

교량구조물의 구조적 변형을 측정하는 무선통신기반 변위센서모듈 개발

Development of Displacement Measuring Sensor Module to Monitoring About Variation and Distortion for Bridge Infrastructure at Wireless Communication Environmental

류 승 기* 문 학 룡**
(Seung-ki Ryu) (Hak-yong Moon)

요 약

도시의 많은 교량 구조물은 내구연한 및 노후 상태에 따라 외형적 변형이 발생하고, 지진과 태풍 등은 노후 시설물의 변형을 더욱 악화시키고 있다. 불규칙하고 미세한 점진적 외형 변형은 육안으로 확인하기 어렵고, 시설물의 성능을 저하시키게 된다. 따라서 최근에 교량 구조물의 이상 거동을 실시간의 무선 방식으로 검지하는 기술이 연구되고 있다. 본 연구는 자이로스코프를 이용하여 구조물의 미소한 물리적 변화량을 실시간으로 측정하는 변위측정모듈을 개발하였다. 개발된 계측 모듈의 성능은 시뮬레이션 실험을 통해 검증하였다.

Absrtact

Lots of bridge structure generated the change of outward formation according to durability capability and decrepitude by long use. Especially, in case of the typhoon, snowing and earthquake is going to make rapidly more worse formation about the old structural facilities. Also, outward formation by irregular and micro-distortion in bridge structure could not easily checked by normal diagnostics method. As a result, performance-capability of structure facility is getting to make a decline in standard of structure performance. Recently, real-time monitoring technology by wireless environment go into the study of irregular movement for structure facility. This paper presents the development of sensor to displacement checking about bridge structure.

Sensing method of developed sensor put bring into the gyroscope technology using the acceleration speed and angular acceleration speed. This paper also will simulated to verified the monitoring capability of developed sensor against random vibration, frequency and distortion in simulated equipment.

Key word : Durability capability, decrepitude, gyroscope technology, structure facility, wireless environment

* 주저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 기반연구본부 도로연구실 연구위원

** 공저자 : 한국건설기술연구원 기반연구본부 도로연구실 수석연구원

† 논문접수일 : 2010년 5월 4일

† 논문심사일 : 2010년 9월 8일

† 게재확정일 : 2010년 9월 15일

I. 서 론

최근 ITS는 교통 혼잡을 완화하기 위한 교통관리 측면의 시스템을 확대하고 있는 추세이며, 더불어 교통관리 측면 외에 터널, 교량, 사면 등으로 관리 차원에서의 첨단 시스템을 도입하고 있다. 도로시설물의 외형적 이상(교량 변형, 절개사면 붕괴, 도로 포장 파손 등)은 정체 유발 외에도 심각한 인명피해 및 엄청난 국가자산의 유지관리 비용을 지불하기도 한다. 따라서 도시 시설물이 외형적으로 변형되는 상태를 실시간으로 관리된다면, 도시 시설물의 수명을 연장시킬 뿐만 아니라 도시 시설물의 관리 비용을 장기적으로 절감할 수 있을 것이다[1].

본 논문은 도시 시설물 중에서 교량 구조물의 변형을 실시간으로 감지하는 첨단관리시스템이며, 구조물의 변형 데이터를 수집하기 위한 센서, 데이터처리부, 통신프로토콜 등을 제안하였다.

센서부는 교량의 구조적 변형을 측정하는 방식, 센서 시제품 설계 및 제작 그리고 성능 실험을 실시하였다. 기존 센서는 단일 센서로 단일 항목만을 측정을 하였으나, 하나의 센서로 여러 개의 성능항목을 측정하는 싱글센서 멀티 측정형을 검토했다.

센서 모듈 및 프로세서는 온도/변위, 온도/진동 데이터를 동시에 측정, 분석하는 복합 알고리즘을 연구했다. 센서 특성은 저주파에서 민감도 성능이 좋아야 하고, 이에 대한 우수성을 검토하였으며, 또한 기존의 센서는 고정식의 지그 장치를 사용하였는데, 이번 연구에서는 고정식 및 이동식으로 설치할 수 있는 지그 장치를 고안했다.

데이터 전송 방식은 무선 데이터 전송을 기반으로 하며, 통신모듈, 데이터 처리 모듈, 성능 검증용 시뮬레이터를 제작했고, 시뮬레이션 과정을 통해 실험 데이터를 분석했다.

II. 교량 구조물 측정시스템 분석

대부분 장대 교량은 여러 방식의 측정시스템을 설치하여 운영하고 있는데, 이러한 측정시스템은

교량 구조체에 센서를 설치하고, 이것을 이용해 구조적 변형을 측정하고 있다. 기존의 구조물 측정시스템은 대부분 외국 시스템으로, 설치 및 유지관리 비용으로 적지 않은 예산이 소요된다[2]. 국내에서 사용하고 있는 기존 측정시스템의 특징을 분석하고, 본 연구에서 개발하려는 측정시스템의 기본 방향으로 요구사항을 분석하였다.

1. 기존의 측정 시스템 분석

도시 교량에 적용하는 측정시스템은 일반적으로 전기식, 광학식 등 여러 센싱 방식을 사용하고 있다[3-5]. 교량의 변형을 측정하기 위해서 일반적으로 가속도계, 변위계, 변형률계, 풍향 풍속계, 온도계, 지진계 등을 설치하여 데이터를 분석하고 있다. 이러한 측정장치는 데이터 항목별로 독립적인 센서를 구성하였는데, 본 연구는 단일 센서로 이기종의 데이터를 복합적으로 측정하는 센서 방식 즉, 온도와 변위, 진동과 변위의 데이터를 동시에 측정하는 방식을 검토하였다.

〈표 1〉 측정센서별 출력 범위
(Table 1) Output resolution of sensor

종 류	형 태	범 위	분해능
전기저항식	Resistance sensor	10	1mΩ
		100	1mΩ
		500	5mΩ
		7,000	50mΩ
스트레인게이지	Strain gauge	10-4	1ppm
		10-5	10ppm
		10-6	100ppm
진동현식	Vibration wire sensor	500~5,000	0.01Hz
직류전압	DC voltage sensor	±25	1~100μV
		±7	250μV
		±70~100	2.5~10μV
직류전류	DC current sensor	±2.5	1~10μV
4~20mA 전류출력	4~20mA 100p sensor	0~100	0.01%
온도측정	Temperature sensor	-250~3,200	0.1%
주파수 출력 (가속도, 속도)	Frequency sensor	0.1~300,000	0.01Hz

1) 전기식 측정 센서

전기식 센서는 전기저항((electrical resistance)과 진동현((vibrating wire)으로 구분한다. 전기저항식 센서는 전기저항이 부착된 판이 외력에 의해 길이가 늘어나면 전기저항이 커지는 원리를 이용하고, 일반적으로 스트레인 게이지가 활용되고 있다.

또한, 진동현식 센서는 게이지 내부에 가늘고 미세한 진동현을 내장하여, 외력 변화에 따른 진동현의 움직임으로 인장력이 변하면서 현의 공진주파수가 변화하는 값을 이용하는 방법이다.

2) 광학식 측정 센서

광학식 센서는 빛의 전파 원리인 굴절과 투과 원리를 이용하며, 광섬유 센서, 광파 측정기, 광학식 변위 측정기 등이 있다.

3) 기타 방식

유압식은 U자형 관을 이용하여 유체의 압력을 측정하는 방식이고, 공압식은 기체의 흐름을 Check Valve로 조절하면서 압력을 측정하는 방식이다. 압전식 센서는 압전 재료에 힘이 가해지면 전기가 발생하는 원리를 이용한다.

에너지식 센서는 에너지파(음력파, 음파, 초음파 등)를 구조물에 전파시켜 전달되는 특성이나 시간 변화를 측정하여 구조물의 이상을 측정하는 방식으로 부식, 균열, 열화를 탐지한다.

여기에는 GPR(Ground penetration Rader), Acoustic Emission, Ultrasonic 등이 있고, GPR 방식은 전자파를 송신하여 매질의 물성이 바뀌는 경계면에서 반사된 전자파가 도달하는 시간을 측정하여 구조물의 위치와 형상을 파악하는 방법이다.

4) 국내의 적용 사례

국내 교량 계측시스템은 다양한 사례를 가지고 있으며, 아래 표에는 형식별로 적용 사례를 정리하였다.

미국의 경우, 샌프란시스코 금문교에는 UC 버클

〈표 2〉 국내 계측시스템 적용사례
 (Table 2) Application case for measurement system

명칭	형식	연장	종류
돌산대교	사장교	450m	가속도계, 레이저 변위계, 변형률계, 풍향풍속계, 경사계, 온도계, 지진계
신행주대교	사장교	1,460m	변형률계, 전단변형률계, 지점 변위계, 콘크리트응력계, 가속도계, 처짐계,
광안대교	현수교	900m	경사계, 온도계, 가속도계, 풍향풍속계, 변형률계, 레이저 변위계, 지진계, 신축이음계
원효대교	PSC박스	1,470m	경사계, 변위계
강화대교	강박스	780m	처짐계, 온도계, 변위계, 응력계

리 대학에서 개발한 센서와 Zigbee 기술을 적용하였으며, 기존 케이블 구성이 아닌 64개의 Ubiquitous Sensor Network 방식으로 실시간 모니터링 시스템을 구축하였다. 또한, 허드슨강 Tappan Zee 교량에는 광학식 변위 측정계를 사용하였으며, 바람과 온도의 영향으로 부재 변형을 모니터링하고 있다.

2. 교량 구조물 요구사항 분석

국내 교량 구조물의 변화량 계측은 건설 전후로 지반의 거동변화를 수시로 계측하는 지반계측과 외부 환경변화에 의한 구조물 자체 변화를 계측하는 구조물 계측으로 구분하게 된다. 따라서 계측시스템을 개발하여 적용하기 위해, 구조물의 요구사항을 분석하였다.

1) 계측 데이터 변수

수집 데이터에는 자연 및 인위적인 환경조건에 따라, 구조물의 급격한 변화 또는 장시간 변화 데이터를 포함한다. 따라서 변화량 계측은 짧은 시간에 가해지는 힘, 장시간에 걸쳐 가해지는 변화량을 측정한다.

단 기간의 물리적인 변화는 지진, 가속, 휨, 변형 등으로 실시간의 동적 데이터를 수집하고, 반면 장시간에 걸쳐 서서히 변화하는 환경 변화는 온도,

압력, 토압, 수압, 침하, 누수 등으로 동적 데이터보다 긴 수집주기의 정적 데이터이다. 정적 데이터는 10분~30분 정도로, 실시간성이 필요하지 않은 데이터로, 피로강도 산정에 필요한 응력 측정, 구조물 온도 변화, 하중 또는 주탑 변위 발생에 의한 보강재 축 방향 변위 측정, 신축이음장치의 이동 변위 측정 등을 수집한다.

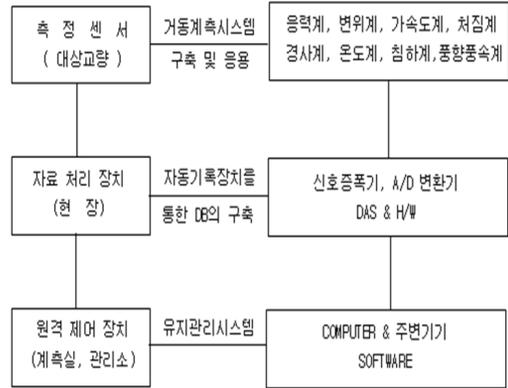
동적 데이터는 1초 이내 짧은 주기의 실시간 데이터로, 진동, 가속도, 통행 차량의 하중, 풍하중 등에 따른 주파수 등을 수집한다. 이러한 정적 및 동적 데이터를 전반적으로 수집하기 위해서는 많은 센서를 설치하여야 하지만, 구조물 안전성을 파악하기 위해서 센서 종류를 효과적으로 선정, 최적의 설치가 필요하다. 최적의 센서 시스템을 개발하기 위해 다음의 계측데이터 변수를 검토하였다.

먼저, 변형률 데이터는 교량 구조물에 허용응력이 초과되어 발생하는지를 파악하는 것으로, 센서 배치는 최대 모멘트를 발생하는 상판 위치, 최대 하중 발생 위치로 한다. 두 번째 변수는 변위 측정값으로 구조체의 처짐을 계측한다. 세 번째 변수는 기울기로, 교량 부재의 기울기를 측정하여, 침하 여부, 교각 및 교대부에 설치한다. 네 번째 변수는 고유진동수로, 진동분석을 통하여 구조물의 강성 및 내하력 분석, 비틀림을 판단, 풍하중에 의한 횡방향 진동상태 등을 평가하며, 최대진동이 발생하는 위치로 경간 중앙 부분에 배치한다. 다섯 번째 변수는 피로 균열이다.

2) 계측시스템 개발 절차

계측시스템은 데이터의 정밀도, 경제성 등을 고려하여 기존의 전기적 변환 계측방식과는 다른 자이로스코프 특성을 이용한 변위 측정 시스템을 개발하였다.

측정변수는 가속도, 경사, 변위, 온도 데이터이고, 국부적 거동 데이터를 분석하여 교량의 상태를 판단할 수 있다. 가속도 값은 구조물 거동에 따른 진동 신호를 측정하여 공진주파수와 Mode Shape를 분석하고, 사용 전 초기데이터와 운영에 따른 거동



〈그림 1〉 데이터 처리 절차
(Fig. 1) data processing flow

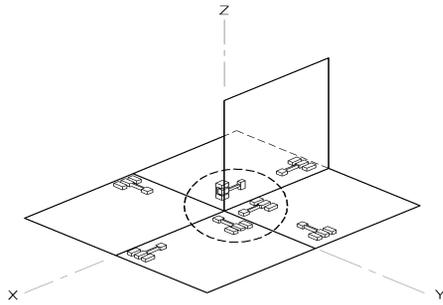
패턴을 비교할 수 있다. 이때 경간 중앙부에 설치하여 활하중 가속도파를 측정하고, 측정 가속도파의 고유진동수를 계산하며, 교통량에 따른 상부 구조의 동적 처짐을 측정한다.

Ⅲ. 자이로스코프 센서모듈 개발

본 연구는 자이로스코프의 회전 각속도, 관성력 및 코리올리힘을 이용하여 지표 및 지중 변위, 경사 변동을 측정하는 센서모듈의 개발이다. 연구 방향은 단일 센서로 이기종의 데이터를 복합적으로 계측하는 센서 모듈로, 온도/변위, 진동/변위 데이터를 동시에 계측하는 센서 모듈을 제안하였다.

1. 자이로스코프 검지 방법

자이로스코프 센서모듈은 비회전시에 진동(가속도)을 피에조 원리로 측정하고, 회전시에는 전류 변화로 코리올리력이 생성되고, 공급된 전류에 비례한 각가속도를 생성한다. 극미량의 가속도, 각가속도, 변위, 속도, 각변위를 검지할 수 있도록 1축 가속도계와 자이로스코프 센서를 조합하여 동시에 6축까지 측정할 수 있게 구성하였다. 자유도 센서는 다수 개의 미세 진동자 배열 구조를 이용하여 3축(X, Y, Z)에 대한 직선운동량(가속도)과 축별 회전운동량(각속도)을 동시에 검출하여 6자유도를 정



〈그림 2〉 3축 진동자 배치
(Fig. 2) Arrangement of 3 axle vibrator

밀하게 검출하도록 구성했다.

이때, 미세진동자 배열 구조는 물체의 각속도를 검출하기 위하여 축 별로 2~4개의 미세진동자를 기준 축에 평행하게 배치하고, 가속도를 검출하기 위하여 3축에 미세진동자를 다층 구조로 배치하였다. 다층 가속도와 각속도 측정은 6자유도 검출 센서를 X, Y, Z 3축에 각각 설치하여 직선운동량(가속도)과 X, Y, Z축별 회전운동량(각속도)을 검출한다.

개발 센서모듈은 가속도 및 자이로의 측정방향은 각각 3축으로 a_x, a_y, a_z, g_{YAW} 이고, 크기는 23mm(W) × 31mm(L) × 7.5mm(H)의 아날로그디바이스사 MEMS기반 ADIS16300프로세서를 사용하였다. 센서의 1차 출력 값은 3축 가속도와 1축 각속도이며, 이들 정보는 DSP 프로세서를 통해 각도는 아래와 같이 산출한다.

$$X\text{축} : \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right) \quad (1)$$

$$Y\text{축} : \arctan\left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}\right) \quad (2)$$

진동의 크기는 x_0, \dots, x_{n-1} 이 복소수라고 가정할 때, 아래 식과 같이 산출한다.

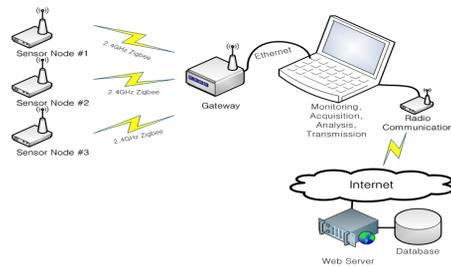
$$f_j = \sum_{k=0}^{n-1} x_k e^{-\frac{2\pi i}{n} jk} \quad j = 0, \dots, n-1 \quad (3)$$

3축 가속도와 1축 각속도를 기준으로 진동과 변위, 2축 중력방향성을 검지하는데, 주요 개발 사항

으로 변형률, 가속도 및 각속도에 의한 진동, 온도 등을 검출한다.

2. 자이로스코프 센서모듈 개발

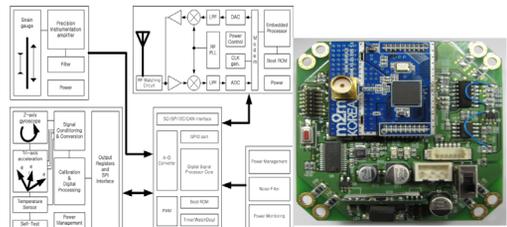
본 논문에서 교량에 적용하기 위한 센서모듈과 무선통신모듈을 융합하여 자이로 센서모듈시스템을 개발하였다. 개발 시스템은 MEMS 기반의 센서모듈, 저전력형의 무선 데이터 송수신모듈 등으로 아래 그림과 같이 시스템을 개발하였다.



〈그림 3〉 자이로스코프 센서시스템
(Fig. 3) Gyroscope sensor system

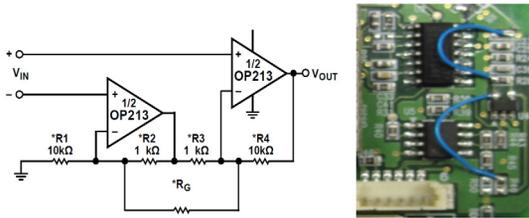
1) 무선통신기반 MEMS 센서 개발

개발한 센서모듈 시스템은 CPU모듈, 지그비 통신모듈, 센서모듈, 증폭기, 전원부로 설계하였다. CPU 파트는 계측, 연산, 통신모듈, ADC, 전원관리를 제어하며, Texas Instruments사의 TMS320F2808 DSP를 채용했고, 32bit Fixed-point 연산, 100MHz 동작, 내부 RAM, ROM과 ADC, SPI, SCI 등 다양한 외부 인터페이스를 수용하고 있는 구조이다.



〈그림 4〉 무선통신기반 MEMS 센서
(Fig. 4) Wireless com. MEMS sensor

지그비 통신모듈은 수신 34mA, 송신 42mA, 대기 상태 43uA를 소비하는 저전력 방식으로 RadioPulse 사 MG2455 모델을 사용했고, 장기간 현장에서 계측할 수 있도록 설계했다. 아날로그디바이스사의 MEMS기반 ADIS16300프로세서는 3축 가속도, 1축 각속도, 온도, 경사도를 측정하는 기능을 가지고 있다. 교량은 저주파 대역의 신호를 증폭하게 되므로 저주파대역의 신호를 증폭하는 구조로, 증폭기는 아날로그디바이스의 OP213 프로세서를 사용하였다.



〈그림 5〉 증폭기 회로
(Fig. 5) Amplifier circuit

센서모듈 전원부는 프리전압입력, 5V/3.3V DC 출력, 1A 이상으로 설계하고, 전원 컨트롤 프로세서는 Powerplaza사 SNS5A-12로 입력전압 10~14V, 출력 5V@5A, 최대용량 25W, 50mVp-p의 사양이다.

2) 센서모듈 구동 펌웨어 설계

플랫폼은 윈도우 XP, 개발언어는 Code Composer Studio Ver. 3.3, 개발 라이브러리는 TMS320C28xx, TDS510USB-C2K Emulator, C28x IQ math Library v1.5a를 사용했다. 시스템 초기화 프로세서는 6자유도 센서를 이용하였으나, 측정된 각속도 x, y, z를 이용한 각도 변환 시 적분에 의한 누적오차가 발생하여 각속도 x, y를 제거했다.

시스템 초기화 프로세서는 파워모듈, 지그비 모듈, 스트레인 게이지, 4자유도 센서로 구분되며, 센서모듈을 Power On하면 초기화 프로세스를 실행하게 된다.

초기화 프로세스는 레지스터 업데이트, 각 초기화 프로세서의 상태 반환 값은 실패 시 0x0, 성공 시 0x1, 타임아웃 0x2으로 설정했다. 파워 모드 초기화는 4자유도 센서의 전원 값을 이용하여 전원

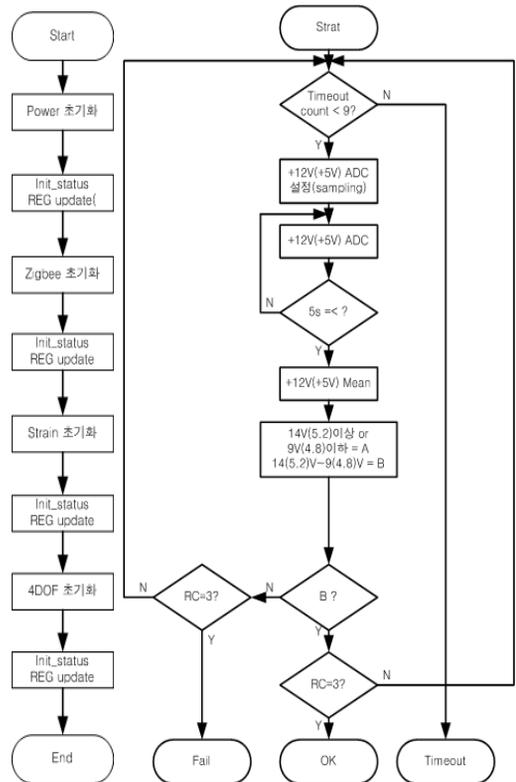
값이 현재 안정한 상태인지 또는 불안정한 상태인지를 확인하고, Fail 및 Timeout일 경우 시스템 연결 상태 및 전원을 확인하도록 설계했다.

3) 센서모듈 하드웨어 설계 및 제작

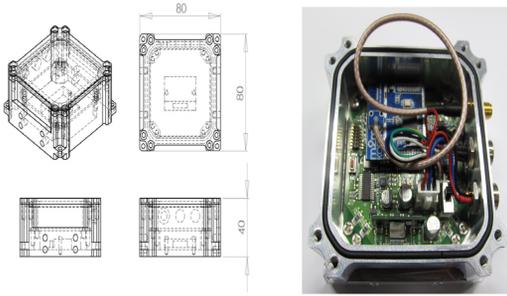
개발한 센서 모듈 함체는 IEC 표준 방수규격 IP 67에 대응하고, 센서를 함체 정중앙 하단부에 밀착 배치하여, 외부의 진동원에 근접하도록 설계하였다.

외형을 고정 시킬 수 있는 4개의 수직 고정 홀과 8개의 수평 홀을 설계하였고, 함체 상단에 방향성을 표기하여, 측정 방향을 확인할 수 있게 설계하였다.

외함 상부에는 솔라 패널을 삽입하고, 지그비 모듈과 메인보드를 내장하였고, 교량에 부착할 수 있는 브라켓을 제작하여, 시설물에 결합할 수 있는 구조로 설계하였다.



〈그림 6〉 시스템 파워 초기화 프로세스
(Fig. 6) System power initialization process



〈그림 7〉 무선센서 모듈 케이스
 〈Fig. 7〉 Wireless sensor module

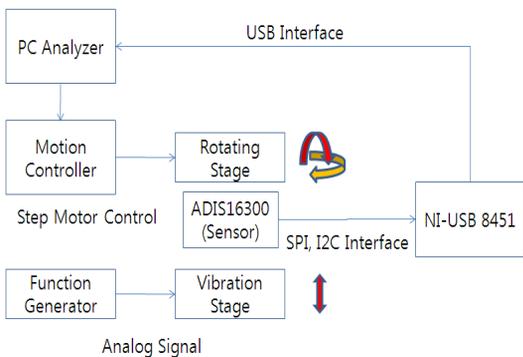
IV. 자이로스코프 센서모듈 성능모의실험

본 연구에서 개발한 자이로스코프 센서모듈의 성능을 실험하였다. 데이터 평가는 기본적으로 시계열 각도, 가속도, 온도 데이터를 대상으로, 주파수 특성 분석 및 고유진동수 평가, 최대 진동 변위, 진동특성 파악, 경사도를 평가했다.

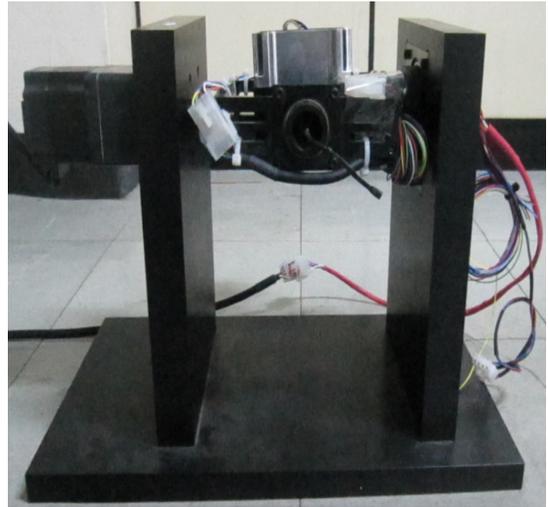
1. 모의실험장치 제작 및 성능 실험 방법

1) 모의실험장치 제작

자이로스코프 센서모듈의 성능을 검증하기 위해 다음 그림과 같이 모의실험장치를 구성하여 가속도 및 변위 데이터를 수집하여 분석하였다.



〈그림 8〉 시뮬레이터 구성도
 〈Fig. 8〉 Simulator diagram



〈그림 9〉 시뮬레이터 하드웨어
 〈Fig. 9〉 Simulator hardware

모의실험장치는 경사, 진동 및 가속도, 진동 및 가속도 주파수, 데이터 전송 성능을 검증할 수 있도록 2축 회전선반, 1축 바이브레이션, Function Generator 등으로 구성했다.

또한, 데이터 분석을 위해 NI사 LabVIEW 8.5를 이용해 데이터분석 프로그램을 개발했다. 3축 가속도, 1축 각속도, 온도 데이터는 1차적으로 디지털 변환된 센서 데이터를 그대로 사용했고, 2축 중력 방향각도 및 진동 변위는 가공하여 연산하였다.

2) 성능실험 방법

센서성능실험은 개발에 사용한 센서 ADIS 16300의 기본적인 Data sheet 스펙과 개발된 계측기로 수집된 측정치를 비교하여, 오차 범위 및 센서의 신뢰성을 검증하였다.

각도 분해능 검증 방법은 회전 스테이지를 사용하여 입력 신호와 출력신호의 비교를 통해 검증하였고, 입력신호는 PC의 회전 스테이지 제어 프로그램을 통해 단일 각도 테스트, 연속 각도 테스트를 수행하였다. 센서의 축별 가속도 검증은 1축 진동 스테이지를 통하여 정성적으로 평가했고, 진동 스테이지는 1축의 정성적인 진동 및 주파수를 가변시킬 수 있어, 센서의 장착 방향을 변화시켜가면서

센서의 가속도 및 진동 특성을 분석하였다.

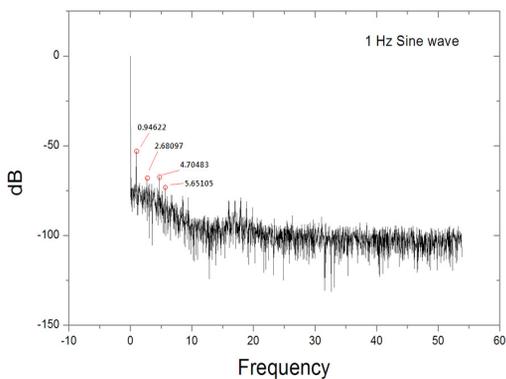
회전 스테이지와 진동 스테이지를 이용한 진동수 성능 검증의 경우, 진동수는 FFT, 진동크기는 평균, 표준편차, 실효치를 추출하여 평가하였다. 진동 테스트 입력 파형은 사인(Sine)파형, 주파수변화 1 Hz~10Hz, 진폭 10 Vpk-pk, 측정시간 4096 sample (9.25ms/sample)이다.

2. 성능실험 결과

사인 입력파형에 대한 진동테스트 결과는 다음과 같다. 진동수 결과는 평균 오차율 5.7664%로 분석되었고, 진동크기는 평균 및 실효치가 주파수 따라 증가하였는데, 이는 진동 스테이지의 구동 오차이면서 진동의 고조파도 발생하였다.

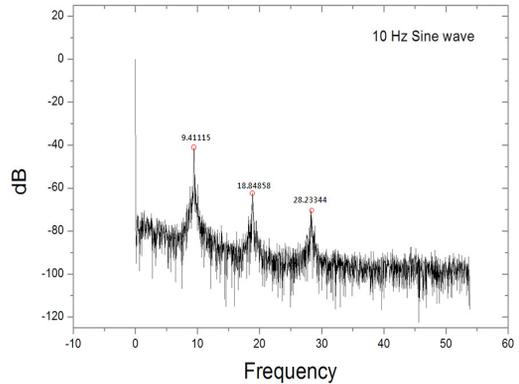
〈표 3〉 진동테스트 성능결과
〈Table 3〉 Performance result of vibration test

Input	Output			
Frequency [Hz]	Frequency [Hz]	Mean [g]	Standard Deviation	RMS [g]
1.0000Hz	0.94622	-0.99417	0.002259	0.994173
3.0000Hz	2.81586	-0.99485	0.00966	0.994897
5.0000Hz	4.70162	-0.99488	0.019099	0.995062
7.0000Hz	6.58016	-0.99808	0.022582	0.998333
10.0000Hz	9.41115	-1.00052	0.010748	1.000581



〈그림 10〉 주파수 분석 결과(1Hz 입력파의 경우)
〈Fig. 10〉 Frequency analysis result(1Hz input)

본 성능실험에서 진동수 평가를 위하여 각 입력신호에 대하여 4096샘플을 수집하였으며, 주파수분석 결과는 다음과 같다.



〈그림 11〉 주파수 분석 결과(10Hz 입력파의 경우)
〈Fig. 11〉 Frequency analysis result(10Hz input)

본 논문에서는 개발한 센서의 성능 목표치를 설정하고자 일반적으로 상용화된 센서와 비교하였다. 성능실험을 통해 이번에 개발한 센서모듈의 성능 데이터를 비교한 결과는 <표 4>와 같다.

〈표 4〉 성능 데이터 결과
〈Table 4〉 Performance data

계측 항목	개발결과 데이터 분석		
	분해능	연산치	용량
3축 가속도	14 bit	0.6 mg/LSB	±3g
1축 각속도	14 bit	0.0125°/sec/LSB	± 75°/sec
온도	12 bit	0.1453°/LSB	-40~+85°C
2축 중력방향 각도측정	14 bit	0.034°/LSB	±90 °
진동 변위	14 bit	0.000588mm/LSB	Max2.94mm/sample

V. 결 론

본 논문은 가속도센서, 각속도 센서, 진동계, 온도센서의 계측값을 MEMS 기반 복합 센서 형태로 구현하여 하나의 소형 센서로 4자유도 측정값을 수집하는 시스템

을 개발하였고, 성능실험에서 만족할 만한 결과를 얻었다. 토목구조물 계측 측면에서 MEMS 기반 센서로 계측이 불가능한 간극수압, 토압계, 변형율계 등이 연동된 통합계측기로 추가 개발 시 계측장비의 호환성 여부, 경제성 등이 더욱 확보될 것이다. 기 개발된 센서노드에 DSP 연산 알고리즘을 활용할 수 있는 포트 개발 및 상용계측기(스트레인게이지, 간극수압계, 토압계, 강우 강수량계)를 연동하고, 기존 신축계의 변위출력에서 방향성이 출력되지 않는 단점을 보완하여 상시 유지관리 방향과 진전 속도, 변위량을 동시에 수행할 수 있는 계측기 개발이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 한국건설기술연구원, “국도 ITS 효율성 극대화 방안 연구,” 연구보고서, pp.653-694, 2009. 12.

[2] 김응철, 김태호, 김형수, 류승기, 국토통합도로교통관리시스템(IRTS) 구축방안에 관한 연구, 한국 ITS 학회 추계학술대회, pp.439, 2009. 10.
 [3] L. Hauge, C. H. Kim and Y. M. Kim, “Design of Busan-Geoje fixed link bridges considering extreme loads”, 대한토목학회 교량핵심기술 연구단 특별세션 논문집, pp.75-86, 2004.
 [4] 황의호, IT기반의 지능형 수자원 시설관리기술 개발 현황, 물과미래, pp.38-44, 제43권, 제4호, 2010. 4.
 [5] H. kim, Estimating a lifetime of ITS devices based on a dearth of failure records, TRB, no. 3458, 2010. 1.

저자소개



류 승 기 (Ryu, Seung-Ki)

1999년 : 충북대학교 전기공학과 박사 졸업
 1994년 4월 ~ 현 재 : 한국건설기술연구원 기반연구본부 도로연구실



문 학 룡 (Moon, Hak-Yong)

2001년 : 숭실대학교 전기공학과 박사 졸업
 2007년 9월 ~ 현 재 : 한국과학기술연합대학원대학교 부교수
 1997년 2월 ~ 현 재 : 한국건설기술연구원 기반연구본부 도로연구실