

블루레이저를 이용한 열린 수로에서의 유속 측정 Measurement of flow velocity in an open channel by optical Doppler tomography with using a blue laser

*조성은^{1,2}, 강웅¹, #진종한^{1,3}

*S. Jo^{1,2}, W. Kang¹, #J. Jin(jonghan@kriss.re.kr)^{1,3}

¹ 한국표준과학연구원 기반표준본부, ² KAIST 우주탐사학제전공, ³ 과학기술연합대학원대학교

Key words : optical Doppler tomography, non-intrusive flow velocity measurement, blue laser

1. 서론

매년 반복되는 장마나 태풍 때문에 폭우와 홍수가 발생하여 인명, 재산 피해 등 사회와 경제적으로 많은 손해가 발생하고 있다. 주로 국지성 집중호우에 의해 발생한 피해는 여러 지역에 따라 다르고 예상하기 힘들기 때문에 재해예방이 매우 어려운 현실이다.

한국의 수자원 관리기술은 댐과 저수지 등의 수질, 수위 관리, 상, 하수 처리기술로 나뉘며 이를 위한 기반기술은 유속 및 유량을 측정하는 것이다. 수로나 하천에서 유량을 측정하기 위해선 유속 분포의 측정과 지형 측량이 필수적이다. 특히 유속 분포 측정의 경우, 장마 때처럼 유속이 매우 빠르고 부유물이 많은 경우에는 기존의 측정장비를 수중에 입수시키기 불가능하기 때문에 비접촉식 유속계가 필요하다.

유속을 비접촉식으로 측정하는 방법으로는 입자 영상 유속계(Particle Image Velocimetry), 합성 개구면 레이더(Synthetic Aperture Radar), 레이저 도플러 유속계(Laser Doppler Velocimetry), 초음파 유속계(ultrasound velocimetry), ODT(Optical Doppler Tomography) 등이 있다. 입자 영상 유속계는 측정하고자 하는 유체 속에 수 μm 크기의 미세한 입자들을 주입하고 측정영역에 2 차원 평면 레이저를 조사하여 일정한 시간간격 동안 유동과 함께 움직인 미세입자들의 변위정보를 갖는 두 장 이상의 사진을 CCD 카메라를 사용해 획득하여 화상 처리 기법을 이용하여 속도를 구하는 방법이다¹. 합성 개구면 레이더 방법은 직접적으로 유속을 측정하는 것이 아니라 수중에 이동체가 지나갈 때 수중 또는 해수면에 생기는 유동의 흔적을 레이더 신호를 이용하여 측정하는 것이다². 레이저 도플러 유속계는 유체 속에 움직이는 입자

에 레이저 빔을 조사하여 산란된 빛의 도플러 주파수 천이를 검출기를 통하여 검출하여 유속을 측정하는 장치이다³. 초음파 유속계는 초음파를 수면에 조사하여 수면으로부터 반사되어 수신되는 신호를 분석하여 도플러 주파수를 측정하고 이를 이용해 유속을 측정하는 방식이다⁴. ODT는 광 간섭 단층촬영기(Optical coherence tomography)와 도플러 유속계를 결합하여 혈관 등과 같은 미세 유동에만 국한하여 3 차원 유동장 속도벡터를 측정할 수 있는 기술이다⁵.

입자 영상 유속계는 레이저가 조사되는 공간에서의 2 차원 혹은 제한된 3 차원 속도 벡터를 동시에 얻어 유동장 측정이 가능하지만 유동의 변화가 심한 수중에 레이저를 균일하게 조사하는 것이 어렵고 유속측정에 필요한 부유물을 지속적으로 제공해야 하기 때문에 많은 유지비가 든다. 더불어 야간에 유속을 측정하기 위해서는 조명이 필요하고 낮에도 정확한 측정을 위해 전용 조명이 필요하다. 합성 개구면 레이더 방법과 초음파 유속계에서 사용되는 빛은 레이저에 비해 파장이 길어 물속에서 흡수가 잘되기 때문에 물의 표면이나 얇은 수심만 측정이 가능하다는 단점이 있다.

반면에 도플러 유속계는 미세입자에 의해 천이된 주파수를 측정하기 때문에 유속의 정확한 측정이 가능하고 조명이 필요치 않다. 또한 물의 흡수가 잘 되지 않는 400 nm ~ 500 nm 파장대의 레이저를 쓰면 깊은 수심까지도 측정할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 블루 레이저를 사용해 도플러 현상을 이용하여 삼차원 유동장을 측정하고, 이를 수학적으로 분석하여 정확한 유속의 정보를 얻을 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 실험실 내에서 물의 투과도가 좋은 블루 레이저를 사용하여 열린

수로에서의 유속을 측정하여 그 가능성을 보고자 하였다.

2. 기본 이론

도플러 유속계는 유체의 흐름을 방해하지 않고 유속을 측정할 수 있는 방법이다. 도플러 주파수 천이의 원리는 측정하고자 하는 샘플과 기준거울 사이의 간섭현상에 의해 생성되는 맥놀이 간섭신호의 세기와 주파수를 검출기를 통해 측정한다. 이 때 샘플쪽의 유체와 함께 움직이는 입자에 산란된 빛은 도플러 주파수 천이가 나타난다. 이 주파수 변화량(Δf)은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta f = 2V \cdot n \cdot \cos\theta / \lambda_0 \quad (1)$$

여기서 V 는 유속, n 은 유체의 굴절률, θ 는 유체의 진행방향과 입사되는 레이저 빔의 사이각, λ_0 는 광원의 중심파장을 나타낸다. 식(1)를 통해 주파수 변화량을 측정하면 유속을 구할 수 있다.

이 때 두 빛의 광경로차가 가간섭거리 이내에만 두 빛의 간섭현상을 관찰할 수 있어, 이를 조절하면 수직 방향의 측정 범위를 정할 수 있다. 이와 마찬가지로 빛의 초점 영역은 수평 방향의 측정 범위를 정할 수 있다.

3. 실험 장치 및 구성

실험 배치는 그림 1 과 같다. 파장이 488 nm 인 레이저에서 조사된 빔은 99/1 Coupler 에서 99:1 의 비율로 빔이 나뉘어 진다. 99 %의 빔은 50/50 coupler 에서 두 갈래로 나뉘며 하나는 기준단 미러를 맞고 되돌아 오고 다른 하나는 흐르는 유체 속에 조사된다. 유체속의 미세 입자에 맞고 산란된 빛은 다시 렌즈로 수집되어 50/50 coupler 에서 기준단으로부터 온 빔과 서로 간섭을 일으킨다. 간섭된 빔은 다시 두 부분으로 나누어져 검출기로 보내어 진다. 검출기로부터 간섭 신호를 컴퓨터로 읽어서 데이터 처리를 하게 된다. 유체의 속도를 변화시키면서 유속을 측정하였고 이를 기준 유속계 (Vane anemometer, MiniAir20)와 비교하였다.

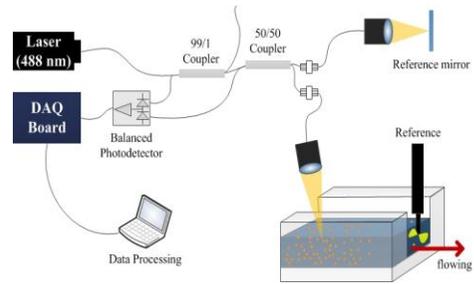


Fig. 1 Optical layout

4. 결론

본 연구에서는 블루레이저를 사용하여 도플러 유속계 시스템을 구현하고 이를 이용하여 열린 수로에서의 유속을 측정하여 기준 유속계와 비교 측정을 수행하였다. 균일한 속도 분포를 구현하기 위해 열린 수로를 갖는 수동을 설계 및 제작하였으며, 이를 통해 측정된 유속은 약 0.1 m/s 수준이다.

후기

본 연구는 한국표준과학연구원(KRIS)의 ‘기반표준측정확립 및 교정측정능력 향상’ 사업의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. R. J. Adrian, "Twenty years of particle image velocimetry," *Exp. Fluids*, **39**, 159-169, 2005
2. Y. K. Chan, and V. C. Koo, "An introduction to synthetic aperture radar(SAR)," *PIER B*, **2**, 27-60, 2008
3. J. Foremen, E. George, J. Jetton, J. Thornton, H. Watson, "8C2 - Fluid flow measurements with a laser Doppler velocimeter," *IEEE J QUANTUM ELECT*, **2**, 260-266, 1966
4. Y. Takeda, "Velocity profile measurement by ultrasonic Doppler method," *Exp. Therm Fluid Sci.*, **10**, 444-453, 1995
5. Z. Chen, T. E. Milner, D. Dave, and J. S. Nelson, "Optical Doppler tomographic imaging of fluid flow velocity in highly scattering media," *Opt Lett*, **22**, 64-66, 1997