

ASFM을 이용한 수차유량의 측정

김응태*, 정용채**, 박장원***

Turbine discharge measurement case study using ASFM system

Kim Eung Tae*, Jeong Yong Chea**, Park Jang Won***

Keywords : Gibson methode(압력시간법), ASFM(Acoustic Scintillation Flow Measurement system), Hydraulic efficiency (수력효율)

Abstract

Abstract should be in English. A make out an economical, reliable and easy to adoptable instrument in turbine discharge measurement was restricted from lots of its foundational condition. Not with standing the brilliant progress in new technology of these day, useful instrument for flow measurement in turbine is still ongoing. Nowaday, the increasing importance of renewable energy makes it more important that the measuring turbine efficiency as a decision making index of old turbines' replacement.

In Turbine performance diagnosis, Kwater(Korea Water Corporation) got an enough ability and decent reputation for who has invested lots of time and effort for buildup and development. In Korea as a public corporation who should take a crucial roll in Turbine business, Kwater has introduced some developed new technology for other domestic concerned one. With this writing, I'd like to introduce ASFM system as a newly developed instrument that can cope with lots restriction in discharge measurement in turbine. Kwater adopted the system in 2005, and performed 2 times of trial test. The test result was good enough to use the system as a reference test method.

1. 서론

수차와 같은 대형수력기기의 효율측정에서 간편하게 적용이 가능하면서 신뢰할 수 있는 유량 측정장비의 개발은 수차의 측정조건으로 인하여 많은 기술적, 경제적 제약을 갖고 있다. 최근의 관련 기술의 발달은 이러한 제한을 많이 극복하였으나 현재 까지도 유량측정과 관련되어 상용화된 기술의 보완은 진행 중이다. 특히, 최근에 재생에너지에 대한 시대적 요구가 커지면서 노후화된 수차의 개체체의사결정 지표인 수력효율의 측정의 중요성도 더욱 커지고 있다. 수자원공사에서는 공사 및 국내에서 보유하고 있는 수차의 정확한 성능진단을 위하여 1990년 이래 지속적인 진단기술의 확보에 노력을 투자하여 그 결과로 최근에는 국제적인 수준의 절대유량측정기법과 장비를 개발 및 도입하여 관련분야 진단으로 인한 외국인력의 절대적인 수요를 자체적으로 해결하기에 이르렀다.

그간 국내유일의 수차발전기진단관련 공기업으로서 선진기술을 소개해온 공사에서는 기존의 유량측정의 제한조건으로부터 비교적 자유로운 새로운 측정기법을 새로 소개하고자 한다.

수차발전기 선진측정기법의 하나로 여기서 소개하고자하는 ASFM(Acoustic Scintillation Flow Measurement System)은 전자파

를 이용하여 광류와 성층권 전리층의 이동을 측정하는데 1940년대 후반에 최초로 사용되었던 기술을, 물로 매질을 변경하여 수력기기의 유량측정으로 상용화시킨 제품이다.

공사에는 지난 2005년 해당기술을 도입하여 2회에 걸쳐 시험 적용을 완료하였고 레퍼런스로 만족할 만한 성능을 보여주고 있는 것으로 확인되었다.

2. ASFM에 의한 유량측정

2.1 ASFM의 측정원리

ASFM은 캐나다 AQflow사에서 제작하고 있는 유량측정기기의 계측방법으로 Scintillation Method로 소개되기도 하였다. 이 측정장비의 유량계측원리는 신틸레이션(Scintillation)이라 명명된 음파의 특성을 이용하는 것으로, 여기서 신틸레이션이란 밤하늘에 반짝거리는 별빛이나 도로에서 올라오는 열기로 인하여 사물이 굴절되어 보이는 것과 같이 광파가 대기라는 매질을 통과하여 전달되면서 매질의 무작위적인 물성차이 또는 변화로 인하여 나타나는 현상을 의미한다. 이 기술은 1970년대 이후 미국과 캐나다에서 공동개발 되어 대류의 이동속도 또는 양을 계측하기 위해 레이저 등의 광원을 이용하였으며, 1980년대 초에 매질을 물로 광파 대신 음파를 이용하고 검사체적의 경계면에 설치한 발신기와 수신기의 조합으로 구성된 기구를 고안하여 상용화 하였다. 해수 염도의 불균일성 또는 담수 온도의 불균일한 분포에 따라서 발신기에서 보낸 기준음파가 매질의 불균일성으로 고유하게 변화된 진폭과 주파수의 특성을 가지고 수신되고 흐름의 상류에서 수신된 고유한 신틸레이션을 충분히(Taylor의 가정 “평

* 한국수자원공사 수자원관리처 js2517i@kwater.or.kr

** 한국수자원공사 수자원관리처 good@kwater.or.kr

*** 한국수자원공사 수자원관리처 jjangoo@kwater.or.kr

균 흐름에서 난류는 효과적으로 고정된다" 을 만족 시킬 수 있는) 가까운 흐름의 하류에서 동일한 고유음파를 수신하여 흐름의 유속을 얻도록 구성 한 것이다.[1]

그림 1에서 볼 수 있는바와 같이 신호 1은 음파의 경로 1에서 측정된 해당 측정점에서의 신틸레이션이고 신호 2는 경로 2에서 측정된 신호 1과 같은 신틸레이션이므로 경과된 시간과 고정된 경로 1과 2간의 거리로 흐름의 속도를 구할 수 있다.

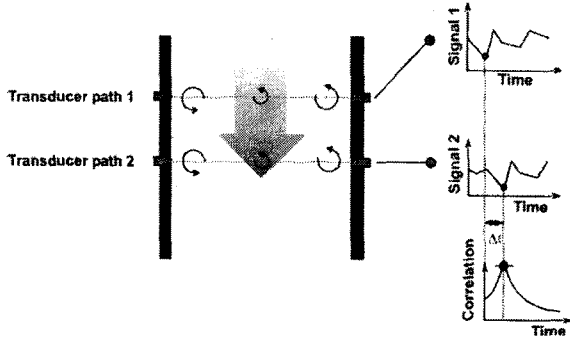


Fig 1 Representation of ASFM operation

ASFM의 특징은 일반적으로 초음파유량계가 흐름이 충분히 안정된 상태에서 대표유량을 측정하여야 하는 것과는 달리 흐름을 충분히 안정시키지 않아도 측정이 가능하다는 것이다. 이런 특징으로 측정점 전후의 조건이 초음파유량계에서 요구되는 조건보다 훨씬 유연하여 일반적으로 수차의 유량측정에 적용이 불가능한 초음파유량계의 적용한계를 극복할 수 있다. 다음의 그림 2는 하천의 횡축수차의 유량측정에 적용하는 전형적인 설비 설치 사례로 수차 전단의 취/보수용 수문비의 장착위치에 삽입 가능토록 제작한 구조물에 센서를 설치하였다. 센서는 3개의 발/수신기가 한 조합으로 서로 마주보도록 되어있고 3개의 발/수신기로 측정단면의 2차원 속도성분을 측정한다.

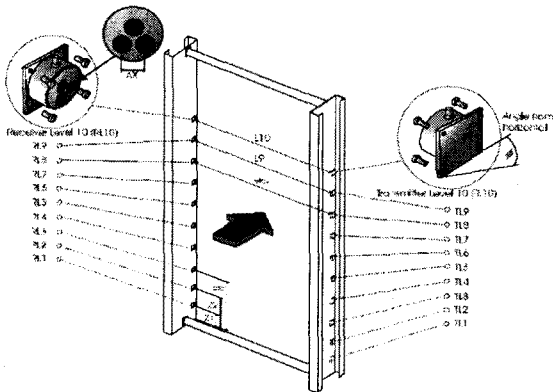


Fig 2 ASFM Typical Arrangement

3. ASFM 적용사례

3.1 사례 1

3.1.1 측정개요

첫 번째로 소개하는 사례는 '05년 12월 우리공사에서 ASFM을 처음 도입하여 현장적용시험을 실시한 경우로서 해당현장은 기존의 하천용수 공급용 관로의 밸브에 추가로 수차를 설치한 사례로, 연장시공된 관로의 노출구간과 기존관로의 매설부 측정점간의 조건이 압력시간법(차압선도법)의 적용이 가능하여 당초에 절대유량측정법의 측정결과와의 비교를 통해 시스템 적용성

의 검증을 목적으로 해당 현장을 선정하였다. 수차 형식은 횡축프란시스 수차이며, 정격낙차 : 41.7m, 정격사용수량 : 5.21m³/sec에 발전기출력 1,800kW로 설계되었다.

비교유량 측정방법의 특성으로 인하여, 두 측정법을 동일 조건에서 적용 동시비교 할 수 없어, 출력과 수차입력이 충분히 안정되었다고 판단되는 일정한 상태를 기다린 후 ASFM에 의한 유량측정을 실시하고 부하를 차단함으로써 흐름을 끊어 압력시간법에 의한 유량을 측정하였다.

3.1.2 측정조건

그림 3과 4에 나타난 바와 같이 ASFM의 측정점 조건은 일반적인 유량측정장치의 적용은 제한될 수밖에 없는 조건이다. 해당 현장은 수류의 방향이 2회에 걸쳐 3차원적으로 변화되는 형상으로 흐름의 안정적인 상태는 확보될 수 없었다. 센서 설치용 구조물은 취수문의 위치에 취수문 유효폭과 높이를 가지는 구조물로 그림 2와 같이 제작되어 그림 3과 같이 설치되었다.

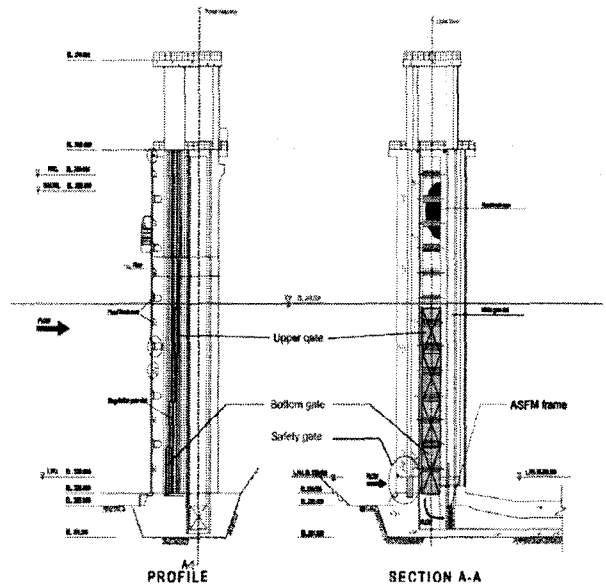


Fig 3 Schematic view of intake

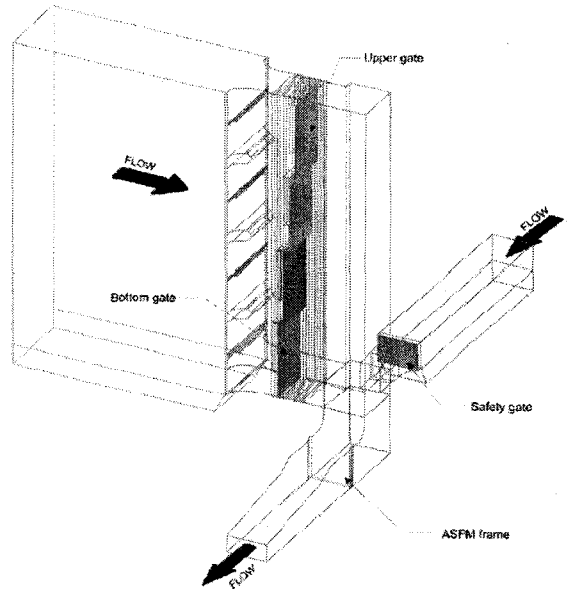


Fig 4 Schematic of intake gate and ASFM Frame

3.1.3 측정결과

상기 언급한 바와 같이 동일조건상의 절대비교는 불가능하나 기기의 운영조건을 에너지의 입출구 조건을 기준으로 최대한 안정된 상태로 유지하여 동일한 조건이라 추정되는 운영상태에서 측정된 결과, 다음의 표 1과 그림 5와 같이 두 측정결과가 일정한 차이를 나타내는 것으로 측정되었다.

Table 1 test results of P.T.M. & ASFM

Gen. Output (kW)	G/V Stroke (mm)	Tub. Inlet Pr.(mAq)	R.W.L (EL. m)	T.W.L (EL. m)	Discharge	
					(P.T.M) (m3/s)	ASFM (m3/s)
1,615	70.3	40.570	249.88	205.20	6.120	7.050
1,575	68.6	40.657	249.88	205.20	6.260	7.110
1,567	68.2	40.649	249.88	205.20	6.450	7.310
1,568	68.1	40.680	249.88	205.20	6.013	7.070

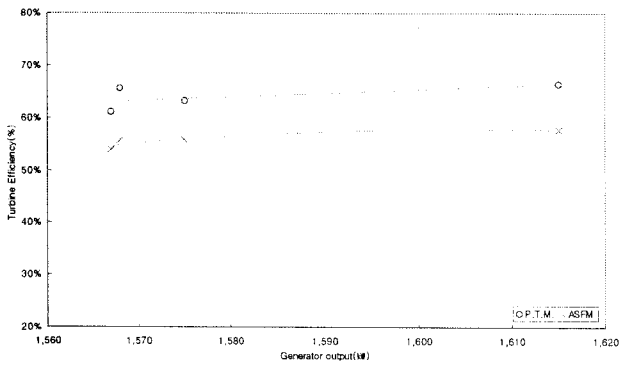


Fig 5 Comparison of P.T.M. & ASFM

두 측정방법간의 결과가 수차효율을 기준으로 약 10%의 일정한 차이를 나타내는 원인을 AQflow사에서 CFD를 이용하여 분석한 결과, 다음의 그림 6과 같이 흐름의 형상이 3차원으로 휘돌면서 국부적으로 강한 파형을 만드는 부분이 발생하여 해당 부분만의 빠른 유속을 대표유속으로 처리하는 오류가 발생되어 실제보다 큰 유량값을 지시하게 된 것으로 판정하였다.[2]

적용시험 결과에 의하면 국부적으로 발생하는 강한 와류는 평균유속의 측정결과에 오차요인이 되므로 ASFM의 적용 제한 조건에 대한 확인사례로 기록되었고, 이와 같은 조건에서 일정 수준의 오차를 보이며 안정적인 자료의 취득이 가능함을 확인하였다.

국부적으로 발생한 강한 음파와 관련하여, 향후 유사조건에서 측정시에는 세로방향에 대한 측정을 동시에 시행하여 측정결과와의 분석에 고려하여 가능한 경우 취득자료 보정작업 등의 실시가 검토되어야 할 것으로 판단된다.

3.2 사례 2

3.2.1 측정개요

두 번째 사례는 우리공사에서 관리하고 있는 노후화된 수차발전기 시설현대화사업의 일환으로 발전설비 전반에 걸친 종합적인 성능진단을 '06년 5월부터 6월간에 걸쳐 수행하며, 기존의 절대유량의 측정이 불가능했던 수차에 최초로 ASFM을 적용 절대유량측정에 의한 수차효율을 측정된 경우이다. ASFM의 도입이전 수력효율의 저하부분은 절대적인 진단 및 판정방법이 없는 상태였다. 대상설비의 사양은 정격출력 7MW의 벌브수차로 정격낙차 : 16.0m 정격사용수량 : 95 m³/sec이다.

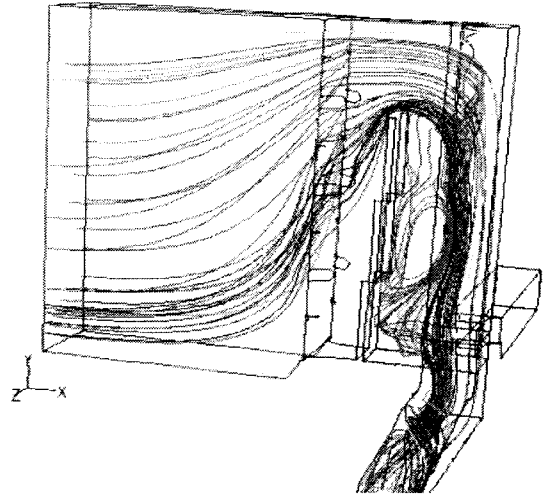


Fig 6 CFD Analysis results

3.2.2 측정조건

사례 2의 측정은 그림 7의 수차발전기 단면도상에 표기된 바와 같이, 수차발전기 상류 측에 흐름의 방향이 수차쪽으로 꺾인 후 단면의 축소가 시작되는 부분의 콘크리트면에 센서설치용 강구조물을 고정하고 구조물에 센서를 설치하여 실시하였다.

사례 2의 측정조건은 특이점은 사례 1과는 달리 측정용 구조물과 센서가 흐름측정 단면의 일정부분을 차지하여 측정대상단면적과 실제 흐름이 있는 단면적이 다르다는 것이다. ASFM은 측정된 유속값을 알고 있는 단면적값에 곱하여 최종유량을 산출하므로 사례 2의 경우에는 단면적과 측정점의 상이함에 따른 측정결과와 보정이 요구되었다. 보정은 실제로 물이 흐른 부분의 단면적과 속도를 측정된 부분의 값에서 측정되지 않은 벽면의 값으로 환산하여 반영하였다.

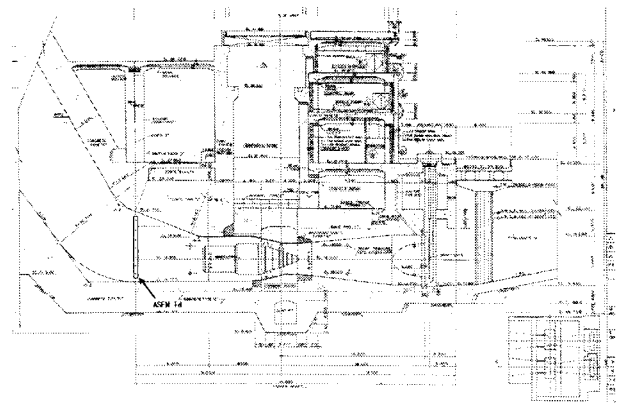


Fig 7 Sectional drawing of Case 2

3.2.3 측정결과

사례 1의 경우와 비교되는 두 번째 적용사례의 가장 큰 차이점은 비록 상대유량측정법이기는 하나 실시간측정(ASFM과 동시 측정)이 가능한 측정방법으로 지수법의 적용이 가능하다는 것이었다. 따라서 동시에 동일한 수차입력과 발전기 출력값을 가진 조건에서 유량을 측정하여 절대비교가 가능하여 기기의 단속적인 운전없이 7개의 출력조건에 대하여 24회 시험자료를 취득하여 비교 하였다. 측정결과 두 측정결과는 일정한 추이를 동일하게 나타내었고 출력별 수차효율값을 기준으로 지수법의 측정결과보다 ASFM의 측정결과가 약 2.8% 정도 낮은 값을 보였다.

사례 2에서 유량의 측정에 센서가 계측하지 못하여 측정에서

제외된 측정단면의 유량은 전체단면적에 대한 제외된 단면적의 비율에 벽면과 측정점간의 속도성장비율을 0.625라 설정하여 전체 유량에 대하여 산정된 값을 적용하여 최종값에 1.025%의 유량값이 추가 되는 것으로 산정되었다. 여기서 사용한 속도성장 계수는 제작사의 권고자료 값인 0.5 ~ 0.75의 중간 값을 적용하였다.

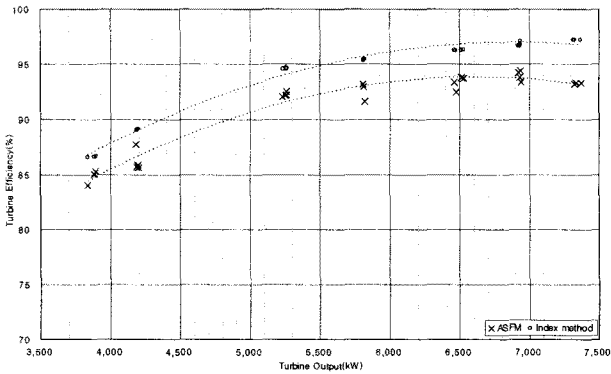


Fig 8 Case 2 Turbine Efficiency test result curve

ASFM으로 측정된 각각의 운영점에서의 유량값은 몇 개의 특이자료를 제외하고 전반적으로 일정한 결과값에 수렴하는 반복성을 나타내었다. 효율로 환산된 결과값도 비교대상 측정법이 나타내는 수차의 일반적인 효율특성을 일정하게 따라가는 추세를 보이고 있어 안정적인 측정 및 처리가 이루어지고 있다고 판단할 수 있었다. 최종적으로, 측정된 효율값은 지수법에 의한 측

정 결과가 준공시 수차효율이 높아진 것으로 나타내는 것에 비교하여 ASFM의 경우 준공시보다 저하된 특성값을 나타내고 있어 신뢰할 수 있는 결과라고 추정할 수 있었다.

4. 결론

기존 유량측정기법의 한계를 벗어나는 신기술의 도입으로서 ASFM의 도입/적용시험의 결과는 적용가능성의 확인과 보완의 필요성 또는 가능성의 확인이라는 의미를 가질 수 있는 것이라 판단된다. 최초도입 후 적용한 두 현장은 기존의 유량측정기법으로는 실시간 유량의 계측이 전혀 불가능한 조건이었으나 ASFM은 두곳에서 모두 수차효율특성이 반영된 추세값을 반복적으로 보였다. 사례 2의 경우에 근거할 때 사례 1의 경우도 휘돌아가는 흐름을 피할 수 있는 조건에서 유량측정 가능성을 찾을 수 있으리라 예상할 수 있으며 향후 측정대상 흐름의 특성에 따른 측정 준비 및 결과분석과정의 보완이 이루어진다면 보다 정확한 계측의 가능할 것이라 예상된다.

참고문헌

- [1] D. D. Lemon & D. M. Farmer 1990, Experience with a multi-depth scintillation flowmeter in the Fraser Estuary - For IEEE 4th working conference
- [2] D. Billennes, D. Lemon & Jan Buermans Dec 2005, Turbine Discharge Measurements by ASFM at Yongdam Dam, South Korea