

빗물 집수 및 저장 시스템 개선과 수질 분석 모니터링

김철경*

목원대학교 공과대학 소재디자인공학과
302-729 대전광역시 서구 목원길 21

(2011년 8월 3일 접수; 2011년 9월 22일 수정본 접수; 2011년 9월 24일 채택)

A Study on the Rainwater Quality Monitoring and the Improvement, Collection and Storage System

Chul Kyung Kim*

Department of Material Design Engineering, Mokwon University
21 Mokwon-gil, Seo-gu, Daejeon, 302-729, Korea

(Received for review August 3, 2011; Revision received September 22, 2011; Accepted September 24, 2011)

요 약

빗물 활용은 건전한 물 순환 개념에서 중요하며, 신도시 개발 등으로 증가되는 불투수면의 증대에 따른 영향을 해소시키는 방법 중의 하나가 되므로 빗물 처리 시스템의 개선을 통한 수질 개선 방안을 연구하였다. 대전서남부지구의 개발 전 빗물 유출계수는 0.40이었으나 개발 후의 유출계수는 0.59로 산정되었다. 필터를 통과한 우수의 Cu, As, Cr, Fe, Mn 등 중금속 함량은 지하수의 중금속 함량보다 양호하였으며, 집수된 빗물의 수질은 경도, 과망간산칼륨소비량, 염소이온, 중발잔류물, 황산이온, 질산성질소 등의 항목에서는 지하수의 수질보다 양호한 것을 보여 주었으며, 중수도 수질기준을 충족시키는 것으로 확인되었다. 100일 이상 장기 저장 시에도 화장실 용수, 조경 용수 등으로 적합하였다. 종전의 빗물집수 시스템에 덮개가 있는 gutter 설치, 적합한 필터 사용 및 저장조의 지하설치 등으로 시스템을 개선하면 집수되는 수질을 100일 정도 양호하게 유지할 수 있는 것을 확인하였다.

주제어 : 빗물 관리, 빗물 활용, 강우유출계수, 빗물 수질, 기후 변화, 에너지절약

Abstract : In our nature, the utilization of rainwater is essential for healthy water recirculation. This is one of the solutions of the increment of impermeability surface according to the development of new cities; this study of the improvement of rainwater quality has been carried on through the improvement of collecting and restoring system of rainwater. The southwestern region of Daejeon City, the rainwater coefficient of run off was 0.40 and this number had computed to 0.59 after the development. After filtration of rainwater, the heavy metal (Cu, As, Cr, Fe, Mn) contents level were lower than underground water. Moreover, collected rainwater showed better quality than underground water in following criteria; hardness, permanganate consumption quality, chloride, evaporation residue, sulfates and nitrate nitrogen. This water quality met the gray water quality standards. The rainwater quality was still suitable to use as bathroom flushing and gardening after 100 days of storage. This study proved that modification (installation of cover with gutter to existing rainwater collection system, proper filtering, and installation of underground storage tank) of collection system could improve quality of water and maintain this approximately 100 days.

Keywords : Rainwater management, Rainwater utilization, Rainwater coefficient of run off, Rainwater quality, Climate change, Energy saving

1. 서 론

우리나라는 이상기후 현상과 하절기 국지성 호우로 도시형 홍수 재해가 사회적으로 매년 반복되는 실정이며, 최근 들어 우리나라의 강우 양상이 급변하고 있다.

과거에는 발생빈도가 높지 않았던 대규모의 강우가 집중적으로 자주 발생하고 있다. 도시화, 인구 및 재산의 집중 심화, 이상기후 등의 영향으로 인하여 홍수 발생 규모, 빈도와 침수 피해 규모가 급증하고 있다[1].

우리나라는 대부분의 강수량이 6월에서 9월 사이에 집중되고 있으며, 지형상 경사면이 급해서 1969년부터 1998년까지 우리나라 연평균 강수량은 면적이중 평균법(Thissen법)으로

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: cckim@mokwon.ac.kr

산정한 결과[2]에 의한 평균강수량(1,283 mm)이 세계평균(973 mm)보다 높음에도 불구하고 제대로 활용되지 못하여 1인당 강수량은 약 2,705 m³으로 세계 1인당 평균 강수량 26,800 m³의 10%에 불과한 실정이다[3].

뿐만 아니라 여름철에 연강수량의 2/3 정도가 집중되어 홍수를 유발하고 평시에는 하천수량이 부족하여 하천의 최소, 최대 유량의 비율이 홍수기와 갈수기 대비하여 300~400으로 유럽의 10~30보다 매우 큰 편이다[3].

현재 전 세계적으로 매년 5 백만 명 이상에 달하는 인구가 물 문제로 목숨을 잃고 있으며[4], 향후 2050년경이 되면 세계 인구의 25% 가량은 음용수 부족에 직면할 것으로 예견되고 있으며[5], 우리나라는 인구의 도시집중과 도시 확장, 신도시 개발 등 국토개발을 위하여, 기존의 도시를 개발하여 이로 인한 지형 변경 및 자연환경 훼손이 늘어나고 있다. 대전시의 서남부권 개발도 사전환경성검토가 조사 실시된 바 있으나, 현재 지형을 변경하여 개발을 추진하고 있으므로 건전한 물순환의 유지에 어려움이 예상되며, 우수 관련 수재해의 발생이 예상될 수 있는 지역에 해당된다.

신도시 개발 등으로 도시화에 따른 불투수면이 증가 하게 되어, 우수의 지하 침투량이 감소되며, 비점오염원이 증가될 뿐 아니라 이로 인한 하천오염이 심화되며, 우수의 지하 침투 감소로 인하여 하천 건천화가 가속되며 하절기에는 열섬현상이 당연히 심화하게 될 것으로 판단한다.

우리나라의 우수 처리 및 활용시설 시스템에 대한 기술개발은 2000년 이후 건설교통부와 환경부 빗물에 대한 관심을 갖게 되면서 활발하게 정책개발을 해왔으며, 서울대학교 빗물연구센터에서 UNEP와 공동으로 국제워크숍 등을 통해서 꾸준히 기술개발에 대한 연구를 진행해 오고 있으며[6], 특히 한국건설기술연구원에서는 수자원의 지속적 확보 기술개발사업단을 발족하여 우수저류 및 활용시스템 적용에 대한 기술개발을 꾸준히 진행해오고 있으며 공동주택단지 빗물관리기반시스템 적용, 우수침투시스템적용 프로그램 개발을 해 오고 있다.

우수활용은 국가적 차원에서 진행하는 것이 효과적이라고 판단되면서, 수도법 제11조의 3에서 빗물활용시설 설치에 대한 조항을 신설한 후에 각 지자체들도 우수활용관련 세칙, 조례 등을 제정해 오고 있다.

최근 우수 활용을 통한 도시 침수 저감에 대한 연구와 빗물을 활용하는 우수관리의 친환경적인 기술 연구가 학, 연, 관에서의 검토가 활발하게 진행되고 있으며, 몇몇 연구기관과 학회에서 빗물관련 국제 워크숍을 개최하는 등 우수 활용에 대한 운동이 전개되고 있다. 또한, 지자체에서는 서울시가 빗물관리에 관한 조례를 2005년 12월에 제정한 바 있으며 서울시, 제주도 등 지자체들은 빗물관리시설의 설치 및 지원에 관한 지침을 마련하고 있다.

이상과 같은 맥락에서 신도시 개발의 경우, 빗물의 활용으로 물순환 체계의 개선을 유도하고 도시 개발에 따른 물 환경 관련 문제의 해결을 도모할 필요가 대두되고 있으며, 기후변화 대응 정책으로 에너지 절약 차원에서도 빗물의 활용은 필요하다고 판단된다. 온실가스 저감을 위한 기술 개발 및 연구가 국가

차원에서의 과제로 그동안 꾸준히 추진되어 오고 있다[7].

대전시 서남부지구 택지개발과 관련하여 집수면에서의 집수 방법 개선, 집수 전에 여과망과 필터를 설치하여 유기물질 등 이물질의 유입을 사전에 차단하는 친환경적인 빗물 활용 시설 시스템 개선을 적용한 빗물을 집수하여 수질을 분석하고 장기간 저장시의 수질의 변화를 조사하여 빗물 수질 개선에 대한 방안을 연구하였다.

2. 연구내용 및 분석 실험 방법

2.1. 빗물 관련 지형 기초 조사

서남부지구 택지개발 기본계획을 입수하여 우수 및 하수 처리 설계 방법, 지구별 부지 용도와 면적, 도로 포장 재질 등을 조사하고, 개발 전/후로 구분하여 지형의 변형 요소 조사, 수계 형성의 변화, 우수 및 하수처리 계획, 불투수면의 증가 요소를 조사하였다.

사업지구의 개발전후 불투수면의 증가를 한국수자원학회 등에서 2002년에 제시한 유출계수 등[8,9]을 반영하여 불투수면의 증가에 따른 평균유출계수를 산정하였다. 공중구성을 기초로 하여 모든 기초공중으로부터의 유출을 합하여 구하는 유출계수는 아래 식을 적용하였다.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 \dots}$$

여기서, C : 총괄유출계수, C_i : 공중의 기초유출계수

A_i : 공중의 총면적, n : 공중의 수

지형도상으로는 명확하게 토지용도의 구분이 되지 못하지만 환경영향평가 시에 산정된 용도를 기준하였고, 자연유역의 유출계수 산정은 한국수자원학회의 하천설계기준상의 기준[8]을 적용하였다.

개발 전 토지이용에서 답은 관개중인 경작지 중토로 구분 하되 수치를 보정하여 0.30, 임야는 완경사 산지로 감안하여 0.45 전은 작물이 있는 중토로 감안하여 0.30, 대지는 단독주택으로 감안하여 0.40, 기타는 공공지역, 도로 등을 고려하여 0.60으로 유출계수를 적용하였다. 개발후의 적용 유출계수는 하천설계기준상의 기준을 적용하되, 중간값을 적용하였다.

2.2. 수질 조사 방법

개발 전, 현 상태에서의 화산천과 진잠천의 수질을 파악하기 위하여, 2006년 4월부터 2006년 9월에 걸쳐서, 화산천은 상류지역 1개소, 진잠천과의 연결 지점 1개소, 진잠천 상류지역 1개소, 진잠천에서 갑천으로의 유입 지점 1개소에서 강우 전후로 청정시 3회 시료 채취(하천의 수심이 1 m 이상 확보된 지점에서는 TMB 채취 방법 적용)하여 BOD, COD, SS, T-N, T-P, pH, 일반세균 등 기본적인 수질 항목을 분석하였으며 회

Table 1. ICP/MS analysis and operation conditions

Forward power	1350 W
Lens voltage	6.75
Nebuliser gas flow rate	1.01 L/min
Coolant gas flow rate	16 L/min
Auxiliary gas flow rate	1.2 L/min
Nebuliser	Meinhard Concentric
Dwell time	60 ms
Reading time	60 s
Analysis time	60 s × 3 times
Detector mode	Pulse & analog counter

전식 유속계를 사용하여 하천의 유속을 각각의 4개 지점에서 3회 측정하여 자료를 분석하였다. 유속 측정지역은 하천 유역의 수심이 얕으므로 수심비의 60%에 해당하는 유속으로 1점법을 사용하여 측정하였다.

집중 강우시에 강수량, 초기강우의 수질, 강우 개시 1시간 후의 수질을 파악하기 위하여, 2006년 4월부터 2006년 12월에 걸쳐서, 대전 서남부지구 지역 내에 제작 설치한 간이 우수 집수시스템에서 샘플링하고 수질의 성상을 분석하였으며, pH, BOD, COD, SS, T-N, T-P 외에도 Al, As, Cr, Cu, Cd, Fe, Mn, Pb, Zn 중금속 함량도 측정, 일반세균, 대장균수 등을 분석하였다.

중금속 분석은 Perkin Elmer DRCII ICP/MS 장비를 사용하였으며, 장비운전조건은 다음의 Table 1과 같다. 측정금속의 각 원소가 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10, 100 mg/L 함유된 용액을 사용하여 1차적으로 측정 검량선을 작성하였다. 수질항목 분석방법은 수질공정시험법을 적용하여 분석하였다.

2.3. 빗물 집수 방법

빗물의 집수면과 우수배관 등은 서남부지구 개발지역 내에 위치한 목원대학교의 테크노과학관 건축물 우수 유출 시설을 그대로 이용하였다. 우수관에 조정 밸브 등을 설치하고 간이 집수조 인입부에 여과 장치, 시료채취구 등을 부착하는 간이 시스템을 Figure 1과 같이 2 Ton 규모 FRP 저장조 제품을 개조하여 실험에 사용하였다. 강우 개시 1시간 이후에 집수조로 채수하였다. 여과망 세공크기가 2 mm인 것을 사용하였으며, 필터는 700 µm인 여과망을 사용하였으며, 활성탄여과 및 소독 등의 장치는 제외시켰다.

2.4. 장기 저장시 수질 분석 방법

우수 활용 시스템을 제작, 설치하여 빗물을 집수면에서 유하 되어 배관 인입 연결구의 흐름 초입에서 시료채취하고, 저장 탱크내의 우수 수질은 일정 간격으로 시료채취를 실시하여 장기 저장 시 수질변화 추이를 분석하였다.

2.5. 지하수 수질 조사 방법

지역 내의 지하수를 채취하여 수질에 대한 비교 분석 시험을 실시하였다. 지하수 채취정의 신규 설치는 과다한 예산 투입이 소요되므로 지양하고, 기존의 지하수 이용 시설을 현장 조

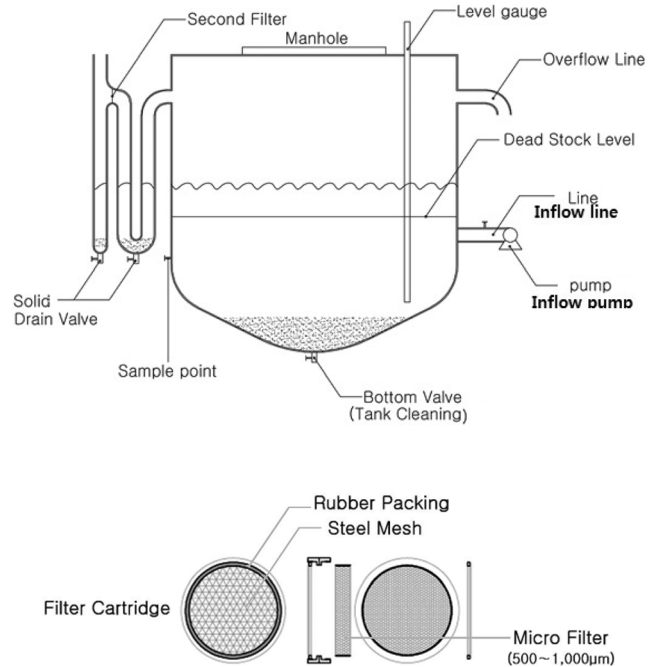


Figure 1. Schematic diagram of rainwater storage tank system and filter.

사한 후 적합한 지하수정을 활용하였으며, 지하수정으로부터 지하수를 채수하여 수질 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 사업지구단위계획 빗물관련 내용 분석조사

대전 서남부권 개발기본계획을 입수하여 지구별 부지 용도와 면적, 도로 포장 재질 등을 조사하고, 개발 전/후로 구분하여 지형 변형 요소 조사, 수계 형성의 변화, 불투수면의 증가 요소, 우수 및 하수 처리 설계 방법을 조사하였다.

개발 지역 면적은 6,052,234 m²이며, 주택 건설 용지는 1,811,230 m²(구성비 : 30.0%)이며, 단독 주택은 476,368 m², 블록형 단독 주택 : 47,827 m², 공동 주택은 1,287,035 m²이었다. 상업 용지는 161,356 m²(구성비 : 2.7%)이며, 근린생활시설용지는 19,436 m²(구성비 : 0.3%)이며, 준 주거 용지는 125,414 m²(구성비 : 2.1%)이며, 공공시설용지는 3,934,798 m²(구성비 : 64.9%)이며, 공원은 1,079,626 m²(구성비 : 17.8%)이었다. 완충녹지는 292,375 m²(구성비 : 4.8%)이며, 하천은 127,657 m²(구성비 : 2.1%)이며, 학교는 391,074 m²(구성비 : 6.5%)이며, 도로는 1,368,939 m²(구성비 : 22.6%)이었다. 주차장/보행자 도로는 141,040 m²(구성비 : 2.3%)이었다. 기타는 464,104 m²(구성비 : 7.7%)이었다. 보행자 도로를 포함한 전체 도로 면적은 개발 지역 면적의 24.9% 차지하며, 공원, 완충녹지 등 자연녹지는 1,498,964 m²로 전체 면적의 24.8% 차지하였다.

3.2. 도로 포장 재질

대전시 서남부지구 택지개발사업 제1종 지구단위 계획수립 지침 제III편 공공부문시행지침에 의하면, 차도부문 포장 재질

은 아스팔트와 콘크리트를 원칙으로 하고 있으며, 보행자전용도로는 식재를 하며, 포장은 투수성 포장을 기본으로 하고 있으나, 상세설계단계에서 포장재 선택이 결정되므로 보다 투수성이 높은 재질의 선택이 요구되었다.

3.3. 지형 변형 요소

사업지구는 개발 전 조사에 의하면, 자연취락이 산재되어 있으며, 74.1%가 담, 임야, 전 등 농경지이며, 대지 및 소규모 공장 등으로 이루어진 전형적인 도시근교 농촌지역으로, 담이 37.4%, 임야 23.5%, 전 13.2%, 대지와 기타 부분이 25.9%이었다.

그러나 대전시 서남부지구 택지개발사업 제1종 지구단위계획 IV. 부문별 계획에 의하면, 주택 지구, 공공시설 용지 등에서 녹지 면적 등을 세부적으로 고려해야 하지만, 전체적으로 주택 지구, 공공시설, 도로 등 포장되어지는 대상 면적이 70% 수준에 달하였다.

또한, 대전 서남부지구 택지개발사업 환경영향평가서에 의하면, 최대 성토고는 4.83 m, 최대 절토고는 21.00 m로 계획되어 있으며, 성토량은 8,270 천m³, 절토량은 7,920 천m³으로 산정하였다.

부족토량은 공동주택 미성토량, 구조물 잔토량 활용 및 건설폐기물중 콘크리트 재활용으로 공급할 계획을 수립하였다.

3.4. 수계 형성의 변화, 우수 및 하수 처리 계획

지형이 일부 변형이 되지만, 화산천과 진잠천 유역의 전반적인 변경은 없으므로 수계 형성의 변화는 없을 것으로 예상되며 기본 수계를 유지할 것으로 판단되었다.

그러나 불투수면의 증가로 표토층을 통하여 지하로 유입되는 지하수 형성은 절대적으로 감소할 것으로 예측되며, 포장재질에 따른 수투율의 상이로 인하여 지하수의 흐름의 형태는 바뀔 것으로 예측되었다.

지구단위계획에 의하면 대상지역의 상수도 급수원은 월평정수장에서 공급하는 것으로 계획되어 있으며, 계획 일 최대 급수량은 32,027 m³/일로 산정되었다.

또한, 지구 내 발생 오수는 단지 내 관로를 통해 갑천과 진잠천변에 기 매설된 오수 차집 관거에 연결하여 원촌하수종말처리장에서 처리하는 것으로 계획되었다.

계획 우수량은 가정오수, 영업오수, 공공오수를 모두 포함하는 생활오수와 지하수량을 감안하여 일 최대 우수량은 376 L/인·일로 산정하고 있으며, 지하수량을 고려하여 29,954 m³/일로 산정하였다.

하수배제방식은 우수와 오수가 별개의 관거 계통을 배제하

는 분류식이 채택되었다. 우수유출계통은 지구여건을 감안하여, 5개의 배수구역으로 나누어 기존우수 박스와 사업지구 동측 갑천과 갑천의 지류인 진잠천으로 방류하도록 계획되었다.

3.5. 불투수면의 증가 요소

차도부분은 아스팔트 또는 콘크리트 포장을 원칙적으로 하였으며, 보행자전용도로의 포장은 투수성 포장을 기본으로 한 것으로 조사되었다. 자전거용 포장은 투수성콘크리트 등 빗물의 배수가 원활한 투수성 포장재의 사용을 원칙적으로 하였으며, 버스전용차로, 보행 및 자전거도로와의 교차접속구간, 스쿨존 등 시인성 제고가 필요한 구간은 투수성콘크리트, 소형 고압블럭 등 이질적인 재료를 사용할 수 있도록 정하였다[10].

개발단계에서 절성토 작업을 통해서 외부로 부터의 잡석이 포함된 성분으로 저지대의 표토층을 보완시키고 있으므로, 개발전의 지질의 상태, 개발후의 투수층 재질 등과는 사실상 무관할 정도이기에, 서남부권 지역 개발후의 유출계수를 정확하게 산정한다는 것은 어렵다고 판단되었다. 그러나 유출계수 적용방식에 의하면 Table 2에서 보는 바와 같이 개발 전 유출계수는 0.40이었지만, 개발후의 유출계수는 Table 3에서 보는 바와 같이 0.59로 산정하였다.

3.6. 하천수, 지하수, 우수 수질 분석 결과

하천수를 채취한 화산천 상류, 진잠천 상류, 교차 지점, 진잠천 하류의 지점을 각각 W-1, W-2, W-3, W-4라고 했을 경우 채취지점의 좌표는 N 36.316/E 127.227, N 36.315/E 127.230, N 36.314/E 127.229, N 36.316/E 127.231과 같으며, 하천수의 수질 분석결과는 Table 4, Table 5와 같았다.

유속은 강우 전후로 하천수량에 따라 변화의 폭이 크며 측정 지점의 하천바닥의 경사에 따라서 차이를 보인다. 평시 상태에서 0.1~3.5 m/s 범위 값으로 측정되었으나, 하절기 집중강우시의 유속이 의미가 있으므로 측정된 유속은 큰 의미가 없었다.

빗물 활용 시스템을 제작, 설치하여 정기적으로 서남부지구 택지개발 예정지역 내에 강우하는 빗물을 빗물 저장조 인입 전 집수면에서의 초기 빗물, 강우 개시 후 30분, 1시간 후(초기 강우량의 강우 정도에 따라 다르지만) 빗물을 집수면에서 유하되어 배관 인입 연결구의 흐름 초입에서 샘플링하고, 저장탱크내의 빗물 수질을 정기적으로 채취하여 장기적 저장 시 수질의 변화 추이를 분석하였다.

빗물 집수시스템은 빗물의 수질을 원수(초기강우 자체, 강우 후 1시간 후의 우수), 강우 1시간 이후에 간이시스템 집수조로 필터를 통과한 빗물, 빗물 저장조에서 장기간 저장한 빗

Table 2. Land Using Status and Rainwater Runoff factor before development

	Total	Paddy field	Forest land	Field	Land	Others
Area (Mm ²)	6,052	2,262	1,420	796	439	1,136
Ratio (%)	100.0	37.4	23.5	13.2	7.3	18.7
Efflux Fac.	0.40	0.30	0.45	0.30	0.40	0.60

Table 3. Land using status and rainwater runoff factor after development

		Area (m ²)	Ratio (%)	Runoff Factor
Grand Total		6,052,234	100.0	0.59
Private Area	Sub Total	1,811,230	30.0	-
	Individual House	476,368	7.9	0.40
	Block Type Individual House	47,827	0.8	0.50
	Apartment	1,287,035	21.3	0.65
Business Area		161,356	2.7	0.82
Neighbourhood Living Facilities		19,436	0.3	0.60
Semi Residential		125,414	2.1	0.65
Public Area	Sub Total	3,934,798	64.9	-
	Park	1,149,609	18.9	0.25
	Buffer Green Belt	292,375	4.8	0.25
	Public Open Space	8,840	0.1	0.45
	Open Space	8,553	0.1	0.45
	Stream	127,657	2.1	0.70
	Medical Facilities	95,926	1.6	0.75
	Office Area	86,142	1.4	0.75
	School	391,074	6.5	0.70
	Kindergarten	6,120	0.1	0.70
	Religion Facilities	46,191	0.8	0.70
	Library	10,584	0.2	0.70
	Culture and Meeting Facilities	40,767	0.7	0.70
	Social Welfare Facilities	21,575	0.4	0.70
	Sport Facilities	19,312	0.3	0.70
	Storage and Treatment Facilities	10,871	0.2	0.70
	Vocational Training Center	-	0.0	-
	District Heating Facilities	53,505	0.9	0.70
	Distributing Reservoir	7,000	-	-
	Parking Area	55,718	0.9	0.85
Sidewalk	141,040	2.3	0.80	
Road	1,368,939	22.6	0.80	

Table 4. Analysis results of streams water before development (2006.5~2006.7)

Test Item	W-1	W-2	W-3	W-4	Unit
Va (Avg. Velocity)	0.7	1.3	0.6	0.5	m/s
Vm (Max. Velocity)	1.8	2.2	1.0	0.5	m/s
pH	5.5	6.6	6.3	6.6	
DO	6.4	6.7	6.9	6.5	
BOD	2.1	3.5	4.5	4.0	
COD	0.8	2.5	1.2	2.1	mg/L
T-N	1.0	4.9	8.5	7.4	mg/L
T-P	0.0	0.08	0.03	0.07	mg/L
HS-NH ₃	0.1	0.1	0.1	0.2	mg/L
General Bacteria	+	+	+	+	

물의 3가지 형태로 구분하여 분석하였으며, 서남부권 개발지역 내에 위치한 목원대학교의 테크노과학관 건축물 지붕(집

수면), 우수배관 등을 그대로 이용하고 우수관에 조정밸브 등을 설치하였으며, 활성탄여과, 소독 등의 장치는 제외한 간이

Table 5. Analysis results of heavy metals in stream water

	Unit : mg/mL		
	Upstream Hak-ha Area	Stream Cross Area	Downstream Jin-jam
Al	0.0268	0.0146	0.0172
Cr	0.0003	0.0016	0.0026
Mn	0.0005	0.0059	0.0005
Fe	0.0143	0.0707	0.0551
Ni	0.0003	0.0006	0.0079
Cu	0.0011	0.0014	0.0075
Zn	0.0032	0.0029	0.0043
As	0.0003	0.0007	0.0010
Cd	0.0000	0.0000	0.0001
Pb	0.0028	0.0002	0.0006

Table 8. Qualities analysis results of collected first flush rainwater

Sampling Point	Drop Line	Mesh Outlet	(Mesh+Filter) Outlet
Appearance	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant
Turbidity (NTU)	2	2	2
BOD (mg/L)	0.7	1.0	1.4
COD (mg/L)	1.5	2.0	2.0
TSS (mg/L)	2.0	1.5	2.5
Odor	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant
pH	6.3	6.3	6.3
Specific Conductance μ S/cm	56	47	44

Table 6. Analysis results of first flush rainwater

Sampling Date	Temp. (°C)	pH	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Turbidity (NTU)	Escherichia Coli (MPN/100 ml)	General Acteria (CFU/ml)
2006.4.10	12	5.9	5	-	-	0.5	ND	ND
2006.5.27	16	5.2	3	-	-	< 1	ND	ND
2006.6.14	20	5.4	8	-	-	0.3	ND	ND
2006.7.20	21	5.6	4	0.5	0.4	0.3	ND	ND

ND : not detected

Table 7. Comparison of metals in underground water and rainwater

	Underground Water	Rainwater	
	ppm	Before Filter ppm	After Filter (in tank) ppm
As	0.0004	0.0006	0.0002
Cd	0.0000	0.0002	0.0000
Cr	0.0025	0.0037	0.0012
Cu	0.8928	0.0078	0.0012
Fe	0.0252	0.0229	0.0020
Mn	0.0086	0.0086	0.0010
Ni	0.0006	0.0007	0.0002
Zn	0.0337	1.1097	0.0915

집수조 인입부에 여과 장치, 시료채취구 등을 부착하는 간이 시스템을 제작하여 실험하였다.

BOD, COD, pH, SS, T-N, T-P 외에도 Al, As, Cr, Cu, Cd, Fe, Mn, Pb, Zn 등 9가지 중금속 함량도 측정하였고, 일반세균, 대장균수 등을 분석하였으며 그 결과는 Table 6과 Table 7과 같았다.

지하수 채취정의 설치는 과도한 예산 투입이 소요되므로 지양하고, 기존의 목원대학교 내에 설치된(저장조 용량 500 m³) 지하수 펌핑 시설을 활용하여 지하 120 m에서 용출시킨 지하수를 채취하여 분석하였다. Table 7은 지하수와 우수의 중금속 함유량을 분석한 결과이다.

Table 7에서 보는 바와 같이 필터를 통과한 우수의 Cu, As, Cr, Fe, Mn 등 중금속 함량은 지하수의 중금속 함량보다 양호하였으며, 집수된 빗물의 수질은 경도, 과망간산칼륨소비량, 염소이온, 중발잔류물, 황산이온, 질산성질소 등의 항목에서는 지하수의 수질보다 양호한 것을 보여 주었으며, 중수도 수질 기준을 충족시키는 것으로 확인하였다. 단, Al, Pb, Zn 성분은 오히려 증가된 결과를 보이고 있는 바, 이는 대기질의 영향과 비산되어 퇴적된 이물질의 영향에 의한 것으로 판단되며, 집수 장치의 배관, 여과망, 여과막, 저장조 등의 재질과도 연관성이 있으며 원인을 알 수 없는 요소로 인한 것으로 판단되었다.

Geographic Information System 프로그램을 활용하여 대전지역의 토양중금속 함량을 조사한 결과[11]에 의하면, 지하수정 이 위치한 대전 서구와 인접한 유성구 지역의 33개 시료의 평균값을 적용한 토양에서의 원소별 총 평균 함량은 Zn > Pb > Cu > Ni > As > Cd > Hg 순으로 높게 나타난 반면, 본 실험 지하수의 중금속 함량 분석 결과는 Cu > Zn > Fe > Al > Mn > Cr > Ni > As > Pb > Cd를 나타내고 있어, 토양의 성분은 지하 100 m 이하의 층과 토양 표토층의 중금속 함량은 본 실험결과에서는 상관성이 낮은 것으로 판단되었다.

집수된 우수의 활용은 화장실 용도, 화훼용, 청소수용 등으로 감안하여, 대장균군수, 외관, 탁도, BOD, COD, TSS, 냄새, 수소이온농도, 전기전도도를 분석 항목으로 정하고 분석하였으며, 분석 결과는 다음의 Table 8과 같았다.

여과망 통과와 경우, 여과망과 필터를 통과한 경우 색도의

변화는 없는 것으로 나타났다. 일반세균이 증가한 것은 장치를 거치면서 발생된 것으로 추정하며, BOD, COD가 증가된 것은 필터장치 조작미숙에 의한 것으로 판단하였다. 여과망이나 필터를 통과시킬 경우 TSS가 감소되어야 하는 것은 당연하다. 여과망 통과 시의 경우는 감소한 것으로 나타났으나, 여과망과 필터를 모두 통과시키는 경우는 오히려 필터 자체의 문제로 인하여 TSS가 오히려 증가되는 것으로 분석되어, 장치상의 문제로 판단하였다.

그러나 불순물의 정도를 측정할 수 있는 전기전도도는 감소되는 것으로 결과를 보여주고 있는 바, 최적의 장치를 설계하여, 여과망이나 필터를 적절히 사용하면, 불순물 제거가 용이하여 장기보관 시 우려되는 수질의 악화를 저감시킬 수 있는 것으로 판단되었으며, 집수된 빗물의 수질은 중수도 수질 기준을 충족시키는 것으로 확인되었다.

3.7. 장기 저장시 수질 분석

장기 저장하는 경우, 수질의 악화 요인 분석과 장기 저장에 따른 수질의 변화 추이를 분석하기 위하여 2006년 8월 21일 강우된 빗물을 간이 집수시스템의 저장탱크로 유입시켜 저장하여 2006년 12월 31일까지 4개월에 걸쳐서 지하 저장조에 집수 저장된 우수의 수질을 일정 간격으로 시료를 채취하여 분석하였다.

집수시스템은 학교 건물의 경사구배 10 : 4의 지붕을 그대로 이용하여 지붕의 처마에 위치한 홈통을 통해 낙하시켰다. 지상에 설치한 간이 여과망 세공 크기가 2 mm인 필터 막을 통과시켜서 지하 저장조로 이동시켰다. 간이 집수시스템은 설치비용을 극소화시키기 위하여 기존의 시설을 최대한으로 활용하였다.

그러나 집수과정에서 홈통유입부에 퇴적된 유기, 무기성 물질이 집수되는 우수로 혼입되었으며, 바람에 의해 비산된 또는 홈통유입부 시멘트 바닥에서 발생한 모래 등 무기성 이물질이 많아서 집수 여과망의 막힘 현상이 발생하는 등 설치 시스템의 문제점을 확인할 수 있었다.

장기간 저장한 빗물의 수질 분석 결과는 Table 9와 같았다.

저장 초기인 8월 22일에 집수한 우수의 수질을 분석한 결과, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌 등 유기성 물질은 전혀 검출되지 않았다. 그러나 납 성분이 0.26 mg/L 되었다. 납성분이 유입된 것은 집수과정에서 집수 홈통유입부 바닥에 퇴적된 다른 불순물이 우수에 함유되었던 것으로 확인되었다.

수소이온농도는 7.5 mg/L이었으며, 검출되지 아니할 것으로 판단한 염소이온농도가 0.4 mg/L로 분석되었다.

시안, 카드뮴, 6가크롬, 수은, 유기인, TCE (Trichloroethane), PCE (Tetrachloroethylene) TCE (Trichloroethylene) 등은 검출되지 아니했다.

110일 이상 장기간 우수를 장기 저장할 때에 저장조 내에 집수된 우수 수질을 분석한 결과, 장기 저장하더라도 화장실 용수, 조경용수, 살수용수로는 적합한 것으로 확인하였다.

일반세균의 균수가 시일이 경과함에 따라서 줄어드는 현상을 나타냈다. 하절기에 집수한 우수가 동절기로 전환해 가는 과정에서 집수된 우수에 세균의 성장에 필요한 미생물 성장 영양요소가 거의 존재하지 않기 때문에 사멸된 것으로 판단하며, 별도의 소독 공정을 거치지 않아도 화장실 용수 등 중수로 사용이 가능한 것으로 확인되었다.

장기 저장하더라도 중수의 수질 기준 항목으로 설정된 대장균수, 잔류염소, 외관, 탁도, 냄새, pH 수소이온농도 기준은 충족시킴을 알 수 있다. 그러나 BOD의 경우는 채취시점에 따라서 다르게 나타났다. 실험 결과가 일관성이 없게 오차가 크게 나타나므로 채취시점별로 채취 방법에 문제가 있었던 것으로 판단하며, BOD 관련 문제는 채취 시점에서 유기성물질의 유입을 차단시키는 시스템을 적용할 경우 제어가 가능한 것으로 확인되었다.

유기성물질의 근본적인 차단은 중전의 개방형 홈통유입부를 덮개가 있는 홈통유입장치를 도입하면 가능하다고 판단하였으며, 이와 같은 방법도 서남부지구의 아파트, 단독주택, 공동주택, 공공기관의 건물 등에 적용하면 보다 양호한 수질의 확보가 가능할 것으로 판단되었다.

집수 과정에서 유기 및 무기물질이 퇴적하는 홈통 구조를 Figure 2와 같이 개선하고, 여과 시스템의 적용 등 좀 더 정밀한

Table 9. Rainwater qualities in storage tank

Sampling Date	2006.8.22 (D+1)	2006.9.4 (D+14)	2006.10.23 (D+64)	2006.12.11 (D+113)
Total Coli count/100 mL			95	0
General Bacteria CFU/mL	2600	2000	690	97
Combined Chlorine Residual	0	0	0	0
Appearance	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant
Turbidity(NTU)	0.6	0.5	0.6	0.6
BOD (mg/L)	4.0	12.7	11.1	4.2
COD (mg/L)	-	9.2	9.3	12.1
TSS (mg/L)	3.0	5.0	4.5	4.0
Odor	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant
pH	7.5	7.4	7.5	7.5
Specific Conductance μ S/cm	43	44	47	26

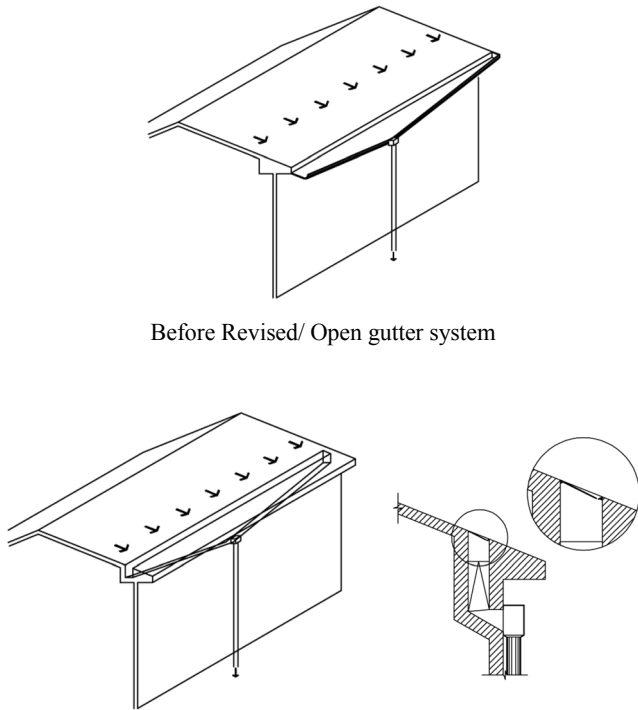


Figure 2. Schematic diagram of rainwater collection closed gutter system.

시스템을 적용한다면, BOD, COD를 저감시킬 수 있으며, TSS, 탁도, 색도 등을 낮출 수 있을 것으로 확인되었다.

이와는 별도로 지붕위의 흡통 바닥을 청소한 후에 집수 흡통을 통하고 필터를 적용하여 집수한 결과, BOD 함량을 0.5 mg/L 이하로, COD를 2.0 mg/L 이하 수준으로 낮추고, TSS를 3.5 mg/L 이하로 저감시킬 수 있었다.

따라서 집수면의 개량, 집수방법의 개선, 정밀한 필터의 적용 등 집수 및 저장 시스템을 개선한다면, 보다 양호한 우수를 집수하고, 장기 저장하여 화장실 용수, 조경용수, 청소용수, 살수용수 등으로 사용하여도 수질에는 적합한 결과를 도출할 것으로 판단되었다.

3.8. 지하수와 비교

목원대학교 도안동 캠퍼스 내 설치한 지하수정에서 지하 120 m에서 양정한 지하수의 수질과 빗물의 수질을 46개 측정항목으로 비교·분석하였다. 그 분석결과는 Table 10과 같았다. 빗물 수질이 지하수 수질보다 양호한 경과를 보였으며 암모니아성 질소 함량 등 몇 가지 항목을 제외하면 양호한 결과를 보였다. 빗물은 탁도가 지하수보다 다소 높게 나왔으며, 저장된 빗물에 툴루엔이 0.05 mg/L 함유된 것은 저장조 설치 시 일부 함유된 미량으로 판단하며 암모니아성 질소, 아연, 망간 등이 다소 높게 나온 것은 우수의 집수 단계에서 유입된 것으로 추정되어, 우수 집수 시스템을 개선한다면 가능한 더욱 양호한 수질확보가 가능할 것으로 판단하였다.

3.9. 빗물 장기보관 수질관리 기술적 방안 고찰

강우량의 계절적 편중 현상으로 연중 집수량을 균등하게 사용하는 것이 어려우며, 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 우수의 장기 보관이 가능한 용량의 저장조 설치가 필요하다. 저장조의 규모는 지역 강우 분포, 평균 강우량, 최대 강우량, 무강우일수, 우수 사용 예상량 등의 자료를 감안하여 최적의 저장조 규모를 산정해야 한다.

수질의 악화 요소로 작용하는 것은 미생물이다. 미생물은 저장 보관 단계에서 강우에 포함된 대기 중의 이물질과 집수면 또는 집수면에 인접된 흡통유입부에 퇴적된 유기물로 부터 초기 집수과정에서 주로 유입되는 것으로 판단되었다. 특히 미생물이 성장하기 위해서는 탄소원 특히 유기탄소원 등 유기물질이며, 우수에 유입되는 유기물질의 차단이 필수적이라고 판단되었다.

이와 같은 유기물을 강우 시 우수 저장조로 유입시키지 않게 하기 위해서는 집수면의 상태 유지가 중요하다. 또한 집수면의 재질과도 깊은 연관성을 지닌다. 집수면의 표면 재질은 다공성을 지니지 않는 것을 선택해야 한다. 즉, 시멘트 슬러브 구조, 기와와 같은 재질은 상당한 다공성 재질이다. 미세한 세공에 유기물이 유입되며 미생물이 번식하게 된다. 따라서 집수면 표면은 매끄러운 비다공성 상태의 재질, 무기소재 중에서 유리나 같은 재질이 적합하다고 판단되었다.

빛을 필요로 하지 아니하는 미생물들도 있으나, 일차적으로 수질 악화의 요인으로 작용하는 미생물의 번식을 방지하기 위해서는 태양 광원 등, 빛의 차단이 필요하다. 특히 하절기 태양열에 의한 미생물의 성장을 차단하기 위해서는 사계절 기온이 일정하게 유지될 수 있는 건물 지하층에 우수 저장조를 설치하거나 지하에 우수 저장조를 매설하는 것이 가장 바람직한 장기 저장 보관 방법이라고 판단되었다. 그러나 지하 매설이 어렵다면, 최소한 지상이 아닌 지역에 탱크를 위치시키는 것이 중요하다고 판단하였다.

독일의 경우 대부분 우수 저장 탱크를 지하에 매설하고 있다. 베를린 스타디움의 경우도 대규모 지하 우수 저장조를 설치하여 잔디살수용, 화장실용 등으로 사용하고 있으며, 쾰른시에 위치하는 힐튼호텔에서도 지하 매설 우수 저장조를 설치하여 역시 객실의 화장실용으로 사용하고 있으며, 베를린의 소니 시티의 건물은 건물 지하 1층에 대규모 콘크리트 우수 저장조를 설치하여, 홍수예방용, 방화수용, 화장실용, 청소수용, 화훼용 등 여러 목적의 용도로 사용하고 있는 것을 직접 방문하여 조사 확인하였다. 이와 같이 우수 저장조를 지하에 매설시키는 가장 근본적인 이유는 빗물의 수질 악화 방지가 목적인 것으로 확인되었다.

우수의 집수과정에서 유입되는 유기물질 등 오염원의 영향으로 우수의 장기 보관에 따른 수질에 대한 문제점이 야기되므로, 근원적으로 집수시스템 초기에 오염원의 차단으로 1차적인 해결이 가능하다고 판단되었다.

Table 10. Comparison between underground water qualities and rainwater qualities

	Test Item	Unit	Criteria	Underground Water	Rainwater (storage tank)
1	General Bacteria	CFU/mL	≤100	0	0
2	Total Coli (count)	/100ml	ND	ND	ND
3	E. Coli (count)	/100ml	ND	ND	ND
4	Lead	mg/L	≤0.05	ND	ND
5	Fluorine	mg/L	≤1.5	ND	ND
6	Arsenic	mg/L	≤0.05	ND	ND
7	Selenium	mg/L	≤0.01	ND	ND
8	Mercury	mg/L	≤0.001	ND	ND
9	CN (cyano group)	mg/L	≤0.01	ND	ND
10	Cr ⁶⁺	mg/L	≤0.05	ND	ND
11	NH ₃ -N	mg/L	≤0.05	0.03	0.16
12	NO ₃ -N	mg/L	≤10	0.9	0.1
13	Cadmium	mg/L	≤0.005	ND	ND
14	Boron	mg/L	≤0.3	0.01	ND
15	Phenol	mg/L	≤0.005	ND	ND
16	Diazinon	mg/L	≤0.02	ND	ND
17	Parathion	mg/L	≤0.06	ND	ND
18	Fenitrothion	mg/L	≤0.04	ND	ND
19	Carbaryl	mg/L	≤0.07	ND	ND
20	1,1,1-Trichloromethane	mg/L	≤0.1	ND	ND
21	Tetrachloroethylene (PCE)	mg/L	≤0.01	ND	ND
22	Trichloroethylene (TCC)	mg/L	≤0.03	ND	ND
23	Dichloromethane	mg/L	≤0.02	ND	ND
24	Benzene	mg/L	≤0.01	ND	ND
25	Toluene	mg/L	≤0.7	ND	0.005
26	Ethyl Benzene	mg/L	≤0.3	ND	ND
27	Xylene	mg/L	≤0.5	ND	ND
28	1,1-Dichloroethylene	mg/L	≤0.03	ND	ND
29	Carbon Tetrachloride	mg/L	≤0.002	ND	ND
30	1,2-Dibromo-3-Chloropropane	mg/L	≤0.003	ND	ND
31	Hardness	mg/L	≤300	54	5
32	Permanganate Consumption Value	mg/L	≤10	3.8	1.6
33	Odor	-	Odorless	Odorless	Odorless
34	Taste	-	Tasteless	Tasteless	Tasteless
35	Copper	mg/L	≤1	0.123	ND
36	Color	Degree	≤5	ND	2
37	ABS (detergent)	mg/L	≤0.5	ND	ND
38	pH	-	5.8 - 8.5	7.3	7.0
39	Zinc	mg/L	≤1	0.046	0.107
40	Chloride	mg/L	≤250	11	ND
41	Evaporation Residue	mg/L	≤500	143	10
42	Fe	mg/L	≤0.3	ND	ND
43	Manganese	mg/L	≤0.3	ND	0.032
44	Turbidity	NTU	≤1	0.21	0.40
45	Sulfate SO ₄ ²⁻	mg/L	≤200	9	ND
46	Aluminum	mg/L	≤0.2	0.04	0.02

4. 결론

본 연구를 수행한 후 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 대전서남부지구의 개발 전 빗물 유출계수는 0.40이었으나 개발 후의 유출계수는 0.59로 산정되었다.

2) 필터를 통과한 우수의 Cu, As, Cr, Fe, Mn 등 중금속 함량은 지하수의 중금속 함량보다 양호하였으며, 집수된 빗물의 수질은 경도, 과망간산칼륨소비량, 염소이온, 증발잔류물, 황산이온, 질산성질소 등의 항목에서는 지하수의 수질보다 양호한 것을 보여 주었으며, 중수도 수질기준을 충족시키는 것으로 확인하였다.

3) 100일 이상 장기 저장 시에도 화장실 용수, 조경 용수 등으로 적합하며, 중전의 빗물집수 시스템에 덮개가 있는 홈통 설치, 적합한 필터 사용 및 저장조의 지하설치 등으로 시스템을 개선하면 집수되는 수질을 100일 정도 양호하게 유지할 수 있는 것을 확인하였다. 빗물을 화장실용수, 도심열섬 완화용수, 청소용수 등으로 활용하는 경우에는 수도법에서 규정하고 있는 중수도 수질기준 내에서 우수의 수질 기준을 설정하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

4) 집수면을 유리화 같은 비다공성 재질로 선택하고, 양호한 상태 유지를 위한 덮개가 있는 홈통 설치, 적합한 필터의 사용 및 저장조의 지하설치 등을 적용하여 집수되는 빗물은 장기 저장하더라도 수질의 변화를 방지할 수 있다고 판단되었다.

참고문헌

1. Park, C. H., and Han M. Y., "Rainwater Management as a Sustainable Water Resources Management," *J. of The National Academy of Sciences*, **46**(2), 13-59 (2007).
2. Lee, S. K., "The Use and Management of Rainwater Resources in Terms of Building Residential Area in Gyeonggi," Gyeonggi Research Institute, Report 2005-23, 2005.
3. Seo, K. W., River Engineering, 1st ed., Goomi Book, Seoul, 2006, pp. 188-189.
4. Belinda, E. H., Ana, D., and Tim, D. F., "Integrated Treatment and Recycling of Stormwater, a Review of Australian Practice," *J. of Environ. Manage.*, **79**, 102-113 (2006).
5. UNESCO, International Year of Freshwater 2003, UNESCO Report <http://www.wateryear2003.org> (2003).
6. You, T. J., "Cost Analysis of Rainwater Utilization," The 3rd International Rainwater Utilization Workshop, UNEP-SUN Rainwater Research Center, Seoul, 33-39 (2003).
7. Woo, K. J., Hwang, J. D., Jeong, S. Y., and Jang, G. H., "Analysis of the Abroad Domestic Research Trends on Climate Change and its Economical Effect on the Power Plant", *Clean Technol.*, **7**(1), 43-49 (2001).
8. Chung, J. H., and Yun. Y. N., Design for Water Resources, 1st ed., Goomi Book, Seoul, 2005, pp. 10-12.
9. KWRA, "Guideline for River Design Engineering," 1st ed., Korea Water Resources Association, Seoul, (2002).
10. DCCO, "Land Development Districts of Southwest Daejeon / the First type District Unit Plan," Daejeon City Corporation, (2005).
11. Park, S. S., "Analysis on Heavy Metal Contamination in Soils of the Daejeon Area using GIS," M.D. Dissertation, Hanbat National University, Daejeon, 2010.