

— 기술정보 —

## 효과적인 우수관리를 위한 통합시스템

— Technical Report —

### Integrated System for Effective Rainwater Management

염철민\* · 김성훈 · 박노연

Yeom, Cheol-Min\* · Kim, Seong-Hun · Park, No-Yeon

(주)디아이 엔지니어링사업본부

#### 1. 서론

우수 및 도시배수 시스템이 우기동안 발생하는 오염과 홍수 문제를 해결하기 위해 지난 오랜 기간에 걸쳐 발전되어 왔다. 우수 및 도시배수 시스템의 기존 접근방법은 주로 우수를 배제하기 위한 대형 관로 설비와 우수를 저장하기 위한 대형 저장설비를 이용해 강우 유출수를 신속히 배제하는 것에 초점을 두었고, 하수처리 시설에서의 효과적인 처리가 주된 관심사이었다. 그러나 이에 반해, 최근에는 이를 대신할 수 있는 접근방법으로 오염 발생원으로부터 가능한 근접한 지역에서부터 오염물질을 제거하자는 개념의 발생원 제어 시스템 및 저장 시스템이 주된 관심사가 되고 있다. 이러한 발생원 제어 및 저장 시스템은 하수처리 비용을 절감할 수 있는 효과적인 방안으로 제안되어진 바도 있다(Andoh and Declerck, 1999).

한편 도시화에 따라 지역의 불투수율 증가로 인해 강우 유출특성이 변해 급격한 강우유출로 인한 홍수나 침수피해가 증가하고, 수질오염부하의 상당부분을 차지하는 처리구역내 비점오염원 등 각종 오염물질들이 공공수역으로 유출되어 수질저하의 원인을 제공하기도 한다. 이러한 문제점에 대한 대응으로 국내에서

는 "하수도시설 설치사업 업무처리 일반지침(환경부, 2003)"에서 도시지역 강우 유출수에 대한 처리대책을 강구하도록 하고 있으며, "비점오염원 관리를 위한 강우 유출수 관리 매뉴얼(환경부, 2003)"을 발표한 바도 있다.

본 원고에서는 효과적인 우수관리를 위한 통합시스템을 소개하고자 한다. 이를 위해 영국을 포함한 많은 나라에서 성공적으로 적용되어 왔던 통합시스템인 "The Hydro Stormwater Management System"의 예를 들었다. 이 통합시스템은 발생원 제어 및 저장 시스템으로 우수처리단계, 우수저장단계, 유량제어단계의 세 가지 주요 부분으로 구성되어졌으며, 본 원고에서는 이 통합시스템의 각 단계를 간략히 살펴보고자 한다.

#### 2. 본론

##### 2.1. "The Hydro Stormwater Management System" 개요

통합적 우수관리 시스템인 "The Hydro Stormwater Management System"은 영국 Hydro사에서 고안한 시스템으로 다음과 같이 세 가지 주요 부분으로 구성되

\*Corresponding author Tel: +82-2-3441-9390, Fax: +82-2-511-8935, E-mail: cmyeom@di.co.kr (Yeom, C.M.)

- 우수처리단계 - The Downstream Defender<sup>®</sup>
- 우수저장단계 - The Stormcell Storage System<sup>®</sup>
- 유량제어단계 - The Hydro-Brake Flow Control<sup>®</sup>

Fig. 1은 세 가지 구성 시스템을 적용하여 통합적으로 우수관리를 수행하는 모식도를 나타낸 것이다. 오염물질이 포함된 우수가 흘러들면 우선적으로 Downstream Defender에 의해 고형물이 분리된다. 처리된 상등액은 Stormcell에 저장되어지고, 저장된 처리수는 Hydro-Brake에 의해 일정 유량으로 유출된다.

위에서 언급된 개별 시스템들은 단독으로도 적용이 가능한 장치들이지만 기존의 시스템과 함께 연계한 적용도 가능하다. 그러나 개별 시스템을 통합하여 적용할 때 더 많은 잇점을 얻을 수 있다. 특히 비용절감은 시스템이 예방구조로 구성되어 있을 때에, 다시 말하면 저장 시스템이 하류부 보다는 상류부에 위치할 때에 실현될 수 있다.

## 2.2. 우수처리단계 - The Downstream Defender<sup>®</sup>

Downstream Defender<sup>®</sup>는 고효율 볼텍스(vortex) 침전 장치의 한 종류로 "수력학적 와류형 분리기 (Hydrodynamic Vortex Separators, HDVS)"가 발전된 형태이다. 수력학적 와류형 분리기(HDVS)는 볼텍스 침전 장치의 1세대로서 Smisson에 의해 1960년대에 개발되었으며, 유입수에 존재하는 고형물의 70%를 제거하는 효율을 보였다(Smisson, 1967). 이 기술은 보다 발전되어 1970년대에 2세대로서 "Swirl

Concentrator"가 개발되었다. Swirl Concentrator는 Smisson의 자문아래 미국환경부(U.S. Environmental Protection Agency, USEPA)와 미국수도협회(American Water Works Association, AWWA)가 공동으로 개발하였다(Field, 1972; Sullivan et al., 1982). 1980년대에 영국에서 Smisson의 자문아래 볼텍스 침전 장치 3세대로서 "Storm King"이 개발되었다. Storm King은 이전의 Swirl Concentrator에서 단점으로 지적된 수두손실을 줄이고, 처리효율을 보다 향상시킨 것이다. 1990년대에 기술이 더욱 발전되어 미국에서 Storm King을 응용한 "Downstream Defender"를 개발하였다. Downstream Defender<sup>®</sup>는 Storm King에서와는 달리 처리된 고형물이 바로 하수처리장으로 배출되지 않고, 시스템내에서 일정기간 동안 저장되어 있다가 주기적으로 제거되는 특성을 갖는다.

Fig. 2는 Downstream Defender<sup>®</sup>의 형상을 나타낸 것이다. Fig. 2에서 보여지는 바와 같이 Downstream Defender<sup>®</sup>는 내부구조가 고형물이 침전되어지는 공간(Sediment Collection Zone)과 오일이나 부상오염물질이 수집되는 공간(Oil/Floatables Collection Zone)으로 구성되어 있다. Downstream Defender<sup>®</sup>는 구동부가 없도록 제작되었으며, 외부전력이 필요없고, 비부식성 재질로 제작되었다. 그러므로 유지보수는 축적된 오염물질의 모니터링과 주기적인 청소만 해주면 된다. 볼텍스에 의해 분리 축적된 오염물질은 흡인장치가 부착된 트럭을 이용하여 주기적으로 흡인, 배출한다.

기존의 침전지와 비교해 볼 때 매우 소규모로써

(기존 침전지의 약 1/5) 적은 부지면적을 소요하면서도 동등한 고형물 처리효율을 갖는다. 수력학적 와류형 분리기의 원리는 도시 유출수에 포함된 협잡물뿐만 아니라 오일, 침전물의 제거에도 효과적인 것으로 보고되고 있다. (Faram et al., 2000)

강우 유출수로부터 침전성 고형물이나 오일을 제거함으로써 환경을 보호하기 위해 전세계적으로 현재 까지 약 1400군데 이상에서 Downstream Defender<sup>®</sup>를 설치되었다. 국내에서도 비점오염원 관리를 위해 설계에 반영된 바 있으며, 향후 지속적인 수요가 예상된다.

### 2.3. 우수저장단계 - The Stormcell<sup>®</sup> Storage System

Stormcell<sup>®</sup> Storage System은 벌집 모양의 플라스틱 블록 형상을 갖으며, 적은 비용으로 지하에 우수를 저장할 수 있는 장치이다. 재질은 폴리프로필렌으로 강우 유출수에서 일반적으로 발견되는 화학물질 및 미생물에 저항력이 강하며, 부패하지 않는다. 압출성형된 육각형 모양의 Stormcell<sup>®</sup>은 95%의 높은 공극률과 구조적 강도 (400kN/m<sup>2</sup> 부하)를 갖는다.

기존의 박스식 암거나 대형 도관, 콘크리트 저장조에 비해 이 저장 시스템의 가장 큰 매력은 유연성이다. 그렇기 때문에 저장하고자 하는 공간의 깊이나 모양에 큰 제약을 받지 않는다. 수리학적 저장 매체로 이용하고자 할 때, Stormcell은 주차장이나 교통량이 적은 도로, 또는 이와 유사한 구조물의 지하에 간단하게 설치할 수 있다. (Andoh et al., 2000).

Fig. 3은 일반적인 Stormcell<sup>®</sup>의 기본적인 구성을 나타낸 것이다. 저유량시에는 지표수가 불투수성 막 위에 설치된 유공관을 통해 흐른다. 그러나 강우량이 높게 발생하는 시기에 유량이 증가하면 Fig. 1에서와 같이 유량을 제어하는 Hydro-Brake<sup>®</sup>에 의해 일정유량만 유출하게 되고, 잉여 유량이 유공으로 유출되어 Stormcell<sup>®</sup>에 저장되기 시작하여 수위가 상승하게 된다. 이렇게 저장된 지표수는 강우 유출이 종료시에 일정유량으로 유출되게 된다.

Stormcell<sup>®</sup>은 1986년에 프랑스에서 지표수 저장 용도로 처음 사용된 이래, 유럽지역에서 약 500군데 이상에서 설치되었다. 특히 영국의 경우 1995년에 처음 설치한 이래 약 200군데 이상에서 설치되어져 있다.

영국에 설치된 대부분의 Stormcell<sup>®</sup>은 유량제어장치인 Hydro-Brake<sup>®</sup>와 연계하여 사용되고 있다. (Andoh and Faram, 2001)

### 2.4. 유량제어단계 - The Hydro-Brake<sup>®</sup> Flow Control

유량제어장치는 크게 고정식 유량제어장치와 기계식 유량제어장치로 구분한다. 고정식 유량제어장치는 구동부가 없고, 고장율이 적으나, 일단 장착되면 세부적인 제어가 용이하지 않다는 점 등의 단점이 있다. 고정식 유량제어장치에는 Vortex Valve, Side Weirs, Transverse Weirs, Restricted Outlets 등이 있다. 기계식 유량제어장치는 유량 변화의 지역적인 특성에 따라 효과적인 대응이 가능하며, 원격제어가 가능하지만 장치가 크고, 공사비가 많이 소요된다는 등의 단점이 있다. 기계식 유량제어장치에는 Inflatable Dams, Tilting Plate Regulators, Float-controlled Gate, Motor-operated 또는 Hydraulic Gate 등이 있다.

기존에 설치된 많은 부유식 유량조절장치(Float-operated Mechanical Regulator)는 운전이 불안정하고, 지속적인 유지관리가 필요하다. 예를 들면, 미국의 Michigan주에서 실제 사용되었던 많은 부유식 유량제어장치는 기계식 제어장치와 연계되어 과도한 유지관리와 불신 때문에 고정식 유량제어장치인 Vortex Valve로 교체된 바 있다(USEPA, 1985; USEPA, 1993). 일본의 경우에도 "합류식 하수도 개선대책 지침 및 해설 (일본하수도협회, 2002)"에서 Voltex Valve에 대해 언급하고 있다.

Hydro-Brake<sup>®</sup>(Vortex Valve)는 구동부가 없고, 외부전력이 필요없는 선회류식 유량제어장치이다. 선회

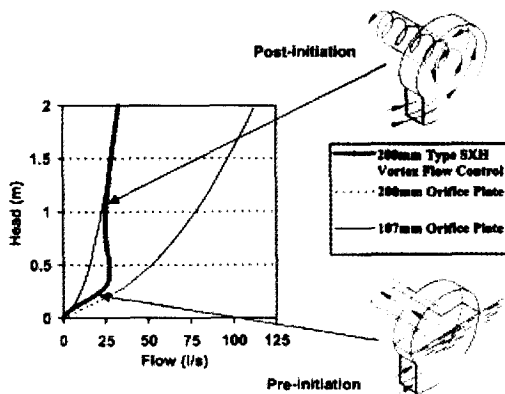


Fig. 4. 수두변화에 따른 유량변화 특성.

류식 유량제어장치는 오리피스나 기타 기존의 유량제어장치보다 많은 장점이 있는 것으로 알려져 있다 (Brombach, 1989). 한 예를 들면 선회류식 유량제어장치는 유입부가 기존의 유량제어장치보다 400%~600% 정도 더 크기 때문에 막힘 현상이 적고, 수두변화에 따라 유량변화가 대체적으로 안정적이라는 점을 들 수 있다.

Fig. 4는 Hydro-Brake®에서의 유량변화 특성을 나타낸 것이다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 운전상에 있어 두 가지 사실의 관찰이 가능하다. 첫째는 초기단계 (Pre-initiation)로 낮은 수위에서 자유로운 오리피스와 같은 거동이 나타남을 볼 수 있고, 둘째는 수위가 증가함에 따라 (Post-initiation) Hydro-Brake에서 회전 운동을 하게 된다. Hydro-Brake 내부에서는 높은 주변속도가 발생되게 되고, 배출구쪽으로 공기기둥이 주변속도 안쪽에 생성되게 된다. 이 공기기둥은 물에 산소를 공급해주는 역할을 해주어 부패를 방지해주는 역할도 한다. Fig. 4에서는 200mm 직경의 Hydro-Brake®에서 107mm 직경의 오리피스와 같이 운전되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 기능을 갖는 Hydro-Brake®는 현재까지 약 15,000군데 이상의 하수관망에 설치되어져 있다.

### 3. 결론

도시화가 가속화되고, 도시배수 및 우수관리기능 향상을 위해 이에 수반되는 요구사항이 증가함에 따라 우수배제를 위한 대형 관로설비나 우수저장을 위

한 대형 저장설비를 이용하는 것은 비용이 많이 소요되며, 공간의 부족으로 인한 어려움이 있고, 환경과 피를 야기하기도 한다. 이에 대하여 우수처리 및 우수저장, 유량제어를 통합하여 우수를 관리하는 새로운 통합시스템은 기존의 방법과 비교해서 많은 장점과 유연성이 있고, 비용에 있어서도 효과적이다.

우수를 관리하기 위한 통합시스템 내에서 (1)오일이나 고형물과 같은 오염물질은 볼텍스형 침전분리장치인 Downstream Defender®로 처리되고, (2)처리된 우수는 95%의 높은 공극률과 구조적 안정성을 가지고 있는 Stormcell®에 저장되며, (3)강우 종료시 Hydro-Brake®를 이용하여 저장된 우수를 일정 유량으로 방출할 수 있다. 이와 같이 구성된 통합시스템은 유지관리에 최소화를 기하고, 외부전원이 필요 없으며, 구동부가 없다는 장점이 있다. 국내에서 이러한 통합시스템의 채택과 이용은 도시환경 내 우수관리를 위한 기존 시스템의 환경친화적인 대안으로 활용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- 일본하수도협회 (2002) 합류식하수도 개선대책 지침 및 해설.
- 환경부 (2003) 하수도시설 설치사업 업무처리 일반지침. 환경부 하수 67712-1454.
- 환경부, 환경관리공단 (2003) 비점오염원관리를 위한 강우 유출수 관리 매뉴얼.
- Andoh, R.Y.G. and Declerck, C. (1999) Source Control and Distributed Storage - A Cost Effective Approach to Urban Drainage for the New Millennium?, 8th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Sydney, Australia, 30 August - 3 September, pp. 1997-2005.
- Andoh, R.Y.G., and Faram, M.G. (2001) A Novel Integrated System for Stormwater Management, In. Proc. Int. 4th Conf. on Innovative Technologies in Urban Drainage, Lyon, France, 25-27 June, pp. 433-440.
- Andoh, R.Y.G., Stephenson, A. and Kane, A. (2000) Sustainable Urban Drainage Using the Hydro Stormcell™ Storage System, In. Proc. Standing Conf. on Source Control, Coventry University, U.K.
- Brombach, H. (1989) Equipment and Instrumentation for CSO Control, Proc. Engineering Foundation Conf., Urban Water Res. Council / ASCE, Switzerland, 22-27 Oct., pp. 459-478.

- Faram, M.G., LeCornu, P. and Andoh, R.Y.G. (2000) The 'MK2' Downstream Defender™ for the Removal of Sediments and Oils from Urban Run Off, *Proc. Water TECH*, Sydney, Australia, 9-13 April, Organised by Australian Water & Wastewater Association.
- Field, R. (1972) *The Swirl Concentrator as a CSO Regulation Facility*, USEPA-R2-72-008.
- Smisson, B. (1967) Design, Construction and Performance of Vortex Overflows, Symposium on Storm Sewage Overflows, London, pp. 99-110.
- Sullivan, R.H., Ure, J.E., Parkinson, F. and Zielinski, P. (1982) *Swirl and Helical Bend Pollution Control Devices - Design Manual*, EPA-600/8-82-013.
- USEPA (1985) *In-System Storage Control for Reduction of Combined Sewer Overflow - Saginaw, Michigan, executive summary*, EPA/905/2-85/001a.
- USEPA (1993) *Combined Sewer Overflow Control Manual*, EPA/625/R-93/007.