

영상분석기법 적용을 위한 버블유동 실험

김성중

한국건설기술연구원 수자원하천연구본부

e-mail:jinx9482@kict.re.kr

Bubble Flow Experiment for Application of Image Analysis Technique

Sung-Jung Kim

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약

본 연구는 이미지를 이용한 영상분석기법을 이용하여 수중에서 배출되는 에어버블의 유동특성에 대한 연구로써 정지유체상태에서 여러개의 노즐을 이용하여 버블스크린을 형성하고 버블의 기초적인 유동특성을 검토하기 위한 분석방법의 적절성 검토를 수행하였다. 대표적인 영상분석기법인 PIV 기법 적용을 위해 10가지 격자크기를 대상으로 유동장 분석을 수행하였다. 실험결과 격자크기에 따른 민감도 영향에서는 버블크기와 격자면적과의 관계인 투영면적비(0.09~1.47)에 따른 격자크기에 대한 민감도는 크지 않은 것으로 확인되었다. 수중에서 수면으로 부상하며 다양하게 변화하는 버블의 유동특성을 관측하기는 쉽지 않으나 본 결과를 통해 PIV 기법이 버블의 유동특성을 관측에 있어 적용가능한 적절한 기법이 될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

국내 연안에 위치하고 있는 발전소 및 산업시설에서 운영중인 취수시설물들은 일반적으로 표층 취수 보다는 안정적으로 공급이 가능한 수중 취수 방식을 채택하고 있다. 그러나 수중 취수를 하는 발전소 및 산업시설에서는 해파리, 살파 등의 해양생물 및 물고기 등의 유입으로 인한 피해가 발생할 가능성이 높은 것이 실정이다. 현재 수중생물의 취수구 유입을 차단/저감하기 위한 기술은 스크린, 그물망과 같은 장애물을 이용한 물리적 방법과 유인, 회피와 같이 행동을 바꾸는 비물리적 방법이 있다. 이러한 방법 중 친환경적인 공기를 이용함으로써 친환경성에 기여하고 물리적으로 차단막을 형성하여 차단 효과를 발생함과 동시에 수중생물의 유인, 회피를 유도할 수 있는 다목적 기술인 버블커튼을 이용하는 방법이 관심을 받고 있다.

수중의 공기방울의 상승 속도는 여러 가지 변수들로 인해 변화한다. 변수들은 기포의 크기, 밀도, 초기 상승속도, 압력, 주변에서의 유동조건 등이 있다. 일반적으로 수중에서 발생하는 공기방울의 부상 속도는 공기방울의 크기, 밀도, 분사속도, 압력, 주변흐름특성과 같은 다양한 조건에 따라 영향을 받게 된다. 예를 들면 크기가 큰 기포는 상대적으로 작은 기포보다 높은 부상 속도를 가질 수 있다. 이는 부력과 관련이 있으며

부력은 물체의 부피와 밀도에 따라 결정된다. 수중에서 생성된 기포는 주변 환경과의 밀도 차이로 인해 부상 속도에 영향을 미치게 된다. 또한 기포의 초기 분사속도 또한 기포의 부상 속도에 영향을 미치게 된다. 기포의 내부와 외부 간의 압력 차이도 부상 속도에 영향을 미치게 되는데 압력 차이가 클수록 공기방울은 빠르게 부상하려는 특성을 가지게 된다. 마지막으로 기포 생성 위치의 주변환경과 유속 및 유향 변화도 부상 속도에 영향을 미치게 된다. 따라서 기포의 부상 속도는 크기, 밀도 차이, 초기 속도, 압력 차이 및 환경 조건에 따라 다를 수 있기 때문에 기포의 상승 속도를 정확히 예측하려면 이러한 요인을 고려하여야 한다.

수중에서의 에어버블에 관한 국내연구로 김상문 등(2009)은 3가지 다른 유량 조건에 따른 기포구동 액체유동의 동적특성 조사를 위해 PIV 기법을 이용한 실험적 연구를 수행하여 시간평균된 유동장이 모든 조건에서 유사한 유동 형태를 가지고 있는 것을 확인하였다. 또한 안기선 등(2020)은 부선컬럼 모형을 이용하여 기포크기 및 상승속도간의 관계를 실험을 수행하여 기포의 크기가 증가할수록 기포의 상승속도 또한 증가하여 기포크기와 상승속도는 비례관계를 갖는 것으로 확인하였다. 에어버블 차단막의 거동특성을 연구한 장형준(2017)은 기포의 수직거동을 분석하기 위한 실험장치를 개발하고 공기주입량에 따른 수심별 기포의 상승속도를 측정하였

다. 초고속 카메라 영상을 활용하여 평균 에어버블의 평균 상승속도를 산정하였으며 수심구간에 따른 구간별 버블 상승속도 제시하였다. 국외를 살펴보면 루마니아 전기공학 R&D 연구소 Gabrela Circiumaru et al(2022)은 하천 취수구 근처에 설치된 버블 커튼으로 구성된 차단막의 실험적 연구의 일환으로 취수구 부근에서 흐르는 유체의 속도장에 대하여 버블 커튼의 영향을 평가하였다.

본 연구는 수중에서 유입되는 수중생물의 차단 또는 저감하기 위한 기술인 버블스크린 공법을 토대로 수리실험을 통한 에어버블의 수리학적 거동특성을 검토하고 하는 것이 목적이다. 이와 같은 목적의 일환으로 본 논문에서는 수중 기포발생장치를 통해 분사되는 버블의 유동특성을 관측하기 위하여 이미지를 이용한 기법을 적용하여 검토하였으며 이를 통해 버블유동장 해석방법의 민감도 분석을 통해 방법의 적절성을 검토하고자 한다.

2. 실험의 준비

2.1 실험장치 구성 및 실험조건

버블커튼의 유동특성을 검토하기 위한 실험수로는 폭 1.5 m, 길이 15.0 m 높이 0.8 m의 제원을 갖는 철제 수조를 사용하였다. 노즐의 설계는 이미지 분석을 위해 충분한 해석영역을 갖도록 폭 1.0 m 길이의 버블스크린이 발생될 수 있도록 설계하였으며, 스테인레스로 제작된 미세분무노즐을 설치하였다(그림 1).



(a) 1.5m 직선수로 (b) 버블발생장치 테스트

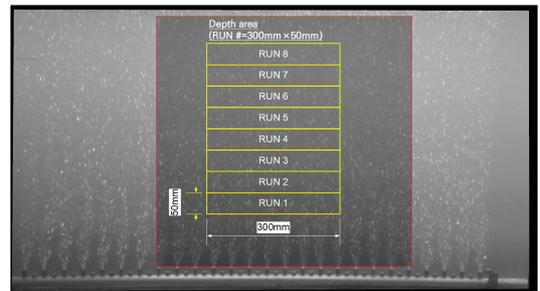
[그림 1] 실험수로 및 버블튜브

버블의 유동특성 실험의 수심조건은 0.65 m이며, 에어 분사노즐의 직경은 0.1 mm, 노즐의 설치간격은 노즐간에서 분출되는 버블의 혼합 등으로 인한 간섭 영향을 배제할 수 있도록 40 mm 간격으로 설치하였다. 공기 주입은 대용량 컴프레서를 통해 일정한 공기압을 발생시켜 공급하였다. 이미지 저장을 위한 장치로는 초당 50 프레임을 저장할 수 있는 디지털 카메라(CANNON 100D)를 사용하였으며 저장된 이미지의 해상도는 1280×720이다.

2.2 버블이미지 분석

버블상승속도 분석을 위한 전체 해석영역의 크기는 그림 2와 같이 560 mm × 560 mm로 구성하였다. 버블의 유동특성 해석을 위한 이미지 해석은 PIV 기법(Particle Image Velocimetry)을 사용하여 분석하였다. PIV 기법은 시간차를 두고 촬영된 두 개의 영상을 비교하여, 영상 속의 입자(버블)들의 변위를 측정하고 이를 이용하여 각 입자들의 유속을 측정하는 방법이다. 본 연구에서 PIV분석을 위해 사용된 소프트웨어는 CACTUS 3.1(IIT Co.)이다.

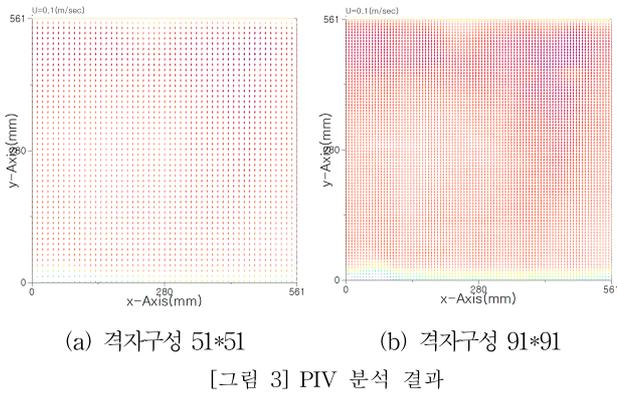
PIV 분석을 통해 산출된 해석자료 사용 시 이미지를 활용하는 PIV 분석의 특성상 경계면에서의 유속장분석이 불완전하기 때문에 해석영역에서의 데이터를 대상으로 상하좌우 4방향의 경계면 자료가 영향을 받지 않도록 그림 2의 노란색 박스와 같이 내부영역을 별도로 설정하고 외부영역의 결과값은 삭제해 활용하지 않도록 하였다. 이렇게 선정된 영역은 분석을 위해 50 mm 간격으로 총 8구간(RUN1 ~ RUN8)의 수심별 영역에 대하여 분할하여 구분하였으며, 버블 크기를 고려하여 총 10가지의 각기 다른 해석격자 크기를 선정하여 분석을 수행하였다.



[그림 2] 수심영역의 정의

2.3 이미지 해석

실험을 통해 획득한 영상을 이용하여 동일 영역 대상 격자크기 변화에 따라 분석하였다. 여기서 격자의 크기는 정사각형 직교격자로 이루어져 있으며 격자한변의 길이는 11.21, 10.19, 9.34, 8.62, 8.00, 7.00, 6.22, 4.67, 4.00, 3.50 mm 로 총 10가지 격자크기로 구성하여 분석을 수행하였다. 해석결과 유속벡터도를 fig. 3에 나타내었으며 격자크기 변화에 따른 유속벡터장은 육안으로 보았을 때 음영의 차이가 보이지 않을 정도로 변화가 없는 것으로 나타났다.

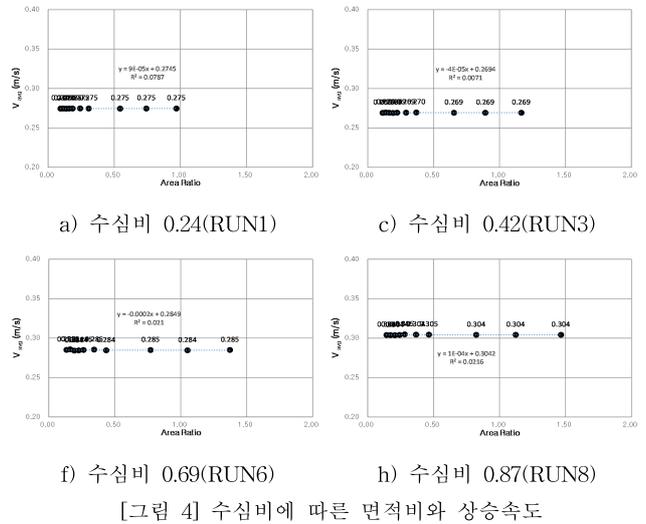


3. 해석격자 크기변화에 따른 검토

해석격자 크기변화에 대한 검토를 위한 주목적은 격자크기에 따른 민감도 검토로 PIV해석에 있어 적절한 격자크기를 선정하는 기준을 정립하기 위함이다. 일반적으로 PIV 실험에서는 동일한 크기의 입자를 사용하여 실험이 이루어진다. 반면에 본 연구와 같이 버블을 대상으로 하였을 경우 버블의 크기가 수심에 따라 증가하기 때문에 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 해석결과의 신뢰성을 확보하기 위해서 해석격자의 크기에 대한 민감도 검토를 수행하였다. PIV 해석영역내 격자 크기변화에 따른 검토는 총 10가지 격자크기와 8가지 수심조건에 대하여 검토하였다. 버블의 면적은 이미지 분석을 통해 산출된 버블투영면적을 적용하였으며 검토구간에 해당되는 투영면적비는 0.09 ~ 1.47 범위로 구성되어 있다. 투영면적비가 1 이하일 경우는 버블의 크기가 설정된 해석격자의 크기 보다 작다는 것을 의미하며, 1 이상일 경우에는 해석격자보다 버블의 크기가 크다는 것을 의미한다. 버블의 평균상승속도는 PIV 실험분석 결과값을 이용하였다.

3.1 투영면적비와 평균속도 실험결과

평균버블투영면적과 해석격자의 크기와의 상관성 검토를 수행하기 위해 두 변수간의 무차원변수를 투영면적으로 정의하였다. 실험의 분석은 동일한 수심비를 갖는 해석영역에서 투영면적비와 평균상승속도와의 관계를 검토하였다. 그림 4는 해석격자 크기에 따른 8가지 수심조건에서의 투영면적과 평균상승속도와의 관계를 일부나타낸 그림으로 동일수심비에서 나타나는 그래프의 형태는 변화가 미미한 것으로 나타났는데 이는 기포의 크기 대비 해석격자의 크기가 민감하지 않다는 것을 의미한다.



3.2 투영면적비와 평균상승속도의 회귀분석

투영면적비와 평균상승속도의 회귀분석 결과는 수심비에 따라 검토하였다. 각각의 동일한 수심비를 갖는 영역에서 해석격자크기에 따라 평균속도 산정값의 변화를 검토하기 위해 분석을 수행하였다(표 1).

[표 1] 투영면적비와 평균상승속도 회귀분석 결과

항목	실험번호(수심비)							
	RUN1 (0.24)	RUN2 (0.33)	RUN3 (0.42)	RUN4 (0.51)	RUN5 (0.60)	RUN6 (0.69)	RUN7 (0.78)	RUN8 (0.87)
다중상관계수	0.281	0.153	0.084	0.327	0.378	0.145	0.668	0.147
결정계수	0.079	0.023	0.007	0.107	0.143	0.021	0.446	0.022
조정된 결정계수	-0.036	-0.099	-0.117	-0.004	0.036	-0.101	0.377	-0.101
표준 오차	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
관측수	10	10	10	10	10	10	10	10
유의확률	0.432	0.673	0.817	0.356	0.281	0.689	0.035	0.686

회귀분석 결과 상관계수의 범위는 수심비 0.78(RUN7)에서의 0.668을 제외하면 0.084 ~ 0.378로 다소 낮은 결과값을 갖는 것으로 나타났다. 이는 투영면적비와 평균상승속도간 두 변수간의 상관성이 낮다는 것을 의미한다. 유의확률의 범위는 수심비 0.78(RUN7)조건에서의 0.035 값을 제외하면 0.281 ~ 0.817로 나타났다. 일반적으로 통계적 관점에서 선형회귀분석이 유의미하기 위해서는 유의확률이 0.05 보다 작아야 하므로 본 결과에서는 두 변수간 의미있는 관계를 찾기 어려웠다. 따라서 투영면적비와 평균상승속도의 관계성은 없는 것으로 확인되었으며, 이러한 결과를 통해 본 연구에서 설정한 0.09 ~ 1.47의 투영면적비 범위내 해석격자를 설정할 경우 해석의 결과에는 큰 영향을 미치지 않기 때문에 추후 다양한 버블의 유동 특성을 검토하는데 무리가 없을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 공기를 이용하여 물리적으로 차단막을 형성하여 차단효과를 발생함과 동시에 수중생물의 유인, 회피를 유도할 수 있는 기술인 버블커튼의 효과적인 차단능력을 위한 연구의 일환으로 버블 유동특성 검토를 위한 해석방법의 적절성을 검토하고자 하는데 목적이 있다. 정지유체 조건에서 기포발생장치를 설치하고 실험을 수행하였으며, 수중 버블의 거동특성 검토는 이미지를 이용하여 유동특성을 검토할 수 있는 PIV기법을 적용하였다.

해석격자 크기에 따른 영향 검토결과 투영면적비(0.09 ~ 1.47)에 따른 해석격자 크기에 대한 민감도는 높지 않은 것으로 확인되었다. 결과적으로 버블에 적용한 이미지분석(PIV) 기법은 에어버블의 유동특성을 관측할 수 있는 적절한 방법으로 선택할 수 있을 것으로 사료되며, 추후 버블스크린 설계 기준 개발을 위한 기초적인 분석방법으로 적용될 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

- [1] 사각탱크 내부의 기포구동유동에 대한 유동특성 연구(한국가시화정보학회지, 2009), 부산대학교, 김상문 외
- [2] 이미지 분석시스템을 이용한 부선컬럼에서의 기포크기 측정(한국건설순환자원학회지, 2020), 조선대학교, 안기선 외
- [3] 에어버블 차단막의 거동특성 분석을 위한 기초실험연구, 위기관리 이론과 실천, Vol.13, No.8, 충북대학교, 장형준, 2017.
- [4] Gabriela Cîrciumaru et al, "Experimental Analysis of a Fish Guidance System for a River Water Intake", Water, Vol.14, No.3, pp 1-22, 2022.
<https://doi.org/10.3390/w14030370>