

## 효율적 우수이용을 위한 초기우수의 수질변화

이 창수·지홍기<sup>\*</sup>  
위덕대학교 BT학부, 영남대학교 토목·도시·환경공학부  
(2002년 10월 24일 접수; 2003년 3월 14일 채택)

## Rainwater Quality Variations for the Effective Usage

Chang-Soo Lee and Hong-Kee Jee<sup>\*</sup>

Division of B.T., Uiduk University, Gyongju 780-713, Korea

School of Civil, Urban & Environmental Eng., Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea

(Manuscript received 24 October, 2002; accepted 14 March, 2003)

A water quality analysis of rainwater collected from catchment equipment( $2m \times 1m$ ) was conducted to determine its suitability for domestic purposes, in this study. As the results of analysis, the pH of rainwater was  $6.3 \pm 0.3$ , 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 value of BOD was about 3 mg/L and the values of heavy metal as the Pb, Cd, Fe, Mn, Cr<sub>6+</sub> and Cu was satisfied with drinking guidelines. Overall results of analysis support the possibility of rainwater as the domestic and drinking water.

Key words : Substitute water resource, Rainwater harvesting, Rainwater quality, Drinking water, Domestic water

### 1. 서 론

우리나라는 연평균강수량이 1,283 mm로 세계 연평균강수량 973 mm 보다 약 1.3 배나 많지만 1인당 연평균 강수량은 세계평균  $26,800 m^3$ 의 약 11% 수준인  $2,705 m^3$ 에 불과하다. 따라서 용수공급능력이 현 수준에 그칠 경우 2006년에는 용수수요가 용수공급량을 초과하기 시작하여 2011년에는 약 18억  $m^3$ 의 용수부족이 예상되어 심각한 물 부족 난을 겪게 될 위기에 직면해 있어 국가적인 대책이 시급한 실정이다<sup>1)</sup>. 또한 우리나라의 강우발생 양상을 살펴보면 강우의 계절적 집중현상이 심해 전체 강수량의 약 65% 가 6~9월 사이에 편중되어 수자원 이용 효율성이 낮다는 특성이 있으며, 이러한 강우양상으로 인해 장래 용수부족이 더욱 심화될 것으로 우려하고 있다. 국내 수자원 이용 현황을 살펴보면 수자원 총량 1,276억  $m^3$  중 43%에 해당하는 양인 545억  $m^3$ 이 증발산을 통해 대기 중으로 환원되고, 수자원 총량의 약 39%인 493억  $m^3$ 이 홍수시 유출로

써 그대로 바다로 유실되어 약 26%인 331억  $m^3$ 만이 각종 목적의 용수로 사용되고 있을 뿐이다.

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 등의 대체수자원을 개발하여 수자원 이용효율을 높이는 방안이 적극적으로 강구되고 있다. 우수이용에 대한 국내연구로는 우수이용방안에 대한 연구<sup>2,3)</sup> 및 우수이용보급방안에 관한 연구<sup>4)</sup> 등이 있었다. 이에 본 연구에서는 우수를 대체수자원으로 이용할 경우 그 우수수질에 따른 사용용도 결정을 검토하기 위한 기초자료를 축적하기 위하여 우수수질분석을 실시하였다.

### 2. 재료 및 실험

#### 2.1. 실험장치

초기우수의 수질을 분석하기 위하여 Fig. 1과 같

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

## 이 창 수 · 지 흥 기

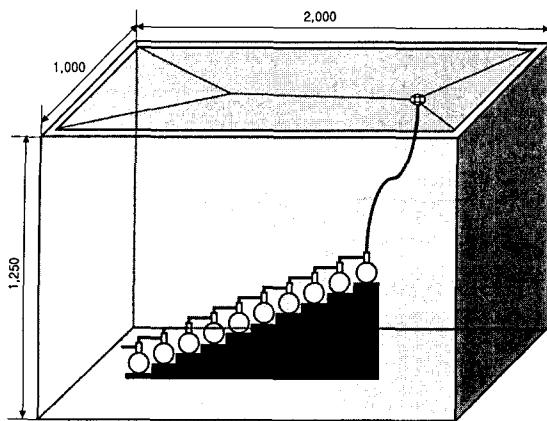


Fig. 1. Scheme of Sampling Apparatus.

Table 1. Day and Amount of Rainfall

No.	Season of Rainfall Event	Day of Rainfall Event	Amount of Rainfall Event(mm)
1	Fall	01.11.29	6
2	Spring	02.03.14	16
3	Spring	02.03.21	9.5
4	Spring	02.03.29	17
5	Spring	02.04.06	6
6	Spring	02.04.16	24
7	Spring	02.04.23	21
8	Spring	02.04.30	38
9	Spring	02.05.03	14
10	Summer	02.06.23	18

Table 2. Analysis Methods

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

은 우수 집수장치를 설치하였다. 집수면의 크기는 2 m'(1m × 2m)이고, 재질은 아크릴수지를 사용하였다. 최초 강우시부터 5 mm까지 강우량 0.5 mm 당 수질 변화를 파악하기 위하여 용량 1L의 폴리에칠렌 실린더를 10개 준비하여 집수가 순차적으로 이루어지도록 하였으며, 5 mm를 초과한 강우량은 배제되도록 설계하였다. 우수가 1L 실린더에 가득 차면 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. 시료채취기간은 2001년 11월 29일부터 2002년 6 월 23일까지 발생한 5mm 이상 호우사상 10회였으며, 발생 계절별 및 발생 강우량 규모는 Table 1과

같다. Table 1에 의하면 가을 및 여름에 발생한 호우 1회씩(2001년 11월 29일, 2002년 6월 23일)을 제외하고는 모두 봄에 발생한 호우였으며, 발생강우량 규모는 5~10 mm인 호우가 3회, 10~20 mm인 호우가 4회, 20~30 mm인 호우가 2회, 30 mm 이상인 호우가 1회로 분석되었다.

### 2.2. 분석 항목 및 방법

초기 우수수질을 파악하기 위한 수질분석 항목은 pH 및 탁도, 증발잔류물, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr<sup>6+</sup>, Mn, Fe, 전기전도도, TOC 등 총 19개 항목과 일부의 시료는 일반세균 및 대장균에 대해서도 분석을 실시하였으며, 시료채취는 10개의 전 실린더가 만수가 된 이후 멀균시료병에 담아 냉장보관하며 분석을 실시하였다. 분석방법은 Table 2와 같다.

## 효율적 우수이용을 위한 초기우수의 수질변화

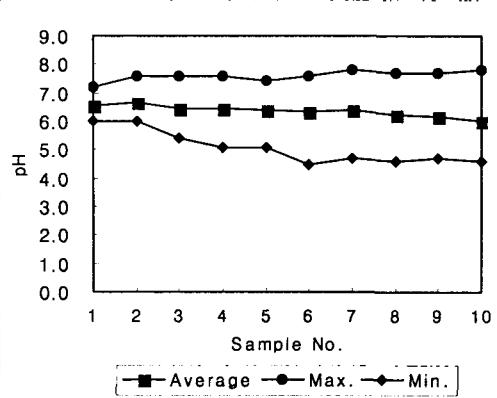


Fig. 2. pH Variation of Initial Rainwater.

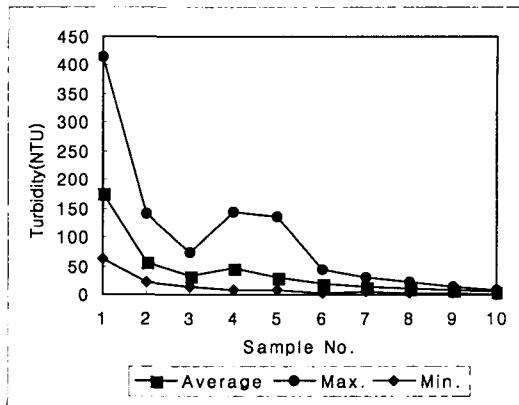


Fig. 3. Turbidity Variation of Initial Rainwater.

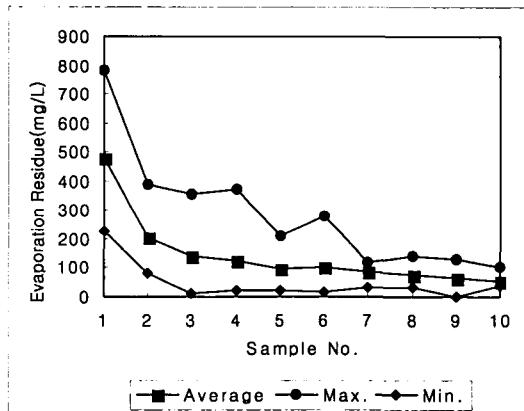


Fig. 4. Evaporation Residue Variation of Initial Rainwater.

### 3. 결과 및 고찰

각 분석항목에 대한 10회 분석결과에 대하여 평균값, 최고치 및 최저치를 구하여 각각의 분석항목에 대하여 고찰하여 보았다.

#### 3.1. pH

초기우수 5mm 까지의 pH에 대해 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 초기우수의 pH는 최초 0.5mm부터 4.5~5.0mm까지 우수의 pH는  $6.3 \pm 0.3$ 으로서 비교적 양호한 상태를 나타내었다. 최고치는 전시료에서 7.0을 상회하는 값을 나타내었으며, 최저치는 낮게는 4.5에서 6.0까지 분포하여 산성을 띠는 시료도 있었다. pH는  $\text{NO}_3^-$  및  $\text{SO}_4^{2-}$  등의 자동차 및 공장의 배기가스 정도에 따라 크게 달라질 수 있으나, 우수이용면에서 pH는 집수면의 재질의 선택에 따라 pH값이 향상되는 것으로 나타났다<sup>[6,7]</sup>.

#### 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 NTU 정도로 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 거의 없었다. 따라서 우수이용시 초기우수의 배제는 반드시 필요하며, 이에 대한 적극적인 대책이 필요한 것으로 판단된다.

#### 3.3. 증발잔류물

증발잔류물은 물을 증발건조하였을 때 남는 물질을 말하며, 투명한 물이 증발하였을 때는 잔류물은 용해성이고, 탁한 물의 경우에는 부유물질과 용해성 물질을 합한 것으로서, 초기우수를 수질 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 최초 0.5mm까지의 최고치 결과는 784 mg/L로서 음용수 수질기준 500 mg/L를 상회하는 것을 제외하고는 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 평균치를 살펴보면, 최초 0.5 mm 까지 482 mg/L로서 기준을 만족시키는 결과를 나타내었으며, 그 이후도 점차 감소하여 2.5~3.0 mm의 시료에서는 95.4 mg/L, 4.5~5 mm의 시료에서는 20.9 mg/L로서 양호한 결과를 나타내었다.

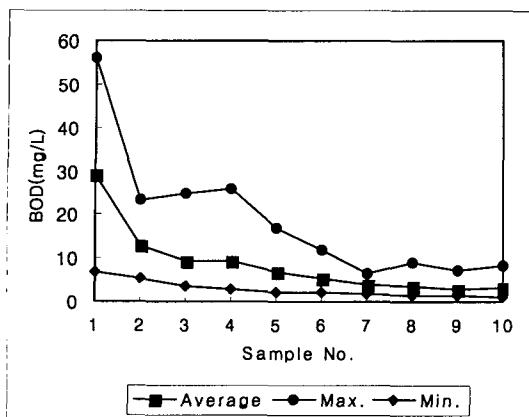


Fig. 5. BOD Variation of Initial Rainwater.

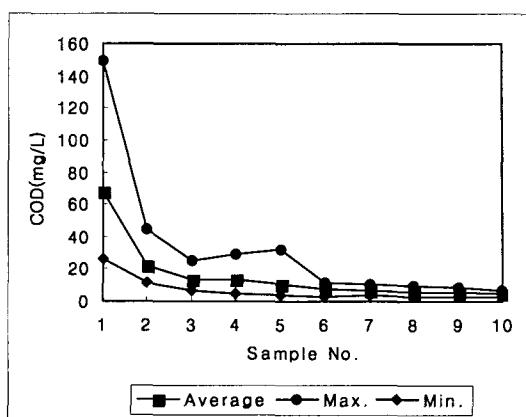


Fig. 6. COD Variation of Initial Rainwater.

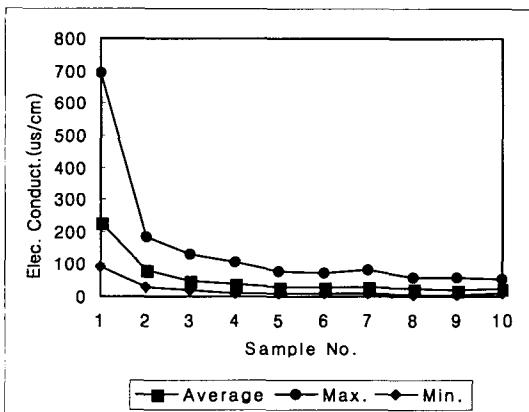


Fig. 7. Electric Conductivity Variation of Initial Rainwater.

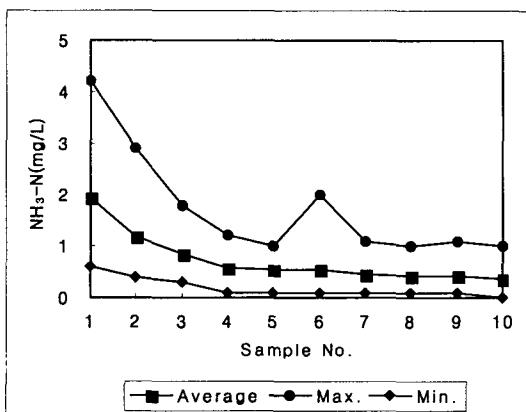


Fig. 8. NH<sub>3</sub>-N Variation of Initial Rainwater.

### 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 2급수(3 mg/L) 수준으로 향상되었다. 또한 최저치를 살펴보면 5.0 mm 까지의 시료에서 1.0 mg/L 정도의 양호한 수질상태를 나타내었다.

### 3.5. COD

초기우수 5 mm까지의 COD를 분석한 결과는 다음과 Fig. 6과 같다. 평균치를 살펴보면, 최초 0.5 mm 까지의 시료는 68.28 mg/L로서 상당히 높은 결과를 나타내고 있으나, 다음시료부터는 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 mm 까지의 전도도는 226  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 에서 다음 시료는 52  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 크게 개선되었으며, 마지막 시료(5 mm까지)에서는 24  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 약 1/10정도의 값을 나타내었다. 전기전도도 탁도, 증발잔류물 및 BOD 등과 같이 첫 번째 시료에서 다음시료로 전이과정에서 수질이 크게 개선되는 것을 알 수 있었다.

### 3.7. 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N)

건강상 유해영향 유기물질인 암모니아성 질소의 수질분석 결과는 Fig. 8과 같다. 평균치를 살펴보면 최초 시료(0.5 mm까지)가 1.93 mg/L로서 음용수 수

## 효율적 우수이용을 위한 초기우수의 수질변화

질기준인 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( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 심미적 영향 물질인  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  등 건강상 유해영향 무기물질인  $\text{Pb}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ 는 모두 음용수 수질기준을 최초 시료(0.5mm까지)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 이에 대한 적극적인 대책이 필요할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

우수를 대체수자원으로 이용할 경우 그 우수수질에 따른 사용용도 결정을 검토하기 위한 기초자료를 축적하기 위하여 우수수질 분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수소이온농도인 pH는 최초 0.5 mm까지의 시료부터 4.5~5.0 mm까지 시료는  $6.3 \pm 0.3$ 으로서 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 (1 NTU)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 NTU 정도로 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( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 심미적 영향 물질인  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  등 건강상 유해영향 무기물질인  $\text{Pb}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ 는 모두 음용수 수질기준을 최초 시료(0.5mm까지)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.

## 감사의 글

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

## 참 고 문 헌

- 1) 한국수자원 공사, 2002, 우리의 물 미래의 물, 43pp.
- 2) 전인배, 송시훈, 지홍기, 이순탁, 2001, 우수이용 시스템의 설계와 운영, 한국수자원학회 학술발표 회 논문집(I), 한국수자원학회, 315-320.
- 3) 한무영, 2000, 대체수자원으로서의 빗물활용방안, 상하수도학회지, 207-210.
- 4) 이경림, 박진호, 한무영, 이성기, 2001, 우수이용 보급방안에 관한 연구, 대한 상하수도학회 춘계 학술발표회, 대한상하수도학회, 223-226.
- 5) 최한영, 박석기, 채용곤, 2000, 먹는 물 시험방법, 신광문화사, 300pp.
- 6) Thomas, P. R and G. R. Greene, 1993, Rainwater quality from different roof catchment, Wat. Sci. Tech., 28(3-5), 291-299.
- 7) Yaziz, M. I., H. Gunting, N. Sapari and A. W. Ghazalli, 1989, Variation in rainwater quality from roof catchments, Wat. Res., 23(6), 761-765.