

방류수 유량계(전자기유량계, 파살플룸)의 특성평가 연구

안양기* · 김지영** · 김금희** · 장희수* · 정정필* · 최종우**†

A Study on Comparison of the Characteristic Test of Discharge Water Flowmeters (Electromagnetic Flowmeter, Parshall Flume)

Yang-ki An*, Jee-young Kim**, Kum-hee Kim**, Hee-soo Jang*, Jung-pil Jung*, Jong-woo Choi**†

Key Words : Closed Channel(관수로), Electromagnetic Flowmeter(전자기 유량계), Flowmeter(유량계), Liquid Flow Calibration System(액체유량교정시스템), Open Channel(개수로), Parshall Flume(파살플룸)

ABSTRACT

The test of comparing liquid flow calibration system (approved by KOLAS) for accuracy and structure change test was performed in the test bed in order to evaluate the typical characteristics of the electromagnetic flow meters and parshall flume that are generally used in the water discharging facilities. The results of the accuracy comparing test with liquid flow calibration system showed the error of less than 2%. Parshall plume got error up to -8.3% (low flow) from the flow rate test, but less than 4% from the accumulated flow test because of offset error at high flow rate and low flow rate. Evaluation of structural change test was tested with only parshall flume using structure and it consisted of installation angle (parshall flume and level sensor) and position change. Installation angle, water level sensor angle and position changing test for parshall flume had errors of 3.1%~9.2%, 0.4%~5.6% and 0.2%~1.3% respectively. Especially, the error showed the largest increase when the water level sensor measured the point of decreased flow by the structure change. Therefore, error factors (change of straight pipe length, installation of obstacle or effect of foreign substances on water level sensor) that can often occur in the field should be derived and the research for optimized installation method should be carried out continuously.

1. 서 론

우리나라는 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」을 통해 수질방류시설에서 배출되는 오염물질을 관리하고, 지속적으로 수생태계를 보존하기 위해 2006년부터 수질원격감시체계(수질TMS) 제도를 운영하고 있다. 수질원격감시체계는 수질방류시설(공공하수처리시설, 폐수종말처리시설, 폐수배출사업장) 최종방류구에 환경측정기와 액체유량계를 설치하여 배출되는 오염물질의 농도와 방류유량을 실시간으로 감시하기 위한 제도이다. 오염물질의 농도를 측정하는 환경측정기는 「환경 분야 시험·검사 등에 관한 법률」에 따라 형식승인제도 및 주기적인 정도검사로 지속적인 신뢰성을 확인하

고 있다. 하지만 수질방류시설의 최종방류구에 설치된 유량계(방류수 유량계)에 대해서는 아직까지 체계적인 관리제도가 없는 실정이다. 수질원격감시체계에서 유량계는 오염물질의 총량을 산정하는 측정기기로서, 유량값은 환경측정기기의 오염물질 측정값과 함께 수질원격감시체계 제도에서 매우 중요하게 다뤄져야 한다.

유량계는 설치구조를 기준으로 크게 관수로(Closed channel)와 개수로(Open channel) 방식으로 구분할 수 있다.⁽¹⁾ 관수로는 유체가 압력이 있는 만관상태로 배관에서 흐르는 구조를 의미하고, 대표적인 유량계로는 전자기유량계와 초음파유량계(단회선, 다회선) 등이 있다. 개수로는 낮은 압력의 유체가 수로에 부분적으로 채워지면서 흐르는 구조

* 한국환경공단(Korea Environment Corporation)

** 국립환경과학원(National of Environmental Research)

† 교신저자, E-mail : anbear@keco.or.kr

로 정의 할 수 있는데 크게 구조물을 이용하는 파살플룸, 위어와 사각수로에서 사용하는 복합센서 방식이 있다.

전자기유량계는 관수로의 대표적인 유량측정방법으로 일부 액체유량계 교정기관의 교정시스템에 기준유량계방법(master meter method)으로 사용되고 있다. 따라서 유량계 교정방법에 주로 사용되는 중량측정법(gravimetric method), 부피측정법(volumetric method)에 비해 측정불확도는 크지만 저비용으로 시설을 구축할 수 있어서 경제적으로 유량계를 교정할 수 있는 방식이다.⁽²⁾ 전자기유량계의 정확도에 대해서 수질오염공정시험기준에서는 지시값 오차를 $\pm 1\% \sim \pm 2\%$ 로 규정하고 있고,⁽³⁾ KS에서는 만관 및 직관부를 유지하기 위한 설치조건 등을 규정하고 있다.⁽⁴⁾

개수로의 대표적인 유량계인 파살플룸은 저비용으로 설치할 수 있는 이점이 있으나 압력손실이 크고 상류에 퇴적되는 모래나 침전물이 유량측정에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. ISO와 JIS에서는 파살플룸의 제작규격과 설치규격(직관부, 하류조건, 퇴적물 등)을 규정⁽⁵⁾하고, 측정오차는 $\pm 4\% \sim \pm 8\%$,⁽⁶⁾ 직관부 길이는 목직경의 5배에서 10배로 제시하고 있다.⁽⁷⁾

한국표준과학연구원은 터빈유량계(기준유량계)와 파살플룸의 정확도를 비교하는 특성평가를 실시하였는데 직관부 길이변화와 다공판, 소용돌이 시험을 실시하였다. 직관부가 목직경의 10배 이상인 경우 $\pm 1\%$ 이내의 오차를 보였고, 다공판이 있으면 직관부가 짧더라도 $\pm 5\%$ 이내의 오차를 보였다. 또한 직관부가 없는 경우에 유체가 유입되는 면적이 넓으면 $\pm 2\%$ 부근의 오차가 관측되었다.⁽⁸⁾

이번 연구에서는 KOLAS로부터 인정한 액체유량교정시스템에 방류수 유량계로 주로 사용되고 있는 전자기유량계와 파살플룸을 직렬로 연결하여 정확도시험과 파살플룸의 구조가 변경되었을 때 발생할 수 있는 특성을 확인하였다. 이를 위하여 Test bed를 구축한 후 연구를 진행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 Test bed 준비

Test bed는 액체유량교정시스템과 전자기유량계, 파살플룸을 직렬로 연결하여 펌프에서 공급되는 유량을 동시에 측정할 수 있는 구성으로 설계하였다. 액체유량교정시스템은 KOLAS에서 인정한 중량측정법을 활용하고, 다수의 교정기관이 사용하는 표준측정방식을 적용하고 있다.

전자기유량계는 현장에서 많이 사용되고 있는 Endress+Hauser 제품으로 공단이 보유하고 있는 액체유량교정시스템의 비교용 유량계를 활용하였다. 파살플룸은 현장에 많이 설치되어있는 Wintec사의 제품으로 구매하고, 수위센서는 일반적으로 사용하는 초음파 방식을 선정하였다. Test bed

Table 1 Specification of test bed

Division	Liquid flow calibration system	Closed channel	Open channel
Category	Gravimetric method	Electromagnetic flowmeter	Parshall flume
Publisher	Daero. Ltd.	Endress+Hauser	Wintec Ltd.
Range (m ³ /h)	0.6~60	12~72	2~100
Diameter	80 mm	80 mm	2 inch (50.8 mm)
Material	STS	STEEL	STS304

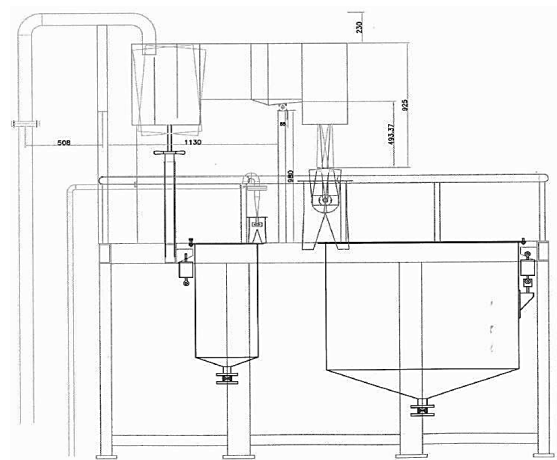


Fig. 1 Drawings of parshall flume

의 제원은 Table 1에 정리하였다.

Test bed 설계에서 가장 중요한 구성요소는 파살플룸의 설치조건이다. 파살플룸의 최초 설치위치는 전자기유량계 후단에 설치하여 직관부가 충분히 확보된 구조로 설계하였다. 하지만 이렇게 설계될 경우 파살플룸에서 배출된 유체가 높은 수위나 강한 압력이 없기 때문에 액체유량교정시스템의 중량탱크로 유입되지 않는다. 따라서 중량탱크로 유입되기 바로 직전의 배관을 분리하고 파살플룸을 설치하는 방식으로 설계를 변경하였다.

Test bed에 사용된 파살플룸은 ISO에서 정한 제작규격은 만족하였으나 설치공간이 부족하여 250 mm로 제작되어 설치규격(목직경의 최소 5배 이상, 254 mm)인 직관부를 충분히 만족하진 못했다.

또한 파살플룸을 통과한 유체가 액체유량교정시스템으로 직접 유입되기 위해서는 흐름을 자동전환 할 수 있는 Diverter(위치변환기)가 필요하다. Diverter는 유체의 유입 경로를 중량탱크와 배수시스템으로 빠르게 전환시킬 수 있는 매우 중요한 장치이다. 따라서 파살플룸 제작시 기존 Diverter를 참조하여 신규로 제작하였고, 테스트 결과 기존에 보유하고 있는 Diverter와 유사한 성능을 보였다. Fig. 1

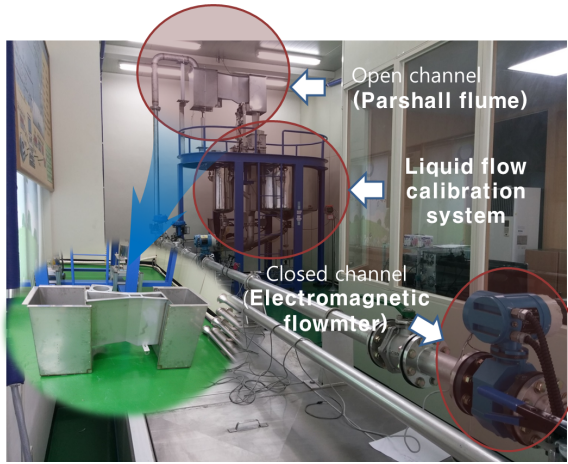


Fig. 2 Installation of test bed

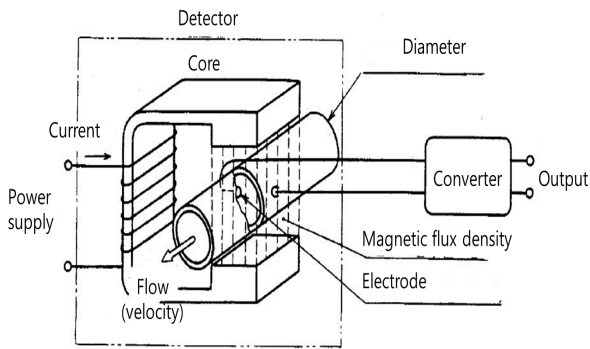


Fig. 3 Theory of electromagnetic flowmeter

은 파살플룸의 도면이고, Fig. 2는 3종류의 유량계가 설치된 Test bed 사진이다.

2.2 전자기유량계와 파살플룸의 설치조건

전자기 유량계의 기본원리는 유량계 몸체에 원형 코일을 설치한 후 몸체 밖에서 자장을 발생시키면 유전체(액체)가 이동하면서 생기는 유속에 비례하는 기전력이 수직으로 발생한다. 이 기전력을 측정하여 유량으로 환산할 수 있다 (Fig. 3 KS B 5260참조).

전자기유량계는 관수로에 설치하기 때문에 항상 만관으로 흘러야 하므로 배관을 설계할 때 유량계가 설치된 지점보다 상류방향으로 유체를 배출시켜야 한다. 만약에 유체의 흐름이 전자기유량계가 설치된 지점보다 아래 또는 수평으로 흐르게 되면 만관을 형성하지 못하게 되므로 유량 측정시 오차가 발생하게 된다. 또한 직관부가 충분히 확보되어야만 전자기유량계가 유속분포의 영향을 덜 받게 된다. KS에서는 유량계 전단에 설치된 밸브, 수축 또는 확장관에 따라 필요한 직관부의 길이를 제시하고 있다. 이번 연구에 사용된 전자기 유량계는 KS에서 제시한 규격을 모두 준수 하였다.

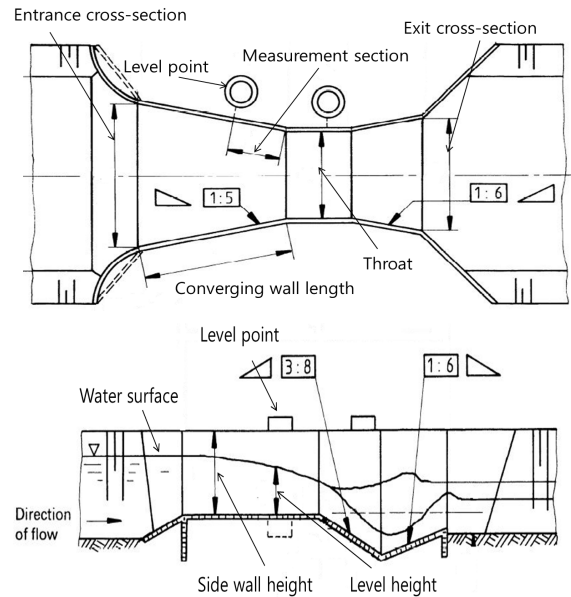


Fig. 4 Structure of parshall flume

파살플룸의 기본원리는 수로의 형태로 된 벤투리모양의 구조물에 유체가 유입될 때 수축부의 수위를 측정하여 파살플룸의 목 부위(throat) 크기에 따른 경험식에 대입하여 유량을 산출하는 방식이다.

파살플룸은 Fig. 4(ISO 9826 참조)과 같이 매우 세분화된 제작규격을 만족해야 한다. 크게는 상류, 구조물, 하류로 구분하고, 세부적으로는 유입부, 수축부, 목직경, 확대부, 유출부로 구분할 수 있다. 유체가 파살플룸의 상류에서 유입부를 통과하면 수축부에서 속도가 빨라지게 된다. 유입부의 유선 구조는 난류를 억제하고, 바닥의 경사는 수축부에서 수위 측정을 안정적으로 할 수 있게 한다. 수축부와 목 부위를 빠르게 통과한 유체가 확대부와 유출부로 확장 배출되므로 수축부의 수위에 영향을 미치지 않는다.

파살플룸은 구조물을 이용하여 유량을 측정하기 때문에 제작규격만큼 구조물의 설치규격도 매우 중요하다. 파살플룸의 상류에서 유입되는 유체가 바위, 자갈, 거품 등의 흐름에 영향을 주는 이물질에 의하여 흐름의 경계층이 불규칙한 경우가 발생되면, 유량값의 정확도는 하락하게 된다. 따라서 안정적인 유속분포를 얻기 위한 일정한 단면의 직관부가 필요하다. 만약 흐름조건을 원활하게하기 위한 정류판이 필요하다면 수위측정지점보다 약 10배 정도의 상류 측에 설치하는 것이 바람직하다.

2.3 특성평가 항목선정 및 시험방법

이번 특성평가는 크게 정확도시험과 구조변경시험으로 구분할 수 있다. 정확도시험은 액체유량교정시스템에서 측정된 유량과 각 유량계에서 측정된 유량간의 정확도를 비교(오

차)하는 시험으로 유동율 시험과 적산유량 시험으로 구분할 수 있다.

유동율은 단위시간에 흐르는 부피로 순시유량 이라고도 한다. 유동율 시험은 일반적인 교정절차와 동일하게 최소, 최대측정범위를 정하고, 그 사이를 5구간으로 구분하여 유량을 비교하였다. 최대 측정범위는 액체유량교정시스템의 교정범위를 초과하지 않기 위하여 50 m³/h를 결정하였고, 10 m³/h의 간격으로 5개의 유량지점(10, 20, 30, 40, 50) m³/h을 선정하였다.

적산유량은 일정시간에 흐르는 부피의 총량으로 수질방류 시설에서 주로 사용하는 1일 기준 유량을 의미한다. 이번 연구에서 적산유량시험은 2시간 30분을 기준으로 삼았고, 유동율을 주기적으로 변경하면서 실시하였고, 평균값은 약 25 m³/h였다.

파살플룸의 구조변경시험은 각도변경(파살플룸, 수위센서), 위치변경(수위센서), 정류판 설치, 장애물 설치, 직관부 변경 등을 시험대상으로 고려하였다. 시험대상을 결정하기 위해 측정데이터의 유효성을 확보하기가 곤란하거나, 파살플룸의 설치공간이 부족하여 측정값에 영향을 받는 시험을 제외한 항목을 선정하였다. 그 결과로 선정된 시험은 각도변경(파살플룸, 수위센서)시험과 수위센서 위치변경시험이었다.

시험방법은 먼저 정상적인 설치조건에서 30 m³/h(공공하폐수 처리시설의 최소유량범위)를 측정(기준값)한 이후 구조를 변경시킨 다음 동일한 유량을 다시 측정하였다. 특히 파살플룸의 구조물의 각도를 변경해야 하는 시험은 파살플룸에 부착된 Diverter의 위치가 변경될 경우 유체가 액체유량교정시스템으로 정상적으로 유입될 수 없기 때문에 전자기유량계를 기준으로 선정하여 비교하였다. 모든 계산은 기본적으로 상대오차의 수식을 적용하였다. 다만 유동율의 정확도시험 중 F.S.(Full Scale)오차는 Table 1에서 정한 최대 유량범위로 오차를 나눈 값의 백분율로 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 정확도 시험결과

정확도시험(상대오차)은 5개의 유량범위에서 각 4회씩 실시하였다. 전자기 유량계의 유동율 오차(F.S.기준)는 0.16%~0.74%이고, 상대오차 기준으로도 2% 미만의 결과로 정확도가 매우 높았다. 파살플룸의 경우(F.S.기준) 2% 미만의 오차를 보였지만 상대오차는 저유량범위인 10 m³/h 에서만 -8.27%로 높게 측정되었다.

액체유량교정시스템과의 기준값과 유량계별 측정값의 상관성을 Fig. 5와 같이 계산한 결과 R2값이 0.999 이상으로 매우 높았다. 따라서 2종류의 유량계는 유동율을 수식으로 보정한다면 정확한 유량을 측정할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

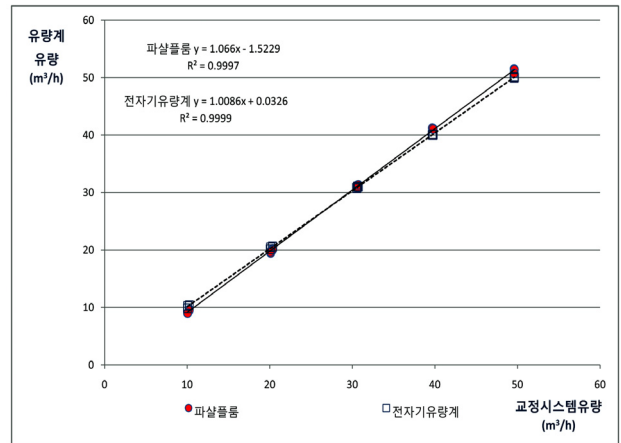


Fig. 5 Correlated formula of flowrate error test

적산유량은 전자기유량계와 파살플룸을 서로 비교하였다. 액체유량교정시스템은 중량을 측정할 수 있는 저장탱크의 용량이 정해져 있기 때문에 장시간 유량측정이 불가능하기 때문이다. 적산유량은 총 2시간 30분 동안 측정된 양의 초기값과 후기값을 비교하였다. 공급유량은 유동율시험에서 사용한 5개 유량범위를 10분씩 단계적으로 총 50분 동안 변환하였다. 이와 같은 유량변화를 총 3회 실시하여 2시간 30분의 적산유량을 계산하였고, 평균유량은 25 m³/h이었다.

적산유량 시험결과 전자기유량계는 2% 미만의 오차를 보였고, 파살플룸은 4% 미만의 오차를 확인하였다. 파살플룸의 적산유량 오차가 유동율 오차에 비해 감소된 이유는 오차가 크게 관측된 저유량 범위의 유동율 오차가 적산값으로 계산할 때는 양적으로 비교하면 고유량에 비해 적은양의 오차였기 때문에 상쇄가 된 것으로 판단된다.

3.2 구조변경시험결과

구조변경시험은 파살플룸의 구조물을 변경하였을 때 발생하는 오차를 확인하는 시험이다. 파살플룸의 구조를 3차에 걸쳐 변경하였다. 1차 시험은 파살플룸의 각도를 변경하는 시험이었다. Fig. 6와 같이 정상적인 파살플룸 구조의 각도를 3° 간격으로 변경하였을 때 측정된 값을 기준값과 비교하였다. 다만 +6°는 파살플룸의 Diverter를 분리해야만 구현할 수 있는 구조이기 때문에 시험에서 제외하였다.

시험결과 기준규격보다 +각도로 변경된 경우에는 기준값보다 유량이 증가되었고, -각도로 변경된 경우에는 유량이 감소되었다. 파살플룸 각도가 -6°일때 오차가 최대 -9.18%까지 증가되었다. 파살플룸의 각도가 음의 방향으로 변경되면 수위센서의 측정위치가 유체의 흐름이 하강하는 지점이기 때문에 유량이 감소된 것으로 판단된다. 또한 양의 각도로 변경되면 수위센서 측정지점이 기준보다 약간 높은 지점의 유체를 측정하기 때문에 유량증가로 이어지는 것으로 판단된다.

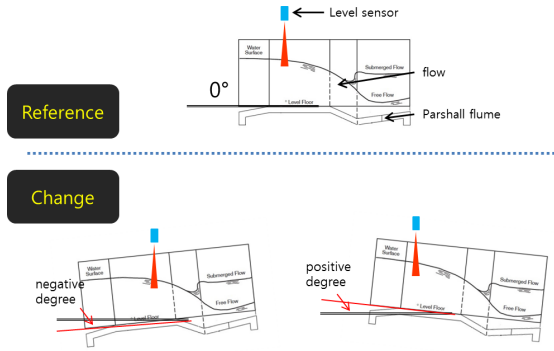


Fig. 6 Angle change test of parshall flume structure

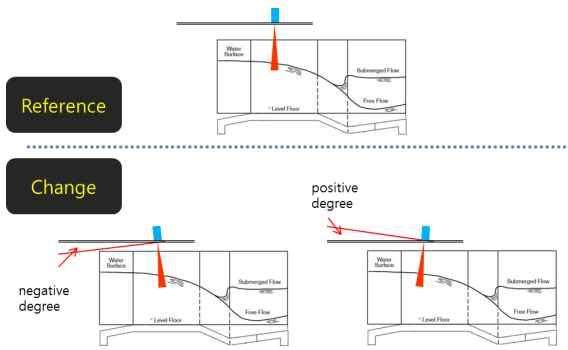


Fig. 7 Angle change test of level sensor

다. +각도보다 -각도의 유량오차가 더 큰 이유는 수위의 하강비율이 상승비율보다 더 급격하기 변했기 때문일 것이다.

2차 시험은 수위센서의 각도를 변경하는 시험이었다. Fig. 7과 같이 수위센서의 각도를 변경하였을 때 발생하는 오차를 기준값과 비교하였다. 시험결과는 파살플룸 각도변경시험과 유사하였다. 기준규격보다 +각도로 변경된 경우에는 기준값보다 유량이 증가되었고, -각도로 변경된 경우에는 유량이 감소되었다. 파살플룸 각도가 -6° 일때 오차가 최대 -5.68% 까지 발생되었다. 따라서 각도변경시험결과 수위가 하강되는 지점의 측정오차가 수위가 상승되는 지점보다 더 크다는 것을 확인할 수 있었다.

마지막 3차 시험은 수위센서의 위치를 변경하는 시험이었다. ISO9826에서는 수위측정지점을 수축부의 2/3지점이라고 규정하고 있기 때문에 수위센서가 다른 지점에 설치되었을 때 발생할 수 있는 오차를 확인하기 위한 시험이다. 3차 시험이 중요한 이유는 파살플룸이 설치된 방류시설에서 가장 흔하게 관측되기 때문이다. 수위센서의 위치는 Fig. 7과 같이 변경하여 시험을 실시하였다. 1번 지점을 기준으로 유량을 측정하고 1/2지점과 유입지점으로 수위센서 위치를 변경하여 유량을 측정하였다.

각도변경시험과 마찬가지로 수위가 하강되는 2번 지점의 오차가 -1.3% 로 가장 크게 관측되었다. 추가로 수위센서 위치를 변경하여 측정해보려고 하였으나, 파살플룸의 벽면에

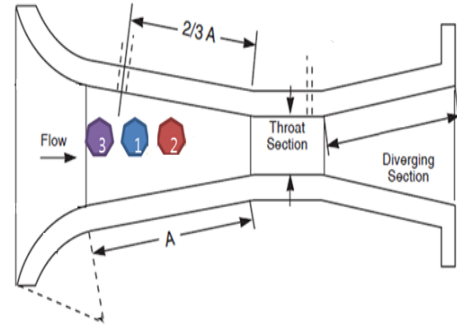


Fig. 8 Position change test of level sensor

Table 2 Result of test bed

Division	Test category	Electromagnetic flowmeter (%)	Parshall flume(%)
Accuracy test	Flowrate error (F.S.)	0.16~0.74	-0.35~1.54
	Flowrate error	1.03~1.24	-1.74~-8.27
	Accumulate flow error	0.9~1.9	1.5~3.2
Structure change test	Angle change of parshall flume	-	3.11~-9.18
	Angle change of level sensor	-	0.39~-5.63
	Position change of level sensor	-	-0.23~-1.30

수위센서의 초음파가 반사되어 오류가 발생되기 때문에 이번 시험에서 제외하였다.

3.3 결과정리 및 고찰

이번 연구에서 사용한 전자기유량계는 KS규격에 적합한 구조(직관부 및 만관여부)로 설치되었다. 하지만 파살플룸은 ISO에서 정한 제작규격은 만족했지만 직관부가 충분하게 확보되는 구조로 설치되지 않았기 때문에 측정값의 오차와 편차에 영향을 미쳤을 것으로 예상된다.

액체유량측정에서 직관부는 측정하는 지점의 안정성을 확보(편차감소)하기 위해 필요하지만 불충분한 직관부 길이도 측정오차를 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 이번 연구에서도 파살플룸의 측정편차가 일부 있었지만 기준값과의 상관성이 매우 높았기 때문에 정확도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단하였다. 과거 한국표준과학연구원의 선행 연구자료에서도 직관부가 충분하였을 때(목직경의 40배)와 짧았을 때(목직경의 10배) 오차는 $\pm 1\%$ (보정값)로 동일하

였고, 직관부가 없는 경우에 오차가 2%부근이었다.

정확도시험과 구조변경시험결과는 Table 2에 정리하였다. 정확도시험결과 전자기유량계는 2% 미만의 오차로 정확도가 높은 것을 확인하였다. 파샬플룸은 저유량범위에서 오차가 발생되었지만 수질방류시설에서 적용하는 적산유량은 4% 미만의 오차를 보이고 있고, 시간이 증가될 수록 오차는 감소 될 것으로 판단된다.

구조변경시험결과 파샬플룸의 수위센서가 기준(수축부의 2/3지점)보다 흐름이 하강되는 지점을 측정할 경우 오차가 더 크게 증가하는 것을 알 수 있었다. 이 현상은 총 3종류의 시험에서 동일하게 관측되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 수질방류시설에 주로 설치된 전자기유량계와 파샬플룸을 KOLAS로부터 인정받은 액체유량교정시스템과 다양하게 비교하는 특성평가(정확도시험, 구조변경시험)를 실시하였다. 아직까지 수행된 사례가 없었던 액체유량교정시스템과 여러 유량계의 정확도 시험을 위하여 별도의 Test bed도 구축하였으며, 이번 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

전자기 유량계와 파샬플룸은 액체유량교정시스템과의 상관성이 매우 높았고, ($R^2=0.999$ 이상) 보정식을 이용하면 정확한 유량을 측정할 수 있다.

수질방류시설의 유량값으로 적용하는 적산유량 시험결과 전자기유량계는 2% 미만의 오차를 보였고, 파샬플룸은 4% 미만의 오차를 확인하였다. 파샬플룸의 경우 유동율오차가 최대 8%까지 측정되었지만 적산유량오차는 저유량과 고유량의 오차가 서로 상쇄되어 감소되었다.

구조물을 이용하는 파샬플룸은 설치규격이 변경될 경우 오차가 더욱 증가된다. 특히 수위센서가 흐름이 하강되는 지점을 측정하도록 구조가 변경될 경우 오차가 더욱 증가하였다.

본 연구결과에 따라 향후 수질방류시설에 설치된 유량계의 신뢰성확보를 위해서는 유량계의 제작규격 준수여부를 가장 먼저 확인해야 할 것으로 판단된다. 그리고 유량계 설치 시 발생할 수 있는 구조변경 건에 대해서는 추가 연구가 필요할 것이다. 직관부 길이 변경, 장애물 설치, 수위센서 영

향, 이물질 등과 같이 현장에서 흔히 발생할 수 있는 오차요인을 도출하고, 최적 설치방안을 제시하기 위한 연구를 지속적으로 추진해야 할 것이다.

후 기

이 연구 사업은 국립환경과학원 환경측정분석기반구축예산으로 수행되었고, 높은 연구 성과를 달성할 수 있도록 도움을 주신 감독위원 및 자문위원들께 감사드립니다(과제번호 NIER-SP2014-133).

References

- (1) US Environmental protection agency, 2004, "NPDES Inspection Manual", part 6.
- (2) Lim, K. W., Choi, J. O., and Lee, W. K., 2004, "A study on the uncertainty estimation of flowmeter calibrator with two master flowmeters", The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 1219~1230.
- (3) 환경부, 2012, "수질오염공정시험기준 ES04140"
- (4) 기술표준원, 2009, "KS B 5260 전자유량계"
- (5) ISO, 1992, "ISO 9826 Measurement of liquid flow in open channels-Parshall and SANIIRI flumes".
- (6) 기술표준원, 2009, "KS B ISO 8368 수리량측정-구조물을 이용한 개수로의 유체흐름 측정-구조물 선택지침"
- (7) JIS, 1993, "JIS 7553 Parshall flume type flowmeters".
- (8) 과학기술처, 1995, "오펜수 유량계 교정기술 개발(제1차년도)".
- (9) Lee, D. K. and Park, J. H., 2008, "Uncertainty characteristics of diverter for flowmeter calibration system", The KSFM Journal of Fluid Machinery Vol. 11, pp.50~55.
- (10) Kim, S. Y. and Lee, S. O., 2013, "Dimensionless discharge formula of parshall flumes with arbitrary shape", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, pp. 1777~1783.
- (11) Park, Y. C., Nam, K-H, Park, J-G., 2013, "Characteristics for Straight Running Length of Flow Meter for Calibration", The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 124~129.