

우수유출 저감시설을 통한 치수방재효과의 실시간 측정기법

이 종 국 (명지대학교 토목·환경공학과 박사후과정)

1. 머리말

도시화와 산업화로 인한 불투수 지표면적의 증가는 유역유출량의 증가와 유출량의 시간적인 분포형태의 변화를 초래하였다. 이러한 변화는 일반적으로 유역의 하류나 출구에서 불리한 수리학적 조건을 초래하기 때문에 최근에 들어서는 유역의 개발에 따르는 유출량의 합리적인 조절을 통하여 피해를 경감하려는 여러가지 방법을 모색하게 되었다. 최근 이러한 노력의 일환으로 활발하게 도입되고 있는 시설이 우수유출억제시설이다(심재현, 1999).

우수유출억제수단은 크게 적극적인 방법과 소극적인 방법으로 분류된다. 적극적인 방법은 우수유출의 근원적 차단, 즉 우량을 직접 조절하려는 노력이며 소극적인 방법은 일단 유출로 전환된 우수유출량을 줄이거나 시간적인 배분을 달리 하여 우수유출의 집중을 피하려는 노력이다. 우량을 직접적으로 조절하려는 노력은 아직도 실험단계의 수준을 벗어나지 못하고 있으나 유출량의 저감이나 지체를 유도하는 우수유출억제시설은 외국의 경우 빠른 속도로 활성화되고 있다(Sabourin & Associates, 1999). 지표면저류시설은 저류의 효과를 높이기 위하여 가능한 한 지표면 전체가 저류의 효과를 볼 수 있도록 하는 것으로 미국과 같이 대지가 넓은 지역에서는 잔디를 조성한 지표면 등이 대표적일 수 있다. 또한 도시화 유역에서는 지하주차장이나 학교운동장밑에 지하저장시설을 설치하고 유출량의 집중을 줄이려는 노력을 하고 있다. 이러한 저류시설에 의한 우수유출억제 시설을 유출량의 집중을 막는 효과는 있으나 근본적으로 우수유출을

줄이지는 못하는 아쉬움이 있다. 이러한 단점을 보완하면서 동시에 귀중한 지하수자원을 확보하는 다목적 기능의 유출저감시설로 침투법을 이용하는 시설이 있다. 구체적으로는 침투트렌치, 침투측구, 침투형, 침투통, 침투지, 투수성 포장 등이 있다(방기성, 1998).

침투성 우수유출억제시설이 갖는 또 다른 긍정적인 측면은 우수유출량의 저감 뿐만이 아니라 유역에서 발생할 수 있는 여러가지 환경오염원이 하류나 유역출구에 집중되거나 배출되어 급격한 오염을 발생시킬 수 있는 가능성을 줄여 줄 수 있다는 것이다(Sabourin & Associates, 1999). 이러한 오염원의 집중이나 배출은 지방자치시대에 새로운 분쟁의 실마리를 제공할 수 있으며 사회전반적으로 불안감을 조성할 수도 있는 가능성을 지니고 있다. 이미 이러한 현상은 수자원에 관련된 지방자치단체와 주민들간의 마찰에서 쉽게 짐작할 수도 있다. 따라서 유역에서 발생한 오염원의 처리는 될 수 있는 한, 초기에 그 처리가 이루어지는 것이 바람직하며 이러한 기능을 수행하기 위한 한가지 대안으로서 침투형 우수유출 저감 시설이 제안되고 있다.

본고에서는 위와 같은 목적으로 제안된 침투형 우수유출억제시설의 효과를 실시간으로 측정하기 위한 실시간 모니터링의 제반기술조건과 방법을 제시하려고 한다. 우선 실시간 현장계측의 일반적인 방법과 기술적인 내용을 검토한 후 침투형 우수유출억제시설을 통한 침투량과 유출량을 결정할 수 있는 인자와 수리학적 측면을 검토하고 최종적으로 미래지향적인 우수유출정보 시스템의 필요성과 방안을 제시하고자 한다.

2. 실시간 현장계측 시스템의 구성 및 측정기법

실시간으로 현장자료를 얻기 위한 기초 구성요소는 다음과 같다. 즉 현장의 물리량(예, 강우, 수위, 수온, 기온, 지하수위 등)을 전기적 신호로 바꾸어 주는 센서와 센서로부터 감지된 전기적 신호의 변화를 컴퓨터로 입력할 수 있도록 변환하여 주는 A/D 변환기, 이러한 자료획득 과정을 수행하고 해석과 저장 그리고 통신을 제어하는 데이터로거 혹은 컴퓨터, 자료를 원격지로 송수신하는 통신기와 마지막으로 전원을 공급하는 전원부로 구성되어 있다(이종국과 여운광, 1998).

2-1. 센서를 이용한 자료수집의 원리

수문사상의 기본적인 자료는 강우와 유출량이다. 강우는 흔히 자기기록지를 이용하여 기록하나 자동화를 이루기 위해서는 강우량에 비례하여 전기적신호를 발생하는 강우량 센서를 이용하여 측정한다. 유출량을 측정하기 위한 방법으로는 수위변화를 계측한 후 수위-유량곡선을 이용하여 유출량을 산정한다. 수위를 측정하기 위한 센서는 부자식, 압력식, 초음파식등 여러 가지가 있으나 설치의 용이성, 경제성 그리고 정도를 고려하여 선정하여야 한다. 최근에는 많은 센서가 센서내에 1차적인 전기적 신호잡음을 제거하고 표준입력신호를 출력하기 위해 내장회로를 갖춘 지능형 센서가 많이 개발되었기 때문에 손쉽게 시스템을 구성하도록 도와주고 있다(Fraden, 1993).

2-2. 계측의 자동화를 위한 시스템의 구성

기존의 실시간 자동계측을 수행하는 데이터로거는 특수한 목적으로 제작되거나 소비전류를 적게 하려는 경향에서 최소한의 기능을 지닌채 사용되어 왔다. 또한 자동계측을 수행하는 프로그램도 고급언어이기 보다는 기계언어에 가까운 특정 데이터로거용 언어가 대부분이었다. 따라서 현장계측자료를 분석하는 수자원기술자는 자료획득에 관한 일련의 과정을 현장상황에 대한 물리적인 이해가 충분치 못한 계측기술자에게 맡김으로서 자료의 신뢰도 확보에 문제점을 초래

하였다.

이런 문제의 해결방안으로써 수자원기술자가 수문사상의 기술적인 내용과 자료의 수집과정을 최적화할 수 있도록 일반 노트북이나 팜탑을 이용하는 시스템(Field-Data Acquisition System, F-DAS)이 개발되었다(이종국 등, 1998). F-DAS에서는 A/D 변환기로 PPDL12(Parallel Port Data Logger 12)를 사용하고 있으며 노트북의 병렬포트를 이용하여 12 bit 분해능으로 8 개의 아날로그 신호를 동시에 측정할 수 있도록 설계되었다. 자료를 저장하기 위하여 노트북에 내장된 하드디스크를 사용하기 때문에 보통의 데이터로거가 채택하고 있는 1 Mb 내외의 크기에 비하여 수백배에 이르는 자료를 기록할 수 있는 장점이 있다. 또한 가장 널리 쓰이는 윈도우 프로그래밍 언어인 비주얼 베이직을 이용함으로써 단순히 자료를 수집 저장하는 기능 외에 현장에서 자료의 자동분석, 자료의 시각화, 자료의 필터링 및 변환, 자료의 송수신 기능 등을 따로 부가장비를 구비하지 않고도 노트북 내에서 처리할 수 있으며 사후처리를 위해서도 적절한 형태로 자료의 저장이 가능하다. 그림 1은 팜탑과 PPDL12를 이용한 F-DAS의 구성을 나타낸 것이다.

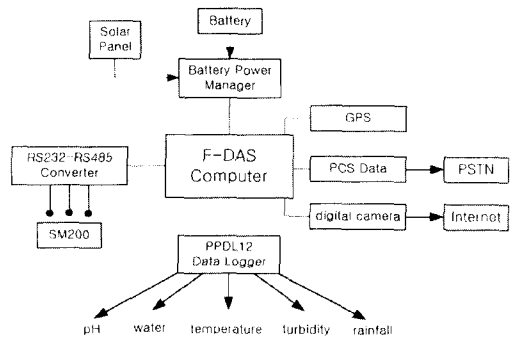


그림 1. Field-Data Acquisition System(F-DAS)

2-3. PCS 무선데이터통신을 이용한 실시간 자료획득 방법

실시간 자료획득을 위한 우선적인 조건은 현장에서 측정하고 있는 자료를 원격지에서 실시간으로 조회할 수 있는가 하는 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위

하여 기존방법으로는 위성을 이용하여 자료를 수집하거나 전용 텔리미터 망을 이용하였다. 그러나 이 방법은 통신시설의 설치와 지속적인 이용에 투자되는 비용이 상대적으로 비싸고 무선주파수의 인허가에 관련된 문제점이 발생하였다. 예를 들어 무선모뎀을 이용하는 경우 최대 20km의 송수신만 가능하고 그 이상은 법적인 허가절차가 까다로워 활발한 사용이 어려웠다(허 등, 1999). 최근 이런 어려운 상황을 타파할 수 있는 방안으로 PCS 데이터통신을 이용하여 전국적으로 실시간 통신을 할 수 있는 건설교통부 신기술이 개발되었다(여운광과 이종국, 1999).

PCS 무선 데이터 통신의 장점은 다음과 같다. 우선 기존의 무선통신 방법에 비하여 속도가 빠르다. 위성통신의 경우 자료의 전송속도가 2400bps, 무선모뎀, 셀룰러 폰의 경우 최대 9600bps, 텔리미터 시스템의 경우 1200-2400bps가 일반적이거나 PCS는 14400bps의 속도로 자료를 송수신 할 수 있으며 1~2년내에 최대 58600bps까지 성능이 향상될 예정이다. 두번째는 초기 투자비가 가장 저렴하다. PCS 폰의 경우 수십만원 정도에 불과하나 다른 시스템은 수백만원에서 수천만원을 호가한다. 세번째로 PCS는 재료의 구입과 교체가 용이하기 때문에 기계의 고장과 망실에 따른 복구기간이 빠르다. 네번째로는 자료의 전송에 따른 신뢰성이 높다는 것이다. PCS 무선망은 24시간 네트워크 센터에서 무선품질을 모니터링하고 관리하기 때문에 품질보장과 자료전송의 정확성을 기할 수 있다. 또한 시스템을 구성한 후 유지·관리가 매우 간단하고 비용도 저렴하다는 장점이 있다. 마지막으로 PCS 데이터통신은 법적으로 보장된 통신방법이기 때문에 앞서 언급한 주파수의 중복과 법적인 하자를 해결할 수 있다. 따라서 지속적으로 증가하는 무선주파수의 공적인 책임과 현장 모니터링 시스템을 구성하고 설치하는데 필요한 인허가로 인한 낭비요소를 줄이고 손쉽게 시스템을 구축할 수 있는 PCS 무선 데이터 통신을 이용하는 방법은 앞으로 현장의 실시간 정보가 필요한 많은 경우에 국토면적이 좁아 전국에 걸쳐서 PCS단일망의 설치가 가능한 국내의 현실에서는 매우 효과적이다.

3. 우수유출억제시설의 설치와 침투량·유출량의 현장계측

우수유출을 억제하고 효과적인 수자원의 관리를 위한 우수유출억제시설의 한 형태인 침투집수정의 제원 및 설치방법 그리고 유출억제의 효과를 측정하기 위한 침투량 및 유출량의 현장계측시 염두에 두어야 할 점에 대하여 살펴본다.

침투집수정의 설치조건은 침투집수정의 설치로 인하여 홍수피해가 발생하지 않아야 하므로 침투형 집수정의 위치선정시에는 다음과 같은 것에 주의해야 한다. 우선 산사태 위험지역, 급경사지 등 우수침투에 의해 지반의 안정성에 문제가 발생할 우려가 있는 지역을 피해야 한다. 또한 지하건물의 밀집 등으로 우수침투시 주변지역의 건물에 누수 등 문제가 발생할 우려가 있는 지역은 피해야 하며 투수계수가 10-50cm/sec보다 작은 토양(시공지역의 터파기 공사 후 물이 5시간동안 0.18cm 이하로 침투되는 토양)과 입도 분포에서 점토가 40%이상, 공강주변지역 또는 매립지 주변지역 등에서의 수질오염이 우려되는 지역은 삼가해야 한다. 이러한 조건하에서 전국 4개 시범지역에 설치될 예정인 침투집수정의 제원은 다음과 같다(그림 2. 참조, 행정자치부 재해복구과, 1999).

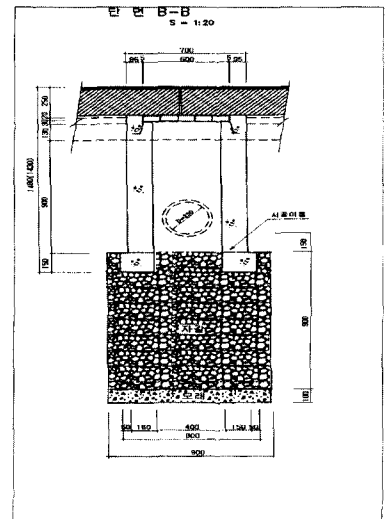


그림 2. 침투집수정(침투통)의 단면도

침투집수정의 기본도면은 1998년 건교부에서 발간한 “도로 부대시설 표준도(배수시설, 안전편)”를 기준으로 하였으며 침투집수정간의 간격은 30m로 설정하였다. 이토실(침전조)은 별도의 시설을 설치하지 않고 하수관거와 연결되는 관을 15cm 턱을 두어 침전토록 유도한다. 침투층을 집수정의 바닥에 설치하기 위해서 시공하는 침투층의 골재는 깨끗하고, 세척된 2~7cm 입径의 자갈골재를 골착된 공간 내에 넣고 유출수의 통로를 만들기 위해 가볍게 다짐공을 한다. 이와 같은 침투집수정이 국내의 조건에서 도시도로변에서 우수유출량을 억제할 수 있는 효과적인 수단으로 자리잡기 위해서는 침투집수정의 침투효과에 대한 정량적인 분석이 필요하다.

침투집수정이 단순집수정에 비하여 우수를 지하수로 침투시키는 효과를 측정하기 위하여 현장에서는 기왕의 집수정과 침투집수정을 동시에 설치하고 우수유출이 있을 시 침투효과를 측정함으로써 그 효과를 측정할 수 있도록 한다. 집수정 설치안에 명시된 30m 이격거리로 평탄한 도로변에 침투집수정과 집수정을 설치한다. 이때 침투집수정과 집수정은 우수에 의해서 동일한 유출량이 발생하도록 현장조건을 면밀히 검토한다. 유입량의 조건이 같아야 하기 때문에 유입량의 이상의 생길 수 있는 상황들, 즉 불균등한 도로변, 경사진 도로변, 상하류로 구분된 지점, 턱높이에 차이가 있는 곳 그리고 특히 지하수위의 급격한 변동이 있는 곳은 피해야 한다.

침투집수정의 침투효과는 수리학적 견지에서 보편식(1)과 같이 토양표면간의 압력수두경사 및 대기압(중력)의 변화 그리고 침투계수에 따라 결정되어진다.

$$q = -K \frac{\Delta H}{\Delta L} = -K \left(\frac{\Delta h}{\Delta L} + \frac{\Delta z}{\Delta L} \right) \quad (1)$$

여기서, q : specific discharge

K : permeability coefficient

$\frac{\Delta h}{\Delta L}$: gradient of matric potential

$\frac{\Delta z}{\Delta L}$: gradient of gravitic potential

따라서 현장에서 침투집수정의 효과를 기존의 집수정과 비교할 때 대기압의 변화가 동일하다고 가정하면 침투효과는 단지 토양표면간의 압력수두경사의 차에 따를 것이다. 그러나 같은 조건하에 설치된 침투집수정과 기존 집수정간의 수위의 차이는 단지 침투층을 통한 침투집수정내의 수위감소에 기인할 것이므로 침투집수정과 기존집수정의 수위변화를 계속 관찰하여 침투효과의 상대적인 변화를 읽을 수 있을 것이다. 따라서 수위센서를 이용하여 유출량이 발생할 시 수위를 자동계측하고 전 절에서 언급한 F-DAS를 이용하면 전국 어디서나 실시간으로 침투집수정과 기존 집수정의 수위변화를 측정할 수 있다.

4. 미래지향적 우수유출정보 시스템의 필요성과 방안

우수유출억제시설의 효과를 검증하기 위한 실시간 침투집수정의 수위계측 방법은 전 절에서 제시하였다. 위와 같은 실시간 현장 모니터링 시스템은 구체적으로는 침투집수정과 기존집수정의 유출량의 차이를 보이는 단순한 기능에 머물고 있으나 본 시스템을 도시구역이나 구역의 주요지점에 설치하여 운영하게 되면 본격적인 실시간 구역 우수유출시스템으로 전환 이용할 수 있다. 즉 우수유출억제 시설의 실시간 모니터링과 더불어 구역의 우량관측, 주요수위표 지점에서 수위를 관측, 지하수위의 변동을 대표할 수 있는 지하수위의 변화를 실시간으로 측정한다면 우수유출의 억제효과의 효과를 확연하게 보여줄 수 있을 뿐만 아니라 홍수 예·경보관리, 수자원관리 등의 다목적 인 효과를 거둘 수 있다. 우수유출억제시설의 시범적인 실시간 모니터링이 성공적으로 수행되고 우수유출억제 시설의 타당성이 입증된 후에는 본격적인 우수유출시설의 설치이전에 구역의 현재 유출상태를 실시간으로 모니터링을 할 수 있는 시설을 먼저 설치한 후에 일정기간 운영하여 우수유출억제시설 전의 자료를 축적한 후 침투집수정을 설치한다면 보다 합리적인 우수유출억제시설의 효과를 입증할 수 있을 것이다.

실시간 모니터링의 장점을 여기서 자세히 논하는

것은 본고의 목적은 아니다. 그러나 실시간 모니터링이 가능함으로 인해서 현장계측에서 얻어지는 장점은 상기할 필요가 있다. 무엇보다도 자료의 신뢰성이 확보된다는 것이다. 많은 경우 계기를 설치할 때는 작동이 원활하나 시간이 경과하면서 고장이나 망실 또는 센서의 성능저하로 인하여 실제값과는 동떨어진 계측을 수행하는 경우가 비일비재하다. 그러나 실시간 모니터링이 가능해지면 현재 측정되는 값의 신뢰도를 측정 즉시 확인할 수 있기 때문에 자료가 불량한 경우에는 그 원인에 맞는 합당한 조치를 취할 수 있다. 따라서 현장계측에서 가장 중요한 자료측정치의 신뢰도 확보에 결정적인 역할을 할 수 있다.

위와 같이 실시간 모니터링이 중요함에도 불구하고 아직까지 국내에서는 대하천의 홍수 예·경보의 목적

이외에는 활발하지 못하였던 것이 사실이다. 그 중요한 이유중의 하나는 이제까지는 실시간 현장계측을 수행할 수 있는 기기와 환경이 미흡했었기 때문이다. 고가의 외국산 기기와 비싼 위성사용료 등 실시간 현장계측을 가로막는 여러 가지 요소가 산재하였으나 최근 개발된 건교부 신기술(제150호, "PCS전화기를 이용한 건설현장계측 시스템의 구성")을 통하여 이러한 애로점을 해결할 수 있는 방법이 제시되었다. 앞으로 도시나 미계측 유역의 현장계측이 활발히 되고 우수유출억제 시설과 같은 시설이 유역에 설치된다면 급증하는 도시화, 산업화로 인한 도시유출량의 추이를 실시간으로 감시하고 적절한 대책을 마련하여 국민의 인명과 재산의 피해를 최소화할 수 있는 방법으로 자리잡을 수 있을 것이다. ●

〈참고문헌〉

1. 심재현, 우수유출억제시설 설치에 의한 재해경감효과, 방재연구, 제1권, 제1호, pp. 33-41, 1999.
2. 여운광, 이종국, PCS전화기를 이용한 건설현장계측 시스템의 구성, 건설교통부 신기술 지정 신청, 1998.
3. 이종국, 허정호, 여운광, 호출기를 이용한 국지재해 예·경보시스템의 개발, 한국토목학회 학술발표회 논문집(III), 대한토목학회, 1998.
4. 방기성, 도시형 재해예방기능 강화를 위한 정책과제 - 우수유출 저감대책을 중심으로 -, 한국수자원학회지, 제31권, 제5호, pp. 47-50, 1998.
5. 행정자치부 재해복구과, '99 지방도로 정비사업 도로측구 침투집수정 설치설계지침, 1999.
6. 허정호, 이종국, 여운광, 현장계측시스템의 전자동화를 위한 PCS무선데이터통신의 이용, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, 1999.
7. Fraden, AIP Handbook of modern sensors, AIP press, New York, 1993.
8. Sabourin & Associates Inc., Evaluation of roadside ditches and other related stormwater management practices, Internet document, <http://www.jfsa.com/html/mtrca.htm>, The Toronto and Region Conservation Authority.