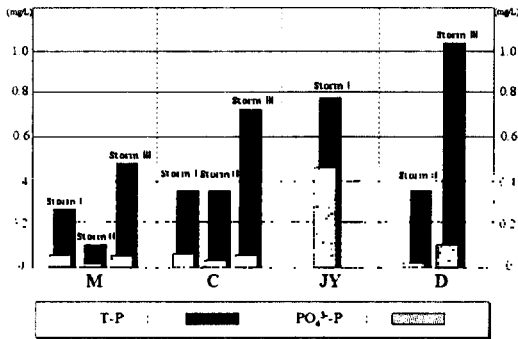


Fig. 7. Concentration of phosphorus at various sampling sites.

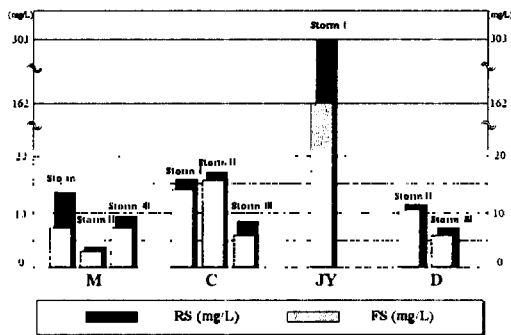


Fig. 8. Concentration of nitrogen at various sampling sites.

발생하는 지점별 TP농도는 대부분 1mg/L 이하의 농도로서 COD와 유사한 발생추이를 나타냈다. 질소의 경우는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 야적장에서 매우 높은 농도를 나타낸 반면 대부분의 지점에서는 18mg/L 미만의 농도분포를 보였는데 이는 각 강우 사상별 특성에 의한 영향이라기 보다는 대상 오염원의 외부노출정도와 오염물의 성상 등 지점별 특성에 의한 것으로 판단되었다. 특히 원수내 총질소 성분의 경우 다른 오염물질과는 달리 거름과정에 별 영향을 받지 않는 것으로 나타나 공단에서 발생하는 질소성분의 대부분이 1.2 μ m 이하의 용존성 질소 형태를 띄고 있는 것으로 추정되었다.

이와 같이 공단에서 발생하는 지표유출수내 일반 오염물질들은 강우사상과 지점별 특성으로 인해 발생정도에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 COD, 고형물, phosphorus 등의 항목은 1.2 μ m 이상의 입자성과 관련이 깊은 반면 질소성분의 경우에

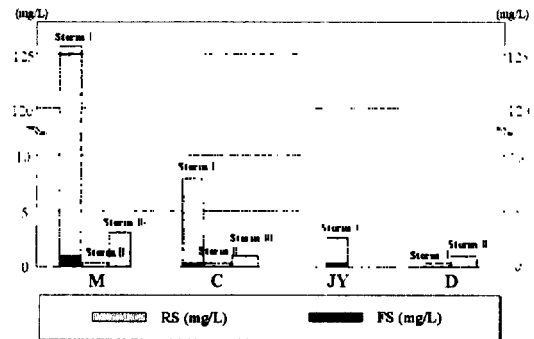


Fig. 9. Concentration of ferric at various sampling points.

는 대부분이 1.2 μ m 이하의 용존성 형태를 띄고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 토대로 공단에서 발생하는 초기유출수내 일반오염물질 중 일부는 1차 침전이나 간단한 물리적 조작을 통해서 강우 사상초기에 나타나는 고농도의 오염발생을 상당부분 저감 또는 제어할 수 있을 것으로 판단되었다.

3.3. 중금속항목

산업공단에서 발생하는 지표유출수에는 다양한 오염물질들이 포함되어 있으며 그 중에서도 공단이라는 지역적 특수성으로 인해 초기강우시 다량 발생할 것으로 예상되는 중금속오염물질과 독성물질들은 적절한 처리없이 강우유출수와 함께 주변 수체로 방출될 경우 수서생태계에 대단한 악영향을 미칠 것으로 예상된다.

조사기간중 지점별 지표유출수내의 중금속농도는 강우특성과 조사지점별 산업특성에 따라 다양하게 나타났으며 중금속 항목 중 Fe, Cu, Zn 등이 주로 검출되었다. 강우사상에 따른 오염물질의 발생특성은 선행건기일수가 길고 강우강도가 큰 1차 강우사상이 짧은 선행건기일수와 약한 강우강도를 나타낸 2차, 3차 강우사상에 비해 고농도의 지표유출수를 발생시키는 것으로 나타났다.

Fe의 검출농도는 Fig. 9와 같으며, 지점별로는 M>C>JY>D의 순으로 우세하게 나타났고 대부분이 1차 강우사상에 대해 높은 농도를 나타냈다. 또한 동일 강우사상에 대해서는 기계·금속업종과 야적장에서 고농도를 나타내었으며 이러한 지점별 검출

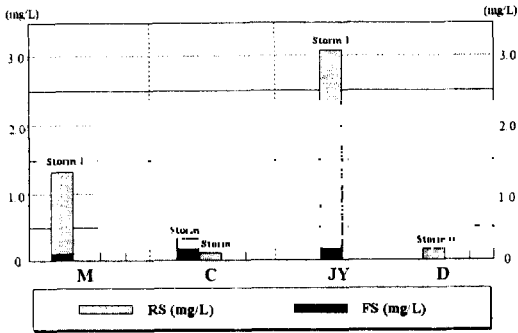


Fig. 10. Concentration of copper at various sampling points.

농도의 차이는 해당 업종에서 취급하는 오염원의 외부노출정도에 의한 것으로 판단되었다. 즉 기계·금속업종과 야적장은 다른 지점에 비해 예상오염원이 지상에 노출되어 있으며 장기간의 노출로 예상오염원의 표면부식 또는 마모되어 강우에 직접적인 영향을 받은 것으로 사료되었다. 기계·금속업종에서의 Fe 성분은 원수의 경우 여과과정을 통해 98.6%가 1.2 μ m 이상의 입자성 물질과 존재하고 있었으며 2차, 3차 강우사상의 시료 경우 조사지점에 관계없이 여액내 Fe 성분은 존재하지 않았다.

Fig. 10에서 보는 바와 같이, 각 지점별 Cu 성분의 검출농도 역시 1차 강우사상에서 고농도를 나타냈으며 지점별로는 JY>M>C의 순으로 우세하게 검출되었다. 또한 2차 및 3차 강우사상의 경우 기계·금속업종에서는 Cu가 검출되지 않았으나 화학업종과 주거지역에서는 2차 강우사상에 대해 저농도의 Cu가 검출되었다. 반면 3차 강우사상으로 인한 지표유출수에는 조사지점 모두 Cu 성분을 포함하고 있지 않았다. 1차 강우사상으로 인한 기계·금속 및 야적장 지표유출수의 Cu성분은 93%와 95.7%가 1.2 μ m 이상에서 존재하고 있었다.

미량이지만 공단전반에 걸쳐 발생되고 있는 Zn의 경우는 Fig. 11에서 알 수 있듯이 강우특성과는 상관없이 지속적인 발생추이를 나타냈으며, 전반적으로 M, C > JY, D의 양상을 나타냈다.

이외에도 Table 4와 같이 Pb, As, Cd, Ni 등의 중금속항목이 미량 검출되었으며 이들 중금속의 발생특징 역시 선행건기일수가 길고 강우강도가 큰 첫 번째 강우사상에서 주로 발생하였다. 또한 생체 독

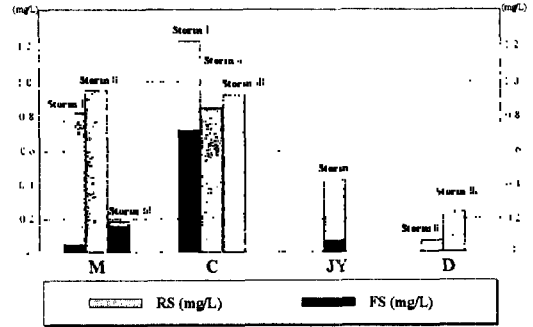


Fig. 11. Concentration of zinc at various sampling points.

성도가 매우 큰 Hg 성분은 조사기간 중 어느 지점에서도 검출되지 않았으며, 당초 산업공단이라는 지역적 특수성으로 화학산업 및 야적장 등에서 검출될 것으로 예상되었던 VOCs 항목 역시 1차 강우사상에 대해 기계·금속업종에서 2 μ g/L의 톨루엔 성분이 검출되었을 뿐 기타항목은 검출되지 않았다.

이와 같이 공단에서 발생하는 지표유출수내 중금속항목들은 대부분이 1.2 μ m 이상의 입자성 물질의 특성을 갖는 것으로 나타났으며, 각 항목별 1.2 μ m 이상의 입자성 물질이 차지하는 %분율은 Fig. 12와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 산업공단에서 발생하는 지표유출수내 중금속성분의 80% 이상은 1.2 μ m 이상의 범위에 존재하고 있었으며, 원수내 항목별 %분율은 Fe가 98.9%로 가장 높았고 Cu가 86.9%, 그리고 Zn이 81.2%로 나타났다. 또한 선행건기일수와 강우사상의 특성에 따라 오염물질의 농도가 변화하는 것으로 나타났는데, 특히 Fe, Cu, Zn 등의 중금속 항목들은 공단에서 발생하는 주요 중금속항목으로써 선행건기일수가 길고 강우강도가 큰 강우사상에 대해 높은 농도를 나타냈으며 이러한 강우사상은 1.2 μ m 이하의 중금속오염물질을 발생시키는 것으로 나타났다.

4. 결 론

초기강우시 산업공단에서 발생하는 지표유출수내 오염물질은 조사지역내 입주업종에서 취급하거나

Table 4. Concentration of others sampling parameters

Storm		I			II			III		
Site ID		M	C	JY	M	C	D	M	C	D
Parameters (µg/L)										
Heavy Metals	Pb	360	560	400	0	50	0	0	0	0
	As	15	8	6	0	0	0	0	0	0
	Cd	9	0	0	0	50	0	0	0	0
	Cr	110	20	50	0	0	0	0	0	0
	Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ni	230	0	0	0	320	800	0	0	0
VOCs	Pyrene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Benzene	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Toluene	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>E. coli</i>	MPN/100mL	1.3×10^3	0.3×10^3	2.8×10^4	0.8×10^3	1.3×10^4	5.6×10^6	3.0×10^4	5.0×10^3	8.0×10^5

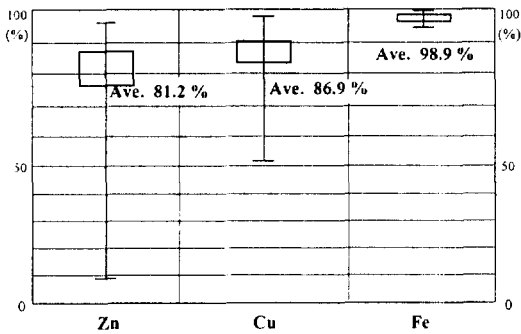


Fig. 12. Percentage of heavy metals with constituents larger than 1.2µm in raw sample.

공정상 사용하는 물질들이 검출되고 있었다. 이러한 오염물질의 검출특성은 야적 또는 외부노출과 운반으로 오염물질이 일정기간 지표면에 축적되었다가 강우시 지표유출수를 통해 주변수체로 이동·유입되는 것으로 판단되었다. 특히 예상오염원의 외부노출정도가 심하고 마모 및 부식 등으로 개별오염원의 성상 및 물리·화학적 특성변화가 수반될 것으로 예상되는 지역에서의 오염물질의 농도가 높게 나타나고 있었다.

산업공단에서의 지표유출수내 검출오염물질은 크게 일반오염물질과 중금속오염물질로 나눌 수 있으며 석유·화학산업과 야적장에서는 BOD, COD,

SS, TN 등의 일반오염항목들이 주로 검출되었고, 기계·금속산업, 고철 야적장 지역에서는 Fe, Zn, Cu 등의 중금속항목이 고농도로 측정되었다. 이외에도 VOCs와 Pb, As, Cd, Cr, Ni 등의 성분은 불검출 또는 미량 검출되었으며, Hg는 조사대상지점 어느 곳에서도 검출되지 않았다.

강우특성과 지표유출수내 검출오염물질과의 관계는 중금속항목이 일반오염항목 보다 밀접한 것으로 나타났다. 유리섬유필터(Whatman GF/C, 1.2µm)를 이용한 오염물질의 존재범위 평가를 통해 선행건기일수가 짧고 충분한 지표유출을 일으키지 못한 강우사상의 경우에는 대부분의 오염물질이 1.2µm 이상의 범위에 존재하고 있었으며, 충분한 선행건기일수와 강우강도가 큰 강우사상의 경우에는 1.2µm 이하의 범위에서도 상당 부분 존재함을 알 수 있었다. 이러한 오염물질의 입자성은 조사지점의 특성과 오염물질의 종류에 따라 다양하게 나타났지만 중금속항목들의 경우에는 조사지점과 상관없이 항목별 80% 이상이 1.2µm 이상 범위의 입자성을 나타내는 것으로 나타났다.

이와 같이 공단에서 발생하는 강우유출수내 오염물질들은 대부분 입자성 물질의 특성과 관련이 있으며 1.2µm 이상 범위에 존재하고 있으므로, 간단한 1차 침전 또는 물리적 처리로 초기유출시의 오염도를 상당부분 저감 또는 제어시킬 수 있을 것으로 판

단된다. 또한 지표유출수내 오염물질의 근원적인 제어를 위해서 강우사상별 지표유출수의 성상에 대한 많은 자료의 확보와 정확한 발생특성 파악을 통해서 원단위를 산정하고, 이를 토대로 업종별 예상오염원의 외부노출 회피방법과 지표면 청결도 유지 및 효과적인 배수계통의 수립·관리를 위한 구체적인 종합방안이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

기 호 설 명

- M : Metal Industries
- C : Chemical Industries
- JY : Junk Yards
- D : Domestic Area
- RS : Raw Samples
- FS : Filtered Samples

참 고 문 헌

1. Dodson, R. D., Storm Water Pollution Control, McGraw-Hill(1995).
2. Line, D. E., Wu, J., Arnold, J. A., Jennings, G. D. and Rubin, A. R., "Water quality of first flush runoff from 20 industrial sites," *Water Environment Research*, **69**(3), 305~310(1997).
3. Metcalf & Eddy, Inc., Wastewater Engineering, 3rd edition., McGraw-Hill, New York(1991).
4. Characklis, G. W. and Wiesner, M. R., "Particles, Metals, and Water Quality in Runoff from Large Urban Watershed," *Environmental Engineering, ASCE*, Aug., 753~759(1997).
5. Sartor, J. D., Boyd, G. B. and Agardy, F. J., "Water pollution aspects of street surface contaminants," *Water Poll. Control Fed.*, **46**(3), 458~467(1974).
6. Novotny, V. and Chesters, G., Handbook of nonpoint pollution : sources and management, Van Nostrand Reinhold Co. N.Y., pp. 312~390(1981).
7. Becker, F. A., Hedges, P. D. and Smission, R. P. M., "The distribution of chemical constituents within the sewage settling velocity grading curve," *Water Sci. Rech.*, 143~146(1996).
8. Field, R. and Turkeltaub, R., "Urban runoff receiving water impacts : program overview," *Environmental Engineering, ASCE*, **107**(EE1), 83~100(1981).
9. Line, D. E., Arnold, J. A., Jennings, G. D. and Wu, J., "Water Quality of Stormwater Runoff from Ten Industrial Sites 1," *American Water Resources Association*, **32**(4), 807~816(1996).
10. Torno, H. C., "Stormwater NPDES Related Monitoring Needs," in *Proceedings of an Engineering Foundation Conference, ASCE*, Aug., pp. 7~12(1994).
11. Wanielista, M. P., Yousef, Y. A. and McLellon, W. M., "Nonpoint source effects on Water quality," *Water Poll. Control Fed.*, **46**(3), 458~467(1977).
12. Thrush, C. and De Leon, D. B., Automatic Stormwater Sampling Made Easy, Water Environment Federation(1993).