

비만관 유량계의 측정 신뢰성과 객관성 확보

이동근 · 김종섭 / K-water

dongkeun@kwater.or.kr piano@kwater.or.kr

1. 머리말

삶의 질이 향상됨에 따라 생활용수의 사용량이 증가하고, 그와 병행하여 각 가정에서 배출되는 하수의 양도 증가하고 있다. 생활하수가 하천 등의 자연으로 그대로 유입될 경우 식수원을 포함한 자연 생태계의 파괴로 이어지기 때문에 방류가 가능한 수질기준을 법으로 정하여 엄격하게 관리하고 있다. 하수처리하는 오염원에서 관거를 통하여 처리시설로 유입시킨 후, 유입수질에 적합한 처리공법을 통하여 적절하게 처리한 다음 하천 등으로 방류시키는 일련의 과정으로 구성된다. 하수관거 관리는 하수 이외의 유입수 차단과 누수가 없어야 하며, 정확한 유량측정이 이루어져야 처리시설의 효율성을 높일 수 있다.

환경부에서는 하수관거 정비사업과 관련, 비만관 유량계의 설치 및 유지관리 업무에 활용하기 위한 “하수관거 유량계 설치 및 유지관리 매뉴얼”(이하 “매뉴얼”이라 한다.)을 작성하여 하수관거 관리를 보다 체계적으

로 하고 있다. 매뉴얼에 따르면 유량계는 주기적(일일, 주간, 월간, 수시 및 긴급)으로 점검항목에 따라 현장과 중앙제어실에서 기기별로 작동상태의 이상유무를 점검하고, 설치 후 측정데이터의 정도 및 신뢰성 확보를 위하여 지속적으로 현장 정도관리를 하도록 규정하고 있다. 즉, 측정데이터의 연속성을 보장하기 위하여 유지관리지침에 따라 유지관리를 수행하고, 측정의 정확성과 객관성을 보장받기 위해 공인검사기관의 검사를 받아 관리하여야 한다. 국내의 하수관거정비 BTL 사업에 적용된 고정식 유량계 설치현황 파악을 위한 설문조사결과(2013)에 따르면 초음파, 전자기, 만관, 레이다, 벤츄리플룸식으로 모두 5종 432대가 설치되어 있으며, K-water가 관리하는 2대를 포함시키면 비만관 유량계의 종류별 설치수량은 표 1과 같이 434대이다. 현재 비만관 유량계의 교정이 가능한 교정기관은 KTL(한국산업기술시험원)과 (주)우진 등 2개 기관이며, 이 중 KTL은 초음파식과 PB 플룸식을 교정하기에 적합한 시스템을 기준유량계법으로 구축하였다. 동 시스템은 저수조와 수중펌프, 유동 안정화를 위한 밸런스

유량계 신기술 및 연구개발 동향

구분	초음파	전자기	레이더 등	비고
하수관거용 유량계				K-water (연기군:2대)
설치수량	332대(76%)	86대(20%)	14대(4%)	총 434대

표 1. Installation numbers of part filled flowmeter

탱크, 2개의 시험관로(φ65, φ100)에 기준 유량계인 전자기 유량계가 설치되어 있어 유동율에 따라 선택 교정이 가능하다. 그러나 소수의 교정기관에서 현재까지 파악된 비만관 유량계에 대한 주기적인 교정검사와 신설이나 교체에 따른 교정수요를 충족시키기에는 업무량이 과다하다. 또한, 교정기관들의 측정능력 향상을 통한 유량계 산업의 발전과 정부 정책의 일환으로 추진되고 있는 하수관거 정비사업의 효율성 제고와 지속적인 추진을 위한 교정기관의 추가가 필요하다.

유량계 종류별 설치조건은 표 2와 같으며, 비만관 유량계의 종류별 측정원리를 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

도플러법을 이용하는 초음파식은 도플러 효과에 따라 유체 중의 부유입자가 이동하는 속도에 비례하는 편이주파수(도플러주파수)를 측정하여 유체의 유속을 산출하고, 압력식이나 초음파식 수위계가 측정하는 수위에 따라 유량을 연산한다.

유량은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

2. 하수관거 유량계의 종류 및 설치조건

$$Q \propto K \cdot f_d \cdot A \dots (1)$$

하수관거에 설치되는 유량계는 정확성, 경제성, 유지관리성, 시공성 및 자재공급의 편리성 등을 고려하여 사용되는 목적과 용도에 적합하게 선정하여야 한다. 장기적으로 연속적인 유량측정을 할 것인지, 긴급점검 등 일시적인 유량측정의 목적인지에 따라 고정식과 이동식을 선택하며, 설치되는 장소가 독립된 유량계실인지 기존의 맨홀인지에 따라 적절한 종류를 선정하여야 한다.

여기에서,

K : 유량보정계수

f_d : 도플러 주파수 $\left(f_d = \frac{2V \cos\theta}{C} f_t \right)$

f_t : 발신 주파수

C : 유체 중의 음속

A : 단면적

또한 정확한 유량측정을 위하여 충분한 직관거리와 유속은(0.6~3.0)m/s가 유지되고 흐름의 정체가 없으며, 진동이나 충격 등의 영향이 없는 장소에 설치하여야 한다.

PB 플룸식은 수로의 중간에 조임부를 만들어 유량을 측정한다. 좁혀진 수로에서는 유속이 빨라지며, 플룸 직전에서 유체의 수위가 상승되기 때문에 이 수위를 측

비만관 유량계의 측정 신뢰성과 객관성 확보

유량계 종류	구분	기존 설치조건 (제조사 사양서 제시 조건)	권고 설치조건
PB 플룸식	수위	<ul style="list-style-type: none"> •최소 : 제한 없음 •최대 : 만관 이하 	<ul style="list-style-type: none"> •최소 : 제한 없음 •최대 : 관경의 80% 미만
	경사	•2% 이하	•수평
	관경	•제조사가 지원하는 모든 관경	•해당 관경에서 정도검사 후 설치해야 함
초음파식	수위	•0~2,000mm	<ul style="list-style-type: none"> •최소 : 5mm 이상 •최대 : 2,000mm
	경사	•모든 경사 가능	•모든 경사 가능
	관경	•제조사가 지원하는 모든 관경	•해당 관경에서 정도검사 후 설치해야 함
전자식	수위	•0~5,000mm	<ul style="list-style-type: none"> •최소 : 3mm 이상 •최대 : 5,000mm
	경사	•모든 경사 가능	•모든 경사 가능
	관경	•제조사가 지원하는 모든 관경	•해당 관경에서 정도검사 후 설치해야 함
벤츄리플룸식	수위	<ul style="list-style-type: none"> •최소 : 제한 없음 •최대 : 만관 	<ul style="list-style-type: none"> •최소 : 제한 없음 •최대 : 만관
	경사	•2% 이하	•2% 이하
	관경	•제조사가 지원하는 모든 관경	•해당 관경에서 정도검사 후 설치해야 함

표 2. Installation conditions

정하여 유량을 연산한다. 즉, 유량은 식 (2)와 같이 수위의 함수이다.

$$Q = f(h) \dots\dots (2)$$

벤츄리 플룸식의 유량은 플룸 유입부 높이의 함수로 표현되며 유입부의 높이는 압력변환기를 이용하여 측정한다. 유량은 PB 플룸식과 마찬가지로 수위의 함수이다.

$$Q = f(h) \dots\dots (3)$$

레이더식은 초음파 주파수를 흐름속의 유체에 발산

시키고, 유체와 반응하여 반사되는 주파수를 처음 주파수와 비교하여 흐름의 속도와 방향을 계산하고 진동 반사파로 흐름의 높이를 측정한다. 유량은 연속의 식인 (4)와 같이 정리된다.

$$Q = \bar{v} \cdot A \dots\dots (4)$$

여기에서,
 \bar{v} : 평균유속
 A : 단면적

전자기식은 전자유량계의 원리를 그대로 이용하여 유속을 측정하며, 비만관의 수위를 측정하는 수위계에

의한 유속 단면적을 이용하여 유량을 연산한다.

3. 성능시험

비만관 유량계의 수요가 증가와 매뉴얼에 따른 교정 검사 등의 필요성에 따라 납품을 위한 성능시험과 개발된 유량계의 성능을 확인하기 위한 시험의 요구로 K-water의 유량계교정설비를 이용하여 성능시험을 수행하였다.



그림 1. Pressure reducing valve

K-water의 교정설비는 만관 유량계를 교정하기 위한 설비이기 때문에 비만관 유량계의 성능을 시험하기 위하여 그림 1과 같이 유량계 상류에 충분한 직관거리를 유지시킨 위치에 설치된 감압변으로 2차 측의 압력 조절에 의한 비만관 상태를 인위적으로 유지시키는 방법을 활용하였다. 또한 비만관 상태 및 수위를 육안으로 확인하기 위하여 하류에는 투명관을 설치하였고, 감압변에 의한 유동의 교란을 최소화시키기 위하여 유량계 직전에는 관다발형 정류기(Flow conditioner)를 설치하였다. 그림 2는 정류기, 비만관 유량계와 하류의 투명관이 설치된 모습이다.



그림 2. Configuration of flowmeter

성능시험은 의뢰자가 요구하는 유량으로 실시하였으며, A사 제품은 유량측정용 초음파센서를 배관의 바닥에 설치하고, 도플러법에 의해 유속과 수위를 검출하여 유량을 지시하는 형식으로 총 4대를 시험하였다. 시험 결과는 그림 3과 같이 측정된 편차는 4대의 유량계가 저유량 일부를 제외하고 모두 $\pm 4\%$ 이내의 값을 지시하고 있다. B와 C사는 습식다회선초음파유량계에 의한 유속과 수위계가 측정하는 수위별 단면적을 연산하는 방식으로 유량을 지시하는 비만관 유량계이다. 시험 결과는 그림 4에 나타난 것과 같이 B사는 $\pm 2\%$, C사는 유량측정 범위가 넓고 일부는 만관상태에서 측정된

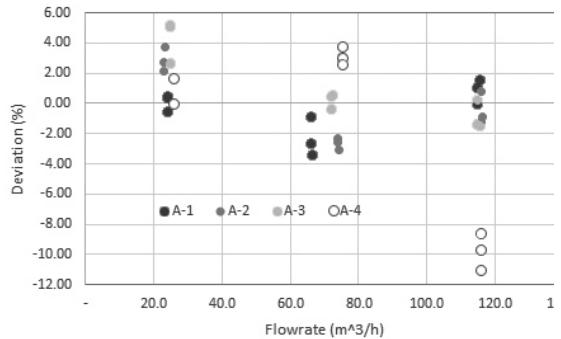


그림 3. Deviations of part filled flowmeter for Maker A

비만관 유량계의 측정 신뢰성과 객관성 확보

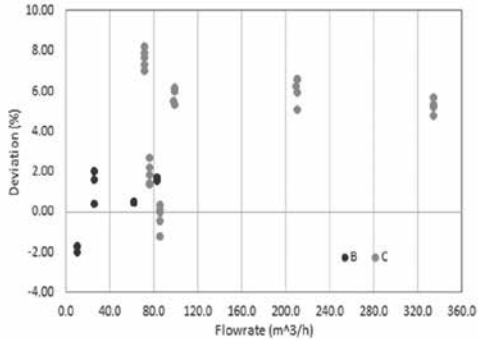


그림 4. Deviations of part filled flowmeter for Maker B & C

값이기는 하지만, 대부분의 편차가 +5~+8%를 지시하고 있다.

실험결과에서 알 수 있듯이 A사 유량계의 시험결과가 B, C사보다는 양호한 것으로 나타났다. 비만관 상태의 유동은 자유표면을 갖기 때문에 유동 표면의 요동(Fluctuation)이 필연적으로 생길 수밖에 없다. 이 요동에 의한 수위측정의 정밀, 정확도를 높이기 위한 알고리즘을 어느 정도 신뢰할 수 있는지에 따라 측정의 정확도는 높아질 것으로 판단된다.

4. 맺음말

측정의 신뢰성과 객관성을 보장하기 위하여 매뉴얼에서는 “유량계의 정도는 기준 값과의 정확도(측정편차율)만으로 나타내기에는 충분하지 않다. 정도라는 의미는 정확도와 정밀도를 모두 포함하므로, 정확도(측정편차율)로 나타낸 오차를 보정해주어야 하고, 정확도(측정편차율) 뿐만이 아니라, 측정된 모든 데이터에 대한 정밀도(산포)도 나타내어 주어야, 유량계별 계측 유효성을 판단할 수 있다.”라고 언급하고 있다. 교정성적서에는 매뉴얼의 의미가 모두 포함된다. 즉, 유동율별로 기준기와 피교정기를 비교한 측정편차로 정확도를 나

타내고 있으며, 실험결과에 대한 불확도와 시스템 고유의 불확도를 합성한 확장불확도로 정밀도를 표현하고 있다.

따라서, 국가정책에 부응하고 하수관거 유량측정결과 신뢰성과 객관성을 확보하기 위하여 K-water는 비만관 유량계를 교정하고 공인성적서를 발행하기 위한 시스템을 구축하였다. 동 시스템은 기준유량계를 이용하는 설비이며, 한국인정기구의 평가와 인정을 통해 2014.08 그 자격을 획득하였다. 기존의 만관 교정시스템에서 시험용 관로를 분기하고, 기준유량계로는 전자기유량계(ø150)를 사용하였으며, 유동을 안정화를 위해 정류벽이 내장된 보조탱크와 시험관로(ø300)를 설치하고, 하류에는 유량조절을 위한 밸브와 수로의 경사도를 조정하기 위한 유압식 실린더를 구비하였다. 인정된 유동율은(21~190)m³/h이며, 교정측정능력은 0.45%이다. 향후 K-water의 교정설비가 하수관거의 설치 및 유지관리 업무에 적극 활용되기를 기대한다.

〈참고문헌〉

1. 안대훈, 김종오, 2013, “하수관거정비사업의 사업효과 분석 및 유량계 설치 개선방안에 관한 연구,” 한국습지학회지 제15권, 제4호, pp. 461~469.
2. 환경부, 2008, “하수관거 유량계설치 및 유지관리 매뉴얼.”
3. 유성호, 이동락, 이민수, 2006, “비만관 유량계 교정 시스템 구축에 관한 연구,” 유체기계저널 제9권, 제4호, pp. 7~12.
4. 유성호, 이민수, 2005, “하수관거용 비만관 유량계 분야 연구동향,” 유체기계저널 제8권, 제5호, pp. 57~61.