

論文

밸브에 의한 대형펌프시스템의 수격특성에 관한 연구

이철재*, 임경선**, 조대환**

* 동명대학교 자동차공학과, ** 목포해양대학교 기관시스템공학부

A Study on Valve-Induced Water Hammer Characteristics for Large Pump System

C. J. Lee*, K. S. Lim**, D. H. Cho**

* Department of Automobile Engineering, Tong Myong University, Busan, 608-711, Korea

** Faculty of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요약 : 관로내의 유속이 급격히 변하면 압력도 크게 상승하거나 강하하게 되어 유체 과도현상을 일으키게 된다. 이러한 수격현상에 대한 연구는 펌프스테이션이 커지고 유체를 이송하는 시스템이 대형화되어 그 중요성이 더욱 증가하였다. 이것은 파이프라인이 길어지고 복잡해지기 때문이다. 이 연구에서는 특성법을 이용하여 대형펌프 시스템의 밸브 개폐로 발생하는 수격현상을 평가하였다.

핵심용어 : 수격, 배관계, 압력강하, 정압, 비정상상태

ABSTRACT : Hydraulic Transients would be occurred since pressure is increased or decreased when water speed inside of pipeline is rapidly changed. A study on water hammer has become more important because the pumping stations were big and the systems conveying the fluid through the large and long transmission pipelines were complex. In this study, the method of characteristic line was adopted to evaluate the valve-induced water hammer phenomena in a pumps feedwater system

KEY WORDS : Water-hammering, Pipeline System, Pressure drop, Static Pressure, Unsteady state

1. 서론

수격현상은 펌프를 기동시키거나 관로에 설치된 밸브의 개도를 빠르게 변화시킬 경우, 관로 내의 유속이 급격히 변화하여 압력이 크게 상승 또는 강하하며 발생한다. 이러한 수격작용으로 압력파가 상류와 하류 사이를 왕복할 때 관로 내의 압력은 관로 형상에 따라 물의 포화증기압 이하로 떨어질 수 있으며, 이 경우 증기공동(vapor cavity)이 형성되고 증기공동으로 분리되었던 수주가 재결합할 때 높은 압력이 유발되어 관로가 파손될 가능성이 커지게 된다.(김, 2001) 펌프 관로계에서 수격작용을 완화시키는 장치로는 주로 에어챔버, 서지탱크, 서지릴리프 밸브, 공기밸브, 펌프제어밸브 등이 있으며 이러한 설비들은 선박의 종류에 따라 경제성과 신뢰성을 고려하여 설치유무가 결정되게 된다. 대형펌프시스템은 배관계통이 길고 복잡하며 운용방식도 다양하므로 통상의 수격작용과는 밸브개폐 등 다른 요인에 의한 사고가 빈번히 발생하고 있어 이와 관련된 체계적 연구가 필요하다. 이 연구에서는 특성법을 이용하여 대형펌프 시스템의 밸브 개폐로 발생하는 수격현상을 고찰하였다.

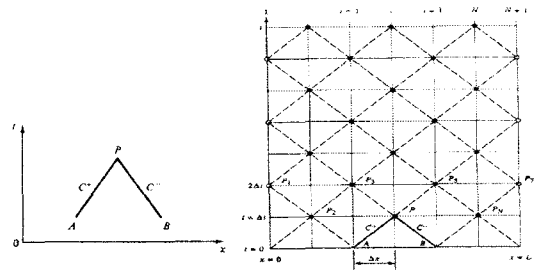
2. 수치실험 방법

관내의 흐름을 일차원 유동으로 가정하면 비정상유동의 지

배방정식은 운동방정식과 연속방정식이다. 편미분의 형태로 표시되는 지배방정식은 특성법을 사용하여 유한차분방정식으로 변화시킬 수 있다.(Wenxi, et., al, 2008) 운동 방정식과 연속방정식은 두 그룹의 네 개의 상미분방정식으로 표현된다.(식 1 참조) 이를 특성곡선이라고 하며 Fig.1에 C+ C-에 해당하는 곡선을 나타내었다.

$$C^+ \left\{ \frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} - \frac{g}{a} V \sin \alpha + \frac{fV|V|}{2D} = 0 \right.$$

$$C^- \left\{ \begin{aligned} & -\frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} - \frac{g}{a} V \sin \alpha + \frac{fV|V|}{2D} = 0 \\ & \frac{dx}{dt} = V - a \end{aligned} \right.$$



(a) Characteristic lines (b) x-t grid

Fig.1 Method of specified time intervals

** 대표저자 : 정희원, lej@tu.ac.kr, 051) 620-3538

*** 교신저자 : 종신회원, dhcho@mmu.ac.kr, 061)240-7217

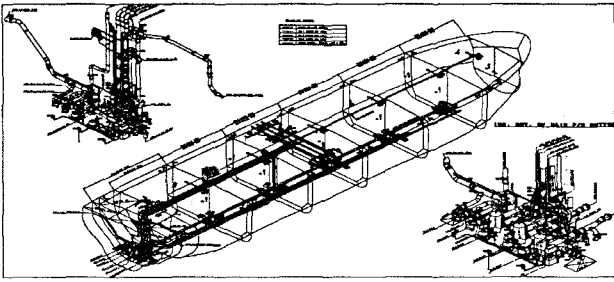


Fig. 2 General Arrangement of Pipe in Three Dimensions

그림2는 대형유조선의 개략도를 나타내고 있다. 펌프실에서 가장 멀리 떨어진 선수 측의 탱크까지 거리는 324m이며 주배관은 300A에서 750A의 대형배관을 사용한다. 수치실험은 초기 조건으로 실제 배관계의 거리를 확인하여 펌프 관로계의 정상 상태 변수 값을 구한 후 시간증분(Δt), 거리에 따른 배관의 분할간격(Δx) 정하여 수치계산 하였다.

3. 결과 및 검토

그림 3은 750A, 324m의 길이의 주관에서 펌프작동 중 밸브 폐쇄시간을 10초로 하였을 경우 각 지점의 수두를 계산한 결과이다. 펌프실에서 멀수록 최고압력이 높게 나타났으며 운전 중 펌프 출구압력의 약 1.2배 전후이고 최저압력은 0.9배이다. 운용 매뉴얼에는 밸브 직경 1인치당 2초의 시간으로 개폐를 하도록 정해져 있으나 계산 결과 인치당 약 0.8초 전후이면 수충격의 영향은 $\pm 5\%$ 이내의 압력변동이 있는 것으로 조사 되었다. 그

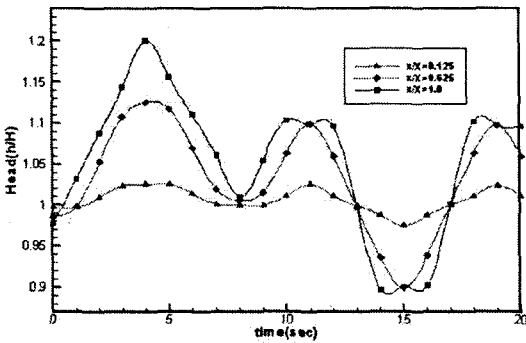


Fig. 3 Distribution of Head at time variation

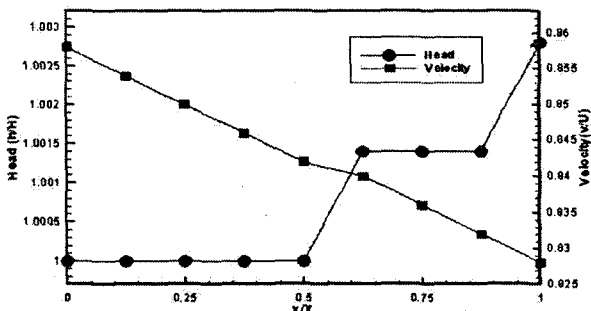


Fig. 4 Distribution of Head at distance variation

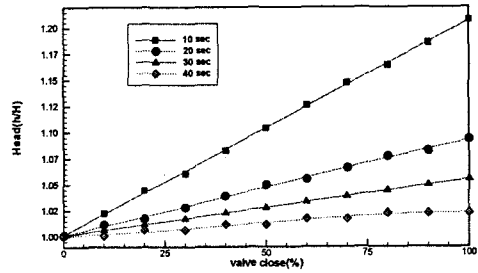
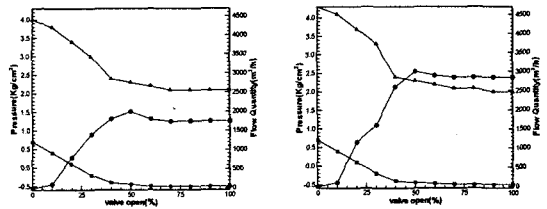


Fig. 5 Distribution of Head at close rate of valve



(a) 2,000m³/h (b) 3,000m³/h

Fig. 6 Distribution of Pressure at Opening Valve Angle

림 4는 거리에 따른 수두 변화이다. 그림5와 그림6은 펌프 토출 밸브 개도 실험 결과이다. 2,000m³/h의 정격유량과 30m의 양정을 갖는 원심펌프에 500A 배관이 연결되어있을 경우, 토출밸브의 개도 각도에 따른 흡입, 토출 압력 및 유량의 변화를 조사한 것으로 개도 각도가 클수록 흡입 및 토출 압력은 감소한 반면 유량은 증가한다. 개도각도 50도 까지는 유량이 증가되나 그 이후부터는 유량이 일부 감소하며 압력변화도 크지 않다. 이것은 배관 내 유동이 안정되면서 형성된 배압과 흡입압력이 저하하였기 때문이다.

4. 결론

이 연구에서는 특성법을 이용하여 대형펌프 시스템의 밸브 개폐로 발생하는 수격현상을 평가하였고 실전에서 토출밸브개폐에 따른 압력과 유량의 변동을 밸브개도에 대해 조사 하였다. 실험결과 개도각도 50도 이하에서만 유량조절이 가능하였다. 수치실험결과 개폐시간은 인치당 약 0.8초 전후로 확인되었으며 개폐시간이 짧아질수록 수충격에 의한 압력 변동은 크게 나타났다.

참고문헌

- [1] 김경엽, 오상현, 펌프제어밸브를 사용한 취수 펌프장에서 수격 현상, 유체기계저널, 제4권, 제4호, pp.16-21
- [2] Wenxi Tian, G.H. Su, Gaopeng Wang, Suizheng Qiu, Zejun Xiao, 2008, Numerical simulation and optimization on valve-induced water hammer characteristics for parallel pump feedwater system, Annals of Nuclear Energy, Vol. 35, pp. 2280-2287