진동 측정을 통한 화학공정의 배관 부식상태 진단 시스템 개발

박재웅, 김미희, 황규석*
부산대학교 화학공학과
(kshwang@pusan.ac.kr*)

Development of Corrosion Diagnosis System Chemical Process through Vibration of the Pipe

Jae Woong Park, Mi Hee Kim, Kyu Suk Hwang*
Department of Chemical Engineering, Pusan national university
(kshwang@pusan.ac.kr*)

서론

국내의 화학플랜트 설비들의 상당부분은 60 년대에 건설되어 수명상의 한 주기가 넘게 됨으로써 노후 된 상태로 설비의 폐기, 보수 또는 대체를 결정할 시기이다. 이중, 파이프라인은 석유 화학 플랜트, 원자력 발전소, 미사일과 항공기 선박 자동차의 연료 공급라인, 열 교환기, 핵 반응기의 연료 pin 뿐만 아니라 자동화 설비 라인 등 산업전반에 걸쳐 사용되고 있으며, 인체의 혈관에 비유할 만큼 중요한 역할을 하고 있다. 본 연구에서는 저가의 가속도 센서를 이용하여 유체가 흐르는 파이프 라인의 진동을 측정함으로써 파이프 라인 내에서 일어 날수 있는 부식 상황을 진단하는 비파괴 진단 시스템을 개발 하고자 한다.

본론

1. 파이프의 운동방정식

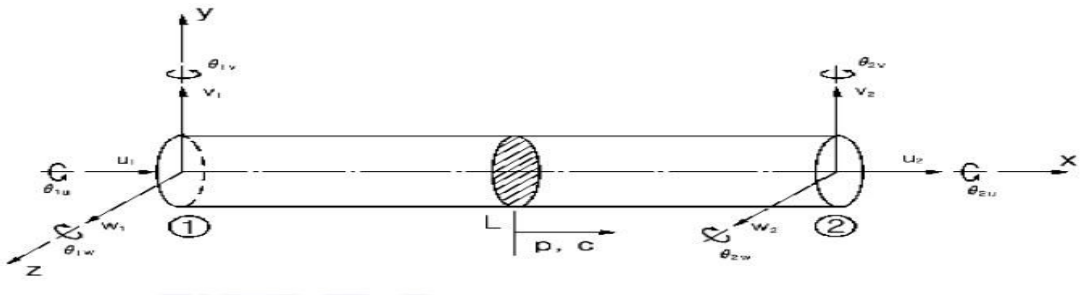
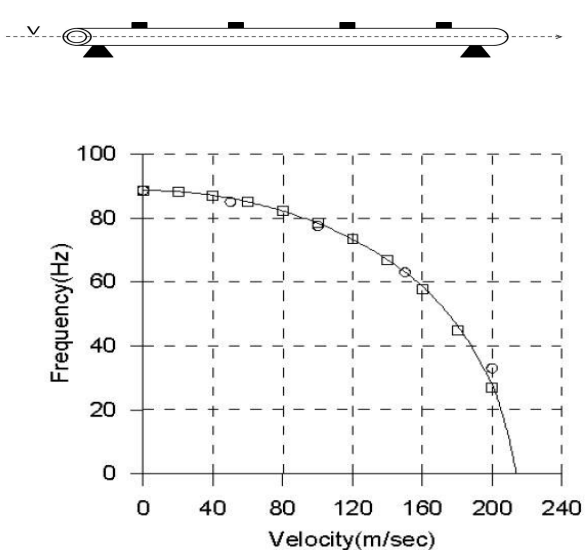


Fig. 1 Elementary Liquid- Filled Pipe Section

파이프의 운동방정식은 내부 압력과 파이프의 관성 영향, 그리고 유동하는 유체의 영향을 포함하기 위해서 탄성 보의 평형방정식을 변화해서 얻어지게 된다. 여기서 압력을 받고 있는 유체 때문에 발생하는 초기 변형 상태(initially deformed state)를 고려한다. 이러한 초기 변형 상태 때문에 파이프에서는 초기 힘(initially forces)과 초기 모멘트(initially moments)가 발생하게 된다. 이 들 힘 중에서 파이프의 동적 특성에 영향을 주는 것은 초기 인장력이다. 초기 인장력은 내평면과 외평면의 변형에서 굽힘 강성를 증가 시키는 역할을 한다.

2. 프로그램 검증

파이프 계에서 유동진동은 파이프 내부를 흐르는 유체의 유속이 정한 경우로서, Blevins, Kohli 와 Nakra 그리고 Pak 등의 기존 구모델을 예제로 선택하여 비교 검토하였다.



유체가 흐르는 파이프의 진동은 Fig. 2와 같은 결과를 보여 준다. Fig.2 에서 볼 수 있듯이 흐르는 유체가 배관에 작용하는 힘은 그 유체의 유속차이에 따라 달라짐을 볼 수 있다. 초기 유속 0에서의 진동수는 88.2Hz로 높음을 알 수 있고 유속이 빨라짐에 따라 진동수는 점점 감소하다가 유속 220m/s 이후에는 진동수가 0Hz로 임계 유속 임을 알 수 있다.

유체가 흐르는 배관의 진동은 시뮬레이션 결과에서 확인 한 것과 같이 배관 내를 흐르는 유체의 유속에 영향을 받음을 확인했다. 이것은 배관 내를 흐르는 유량의 변화가 없고 유속의 변화가 있으면 배관의 진동은 달라진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 2 The Lowest Natural Frequency of a Straight Pipe

3. 부식

배관의 부식 중 대부분을 차지하는 관의 내부 부식은 관을 통하여 흐르는 수중에 부식성 물질의 존재로 인하여 발생한다. 내부 부식은 부식금속의 외형에 따라 다양하게 분류되지만 국부 부식과 균일 부식으로 나눌 수 있으며, Fig. 3은 내부부식의 형태이다. 균일부식은 전체 금속 표면에 같은 속도로 유사하게 부식되는 것을 말하며, 일반적으로 수압이나 외부부하를 더 이상 지탱할 수 없거나 구조적 결함이 발생할 때까지 관의 두께가 얇아진다. 국부부식은 일부분이 불균일하게 부식되는 현상을 말하며, 이종금속부식, 틈새부식, 공식, 침식부식 등이 있다.

Fig. 3 Internal Corrosion of Pipe

4. 부식이 배관에 미치는 영향

앞에서 확인 것처럼 배관 내를 흐르는 유량의 변화가 없고 유속의 변화가 있으면 배관의 진동은 달라진다. 화학공정의 배관 내를 흐르는 유체는 동력에 의해서 일정한 양이 전달 되게 되어있다. 즉 일정 양의 유량이 배관 내를 흐른다는 말로 이러한 상황에서 유체의 유속에 변화를 가져 올 수 있는 것은 유체가 흐르는 배관 내의 면적이 틀려지는 것 이다.

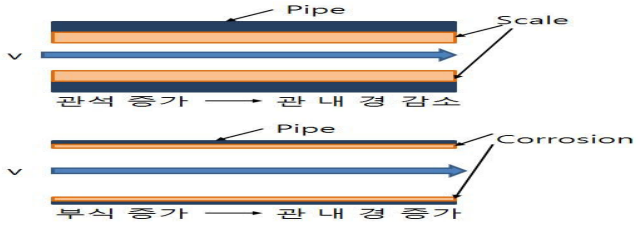


Fig. 4 Changes in Diameter due to Corrosion

배관내의 부식이 발생을 하면 배관의 두께는 틀려진다. Fig.4와 같이 케비테이션이나 전면 부식으로 배관을 이루고 있는 금속의 부식으로 인해 내경이 늘어 나게 될 경우 배관 내의 면적이 증가하게 되고 이에 따른 유속이 감소하게 된다. 또한 스케일의 침전 부식은 배관 내의 내경이 증가 하게 되고 배관내의 유체가 흐를 수 있는 면적이 감소 함으로 인해 유속은 증가하게 된다. 그림 과 같이 배관의 각각의 부위에 진동 센서를 설치 하게 되고 내경의 변화로 인한 배관의 진동 상태를 측정하게 된다.

5.부식 진단 스템

시뮬레이션이 아닌 실제 진동을 측정하기 위한 프로그램으로는 NI (National Instruments)의 LabVIEW 8.5.1 software로 진동 측정을 위한 시스템을 프로그램 하였다. Fig.5는 배관에서 전달된 진동 신호를 처리하는 과정을 보여주는 software의 Block Diagram 이다. Block Diagram은 진동 신호가 들어 오는 과정과 푸리에 변환과정 그리고 데이터가 저장 되는 과정까지 그래픽하게 보여 주기 때문에 프로그램 작성자 이외의 다른 사람이 신호의 흐름을 파악하기에 유용하다. Fig.6은 신호를 모니터를 통해 실시간으로 데이터화하여 볼 수 있는 Front panel이다. Front panel에서는 Block Diagram을 거쳐 처리된 신호를 시간과 진폭과의 그래프, 주파수와 진폭과의 그래프 등으로 볼 수 있게 하였다.

배관에 흐르는 유체는 유량 30L/min으로 고정하여 부식으로 인해 배관의 내경 변화에 따른 관 내부의 유속을 다르게 하여 진동을 측정하였다.

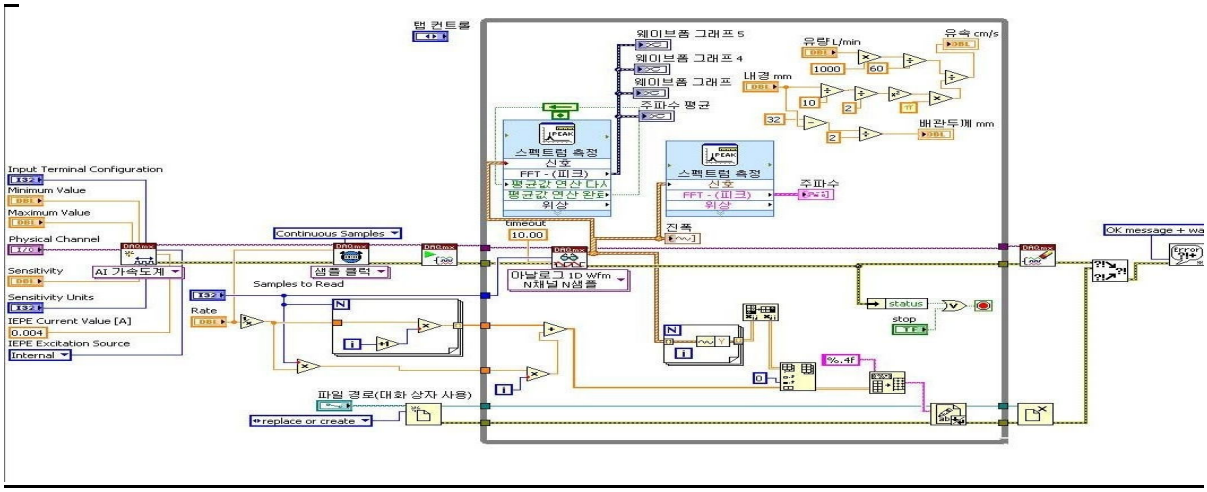


Fig.5 Block Diagram of corrosion diagnosis

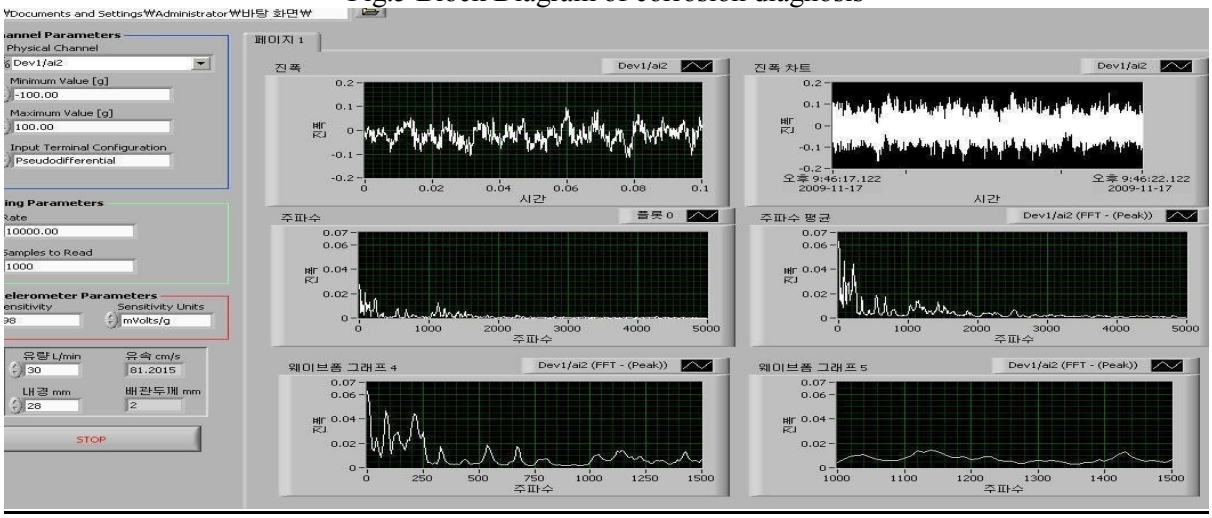


Fig. 6 Front panel of corrosion diagnosis

6.실험 결과

본 연구을 위해 실험 한 배관은 아연도 강관으로 유량이 30L/min일 때 배관 내부의 유속은 81.2.cm/s이고 이때의 배관의 주파수는 20Hz이다. 이때 배관에 대한 진동 측정을 통해 움직이는 많은 주파수 중 그래프 중 20Hz 영역의 진폭 피크가 심하게 움직이는 것이 확인 되었으며 정확한 측정 값으로는 22Hz가 나왔다. 4차 부식결과 내경의 크기는 29.4mm가 되었고 이에 따른 유속은 73.6cm/s로 계산 된다. 그리고 이때 주파수 그래프를 보면 아래의 정상관일 때의 주파수 영역에서 50Hz에 가까운 주파수의 피크가 크게 움직임을 알 수 있다.

Table 1은 부식에 의해 줄어든 유속에 대한 각각의 주파수를 나타낸 결과 값이다.

Table 1 Vibration frequency changes at corrosion (유량: 30L/min)

	내경 (mm)	유속 (cm/s)	주파수(Hz)
부식 전	28	81.2	21
1차	28.2	80.0	24
2차	28.5	78.3	29
3차	29	75.7	40
4차	29.4	73.6	49

결론

본 연구는 배관내의 부식 상태를 진동을 통해 예측하는 것으로써 아직 까지 개발 된 적이 없는 진단 시스템으로 많은 부식의 종류 중 연구에 직접적인 부식의 진단 사례로 들 수 있는 것은 배관 전면에 넓게 일어나 내경을 감소시키는 균일 부식과 케비테이션 손상 그리고 배관의 내경을 증가 시키는 스케일에 대한 부식 평가가 이루어 졌으며 진동을 통한 부식 진단 프로그램의 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

1. 배관의 상태를 가속도 센서를 통해 실시간으로 확인 함으로써 기존 장비의 단점인 분석시간을 단축이 가능하다.
2. 진동을 통한 측정 방법으로 기존 장비의 단점인 측정범위를 확장 함으로 인해 부식 부위에 대한 빠른 진단이 가능하다.
3. 실시간 변화하는 진동 경향 데이터를 저장함으로써 배관의 부식 상태 탐색의 명확성을 증대 시킨다.
4. 저장된 데이터를 통해 대상 공정의 배관의 부식 및 변형 정도와 진행 속도를 예측하여 배관의 적절한 교체 및 보수 시기를 정할 수 있다.

참고문헌

1.이동명, 1997, 전달행렬법을 이용한 파이프 계의 유체- 유발 진동 및 동적 거동에 관한 연구, 경희대학교 박사학위논문

2.Benaroya, 1998, ′Mechnical Vibration′, Prentice Hall 6. A. E. H. Love, 1944, ′A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity′, Dover

3. 이봉훈, 1991, 유한요소법 핸드북, 동화기술 16. Kwon and Bang, 1997, ′The Finite Element Method us ing MATLAB′ , CRC

4. M. W. Lesmez, D. C. Wiggert, F. J. Hatfield, 1990, ′Modal Analys is of Vibrations in Liquid-Filled Piping Sys tems′, Journal of Fluids Engineering, 1990, Vol. 112 September, pp. 311- 318