

우수이용 효율화를 위한 수질변화와 강우특성 검토

The Investigation of Rainwater Quality Variation and Rainfall Characteristic for the Effective Usage

이창수*

Lee, Chang Soo

Abstract

A water quality analysis of rainwater collected from catchment equipment (2 m×1 m) was conducted to determine its suitability for domestic purposes, in this study. As the results of analysis, the pH of rainwater was 6.3 ± 0.3 , and the turbidity of rainwater was over the 5 times than drinking water guidelines. For the usage of rainwater as the domestic and drinking water, the rainwater is need to treat. The analysis values of heavy metal as the Pb, Cd, Fe, Mn, Cr_6^+ and Cu was satisfied with drinking guidelines. Rainwater quality was improved in the rainfall duration. Overall results of analysis support the possibility of rainwater as the domestic and drinking water.

Keywords : rainwater quality, drinking water, domestic water, initial rainfall

요 지

우수의 생활용수로의 이용가능성을 검토하기 위하여 가로 2 m 세로 1 m 크기의 실험장치를 이용하여 우수수질 분석을 실시하였다. 그 결과, 우수수질의 pH는 6.3 ± 0.3 로 비교적 양호한 상태를 나타내었으나, 초기강우 5 mm 일 때의 탁도가 5 NTU로 음용수 기준을 훨씬 상회하는 것으로 분석되어 우수를 생활용수로 이용하기 위해서는 적절한 처리가 필요한 것으로 판단된다. 우수 중 중금속 성분은 음용수 기준이하로 거의 검출되지 않았다. 또한 우수수질과 강우특성과의 관계는 강우시간이 지속될수록 개선되며, 우수수질은 강우발생전의 대기상태와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

핵심용어 : 우수수질, 음용수, 생활용수, 초기강우

1. 서 론

물은 우리가 생명을 유지하고 삶을 영위하기 위한 필수 자원인 동시에 여가를 즐기고 문화를 향유할 수 있는 매개체가 되기도 한다. 또한 삶의 질에 대한 중요성이 부각되면서 물에 대한 관심과 물 문화에 대한 욕구가 증대되고, 여러 친수공간의 필요성과 가치가 증대되고 있어, 전세계 수자원의 보존 및 개발, 물의 소중함에 대한 인식이 더욱 절실한 실정이다. 우리나라의 수자원 현황을 살펴보면, 연평균강수량이 1,283 mm로 세계 평균의 약 1.3 배이지만, 높은 인구밀도로 인해 1인당 연평균 강수량은 2,705 로 세계 평균의 약 12%에 불과하다(건설교통부, 2001). 또한 우리나라 강우현상 특징은 계절별, 연도별, 지역별 강수량의 편차가 심한 동시에, 국토의 65%가 산악지형이고 하천경사가 급한 지리적 특성으로 홍수가 일시에 유출되며, 갈수기에는 유출량이 적어 하천수질 오염을 가중시키는 등 수자원 이용면에서 불리한 자연조건을 안고 있다. 더욱이 연례행사처럼 홍수와 가뭄이 반복되고 있어 재해에 대한 안전망 확보를 위한 근

본적인 치수대책마련과 함께, 국민생활수준 향상에 따라 다변화된 용수수요에 걸맞는 합리적인 수자원 이용방안이 요구된다(건설교통부 2001).

국제인구행동연구소(PAI)는 1990년, 1995년 2000년, 2002년의 인구와 연간 재생 가능한 수자원량을 기준으로 2025년의 1인당 재생 가능한 수자원량을 예측하였는데, 그 결과, 2002년의 우리나라 인구가 46,740천명 일 때, 연간 1인당 이용할 수 있는 재생 가능 수자원의 양(연평균 자연하천유출량/인구)을 1,493으로 예측하고, 2025년의 인구를 52,065천명으로 2002년 대비 11%증가한다는 가정하에서는 그 양이 1,340으로 줄어 들 것으로 전망하였다(이경림 등, 2001).

이와 같은 용수부족 현상을 극복하기 위해서는 고도 경제성장기의 수자원 정책과 같은 대규모의 수자원 개발이 대안이 될 수 있으나, 이러한 개발은 자연계의 물순환 체계를 급격히 변화시켜 하천생태계를 비롯한 자연생태계의 균형을 붕괴시키는 결과를 초래하는 등의 역기능적인 면이 있어 사업을 추진하기에는 상당한 어려움이 있다. 그러므로 대규모의 댐 건설 등을 통한 신규수자원 개발보다는 우수이용 등

*정회원 · 교신저자 · 위덕대학교 건축학부 조교수 (E-mail : cslee@uu.ac.kr)

의 대체수자원을 개발하여 수자원 이용효율을 높이는 방안이 적극적으로 강구되고 있다. 우수이용에 대한 국내연구로는 우수이용방안에 대한 연구(전인배 등, 2001, 최한영 등, 2000) 및 우수이용보급방안에 관한 연구(한무영, 2000) 등이 있으나, 보다 활발한 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 우수를 대체수자원으로 이용할 경우 그 우수수질에 따른 사용용도를 결정하기 위한 기초자료를 축적하기 위하여 우수수질을 분석하여 그 특성을 살펴보았으며, 선행강우량, 강우지속 시간 등의 강우특성이 우수수질에 미치는 영향 등에 대해 검토해 보았다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

초기우수의 수질을 분석하기 위하여 Fig. 1과 같은 우수 집수장치를 설치하였다. 집수면의 크기는 2(1 m×2 m)이고,

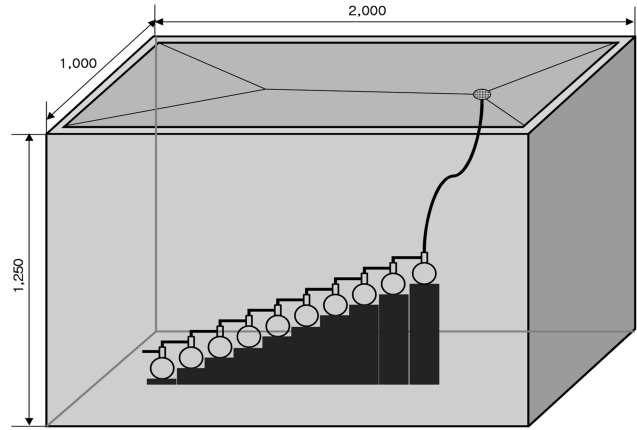


Fig. 1 Scheme of Sampling Apparatus

재질은 아크릴수지를 사용하였다. 최초 강우시부터 5 mm까지 강우량 0.5 mm 당 수질변화를 파악하기 위하여 용량 1 L의 폴리에틸렌 실린더를 10개 준비하여 집수가 순차적으로

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

Table 2. Analysis Methods

분석항목	분석장비	시험방법
Bacteria		혼합희석 평판배양에 의해 정량
Coliform		실험관발효법
pH	Orion 720A	pH meter로 측정
Turbidity	HACH RATO/XR Turbidimeter	Turbidimeter로 측정
NH ₃ -N	Uvikon 941	Indophenol법으로 640nm에서 UV-spectrophotometer로 비색정량
Evaporation Residue		증발접시에 증발건조하여 중량 측정
COD		과망간산칼륨법으로 분석
BOD		BOD ₅ 법으로 분석
Electric Conductivity	HACH Conductivity/TDS meter	전극법으로 전기전도도를 구함
Cd, Pb, Cu, Zn, Cr ⁺⁶ , Mn, Fe	BAIRD ICP2000	유도결합고주파플라즈마(Inductively coupled plasma, ICP)에 Leeman ps-100 초음파분무기를 사용하여 발광분석법으로 측정
SO ₄ ²⁻ , NO ₃ -N, Cl ⁻ , F ⁻	Dionex DX600 Ion chromatography	Ion chromatography법
TOC	Dohrmann DC-190	Total organic carbon analyzer로 분석
비고	먹는물수질공정시험방법(환경부, 2006) 환경오염공정시험방법(BOD, COD등)에 준하여 시험	

이루어지도록 하였으며, 5 mm를 초과한 강우량은 배제되도록 설계 하였다. 우수가 1L 실린더에 가득차면 다음 실린더로 흘러가도록 설계가 되었으며, 역 L형 커넥터와 직경 10 mm의 실리콘 튜브를 이용하여 흐름이 원만하게 이루어지도록 설치하였다. 또한 실린더 만수시에 다음 실린더로 강우가 원만하게 흘러가는지를 확인하기 위하여 착색수를 이용하여 확인하였다. 시료는 영남대학교 건설관 옥상에서 2001년 11월 29일부터 2003년 7월 6일까지 채취하였으며, 그 중 5 mm 이상의 강우사상 26회에 대해 수질분석을 실시하였다 (Table 1).

2.2 분석항목 및 방법

초기 우수수질을 파악하기 위한 수질분석항목은 pH 및 탁도, 증발잔류물, BOD₅, COD_{Mn}, SO₄⁻, NH₃-N, NO₃-N, Cl⁻, F⁻, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr⁶⁺, Mn, Fe, 전기전도도, TOC 등 총 19개 항목과 일부의 시료는 일반세균 및 대장균군에 대해서도 분석을 실시하였으며, 시료채취는 10개의 전 실린더가 만수가 된 이후 멸균시료병에 담아 냉장보관하며 분석을 실시하였다. 분석방법은 Table 2와 같다.

3. 수질분석결과 및 고찰

26개의 시료에 대해 각 항목별 분석결과의 평균 값, 최고치 및 최저치를 산정하고 그 특성을 고찰하여 보았다.

3.1 pH

초기우수 5 mm까지의 pH에 대해 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 세로축은 pH를 가로축은 초기우수 0.5 mm에서 5 mm까지의 시료를 나타낸다. 초기우수의 pH는 최초 0.5 mm부터 4.5~5.0 mm까지 우수의 pH는 6.3±0.3으로서 비교적 양호한 상태를 나타내었다. 최고치는 전시료에서 7.0을 상회하는 값을 나타내었으며, 최저치는 낮게는 4.5에서 6.0까지 분포하여 산성을 띠는 시료도 있었다. pH는 NO₃⁻ 및 SO₄²⁻ 등의 자동차 및 공장의 배기가스 정도에 따라 크게 달라질 수 있으나, 우수이용면에서 pH는 집수면의 재질의 선택에 따라 pH값이 향상되는 것으로 나타났다 (Thomas and Greene 1993, Yaziz *et al.*, 1989).

3.2 탁도

탁도는 물의 탁한 정도를 나타내는 것으로서 수질분석한 결과, Fig. 3과 같이 상당히 나쁜 것으로 나타났다. 특히 최초 0.5mm 까지의 평균은 175 NTU로서 나타나 음용수 수질기준 (1NTU)보다는 약 170 배정도 높은 것으로 나타났으며, 특히 최고치는 416 NTU로서 음용수 수질기준의 400배를 초과하는 것으로 분석되었다. 그러나 0.5~1.0 mm 사이의 시료의 탁도 평균은 57 NTU로서 거의 1/3 정도로 낮아졌으며, 그 이후의 시료도 계속 낮아져 2.5~3.0 mm의 시료에서는 약 20 NTU로 측정되었다. 또한 4.5~5.0 mm 시료에서는 탁도가 약 5 NTU정도로 분석되었다. 이 때의 최고치는 9 NTU이었으며, 최저치는 0.8 NTU로서 최저치만을 기준으로 할 경우에는 음용수 수질기준을 만족한 경우도 있으나 대부분의 시료가 탁도에서는 기준을 만족하는 경우는 거

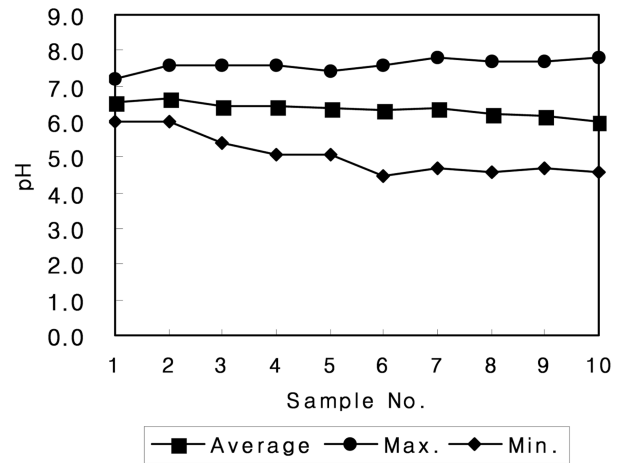


Fig. 2 pH Variation of Initial Rainwater

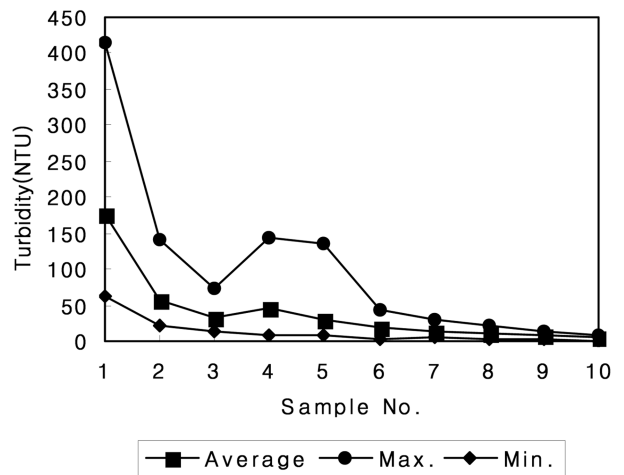


Fig. 3 Turbidity Variation of Initial Rainwater

의 없었다. 따라서 우수이용시 초기우수의 배제는 반드시 필요하며, 이에 대한 적극적인 대책이 필요한 것으로 판단된다.

3.3 증발잔류물

증발잔류물은 물을 증발하였을 때 남은 물질을 말하며, 투명한 물이 증발하였을 때는 잔류물은 용해성이고, 탁한 물의 경우에는 부유물질과 용해성 물질을 합한 것으로서, 초기우수를 수질 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 최초 0.5 mm까지의 최고치 결과는 784 mg/L로서 음용수 수질기준 500 mg/L를 상회하는 것을 제외하고는 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 평균치를 살펴보면, 최초 0.5 mm까지 482 mg/L로서 기준을 만족시키는 결과를 나타내었으며, 그 이후도 점차 감소하여 2.5~3.0 mm의 시료에서는 95.4 mg/L, 4.5~5.0 mm의 시료에서는 20.9 mg/L로서 양호한 결과를 나타내었다.

3.4 BOD

초기우수 5.0 mm까지의 BOD 변화는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 최초 0.5 mm까지의 BOD의 평균치는 29.01 mg/L로서 상당히 높은 값을 나타내고 있으며, 1.0 mm까지의 시료는 13.06 mg/L로 절반 정도 감소하였고, 그 이후 계속 감소하여 3.0 mm까지는 5.44 mg/L로 상수원수기준 3급수(6 mg/L)를 만족시키는 것으로 나타났으며, 5.0 mm까지의 시료에서는 3.0 mg/L 내외의 값을 나타내 상수원수기준

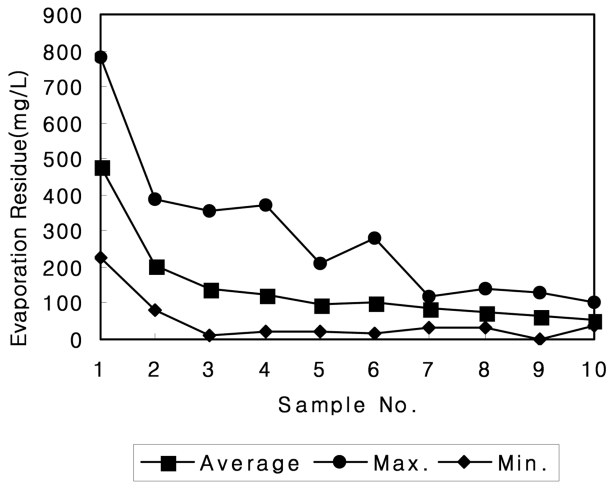


Fig. 4 Evaporation Residue Variation of Initial Rainwater

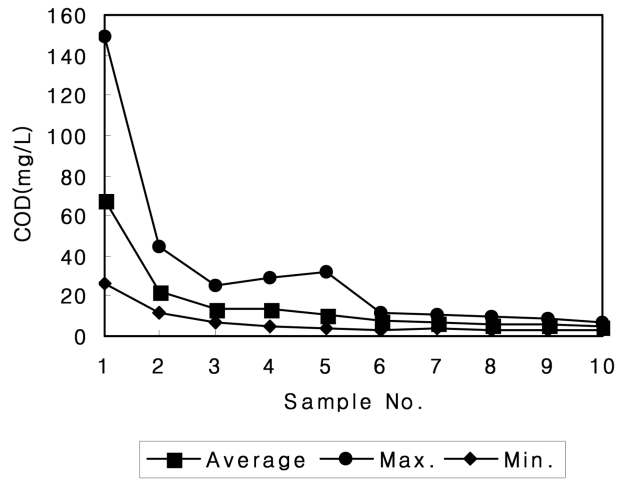


Fig. 6 COD Variation of Initial Rainwater

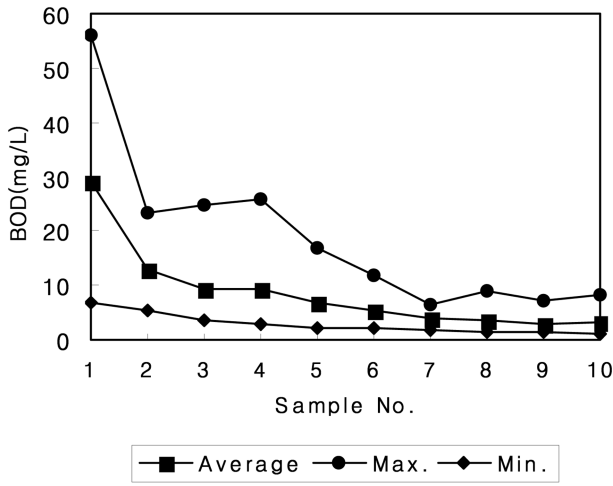


Fig. 5 BOD Variation of Initial Rainwater

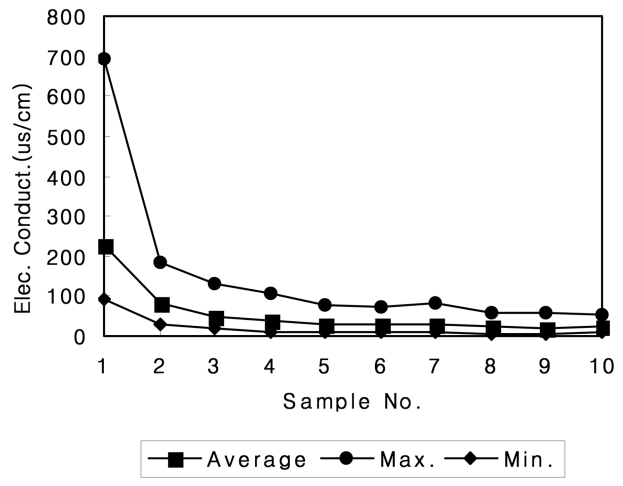


Fig. 7 Electric Conductivity Variation of Initial Rainwater

2급수(3 mg/L) 수준으로 향상되었다. 또한 최저치를 살펴보면 5.0 mm까지의 시료에서 1.0 mg/L 정도의 양호한 수질 상태를 나타내었다.

3.5 COD

초기우수 5 mm까지의 COD를 분석한 결과는 다음 Fig. 6과 같다. 평균치를 살펴보면, 최초 0.5 mm까지의 시료는 68.28 mg/L로서 상당히 높은 결과를 나타내고 있으나, 다음 시료부터는 그 1/3 수준인 22.36 mg/L로 감소하였으며, 마지막 시료인 4.5~5.0 mm까지의 시료는 4.83 mg/L로서 BOD와 마찬가지로 다소 안정적인 값을 나타내었다.

3.6 전기전도도

초기우수의 전기전도도를 측정한 결과는 Fig. 7과 같다. 분석결과의 평균치를 살펴보면 최초 0.5 mm까지의 전도도는 226 μ s/cm에서 다음 시료는 52 μ s/cm로 크게 개선되었으며, 마지막 시료(5 mm까지)에서는 24 μ s/cm로 약 1/10 정도의 값을 나타내었다. 전기전도도도 탁도, 증발잔류물 및 BOD 등과 같이 첫 번째 시료에서 다음시료로 전이과정에서 수질이 크게 개선되는 것을 알 수 있었다.

3.7 암모니아성 질소(NH₃-N)

건강상 유해영양 유기물질인 암모니아성 질소의 수질분석

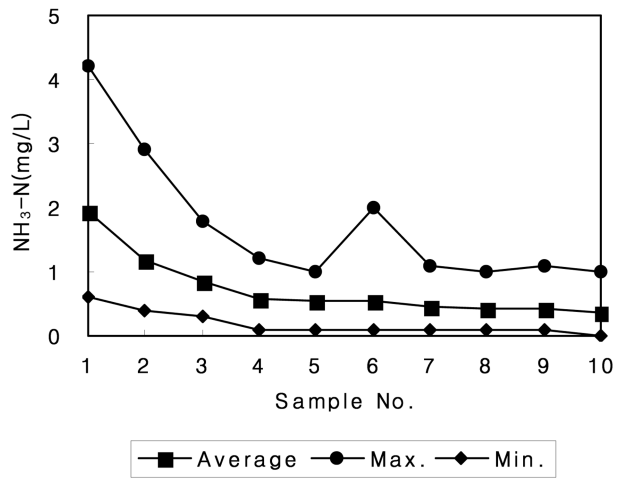


Fig. 8. NH₃-N Variation of Initial Rainwater

결과는 Fig. 8과 같다. 평균치를 살펴보면 최초 시료(0.5 mm까지)가 1.93 mg/L로서 음용수 수질기준인 0.5 mg/L를 초과하고 있으며, 그 이후 점차 감소하여 3.5~4.0 mm까지의 평균치가 수질기준 이하인 0.44 mg/L를 나타내었으며, 마지막 시료(5.0 mm)는 0.38 mg/L를 나타내었다.

3.8 그 외 물질

건강상 유해물질인 질산성 질소(NO₃-N), 심미적 영향 물질인 Cu, Zn, Cl⁻, Fe, SO₄²⁻ 등 건강상 유해영양 무기물질

인 Pb, F, Cd, Cr⁶⁺는 모두 음용수 수질기준을 최초 시료 (0.5 mm까지)부터 만족시켰으며, 최대치 또한 최초시료부터 기준을 만족시켜 이에 대한 대책은 필요치 않을 것으로 판단된다. 또한 미생물에 관한 기준인 일반세균 및 대장균군은 시료에 따라 양성반응을 나타내는 것으로 보아 우수를 음용수로 직접 이용시에는 적극적인 대책이 필요할 것으로 판단된다.

4. 수문학적 요인이 우수수질에 미치는 영향검토

우수수질에 미치는 영향요소로는 강우 발생 전의 무강우 일수 등의 수문학적 요인, 주변지역의 풍향 및 풍속 등의 기상요인, 집수면 주변지역의 대기오염 상태 등을 들 수 있으나, 본 연구에서는 수문학적 요인인 무강우 일수, 강우지속시간 등이 수질에 미치는 영향을 검토해 보았다.

4.1 계절별 호우규모별 분포

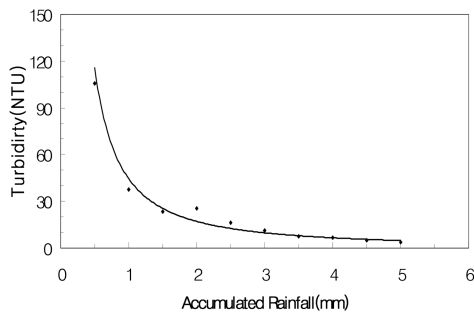
발생한 호우의 계절별 분포는 봄철이 12회, 여름이 7회, 가을이 2회, 겨울철이 5회였다. 발생강우량 규모는 5~10 mm인 호우가 5회, 10~20 mm인 호우가 9회, 20~30 mm인 호우가 5회, 30~50 mm 2회, 50~100 mm이상인 호우가 3회, 100 mm이상인 호우가 2회로 분석되었다.

4.2 강우지속에 따른 수질변화 검토

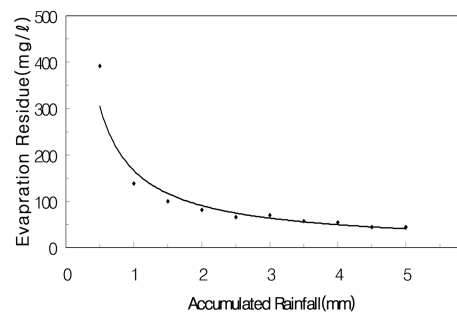
강우가 지속됨으로 인해 수질이 개선되는 경향을 파악하기 위하여 지속되는 강우량과 우수수질의 상관관계를 분석한 결과 Table 3, Fig. 9와 같은 결과를 얻을 수 있었다. Table 3과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 관측지점의 우수수질은 강우가 지속됨에 따라 급격히 개선되었으며, 상관관계도 높게 분석되었다. 분석에 사용된 자료는 수질항목으로서 탁도, 증발잔류물, BOD, 전기전도도, SO₄²⁻, Cl⁻이며, 분석에 사용된

Table 3. Relationship of Rainfall Water Quality and Accumulated Rainfall

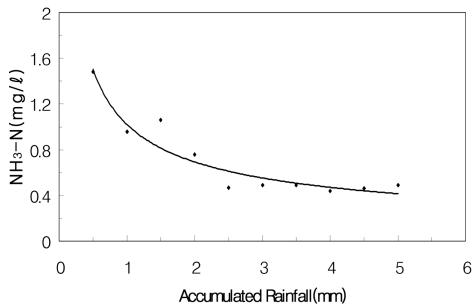
	turbidity	evaporation residue	BOD	electric conductivity	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
equation	$y=44.52x^{-1.38}$	$y=166.16x^{-0.88}$	$y=9.40x^{-0.91}$	$y=70.53x^{-0.91}$	$y=7.25x^{-0.99}$	$y=2.69x^{-0.65}$
r ²	0.96	0.96	0.99	0.90	0.91	0.67



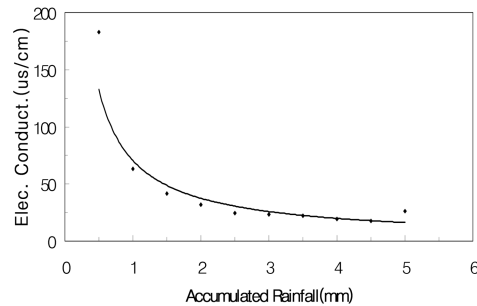
(a) Turbidity Change



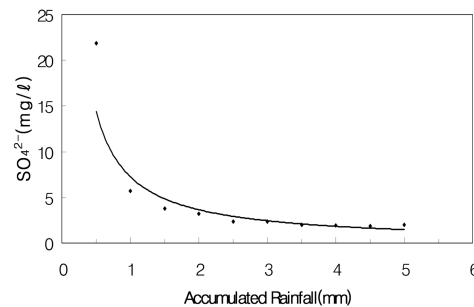
(b) Evaporation Residue change



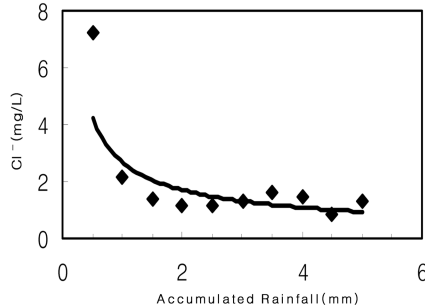
(c) NH₃-N Change



(d) Electric Cconductivity Change



(e) SO₄²⁻ Change



(f) Cl⁻ Change

Fig. 9 Accumulated Rainfall

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

값은 발생한 전체 강우사상의 각 단계별 수질평균 값을 이용하였다. 분석결과, 염소이온을 제외하고는 모두 상관관계수가 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.

4.3 무강우일수에 따른 수질변화 검토

대기 중의 상태에 크게 영향을 미치는 수문학적 요인으로는 무강우일수를 들 수 있다. 무강우일수와 초기우수 수질의 항목 중 탁도, 증발잔류량, BOD 및 전기전도도와의 상관관계를 조사하였다. 이 때, 조사에 이용된 각 수질항목의 값은 제일 첫째 값(강우량 0.5 mm까지)을 이용하였으며 상관관계는 Table 4, Fig. 10과 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 위해서는 집수구역의 풍향, 풍속 및 바람 길 등과 같은 대기환경자료를 이용한 해석이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

우수를 대체수자원으로 이용할 경우 그 우수수질에 따른 사용용도 결정을 검토하기 위한 기초자료를 축적하기 위하

여 우수수질 분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수소이온농도인 pH는 최초 0.5 mm까지의 시료부터 4.5~5.0 mm까지 시료는 6.3±0.3으로서 비교적 양호한 상태를 나타내었으며, 최고치는 전 시료에서 7.0을 상회하는 값을 나타내어 비교적 양호한 상태의 수질을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.
2. 탁도는 최초 0.5 mm 까지의 평균이 175 NTU로 나타나 음용수 수질기준 (1NTU)보다는 약 170 배정도 높은 것으로 나타났으며, 그 이후 0.5~1.0 mm 사이의 시료는 57 NTU로서 거의 1/3 정도로 낮아져 크게 개선됨을 알 수 있었다. 그리고 4.5~5.0 mm 시료에서는 탁도가 약 5 NTU정도로 분석되어 여전히 음용수 수질기준을 크게 상회하는 것으로 나타나 우수이용시 초기우수의 배제는 반드시 필요하며, 이에 대한 적극적인 대책의 강구가 요구된다.
3. 상수원수의 판단기준인 BOD는 최초 0.5 mm까지의 BOD의 평균치가 29.01 mg/L로서 상당히 높은 값을 나타내고 있으나 그 이후 1.0 mm까지의 시료는 크게 개선되어 13.06 mm로 감소하였고, 그 이후 계속 감소하여 5.0 mm까지의 시료에서는 3.0 mg/L 내외의 값을 나타내 상수원수기준 2급수(3 mg/L) 수준으로 향상되었다.
4. 그 외 건강상 유해물질인 질산성 질소(NO₃-N), 심미적 영향 물질인 Cu, Zn, Cl⁻, Fe, SO₄⁻² 등건강상 유해영향 무기물질인 Pb, F⁻, Cd, Cr⁶⁺는 모두 음용수 수질기준을 최초 시료(0.5 mm까지)부터 만족시켜 이에 대한 대책은 필요치 않을 것으로 판단된다. 또한 미생물에 관한 기준인 일반세균 및 대장균군은 시료에 따라 양성반응을 나타내는 것으로 보아 우수를 음용수로 직접 이용시에는 이에 대한 적극적인 대책이 필요한 것으로 판단된다.
5. 강우가 지속됨으로 인해 수질이 개선되는 경향을 파악하기 위하여 지속되는 강우량과 우수수질의 상관관계를 분석한 결과, 우수수질은 강우가 지속됨에 따라 급격히 개선

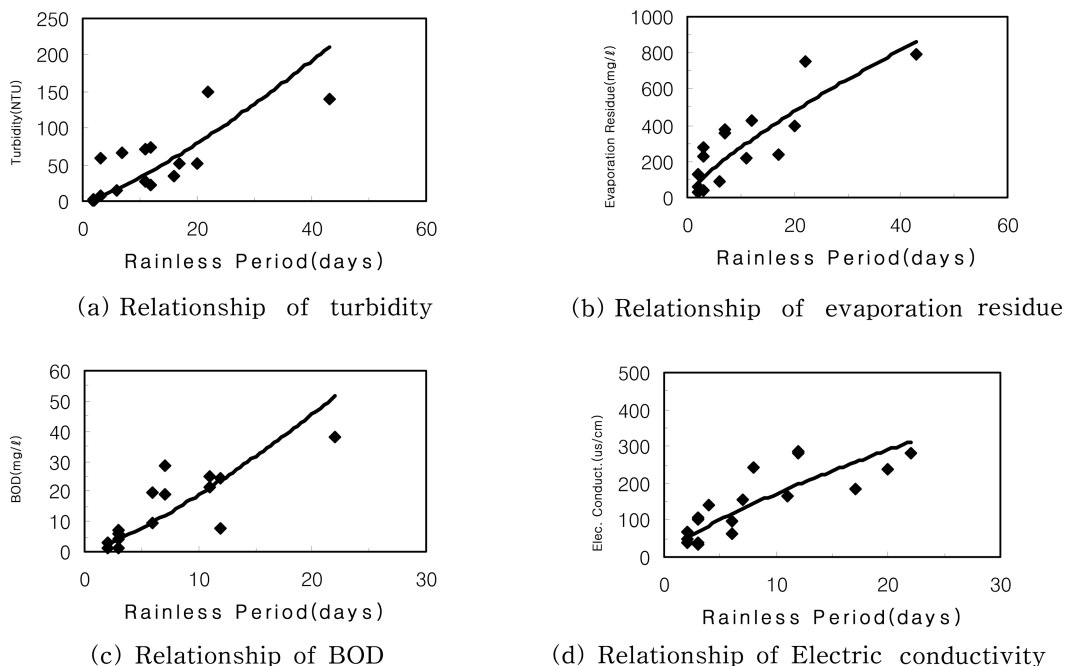


Fig. 10 Rainless period

되었으며, 염소이온 농도의 경우를 제외하고는 모두 상관 계수가 0.88~0.99로 높은 상관관계를 나타내었다.

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

감사의 글

본 연구는 농림기술관리센터가 지원하는 “2001년도 농림 기술개발사업”의 연구비 지원(101039-2)으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다. 또한 수질분석에 협조하여 주신 대구광역시 상수도 사업본부 수질검사소 관계자 여러분께도 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

건설교통부(2001) 수자원 장기종합계획

건설교통부(2001) 댐건설장기 계획

이경림, 박진호, 한무영, 이성기(2001) 우수이용 보급방안에 관한 연구, **대한 상하수 도학회 춘계학술발표회**, 대한상하수도학회, pp. 223-226.

전인배, 송시훈, 지홍기, 이순탁(2001) 우수이용 시스템의 설계와 운영, **한국수자원학회 학술발표회 논문집(1)**, 한국수자원학회, pp. 315-320.

최한영, 박석기, 채용곤(2000) 먹는 물 시험방법, 신광문화사.

한무영(2000) 대체수자원으로서의 빗물활용방안, **상하수도학회지**, 대한상하수도학회, pp. 207-210.

환경부(2006) **생명을 위한 물**

Thomas P.R. and Greene G.R. (1993) Rainwater quality from different roof catchment, *Wat. Sci. Tech.* Vol. 28(3-5), pp. 291-299.

Yaziz, M.I., Guntung, H, Sapari N., and Ghazalli A.W. (1989) Variation in rainwater quality from roof catchments, *Wat. Res.* Vol. 23, No. 6, pp. 761-765.

(접수일: 2008.2.25/심사일: 2008.3.13/심사완료일: 2008.3.13)