

Hall Effect Sensor와 9-Axis Sensor를 이용한 Expansion Joint 모션 분석

곽태홍* · 김상현* · 김원중**

Expansion Joint Motion Analysis using Hall Effect Sensor and 9-Axis Sensor

Tae-Hong Kwag* · Sang-Hyun Kim* · Won-Jung Kim**

요 약

화학공장과 같은 장치산업은 고온·고압·유독성 유체가 배관을 통하여 각종 설비들 사이를 이동한다. 온도 변화, 진동, 지진, 지반침하와 같은 주변환경의 변화에 의한 배관의 위치 이동과 파손은 인명피해를 수반하는 큰 사고로 연결되는 경우가 많다. 이러한 사고를 방지하기 위하여 배관에 가해지는 각종 충격을 흡수하고, 보완하여 사고를 미연에 방지하기 위한 여러 가지 종류의 익스펜션 조인트(Expansion Joint)를 사용한다. 따라서 사용된 익스펜션 조인트의 변형을 측정하고, 수명을 예측하는 것은 대형사고를 방지하기 위하여 매우 중요하다.

본 논문에서는 익스펜션 조인트의 변형을 일종의 모션으로 이해하고, Hall Effect Sensor와 9-Axis Sensor를 사용하여 변화를 측정하였다. 그리고 범용의 마이크로보드 아두이노와 C언어를 사용하여 측정된 데이터를 모으고, 분석하여 익스펜션 조인트의 변형을 예측할 수 있는 시스템에 대하여 연구하였다.

ABSTRACT

In the equipment industry such as chemical plants, high temperature, high pressure, and toxic fluids move between various facilities through piping. The movement and damage of pipes due to changes in the surrounding environment such as temperature changes, vibrations, earthquakes, and ground subsidence often lead to major accidents involving personal injury. In order to prevent such an accident, various types of expansion joints are used to absorb and supplement various shocks applied to the pipe to prevent accidents in advance. Therefore, it is very important to measure the deformation of the used expansion joint and predict its lifespan to prevent a major accident.

In this paper, the deformation of the expansion joint was understood as a kind of motion, and the change was measured using a Hall Effect Sensor and a 9-Axis Sensor. In addition, we studied a system that can predict the deformation of expansion joints by collecting and analyzing the measured data using a general-purpose microcomputer (Arduino Board) and C language.

키워드

Expansion Joint, Hall Effect, 9-Axis Sensor, Register Map
익스펜션 조인트, 홀 효과, 9축 센서, 레지스터 맵

* 순천대학교컴퓨터공학과(netsharp1@naver.com,gold@iworks2018.kr)

** 교신저자 : 순천대학교컴퓨터공학과

• 접수일 : 2021. 01. 29

• 수정완료일 : 2021. 03. 09

• 게재확정일 : 2021. 04. 17

• Received : Jan. 29, 2021, Revised : Mar. 09, 2021, Accepted : Apr. 17, 2021

• Corresponding Author : Won-jung Kim

Dept. of Computer Engineering Suncheon National University

Email : kwj@suncheon.ac.kr

I. 서 론

화학공장과 같은 장치산업에서 대부분의 공정은 생산을 위한 다양한 설비들로 구성되어 있다. 그러한 설비들은 각종 배관과 탱크 등을 통해 연결되어 있으며 공정에 따라 화학적·물리적 반응에 의한 프로세스의 고온·고압·유독성 유체를 이송하게 된다. 이러한 이송으로 유체 배관은 온도에 의한 수축과 팽창, 진동에 의한 위치 변경 등으로 급격한 충격을 받게 되어 변형되고, 파손될 수 있다[1]. 이러한 변형으로 인해 배관에 문제가 발생하는 것을 방지하기 위해 배관 사이에 익스펜션 조인트(Expansion Joint)를 삽입하여 충격을 완충하고, 안정화 시킨다[2]. 그러나 익스펜션 조인트는 환경이 열악한 배관에 주로 설치하므로, 악조건 속에서 본연의 기능을 수행함에 따라 과도한 스트레스를 장기간에 걸쳐서 받을 수밖에 없고, 단기간이라도 과도한 충격으로 인한 변형으로 파손되어 공장 설비사고를 일으키는 경우가 자주 발생되고 있다[1].

GPS나 가속도계를 사용하여 교각이나 건물의 변형과[3] 유체의 운동을 측정하는 시스템[4]은 개발되어 사용되고 있으나, 프로세스 배관 사이에 존재하는 익스펜션 조인트의 변형은 측정보다는 주로 거동특성(Behavioral Characteristics)을 통한 계산 중심으로[5], 실시간(Real Time) 측정 시스템의 개발 사례는 찾아보기 어렵다. 교각과 건물의 변형을 측정하는 시스템처럼 적용 범위가 넓지 않을 뿐만 아니라, 현장의 상황이 적용대상에 따라 너무나 다양하기 때문이다.

본 논문에서는 익스펜션 조인트의 변형 상태를 실시간으로 측정할 수 있는 시스템 개발을 위한 선행연구로서 Hall Effect Sensor와 9-Axis Sensor를 이용한 익스펜션 조인트의 모션 분석에 관하여 연구하였다. 본 논문의 II장에서는 익스펜션 조인트의 변형에 대해 살펴보고, III장에서는 본 연구에서 제안한 익스펜션 조인트의 모션 분석 및 측정에 대해 설명하였다. 마지막 IV장에서는 결론 및 향후 과제를 제시하였다.

II. 익스펜션 조인트의 변형

익스펜션 조인트는 기본적으로 다음의 4가지 형태로 변형된다[2].

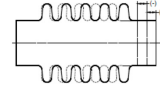


그림 1. 축 방향 변형
Fig. 1 Axial Movement

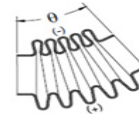


그림 2. 각 운동 변형
Fig. 2 Angular Movement

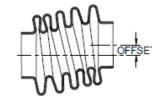


그림 3. 횡 방향 운동 변형
Fig. 3 Lateral Movement

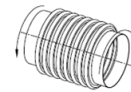


그림 4. 비틀림 운동 변형
Fig. 4 Torsional Movement

배관내부 유체의 유동과 환경적 요인에 따라서 당연한 변형으로 간주되나, 이러한 변형이 한계값을 초과할 경우 파손에 이르고, 대형사고로 연결 될 수 있다.

그러므로 이러한 파손과 대형사고를 방지하기 위해서는 변형을 실시간으로 측정하고, 추적 관리하여 한계값에 다다르기 전에 예방조치를 취하는 것이 반드시 필요하다.

익스펜션 조인트의 변형을 실시간으로 측정하기 위해 변형 특성을 구분하여 보면, 크게 그림 1과 같이 길이의 직선방향 수축 팽창과 그림 2, 3, 4와 같이 중심축을 기준으로 하는 각도가 변화하는 변형임을 알 수

1) ulesansafety, <https://ulesansafety.tistory.com/2164>

2) SCRIBD, <https://www.scribd.com/document/309709387/Beskrivning-Av-Expansionsbalgar>

있다. 따라서 실시간 측정 시스템은 위의 4가지 변형에 적용되도록 설계하고 제작되어 설치되어야 한다.

III. 모션측정

3.1 Axial Movement (+/- mm) 측정

그림 1과 같이 길이 방향으로의 수축 팽창에 의한 변위를 측정하기 위한 방법은 어떤 것들이 있을까? 길이 방향으로의 변위는 기껏해야 최대 20 mm 정도 밖에 되지 않는다. 익스펜션 조인트는 주로 금속으로 제작되므로 많은 변위를 일으키지는 않는다. 20 mm 정도의 변위를 측정할 수 있는 센서는 고주파 유도형 센서 정도이다. 그러나 유도형 센서는 금속만 검출 가능한데, 배관 주위의 거의 모든 물질이 금속이라는 것과 정비작업 등 공기구에 의한 오동작 될 가능성이 매우 높다. 따라서 자기장만을 이용하여 정확한 변위를 측정하기 위해 본 논문에서는 Hall Effect Sensor와 9-Axis Sensor 사용을 제안하였다.

가. Hall Effect Sensor 적용

Hall Effect에 의하면 전류가 자기장에 놓인 샘플을 통과할 때 전류와 자기장에 비례하는 전위가 전류와 자기장에 수직인 방향으로 물질을 통과하여 발생한다[6].

그러므로, 자기장을 가진 물체(자석)를 반도체로 만든 Hall Effect Sensor에 근접시키면 센서에는 자기장에 수직으로 전압이 발생된다. 이 전압은 자기장 크기에 비례하게 되므로, 이 전압의 변위량을 이용하여 자기장과 센서 사이의 거리를 측정할 수 있다.

Hall Effect Sensor는 주로 모터의 회전측정 등에 사용된다[7].

나. Hall Effect Sensor Axial Movement 측정

위의 Hall Sensor의 원리를 적용하기 위하여 그림 5와 같이 익스펜션 조인트에 a, b와 같이 플랜지(Flange)를 연결 하였다. 그리고 a 플랜지에 Hall Sensor를 부착하고, b 플랜지에 지지대를 길게 고정한 다음 끝

에 영구자석을 붙였다. Hall Sensor와 영구자석 간격을 20 mm 되게 하였다.

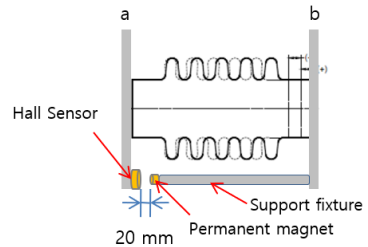


그림 5. Hall Effect Sensor 측정도
Fig. 5 Hall Effect Measuring diagram

지지대와 영구자석이 결합되는 지점은 자극의 세기에 영향을 받지 않는 플라스틱 계열을 사용하였다. 또한, 영구자석은 자극의 세기가 너무 강할 경우 주위에 비산되는 금속체 등이 달라붙을 우려가 있으므로, 자극이 세지 않으면서 Hall Sensor 검출이 용이한 사양을 적용하였다.

다. 선정 부품 및 사양

(1) Hall Effect Sensor

Hall Sensor는 주로 디지털 방식이며, 자극이 검출되었을 때 접점이 On/Off 되는 제품이 대부분이다.

그러나 본 연구에서는 자극의 세기에 따라 값이 연속적으로 변하는 아날로그 타입이 필요하여 적정한 제품을 아래와 같이 선정하였다³⁾. 선정된 제품은 플랜지 타입으로서 양쪽 홀 두 개를 이용하여 고정하기 용이하지만 출력 신호는 비선형이다.



Maker	Littelfuse Inc.
Output	Analog
Frequency	10kHz
Supply	DC 4.5 ~ 5.5 V

그림 6. Hall Effect Sensor 사양
Fig. 6 Hall Effect Sensor Specification

3) Littelfuse, https://m.littelfuse.com/~media/electronics/datasheets/hall_effect_sensors/littelfuse_hall_effect_sensor_s_55100_datasheet.pdf

(2) 영구자석

영구자석은 자장의 세기를 고려하여 선정하였으며, 검출 길이에 따라 강약을 조절할 필요가 있다. 자석의 세기를 나타내는 단위 가우스(gauss, 기호 G)는 자기장(B)의 CGS 단위이며, 1936년 독일의 수학자이자 물리학자인 카를 프리드리히 가우스의 이름으로부터 유래되었다. 1 가우스는 1 제곱센티미터의 단면에 1 맥스웰의 자기 선속이 통과하는 자기장이다⁴⁾.

다음 그림 7은 선정된 자석과 사양이다⁵⁾.


	Maker	Radial Magnets Inc.
	Material	NdFeB
	Gauss	2568G
	Size	D 6.35 mm x H 1.59 mm

그림 7. 영구자석 사양
Fig. 7 Permanent magnet specification

3.2 각도 변화에 의한 모션 측정

Axial Movement를 제외한 익스팬션 조인트의 변화는 기울어지거나 비틀림 등이 발생하는 것이다. x, y, z 방향에 대한 전압의 변위를 측정할 수 있으면, 기울기나 비틀림이 발생될 때 익스팬션 조인트의 변형으로 간주하고 즉각적인 조치를 할 수 있다. 이러한 각도의 변화를 측정하기 위하여 가속도(Acceleration), 자이로스코프(Gyroscope), 지자기(Geomagnetic)를 측정할 수 있는 9축 센서를 선정하였다.

가. 9축 센서

9축 센서는 가속도, 자이로스코프, 지자기를 측정하기 위하여 각각 3축씩 모두 9축을 사용한다. 3차원 좌표계에서 물체의 위치나 이동 경로를 표현하기 위하여 yaw, roll, pitch를 사용하며, 이는 항공기, 드론, 로봇 등에서 모션측정 분석을 위하여 필수적인 요소이며^[8], IoT를 이용한 동작감시용으로 사용된다^[9].

따라서 익스팬션 조인트의 움직임도 일종의 모션으로 간주하고 9축 센서를 이용하여 변위를 측정하고 분석하면 변형을 탐지할 수 있다.

나. 9축 센서로 Expansion Joint 모션 측정

그림 8과 같이 익스팬션 조인트의 플랜지에 9축 센서를 부착하면 기울기나 비틀림이 발생할 경우, 측정된 각도 값을 알면 변형의 추이에 대해 예측이 가능하다^{[8][9]}.

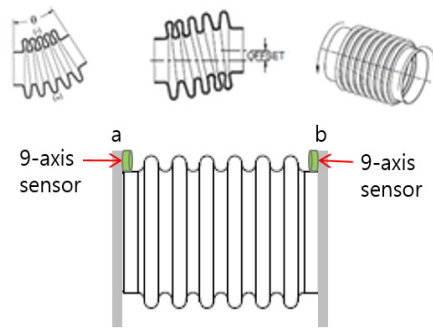


그림 8. 9축 센서 측정도
Fig. 8 9-axis sensor measurement diagram

다. 선정 부품 및 모델

- 제조사 : SparkFun
- 모델명 : MPU-9250⁶⁾



그림 9. MPU-9250
Fig. 9 MPU-9250

라. MPU-9250 Register Map

MPU-9250은 9축 센서값을 측정하도록 마이크로 칩으로 구성되어 있고 측정값을 I2C 나 SPI 통신을 이용하여 데이터를 수집하고 조정하므로, Register Map을 통해 필요한 파라미터를 설정하고 컨트롤해야 한다^[10].

4) Wikipedia. "Gauss (unit)," 2020.04.09. [https://en.wikipedia.org/wiki/Gauss_\(unit\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gauss_(unit))

5) Digi-Key. "8195", <https://www.digikey.kr/products/ko?keywor-ds=469-1005-ND>

6) Sparkfun. "MPU-9250 Hookup Guide," <https://learn.sparkfun.com/tutorials>

3.3 장치 제작 및 측정결과

가. 장치 제작

Hall Effect Sensor와 9축 센서를 그림 10과 같이 제작하고 플라스틱 케이스 내부에 설치하여 신호 전송용 케이블을 연결하였다.

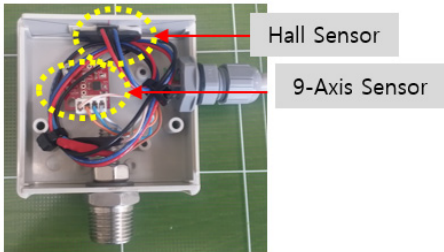


그림 10. 센서 모듈 제작
Fig. 10 Sensor Module production

익스펜션 조인트 변형 측정 테스트 장치를 그림 11과 같이 제작하여 센서와 영구자석 모듈을 설치하였다.

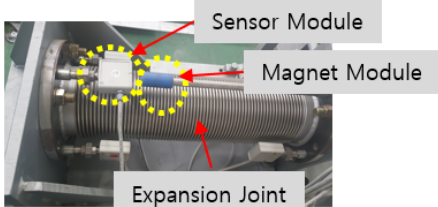


그림 11. 테스트 장치
Fig. 11 Testing device

익스펜션 조인트 길이방향 변형을 육안으로 확인할 수 있도록 그림 12와 같이 자를 설치하였다.



그림 12. 기계적 변형거리 확인
Fig. 12 Check mechanical deformation distance

나. 측정결과

(1) Hall Effect Sensor 길이방향 변형 측정

센서에 전원을 공급 후 테스트기로 출력 전압을 측정하며 익스펜션 조인트를 5 - 20 mm 범위로 1 m m 씩 변위시켜 Hall Effect Sensor 출력전압과 기계적 변형거리를 기록하였다. 센서를 케이스 표면으로 돌출할 수 없고, 플라스틱 케이스에 임베드 하여야 하므로 케이스 내부 부착 포인트와 케이스 두께 등을 고려하여 5 mm로 Bias를 설정하였다.

5회 반복 측정한 값을 평균하고 엑셀을 이용하여 차트를 그린 결과 그림 13과 같이 비선형임이 확인되었다. 현장에서 실제 활용하기 위해서는 반드시 비선형 커브피팅이 필요하다.

본 연구에서는 비선형 커브피팅 알고리즘을 C언어로 프로그래밍하여 범용 아두이노 보드에서 연산을 실행할 수 있도록 구성할 예정이다.

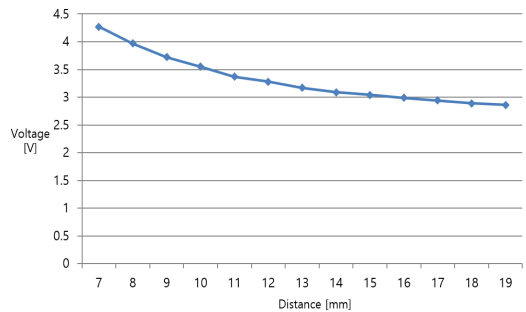


그림 13. Hall Sensor 측정
Fig. 13 Hall Sensor measurement

(2) MPU-9250 각도 변형 측정

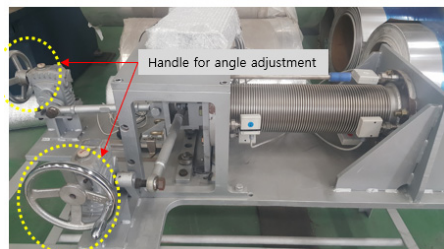


그림 14. 각도 조정용 핸들
Fig. 14 Handle for angle adjustment

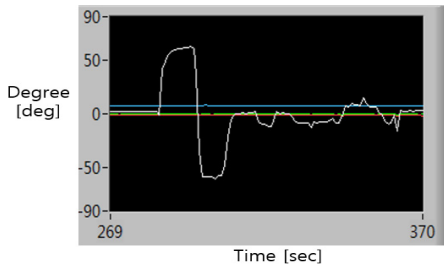


그림 15. 각도 변형 측정

Fig. 15 Angular deformation measurement

MPU-9250 데이터 확인용 어플을 이용하여 그림 14와 같이 각도를 조정하기 위해 핸들을 부착하고 변화시킨 결과 그림 15와 같이 측정되었다.

IV. 결론 및 향후과제

익스펜션 조인트의 4가지 형태의 변위를 모션으로 간주하고 길이에 대한 변화와 각도에 의한 변화를 Hall Effect Sensor와 9축 센서로 측정하는 방법을 제안하였다. 측정된 수치 값을 분석하면 익스펜션 조인트의 변형을 미리 예측하는 것이 가능하고, 대형사고를 미연에 방지하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 제안한 Hall Effect Sensor와 MPU-9250은 저비용이면서도 고효율의 부품으로서, 현장에 쉽게 적용이 가능한 경제적인 시스템의 개발이 가능할 것이다.

앞으로의 연구과제는 측정 및 분석된 자료들을 시각화하여 손쉽게 사용 가능한 사용자 인터페이스를 구현하고, 변형을 미리 예측하여 알람 할 수 있는 시스템을 설계 및 구현하는 것이다.

References

- [1] K. Yoon, "Safety Assessment of By-product Gas Piping after Design Change," *Korean Institute of Gases*, vol. 17, no. 2, 2013, pp. 50-58.
- [2] D. Park, "A Study on System Stress Analysis of High Temperature Plant Piping with Expansion Joints and Load Hangers," *Journal of Energy Engineering*, vol. 23, no. 3, 2014, pp. 116-124.
- [3] G. Koo, "Development of a High Precision Displacement Measurement System by Fusing a Low Cost RTK-GPS Sensor and a Force Feedback Accelerometer for Infrastructure Monitoring," *Sensors*, 27 45, 2017, pp. 2-20.
- [4] M. Kim, "Retrieval of Remotely Sensed Fluid Velocity and Estimation of Its Accuracy by Eulerian Measurement," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 1, 2021, pp. 1 51-156
- [5] D. Jeong, "A Study on the Behavioral Characteristics of Bellows for Expansion Joints," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, vol. 19, no. 10, 2020, pp. 52-58.
- [6] E. H. Hall, "On a new action of the magnet on electric currents," *American Journal of Mathematics*, vol. 2, no. 3, 1879, pp. 287-292.
- [7] S. Kwag, "Design of Brushless DC Motor Speed Control System for Handpieces," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 1 1, no. 6, 2016, pp. 597-604.
- [8] J. Lee, "A Parallel Kalman Filter for Estimation of Magnetic Disturbance and Orientation Based on Nine-axis Inertial/Magnetic Sensor Signals," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, vol. 40, no. 7, 2016, pp. 659-666.
- [9] J. Lee, "Smart Flying-Disc Monitoring System with IoT Technology," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 5, 2019, pp. 991-1000.
- [10] InvenSense Company, "MPU-9250 RegisterMap and Descriptions," *Report*, pp. 2-55.

저자 소개



곽태홍(Tae-Hong Kwag)

2004년 일본산업기술 단기대학 졸업
2019년 ~ 현재 순천대학교 대학원
컴퓨터공학과 석사과정

※ 관심분야 : VR개발, 딥러닝 기술



김상현(Sang-Hyun Kim)

2017년 광주대학교 컴퓨터공학과
졸업(공학사)
2018년~현재 순천대학교 대학원
컴퓨터공학과 재학중(공학석사)

2020년 ~ 현재 순천대학교 대학원 컴퓨터공학과
박사과정

2018년~현재 (주)아이웍스 대표이사

※ 관심분야 : 디지털트윈, 빅데이터, AI



김원중(Won-Jung Kim)

1987년 전남대학교 계산통계학과
졸업(이학사)

1989년 전남대학교 대학원 전산
통계학과 졸업(이학석사)

1991년 전남대학교 대학원 전산통계학과 졸업(이
학박사)

1992년 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : RFID/USN, 빅데이터, Context
Awareness

