

블루투스 디지털 로드 셀을 이용한 크레인 하중검출 방법

*유치국, **황용연, **배종일
(주)하나닉스*, 부경대학교 전기제어공학부**

Crane Load Detection Method Using Bluetooth Digital Load Cell

*Chi-Kook Ryu, **Yeong-Yeun Hwang, **Jong-Il Bae
Hananics Co.,Ltd*, Division of Electrical Control Engineering Pukyong National University**

Abstract - From composition transmitter is detached in indicator to individual load direction of 2 channels and adding up display by digital load cell indicator indication method of Bluetooth method is identifying marks.

형상으로 가정할 수 있다. 그러나 일반적인 외팔보는 집중하중에 대한 moment의 영향으로 수직하중에 대해 응력이 왜곡 될 수 있다.

1. 서 론

무게를 측정하기 위해서는 센스가 부착되는데 지구상에 널리 알려진 무게 감지 센스는 로드 셀(Load Cell)이란 소자이고 아날로그 방식을 사용하여 무게를 측정하였다. 본 논문에서는 시대의 흐름과 로드 셀 기술의 발전과 아날로그 로드 셀의 문제점인 외부로부터의 전자파, 노이즈, 온도 드리프트(Drift), 정밀도의 한계, 소재 가공의 어려움과 소재와 스트레인 게이지(Strain Gage)의 영향 관계 등을 최소화하기 위하여 디지털 로드 셀로 무게를 측정하고 로드 셀과 표시장치간의 전송방법도 무선통신의 수단을 이용 표시장치 즉, 인디케이터(Indicator)까지 블루투스(Bluetooth)라는 무선방식을 이용하여 디지털로 표시하고자 한다.

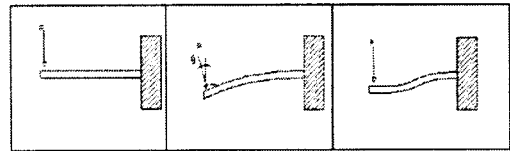


Fig. 2 Binocular type moment

위 θ 만큼의 하중의 왜곡을 받는다. 즉, 완전한 y방향의 하중이 작용하는 것이 아니라 x방향의 분력이 발생하게 되며 의 Fig. 2에서 일반적인 외팔보 형상은 수직하중에 대해서 부재가 모멘트를 받게 되므로 $P - P \cdot \sin\theta$ 만큼의 오차로 남게 된다.

2. 본 론

2.1 로드 셀

로드 셀의 구성요소 중 스트레인게이지는 베이스라 불리는 플라스틱이나 종이 위에 매우 가느다란 금속 전선을 앞, 뒤 반복적으로 배치해 놓은 저항체이다. 이런 게이지는 강한 금속에 부착되어 지며, 일반적으로 하중을 감지하는 로드 셀이라는 것을 만든다. 이 게이지는 Fig. 1과 같은 Wheatstone bridge라 불리는 회로를 구성한다.

$$P_x = P \cdot \sin\theta \quad P_y = P \cdot \cos\theta$$

$$Error = P - P \times \sin\theta$$

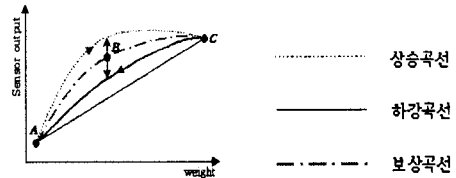


Fig. 3 Variation of weight

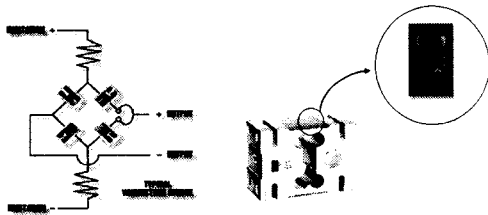


Fig. 1 Wheatstone bridge and strain gauge

스트레인 게이지의 저항값은 보통 120 Ω 과 350 Ω 이 주로 사용되고 있으며 일단 저항값은 크면 클수록 안정적이다.

출력특성보상에서는 비직선성과 같은 출력특성을 보상하는 동시에 최대하중 인가 시에 250,000 count가 나오도록 스판보상을 함께 수행한다. 출력보상을 위해 로드 셀의 출력특성을 2차원 포물선으로 가정하였다. 미리 하중 값을 알고 있는 실 하중 분동을 사용하여 대응되는 센서출력과 보상 후 출력 기준 값의 세 순서쌍을 구하면 포물선의 세계수를 구할 수 있다. 계수 계산식은 다음과 같다.

보상하지 않은 p값을 보상식에 적용하여 얻은 보상 값을 w라 하면

2.1.1 로드 셀의 하중변화

측정 실험에 사용된 Bending type 로드 셀은 외팔보

대용 순서쌍

$$\begin{aligned} \text{unload} &: (p_1, w_1) \\ \text{mid} &: (p_2, w_2) \\ \text{rated load} &: (p_3, w_3) \end{aligned}$$

$$w(p) = a \cdot p^2 + b \cdot p + c$$

$$= a \cdot (p - p_1)(p - p_2) + \beta \cdot (p - p_1) + \gamma$$

$$\gamma = w_1$$

$$\beta = \frac{w_2 - w_1}{p_2 - p_1}$$

$$a = \frac{\frac{w_3 - w_1}{p_3 - p_1} - \beta}{p_3 - p_2}$$

위의 $w(p)$ 식을 계수비교를 하고 정리하면

$$c = \gamma - \beta \cdot p_1 + a \cdot p_1 \cdot p_2$$

$$b = \beta - a \cdot (p_1 + p_2)$$

$$a = a$$

2.2 블루투스 측정

위와 같은 로드 셀을 이용하여 크레인 상단 시부편에 로드 셀을 장착하고 로드 셀과 인디케이터 상호간에 블루투스라는 무선통신을 접속하여 로드 셀의 값을 읽어오는데 이러한 데이터의 획득에는 아래의 표와 같은 파라미터 값이 존재한다.

Table 1 Transmitter test parameters

Transmitter test	Frequency hopping	Test mode	Packet type	Payload size	Measurement bandwidth
Output power - Average power - Peak power	On	Loopback	Longest Supported	PRBS 9	2 MHz RBW 1 MHz VBW
Power density	On	Loopback	Longest Supported	PRBS 9	100 kHz RBW 100 kHz VBW
Power control	Off	Loopback	DH1	PRBS 9	1 MHz RBW 1 MHz VBW
Transmit output spectrum	Off	Loopback	DH1	PRBS 9	100 kHz RBW 200 kHz VBW
Modulation characteristics	Off	Loopback	Longest supported	111000101010	not specified
Total carrier frequency tolerance	On & Off	Loopback	DH1	PRBS 9	not specified
Carrier frequency drift	On & Off	Loopback	Longest supported	10101010	not specified
Burst profile	Off	Loopback	not specified	not specified	not specified

Table 2 Receiver test parameters

Receiver test	Frequency hopping	Test mode	Packet type	Payload size	Measurement BER
Sensitivity - single-bit errors	Off	Loopback	DH1	PRBS 9	0.1%
Sensitivity - multi-bit errors	Off	Loopback	DH1	PRBS 9	0.1%
CF performance	Off	Loopback	Longest supported	PRBS 9	0.1%
Blocking performance	Off	Loopback	DH1	PRBS 9	0.1%
Incoherence performance	Off	Loopback	DH1	PRBS 9	0.1%
Maximum input level	Off	Loopback	DH1	PRBS 9	0.1%

2.2.1 블루투스를 이용한 크레인의 하중검출

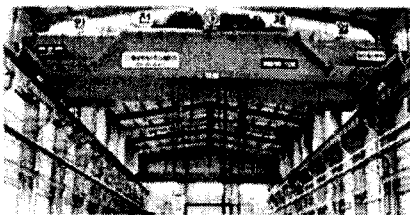


Fig. 4 Image of 2 channels crane

블루투스에 의한 검출은 Fig.4에서 보여지는바와 같이

Load Cell의 입력 Data 1 Load, 2 Load 각각 Data를 검출하여 2개의 입력신호를 A/D 컨버터를 거쳐 하중의 Data로 변환 2.4GHz Bluetooth 무선통신을 통하여 Indicator에 표시되는데 표시의 방법도 1 Load, 2 Load 각각 하중을 개별적으로 표시하고 1 Load + 2 Load의 합산 하중을 Total 값으로 표시한다. Total 하중의 값은 4-20mA 값으로 비례제어 되어 외부의 기기와 연동되도록 통신을 한다. Total 값에 따라 개별적인 접점출력을 가지며 접점출력에 따라 크레인의 위치를 제어 Alarm, Stop 기능으로 크레인을 보호하고 산업현장에서의 작업자를 산업재해로부터 보호하는 것을 목적으로 한다. Load Cell의 검출부에서 Indicator까지의 거리는 Dipole Antenna의 경우 무지향성으로 200m까지 송.수신이 되며 Patch Antenna의 경우 지향성으로 1.2Km까지 송.수신이 가능하므로 산업현장의 검출에 적합하다고 하겠다. 중공업 분야에서는 작업자들이 사용하는 무전기가 제어에 지대한 영향력을 미치다보니 RF방식의 상용화는 실현되지 않았다. RF방식의 전파대역보다 Bluetooth방식대역은 산업현장에서 전파의 간섭이 전혀 발생하지 않고 오동작으로 인한 문제점이 발생하지 않는다. 이러한 문제점을 중화하여 볼 때 크레인, 호이스트의 하중감지는 로드 셀에서부터 인디케이터까지 Bluetooth방식의 무선통신을 통하여 하중을 검출하고 검출되어진 하중의 Data는 크레인 무인화에 따른 제어 실로 전송되어 제어한다.

2.2.2 크레인의 하중측정

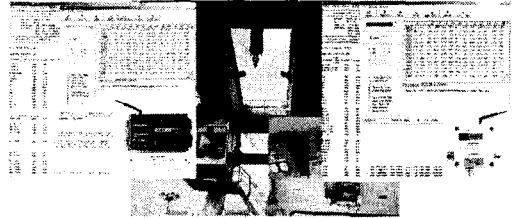


Fig. 5 Crane setup

크레인의 Load Cell의 하중 검출은 2가지로 분류되는데 송신부, 수신부, 외부디스플레이부로 나누어지며 블루투스 통신의 Hub는 송신부가 담당하고 있다.

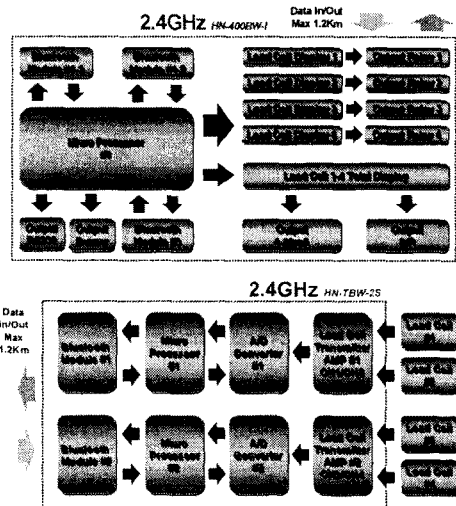


Fig. 6 Block diagram of Bluetooth

3. 결 론

본 연구에서는 무선 로드 셀의 변화를 예측 설계한 후 가공하여 현장에 설치 실험한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Table 3 BC_3AP(DG) test temp.:20℃

Temp(Celsius)	weight(g)	Output	Offset	Reference	linearity	hysteresis
20	0	-10	0	0	0	
1	83340	83350	83346.8987	0.00133312		
2	188885	188725	188883.333	0.00465382		
3	250030	250040	250040	0	0	
2	188830	188890	188893.333	-0.0193312	-0.01738712	
1	83320	83330	83346.8987	-0.0086596	-0.00768972	
0	-15	-5	0	-0.00193698	-0.00193698	

Table 4 BCL_200L(DG) test temp.:20℃

Temp(Celsius)	weight(g)	Output	Offset	Reference	linearity	hysteresis
-20	0	-25	0	0	0	
30	82470	82485	82501.25	-0.0025		
100	124890	125015	125002.5	0.0049998		
200	246890	250005	250005	0	0	
100	124870	124985	125002.5	-0.0029989	-0.0079989	
30	82480	82485	82501.25	-0.0084999	-0.0039989	
0	-30	-5	0	-0.002	-0.002	

Table 5 BCD_300L(DG) test temp.:20℃

Temp(Celsius)	weight(g)	Output	Offset	Reference	linearity	hysteresis
20	0	10	0	0	0	
100	83340	83330	83346.8987	-0.0088938		
200	188700	188890	188893.333	-0.0013331		
300	250050	250040	250040	0	0	
200	188890	188870	188893.333	-0.0083318	-0.0079989	
100	83320	83310	83346.8987	-0.0144843	-0.0079989	
0	-15	-25	0	-0.0086884	-0.0086884	

온도의 전 구간(-20 ~ 80℃)에서 각 Capa 별 출력특성은 직선성 및 히스테리시스가 0.03%미만으로 목표한 Spec.을 만족하는 것을 알 수 있다. 그러나 일반적으로 로드 셀은 고온에서 Creep의 값이 임의로 변하는 특성을 갖고 있는데 이것은 Span값이 온도에 따라 변하는 현상과는 별개의 개념으로 고온 크립(Creep)이라 불리우는 특징이다. 고온 크립은 온도에 따른 스펀 변화와는 별도의 움직임을 갖는 특성을 갖고 있다. 현재 온도보상에서 사용한 알고리즘으로는 이러한 load cell의 특성을 배제하고 Span보상과 영점 보상을 수행하였기 때문에 고온(80℃)과 저온에서의 특성이 나쁘게 나타난 것으로 보인다.

1. 최적화된 Spring element설계와 20bit A/D module을 이용하여 히스테리시스 <0.018% 비직선성 <0.018%인 고분해능 Digital load cell을 제작하였다.
2. 전수 Digital 교정을 위해 외부에서 각종 Parameter 및 Calibration factor를 Downloading할 수 있도록 하였으며 Transmitter출력간의 통신장애는 발생하지 않았다.
3. Multi application 및 Single application에 사용할 수 있는 저가형 블루투스 Class1을 사용하였고 통신의 길이는 100m- 1km 통신속도를 9,600bps로 적용하였고, 운영 System으로 Pentium II를 사용하여 장시간 시험 운영을 하였으나 네트워크충돌이나 프로그램의 오류 없이 안정적인 동작을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] The Technical Staff of Measurement Group, Strain Gage Based Transducers, Measurement Group, pp.7-28 (1989).
- [2] A. Yabuki, "Six-Axis Force/Torque Sensor for Assembly Robots", FUJTSU Sci. Tech. J., Vol.26, No.1, pp.41-47 (1990).
- [3] 김갑순, 강대임, 정수연, 주진원, 병렬관 구조를 이용한 3분력 로드셀 감지부의 설계, 대한기계학회논문집(A) 제21권 제11호, pp.1871-1884 (1997).
- [4] 강대임, 김갑순, 정수연, 주진원, 실험계획법을 이용한 쌍안정식 6축 로드셀의 설계 및 상호간섭 오차 평가, 대한기계학회논문집(A) 제21권 제11호, pp.1921-1930 (1997).
- [5] C. Ferrero, "The measurement of parasitic components in national force standard machines." Measurement Vol.8 No. 2, pp.66-76 (1990).
- [6] " Strain Gauge Technology " : A.L Window & G. S. H olister, Applied Science Publisher
- [7] Bluetooth SIG groups, "Specification of the blue tooth system," ver 1.0 draft foundation, July 1999.
- [8] IEEE 802.11 standard, "Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer (PHY) specifications," 1997.
- [9] F. Bennet, "Piconet : embedded mobile networking," IEEE Personal Commun., pp. 8~15, October 1997.
- [10] K. Pahlavan and A. H. Levesque, Wireless information networks, Wiley- Interscience Publication, 1995.