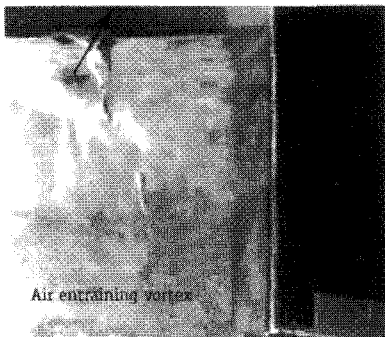


흡수정에서 발생하는 보텍스현상

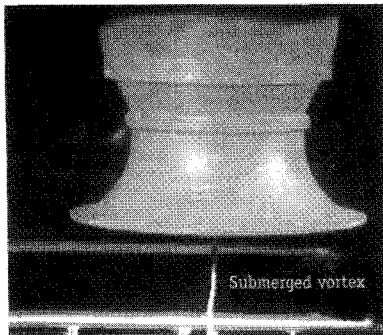
유체기계공업학회 펌프분과, 한국수자원공사

1. 흡수정에서의 유동현상

일반적으로 흡수정은 펌프의 흡입시 유동교란이 없이 취수장에서 물을 직접(directly) 유입되게 설계되어야만 한다. 그러나 만약 흡수정의 크기 또는 형태가 적절하지 못할 경우에는 그림 1과 같이 공기가 빨려 들어가는 현상이 발생되게 된다. 일반적으로 이러한 현상은 보텍스, 와(渦), 소용돌이라고 하지만 정확히 표현할 수 있는 명칭은 보텍스이다. 그림 1은 공기유입 보텍스(air entraining vortex)와 수중 보텍스(submerged vortex)를 보여준 것으로 대표적으로



(가)



(나)

그림 1 흡수정내 발생하는 공기유입 보텍스와 수중 보텍스 :
(가) 공기유입 보텍스와 (나) 수중 보텍스

두 가지 보텍스가 많이 발생된다.

이런 현상이 점차적으로 발달되어 펌프 흡입구로 공기가 빨려 들어간다면 펌프운전에 심각한 영향을 미치게 된다. 따라서 흡수정의 크기와 형태는 보텍스 뿐만 아니라 그 펌프장의 기능, 위치조건과 운전상태를 고려하여 결정되어야 한다.

2. 보텍스의 종류

흡수정에서 발생할 수 있는 보텍스 현상은 그림 2와 같이 5가지로 나누어 볼 수 있다.

가. 패임 보텍스 (dimple vortex)

단순하게 공기흡입은 발생하지 않으며 수면에서 움푹 패임 현상이 있는 경우

나. 단속 보텍스 (Intermittent air entraining vortex)

수면에서 패임현상이 증가하여 공기의 흡입이 간헐적으로 발생하는 경우

다. 연속 보텍스 (Continuous air entraining vortex)

- 공기가 연속적으로 유입되어 펌프의 성능에 영향을 미치는 경우
- 수위와 벨마우스와의 떨어진 거리를 임계 몰수(critical submergence)
- 몰수 깊이가 적을 때는 많은 공기의 양이 연속적으로 빨려 들어가게 되고 펌프의 성능을 저하시킨다.

라. 동심 보텍스 (Coaxial vortex)

물의 수위가 감소함에 따라 발생하는 연속 공기흡입 보텍스로서 보텍스의 중심이 벨마우스의 높이와 일치하는 경우를 의미한다.

마. 수중 보텍스 (Submerged vortex)

이 보텍스는 벨마우스의 몰수 깊이와는 직접적인 관계는 없다. 이런 보텍스는 진공 콘(vapor cone)의 발생과 함께 흡수정의 측면 또는 밑면으로부터 발생되어 발달되곤 한다.

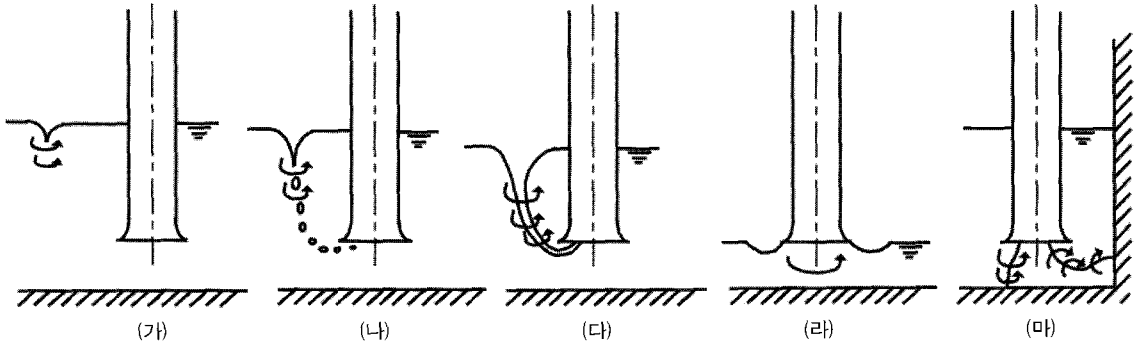


그림 2 보텍스의 형태 : (가) 폐입보텍스, (나) 단속보텍스, (다) 연속보텍스, (라) 동심보텍스 및 (마) 수중보텍스

3. 보텍스의 영향

적절하지 못한 형태와 잘못된 크기는 흡수정에서 보텍스와 수위에 난류성분을 발생시키며, 아래와 같은 악영향을 미치게 된다.

- 가. 진동과 소음 유발
- 나. 임펠러 침식과 베어링의 마모
- 다. 공기흡입으로 인한 펌프성능저하 및 펌프의 트러블 (trouble) 발생
- 라. 임펠러 입구부분에서 비정상 소용돌이 유동 생성은 토출량의 감소와 부족한 토출량을 유지하려고 하는 원인으로 모터 과부하 발생
- 마. 공기의 유입은 흡입관내에서 진동, 서징현상 그리고 공기충격 (air hammer)의 원인이 되고, 송수공급설비의 중단을 초래

4. 보텍스의 발생원인

흡수정내에서 발생하는 보텍스의 원인을 한마디로 표현하기에는 아직 논란이 많다. 선진외국인 미국이나 일본에서도 아직 그 원인을 파악하지 못하고 있고 현재 최근 PIV방법이나 컴퓨터시뮬레이션 방법들의 성능이 눈부시게 발전하고 있는 추세로 동 분야에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다.

흡수정의 보텍스 발생에 있어서 가장 중요한 것은 흡수정의 형태로 인한 유동교란 및 난류성분 발생으로서 수중 보텍스 또한 펌프의 접근유량 (pump-approach flow)의 유속 증가, 불균일 유동 (non-uniform flow)과 편류유동 (drift flow)의 증가로 인해 발생된다고 알려져 있다.

펌프관련 기술자들이라고 하면 다 알고 있듯이 흡수정의 설계는 펌프의 흡입 중 유동교란 없이 취수장에서 원수가 직접 흡수정 유입되게 설계 (흡수정의 적절한 폭, 바닥과의 간격, 측벽과의 간격, 형태, 흡수정 바닥의 기울기, 펌프 자체의 크기와 형태, 흡수정 수위 등)되어야 하지만 설계 당시 펌프의 특성을 충분히 고려하지 않은 상태에서 위치조건만 반영된 설계로 인하여 유동이 불안정하게 되고 소용돌이 현상이 발생하는 펌프장이 종종 생기게 된다.

그러나, 모든 펌프 흡입관이 동일하지 않고 이에 따른 흡수정의 형태와 크기도 같을 수가 없어 정확한 설계조건을 판단하기는 어렵다. 이러한 사실은 III규격에서도 설계값을 추천하고 있는 정도이며 정확히 설계값을 언급하고 있지 않은 실정이다.

따라서, 보텍스의 발생원인을 그림 3과 4와 같이 흡수정 형태에 따른 유동구조에서 찾아야 한다. 그림 3은 일본터보기계학회의 자료로서 수로유속에 따른 수심과 수로 폭에 따라 공기흡입 보텍스의 발생여부를 컴퓨터 시뮬레이션과 수리모형시험으로 계산한 결과이다.

그림 3에서 보듯이 흡수정에 접근하는 유속이 적을 경우나 수심의 깊이가 수로 폭보다 큰 경우에는 공기흡입 보텍스가 발생하지 않음을 알 수 있다. 그러나 대부분의 펌프장을 살펴보면 20~30년 이후의 수요량 예측으로 인하여 대부분의 펌프가 과대 설계되어 있거나, 수요량에 맞는 적정운전을 하지 않다 보니 수로유속이 크게 되고 있음을 알 수 있다.

또한 그림 3에서 제시된 사선은 유속에 따른 수심의 높이 한계를 나타내고 있다. 이 범위를 초과한다는 것은 설계된 흡수정내 유동장이 불안정하다는 의미와 같다.

흡수정에서 발생하는 보텍스현상

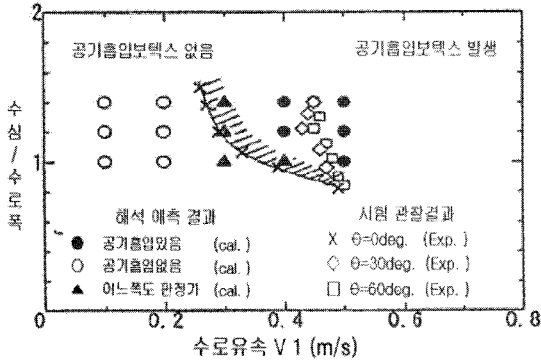


그림 3 공기흡입 보텍스 발생의 예측과 실측의 결과 (일본터보기계학회 자료)

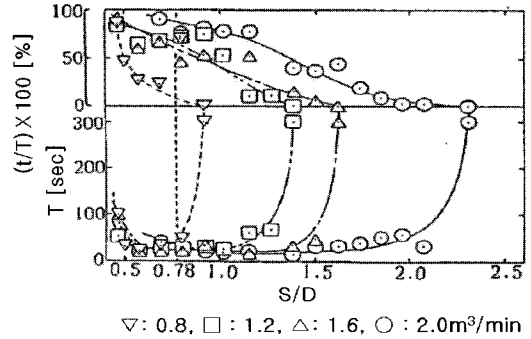


그림 4 흡입수조에 발생하는 수중 보텍스에 대한 발생주기와 지속시간의 관계 (일본터보기계학회 자료) (t : 공기흡입 보텍스 생성주기, T : 수중 보텍스 생성주기 S : 수위, D : 흡입배관 지름)

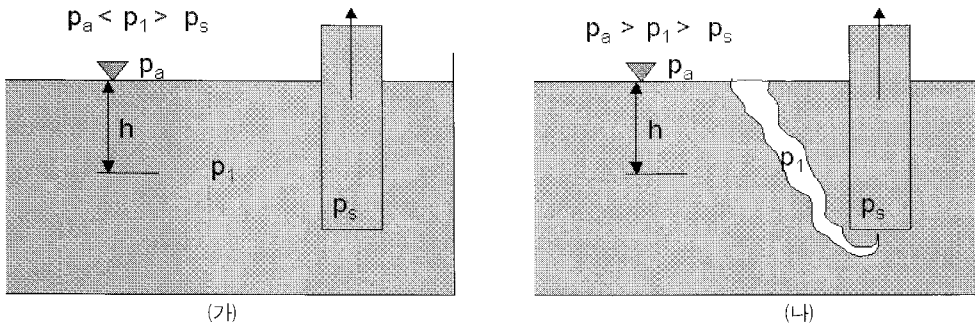


그림 5 흡입배관 주위의 압력분포 도식도 : (가) 안정적인 유동장과 (나) 소용돌이가 발생된 유동장

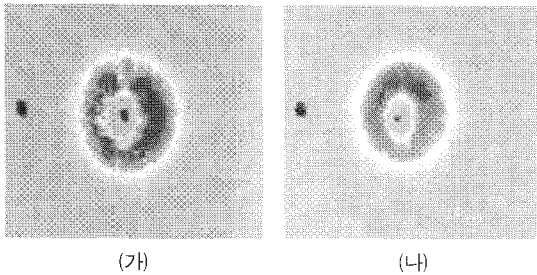


그림 6 저면으로부터의 측정된 유속분포 : (가) $p_1/p_a=1$ (캐비티 발생)와 (나) $p_1/p_a=3$ (캐비티 없음)

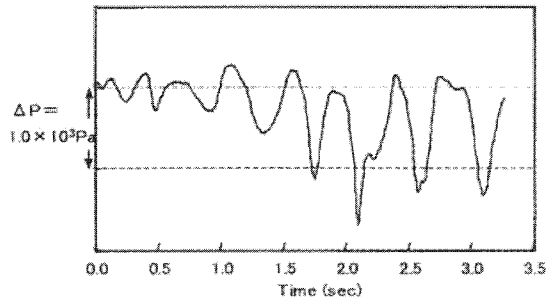


그림 7 보텍스 발생부근의 시간에 따른 압력변화

그림 4에서는 유량의 범위를 0.8, 1.2, 1.6 그리고 $2.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 일 때의 흡입배관과 수위의 상관관계에 따른 수중 보텍스의 발생주기와 지속시간에 대하여 살펴보았다. 유량과 상관없이 S/D가 0.78인 경우가 가장 최적이며 그 값보다 적거나 큰 경우에는 수중 보텍스의 발생된다는 것을 의미한다.

그림 3과 4에서 보듯이 이런 불안정한 소용돌이 유동장은 흡입관 주위의 압력장과 관련하여 살펴봐야 한다. 안정적인 유동장인 경우에는 그림 5(가)와

같이 표면의 대기압보다 수심(h)만큼 높은 압력장 ($p_1 = \gamma h$)을 가지면서 펌프에서 흡입압 (진공압)으로 흡입을 하여도 높은 압력 분포장이 어느 정도의 방어막 (fence) 역할을 해줌에 따라 안정된 압력장을 형성하게 된다. 초기 공기흡입 보텍스의 발생은 그림 2의 (가)와 (나)의 형태의 폐임 보텍스와 단속 보텍스를 반복하게 되는 경우가 바로 그런 경우이다. 이런 현상이 지속이 되어 그림 5(나)와 같이 소용돌이 유동장이 발생되었을 경우에는 흡입관 주위의 압력장이

표면보다 낮아짐에 따라 순차적인 압력장을 형성하게 됨에 따라 ($P_a > P_1 > P_s$)므로 에너지 보존법칙에 의하여 수면에 있는 공기가 빨려 들어가게 된다.

이런 현상은 그림 6에서도 확인할 수 있다. 그림 6의 (가)의 경우는 보텍스가 발생된 경우이고 (나)의 경우에는 보텍스가 발생되지 않은 경우를 나타내고 있

다. 이 보텍스의 유무에 따른 원인은 압력장의 차이로 볼 수 있다. (가)의 경우는 주위의 압력장과 대기압의 비가 같은 경우이지만 (나)의 경우는 대기압보다 큰 경우를 의미한다.

즉 보텍스의 발생은 그림 7과 같이 불안정한 유동장에 의한 압력강하가 그 원인으로 볼 수 있다.