

강우특성이 우수수질에 미치는 영향

이 창 수

위덕대학교 건축학부

(2006년 7월 11일 접수; 2007년 2월 5일 채택)

Influence of Precipitation Characteristic on the Rainfall Water Quality

Chang-Soo Lee

Division of Architecture, Uiduk University, Gyeongbuk 780-713, Korea

(Manuscript received July 6, 2006; accepted 5 February, 2007)

The purpose of this study was to investigate relationship between rainfall water quality and precipitation characteristic during the accumulated rainfall and rainless period. As the results of the analysis, rainfall water quality was improved in the rainfall duration. Correlation coefficients between rainwater quality and accumulated rainfall were 0.88~0.99 except Cl⁻. And that between rainless period and initial rainfall water quality were 0.62~0.75. During the Asian dust event, concentration of the turbidity, BOD and electric conductivity were high. Therefore, it shows that the rainfall water quality is effected by atmospheric conditions before the rainfall events.

Key Words : Rainfall water quality, Rainfall duration, Rainless period, Asian dust

1. 서 론

현재 농어촌지역에서 우수의 생활용수 이용방법은 강우가 발생하는 시기에 각 가정마다 임의로 항아리나 대형물통을 이용하여 우수를 저류시켜 사용하고 있으나 갈수기에는 생활용수 공급에 어려움을 겪고 있어 이에 대한 대체수자원으로서 우수의 생활용수이용방법, 해수의 담수화 방안 그리고 기존 상수도 이용 등이 이들 지역 용수공급의 대안으로 제시되고 있다. 하지만, 상수도 시설은 농어촌 지역의 지형 및 지질학적 조건상 설치가 불가능하고 해수의 담수화 방안은 고 에너지가 요구되고 유지관리가 어렵기 때문에 소규모의 농어촌지역에는 기술적, 경제적으로 설치가 현실적으로 곤란한 형편이다. 따라서, 우수를 생활용수로 이용하는 대체수자원의 개발은 농어촌지역의 단독주택 또는 마을단위에서 소규모로 생활용수를 공급하는데 효율적인 우수이용시스템으로 갈수기에도 안정적으로 용수를 공급받을 수 있게 되어 도서 및 해안지역의 물부족

에 따른 어려움을 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 빗물을 수자원으로 이용하는 방안에 대한 국내연구로는 우수이용방안에 대한 연구^{1,2)}, 우수이용보급방안에 관한 연구³⁾, 이용시스템개발⁴⁾ 등이 있다. 또한 우수의 수질변화에 대한 국내연구로는 포장면의 초기우수 수질변화 및 우수성분 조성 및 초기우수의 수질변화 등에 관한 연구가 진행되어 왔다^{5~8)}. 따라서 대체수자원으로서 우수를 효율적으로 이용하기 위해서는 초기우수 배제량을 결정하는 것이 무엇보다도 중요하다. 이에 본 연구에서는 초기우수 수질에 영향을 미치는 요인 중 수문학적 요인인 무강우 일수, 선행강우 지수, 강우지속기간 등이 초기 우수수질변화에 미치는 영향을 검토하여 보았다.

2. 실험방법

2.1. 실험장치

초기우수의 수질분석용 실험장치는 경북 경산시에 위치하는 영남대학교 건설관 옥상에 Fig. 1과 같이 설치하였으며, 집수면 크기는 2 m²이고, 최초 강우시 부터 5 mm 까지 강우량 0.5 mm 당 수질변화를 파악하기 위하여 용량 1 L의 폴리에틸렌 실린더를 10 개 준비하여 집수가 순차적으로 이루어지고, 5 mm를

Corresponding Author : Chang-Soo Lee, Division of Architecture, Uiduk University, Gyeongbuk 780-713, Korea
Phone: +82-54-760-1701
E-mail: cslee@uu.ac.kr

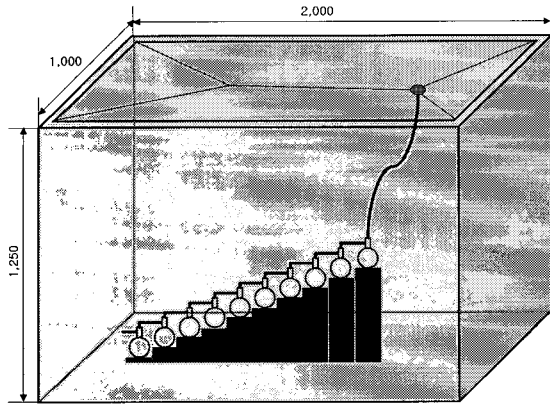


Fig. 1. Scheme of Sampling Apparatus.

초과한 강우량은 배제되도록 설계하였다. 시료채취 기간은 Table 1과 같이 2001년 11월 29일부터 2003년 7월 06일까지 총강우 5 mm 이상 발생한 강우사상 26회에 대하여 분석하였다.

2.2. 분석항목 및 방법

초기 우수수질을 파악하기 위한 수질분석항목은 pH 및 탁도, 증발잔류물, BOD₅, SO₄²⁻, NH₃-N, NO₃-N, Cl⁻, F⁻, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr⁶⁺, Mn, Fe, 전기전도도, TOC 등 총 18개 항목과 일부의 시료는 일반세균 및 대장균군에 대해서도 분석을 실시하였으며, 분석방법은 먹는물 수질공정시험방법⁹⁾, 환경오염공정시험방법(BOD 등)에 준하여 시험을 실시하였다. Table 2에서는 총 분석항목 중 수질변화의 양상이 비교적 분명한 pH, 탁도, 증발잔류물, BOD₅,

SO₄²⁻, NH₃-N 및 Cl⁻의 우수수질 값을 나타내었으며, 이 분석 값은 각 강우사상에서 발생한 최초(0.5 mm까지)의 우수 수질이다.

3. 수문학적 요인이 우수수질에 미치는 영향 검토

우수수질에 미치는 영향요소로는 강우 발생전의 무강우 일수 등의 수문학적 요인, 주변지역의 풍향 및 풍속 등의 기상요인, 집수면 주변지역의 대기오염 상태^{10,11)} 등을 들 수 있으나, 본 연구에서는 수문학적 요인인 무강우 일수, 강우지속시간 등이 수질에 미치는 영향에 대해 검토해 보았다.

3.1. 강우지속에 따른 수질변화 검토

강우가 지속됨으로 인해 수질이 개선되는 경향을 파악하기 위하여 지속되는 강우량과 우수수질의 상관관계를 분석한 결과 Table 3, Fig. 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다. Table 3과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 관측지점의 우수수질은 강우가 지속됨에 따라 급격히 개선되었으며, 상관관계도 높게 분석되었다. 분석에 사용된 자료는 수질항목으로서 탁도, 증발잔류물, BOD, 전기전도도, SO₄²⁻, Cl⁻이며, 분석에 사용된 값은 발생한 전체 강우사상의 각 단계별 수질 평균 값을 이용하였다. 분석결과, 염소이온을 제외하고는 모두 상관계수가 0.88~0.99로 높은 상관관계를 나타내어 강우가 지속됨으로 인해 우수수질이 개선되고 있음을 보여 주고 있으며, 특히 2 번째 단계인 1.0 mm부터 급격하게 개선되었음을 보여주고 있다.

Table 1. Date and Amount of Rainfall

No.	Date	Season	Precipitation(mm)	No.	Date	Season	Precipitation(mm)
1	01.11.29	fall	6	14	02.08.31	summer	152
2	02.03.14	spring	16	15	02.10.06	fall	23
3	02.03.21	spring	9.5	16	02.12.03	winter	17
4	02.03.29	spring	17	17	02.12.06	winter	4.5
5	02.04.06	spring	6	18	03.01.26	winter	12.1
6	02.04.16	spring	24	19	03.02.08	winter	19
7	02.04.23	spring	21	20	03.02.22	winter	22.9
8	02.04.30	spring	38	21	03.03.06	spring	15.5
9	02.05.03	spring	14	22	03.04.07	spring	10
10	02.06.23	summer	18	23	03.04.24	spring	53
11	02.07.13	summer	13	24	03.05.06	spring	26
12	02.07.19	summer	47	25	03.07.04	summer	61
13	02.08.06	summer	479	26	03.07.06	summer	88

강우특성이 우수수질에 미치는 영향

Table 2. Results of rainwater quality

Sea-son	Date	pH	turbidity (NTU)	evaporation residue (mg/L)	BOD (mg/L)	electric conductivity (us/cm)	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Spring	02.03.14	6.4	65.3	360.0	28.5	695	32.491	12.181
	02.03.21	7.0	61.2	226.0	6.9	100	7.879	4.481
	02.03.29	7.2	153.0	596.0	9.4	203	24.491	13.997
	02.04.06	6.6	155.0	540.0	19.9	95	9.342	1.918
	02.04.16	6.2	211.0	784.0	40.0	244	34.957	5.227
	02.04.23	6.1	220.0	388.0	36.8	94	6.226	5.693
	02.04.30	6.0	416.0	484.0	56.0	142	14.556	15.870
	02.05.03	6.4	248.0	266.0	30.0	119	6.367	16.233
	03.03.06	7.2	8.5	-	1.3	106	0.863	1.722
	03.04.07	6.9	26.9	222.0	21.4	165	2.446	2.141
	03.04.24	6.2	7.5	42.0	26.5	33	3.901	4.724
	03.05.06	5.4	262.0	378.0	19.2	153	18.984	5.951
mean	6.5	142.95	355.27	25.15	179	15.73	6.93	
Summer	02.06.23	6.5	73.6	426.0	24.3	287	41.418	2.000
	02.07.13	5.1	35.4	282.0	6.0	133	16.527	7.872
	02.07.19	5.2	14.2	90.0	1.1	65	11.021	1.313
	02.08.06	6.7	34.8	176.0	4.7	15	1.154	0.615
	02.08.31	6.8	1.8	56.0	1.0	70	0.886	0.691
	03.07.04	7.3	1.1	129.0	3.0	50	4.76	45.57
	03.07.06	4.6	2.7	34.0	-	38	2.90	1.12
mean	6.0	43.41	216.32	6.7	114.14	14.23	7.44	
fall	01.11.29	6.9	150.3	752.0	38.3	283	60.622	11.457
	02.10.06	6.5	50.5	400.0	15.3	240	38.022	12.018
	mean	6.45	100.4	484.16	22.50	198.57	411.773	7.80
winter	02.12.03	7.3	140.0	796.0	16.5	246	50.678	9.074
	02.12.06	7.4	51.0	240.0	5.8	185	34.322	13.569
	03.01.26	7.0	60.0	-	4.1	37	3.236	1.350
	03.02.08	7.7	21.0	-	7.9	283	2.020	10.277
	03.02.22	9.4	70.8	730.0	24.7	390	101.774	9.440
	mean	7.17	74.48	588.6	11.36	189.91	33.85	7.96

Table 3. Relationship of rainfall water quality and accumulated rainfall

	turbidity	evaporation residue	BOD	electric conductivity	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
equation	$y=44.52x^{-1.38}$	$y=166.16x^{-0.88}$	$y=9.40x^{-0.91}$	$y=70.53x^{-0.91}$	$y=7.25x^{-0.99}$	$y=2.69x^{-0.65}$
r ²	0.96	0.96	0.99	0.90	0.91	0.67

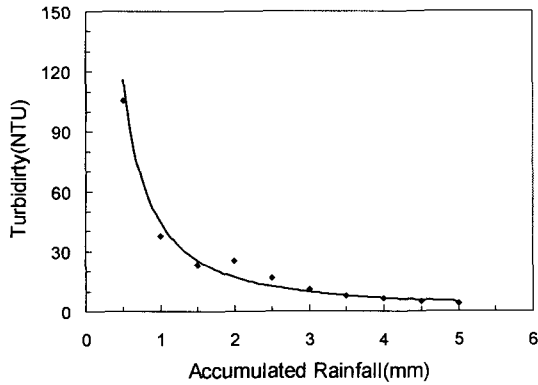


Fig. 2(a). Turbidity change due to accumulated rainfall.

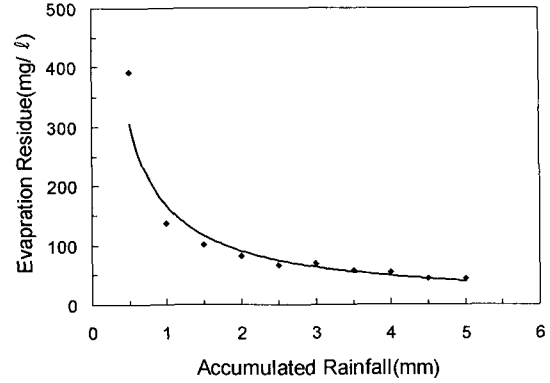


Fig. 2(b). Evaporation residue change due to accumulated rainfall.

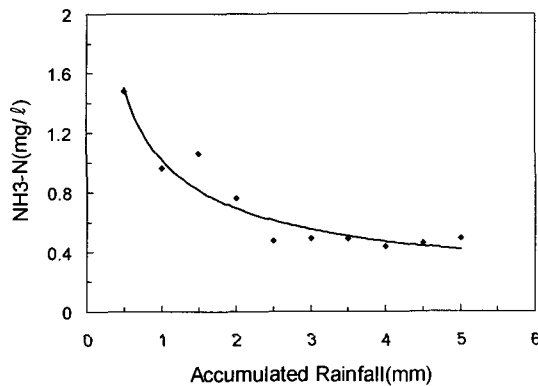


Fig. 2(d). $\text{NH}_3\text{-N}$ change due to accumulated rainfall.

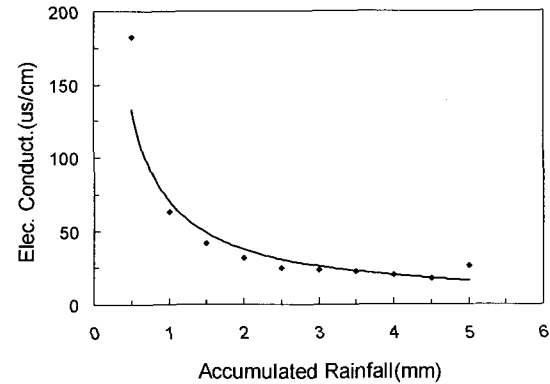


Fig. 2(e). Electric conductivity change due to accumulated rainfall.

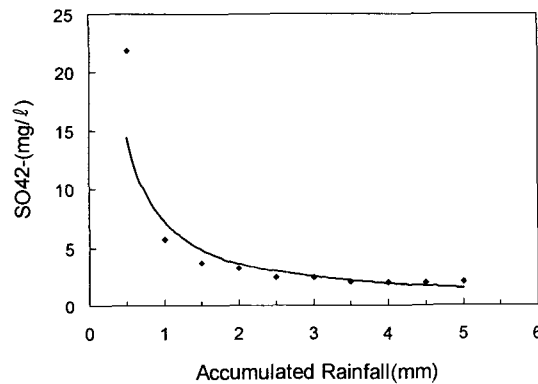


Fig. 2(f). SO_4^{2-} change due to accumulated rainfall.

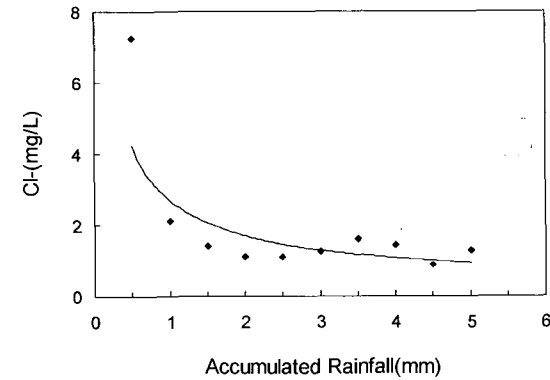


Fig. 2(g). Cl^- change due to accumulated rainfall.

3.2 무강우일수에 따른 수질변화 검토

대기 중의 상태에 크게 영향을 미치는 수문학적 요인으로서 무강우일수를 들 수 있다. 무강우일수와 초기우수 수질의 항목 중 탁도, 증발잔류량, BOD 및 전기전도도와 상관을 조사하였다. 이 때, 조사에 이용된 각 수질항목의 값은 제일 첫째 값(강

우량 0.5 mm까지)을 이용하였으며 상관관계는 Table 4, Fig. 3과 같다. Table 4에서 보는 바와 같이 상관관계가 0.62~0.72 정도로서 비교적 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 이는 앞에서 설명한 바와 같이 우수수질은 강우발생전의 대기상태와 밀접한 관계가 있음을 나타내고 있으며, 보다 정밀한 해석을 위해

강우특성이 우수수질에 미치는 영향

Table 4. Relationship of rainfall water quality and rainless period

	turbidity	evaporation residue	BOD	electric conductivity
equation	$y=1.71x^{1.28}$	$y=46.1x^{0.78}$	$y=0.99x^{1.28}$	$y=29.34x^{0.77}$
r^2	0.69	0.62	0.72	0.70

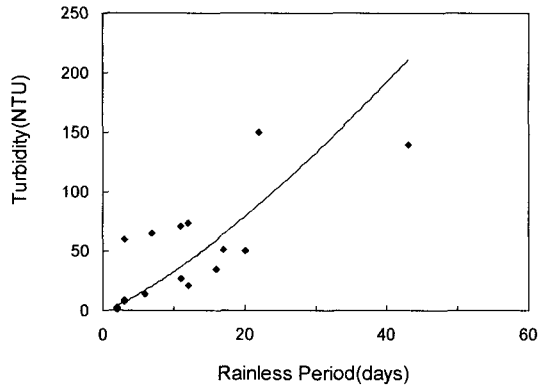


Fig. 3(a). Relationship of turbidity and Rainless period.

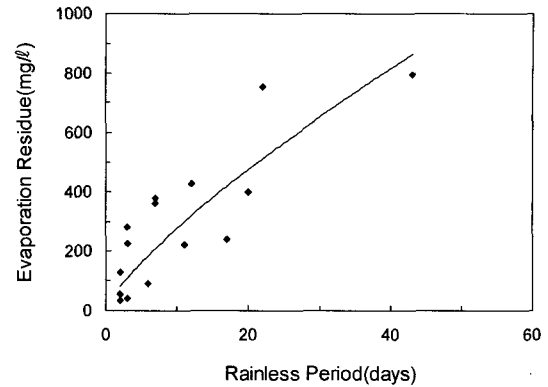


Fig. 3(b). Relationship of evaporation residue and Rainless period.

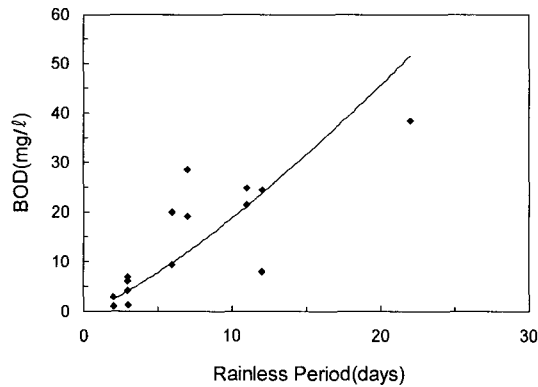


Fig. 3(c). Relationship of BOD and Rainless period.

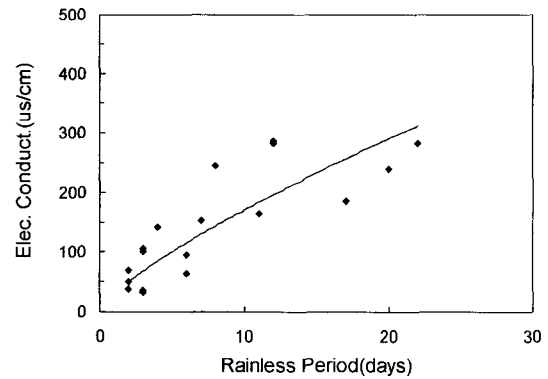


Fig. 3(d). Relationship of Electric conductivity and Rainless period.

서는 집수구역의 풍향, 풍속 및 바람 길 등과 같은 대기환경자료를 이용한 해석이 필요할 것으로 판단 된다.

3.3 황사가 우수수질에 미치는 영향검토

최근 봄철에 빈번히 발생하는 황사가 우수수질에 미치는 영향을 검토하기 위하여 황사발생시기에 발생한 강우사상에 대한 우수수질의 결과를 검토하여 보았다. 2002년 4월 환경부에서 발표한 황사발생시의 전국 각지의 황사 중 중금속 등의 농도는 Table 5와 같으며, 2002년 3월 및 4월에 발생한 황사시의 중금속 농도는 토양에 많이 포함된 Fe, Ni, Mn 등

은 높게 측정되었으나, 인체에 유해한 Pb, Cd 등 유해 중금속의 오염도는 예년과 큰 차이가 없었다.

Table 6은 황사발생시기인 2002년 4월 대구 인근 지역인 경산지역에서 발생한 4회의 강우사상에서 분석된 수질분석결과이다. Table 6을 살펴본 결과, 황사발생시기의 우수수질 중의 중금속 농도는 다른 시기와 비교해서 큰 차이가 없었지만, 탁도는 155-416 mg/l, 증발잔류물 388-784 mg/l, BOD, 19.6-56 mg/l, 전기전도도 94.0-244.0 $\mu\text{s}/\text{m}$ 로 다른 시기의 농도보다도 훨씬 높게 나타나 황사가 우수수질에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 5. Heavy metal concentration in the Asian Dust

(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Region		item	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni
Seoul	'02. 4 event (4.8~12)		0.1213	0.0035	0.0235	0.2356	0.1725	6.0025	0.1077
	'02.3event (3.18~22)		0.0519	0.0036	0.0456	0.1376	0.4493	10.1260	0.0361
	'01 event		0.0852	0.0019	0.0132	0.2207	0.1500	4.9092	0.0209
	'01 mean		0.0915	0.0029	0.0175	0.1912	0.0739	2.6554	0.0188
Pusan	'02. 4 event (4.8~12)		0.0618	0.0051	0.0193	0.2787	0.2675	9.9821	0.0213
	'02.3 event (3.18~22)		0.0558	0.0014	0.0229	0.2619	0.3378	12.9300	0.0254
	'01 event		0.0845	0.0023	0.0083	0.1985	0.1205	2.6833	0.0091
	'01 mean		0.0698	0.0025	0.0116	0.2078	0.0648	1.4150	0.0105
Taegu	'02. 4 event (4.8~12)		0.0396	0.0026	0.0381	0.9437	0.4178	11.2092	0.0069
	'02.3 event (3.18~22)		0.0636	0.0028	0.0413	1.3191	0.4906	14.1989	0.0237
	'01 event		0.0258	0.0008	0.0031	0.1181	0.0754	2.1158	0.0044
	'01 mean		0.0515	0.0022	0.0080	0.2692	0.0429	1.3577	0.0132
Kwangju	'02. 4 event (4.8~12)		0.0477	0.0013	0.0054	0.2191	0.4434	0.4718	0.0089
	'02.3 event (3.18~22)		0.0841	0.0020	0.0072	0.2784	0.3792	9.0707	0.0115
	'01 event		0.0595	0.0022	0.0035	0.1464	0.1149	1.8251	0.0062
	'01 mean		0.0347	0.0014	0.0064	0.1902	0.0453	0.9833	0.0069
Taejeon	'02. 4 event (4.8~12)		0.0423	0.0013	0.0060	0.2510	0.4238	3.1235	0.0041
	'02.3 event (3.18~22)		0.0438	0.0017	0.0017	0.1977	0.2530	1.1337	0.0032
	'01 event		0.0933	0.0019	0.0048	0.2447	0.1150	0.8281	0.0078
	'01 mean		0.0595	0.0010	0.0034	0.0590	0.0268	0.5270	0.0067
Ulsan	'02. 4 event (4.8~12)		0.0816	0.0035	0.0180	0.3339	0.4213	12.2375	0.0218
	'02.3 event (3.18~22)		0.0496	0.0016	0.0248	0.2072	0.3270	8.5976	0.0252
	'01 event		0.0861	0.0113	0.0113	0.3817	0.1219	2.0691	0.0173
	'01 mean		0.0565	0.0119	0.0108	0.2017	0.0488	0.9321	0.0101
InCheon	'02. 4 event (4.8~12)		0.0980	0.0097	0.0290	0.1390	0.4878	12.5975	0.0299
	'02.3 event (3.18~22)		0.0992	0.0045	0.0224	0.1572	0.5383	12.4099	0.0317
	'01 event		0.1441	0.0070	0.0144	0.2186	0.2101	5.6904	0.0173
	'01 mean		0.1290	0.0062	0.0107	0.2184	0.0981	2.4918	0.0143

※ 2002년 4월 환경부 보도자료

※ 주1. 납(Pb)의 대기 중 국가환경기준은 $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{년}$

Table 6. Rainwater water quality during the Asian dust event(2002. 4)

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Item	Date	'02. 4. 6	'02. 4. 16	'02. 4. 23	'02. 4. 30
Turbidity		155	211	220	416
Evaporation Residue		540	784	388	484
BOD		19.9	40.0	36.8	56.0
Electric Conductivity		95.5	244.0	94.0	142.0
Pb		ND	ND	ND	ND
Cd		ND	ND	ND	ND
Cr ⁶⁺		ND	ND	ND	ND
Cu		ND	0.15	0.006	0.020
Mn		0.064	0.084	0.108	0.101
Fe		0.282	0.01	ND	0.031
Zn		0.027	0.012	0.060	0.096

4. 결 론

1. 강우가 지속됨으로 인해 수질이 개선되는 경향을 파악하기 위하여 지속되는 강우량과 우수수질의 상관관계를 분석한 결과, 우수수질은 강우가 지속됨에 따라 급격히 개선되었으며, 염소이온 농도의 경우를 제외하고는 모두 상관계수가 0.88~0.99로 높은 상관관계를 나타내었다.

2. 무강우일수와 초기우수 수질의 항목 중 탁도, 증발잔류량, BOD 및 전기전도도와 상관관계를 조사한 결과, 상관관계가 0.62~0.72 정도로서 비교적 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 이는 우수수질이 강우발생전의 대기상태와 아주 밀접한 관계가 있음을 나타내고 있다.

3. 황사가 우수수질에 미치는 영향을 검토한 결과, 황사발생시기의 중금속의 농도는 다른 시기의 농도와 크게 다른 점이 발견되지 않았으나, 탁도, 증발잔류물, BOD, 전기전도도 등은 다른 시기의 농도보다도 높게 나타나 황사가 우수수질에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림기술관리센터가 지원하는 “2002년도 농림기술개발사업”의 연구비 지원(20010148)으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1) 전인배, 송시훈, 지흥기, 이순탁, 2001, 우수이용 시스템의 설계와 운영, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), 315~320.

2) 한무영, 2000, 대체수자원으로서의 빗물활용방안, 대한상하수도학회지, 207-210.
 3) 이경립, 박진호, 한무영, 이성기, 2001, 우수이용 보급방안에 관한 연구, 대한 상하수도학회 춘계 학술발표회, 223~226.
 4) 농림부, 2003, 농어촌지역 우수의 생활용수 이용 시스템개발, 289.
 5) 박준형, 최상일, 한무영, 2002, 포장면 유출 빗물 수질의 시간적 변화특성, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, 101-104.
 6) 이원종 김복영, 우기대, 1994, 수원지역 강우의 성분조성과 작물에 미치는 영향, 한국환경농학회지, 13(1), 31-38.
 7) 이복영 외 5인, 2000, 옥상물탱크 경유에 따른 수돗물 수질변화 및 직결급수방식도입에 따른 수질개선효과, 대한상하수도학회지 14(4), 328-336.
 8) 이창수, 지흥기, 2003, 효율적 우수이용을 위한 초기우수의 수질변화, 한국환경과학회지, 12(3), 275-279.
 9) 최한영, 박석기, 채용곤, 2000, 먹는 물 시험방법, 신평문화사.
 10) Thomas P. R., Greene G. R., 1993, Rainwater quality from different roof catchment, Wat. Sci. Tech. 28(3-5), 291-299.
 11) Yaziz M. I., Gunting H., Sapari N., Ghazalli A. W., 1989, Variation in rainwater quality from roof catchments, Wat. Res. 23(6), 761-765.