

단일면으로 디자인한 고성능 로드셀 제작에 관한 연구

이정현⁺, 이우람^{*}

(논문접수일 2010. 07. 20, 심사완료일 2010. 09. 28)

A Study on the Manufacturing of a High-Efficiency Load Cell Using a Single Surface Design

Jung-Hyun Lee⁺, Woo-Ram Lee^{*}

Abstract

A load cell is a converter that generates voltage signals when a certain force is effected in a given direction. An essential measurement device for electronic scales that indicate weight by numbers. These load cells are being applied in various areas such as daily life, distribution, laboratory and industrial. Recently the study to manufacture load cells in a more simple method while increasing performance is being persisted. In this study based on the comparison of load cells manufactured through single surface processing using strain gauges. Those manufactured through dual surface processing using strain gauges. Ultimately persist a more simple method of load cell manufacturing while increasing its performance. The elements that were compared were linearity, hysteresis, creep and eccentricity which are short term performance factors. The conclusion was that single surface processing showed almost identical data as that of dual surface processing, and the load cell error rate(0.005%) also excess regulation. The manufacturing time was shortened while mass-production was possible. Which indicates a development in the weighing industry.

Key Words : Load cell(로드셀), Hysteresis(이력현상), Linearity(직진성), Creep(크립), Eccentricity(편심)

1. 서론

로드셀이란 무게를 숫자로 표시하는 전자저울에 필수적인

무게측정소자이다. 이러한 변형장치는 1930년경 미국에서 처음으로 개발되었는데 이것을 무게측정용 로드셀에 응용하기 시작한 것은 1960년대 중반이며 다시 로드셀이 전자저울

⁺ 볼보 자동차(스웨덴)

^{*} 교신저자, 서울산업대학교 NID 융합기술 대학원 (wooramlee@snut.ac.kr)

주소: 서울시 노원구 공릉동 172

에 응용된 것은 1980년 일본에서이다⁽¹⁾. 한국에서는 1985년 한국과학기술원에서 독자적으로 개발되어 현재는 일상생활, 유통, 공업용, 실험실용, 산업분야에 이르기까지 여러 분야에서 사용되고 있다⁽²⁾. 지금까지는 로드셀을 제작함에 있어서 양면디자인과 양면 스트레인게이지를 부착해서 제작하는 것이 보편화되어 있고 성능 또한 안정화되어 전자저울 생산에 적용되고 있다.

이러한 로드셀의 제작에 있어서 디자인 시간을 단축하고 로드셀 제작 시간을 조금이라도 단축하여 고성능 로드셀을 만들 수 있다면 계량 산업 분야에 많은 경제적 효과가 있을 수 있다. 또한 단일면 디자인된 로드셀은 현재 계량산업분야에 일부 적용되고는 있으나 아직 성능이 양면 디자인된 로드셀에 비해 미약하고 대부분 소량생산에 의존하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 로드셀 제작이 종래의 방식보다 로드셀 디자인시간과 제작시간을 단축하기 위해 단면 디자인과 단면 스트레인게이지를 부착하고 고성능 로드셀을 제작하여 대량 생산에도 가능하게 하여 계량산업분야에 기여할 수 있도록 계획 하였다. 그러기위해 Al 6061-T6의 재료를 이용하여 조건에 맞게 여러 가지 형태로 디자인하여 가장 이상적인 로드셀 형태를 선정하고 로드셀 제작이 종래의 방식보다 로드셀 디자인 시간과 제작 시간을 단축하기 위해 단면 디자인과 단면 스트레인게이지를 부착한 고성능 로드셀을 제작 하였다. 이렇게 제작된 로드셀은 성능에 미치는 여러 가지 실험 중 첫째 직선성과 히스테리시스 오차를 각각의 용량에 따라

무게를 50g 또는 500g 단위로 변화를 주면서 로드셀 에러 데이터를 확인 하며, 둘째 크립은 30분 동안 5분 단위로 변화량을 측정하고, 셋째 편심은 좌측, 우측, 전면, 후면 등 4개소의 위치에 따라 로드셀 에러(0.005%) 안에 들어오는지 실험하였다. 또한 종래의 로드셀과 개발된 로드셀의 디자인 시간과 제작공정 시간을 비교하고, 7개월 동안 생산된 로드셀의 수량에 대한 불량률을 확인하여 대량 생산도 가능한지를 실험 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험 장치

본 실험에서 사용된 장치로는 표시기(고정밀 측정), 지그(160×160mm), 분동, 정반, PC 등을 사용하였다. Fig. 1 은 실험에 사용된 로드셀에 구성이다. Fig. 2 는 실험장치의 대한 구성이다.

2.2 실험 재료

본 연구의 목적은 종래의 방식보다 로드셀 디자인 및 제작 시간을 단축하기 위해 단면 디자인 및 스트레인게이지를 부착한 로드셀의 성능을 확인하는 것으로서 재료는 Al6061-T6 사용하였다. 압출 바를 기계디자인으로 원하는 형상화를 제작하여 표면 샌딩과 세척 후 한쪽 면 또는 양면에 게이지를 4곳에 결정된 위치에 부착한다. 디자인된 로드셀을 가압

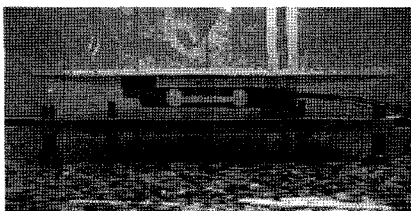


Fig. 1 Load cell configuration

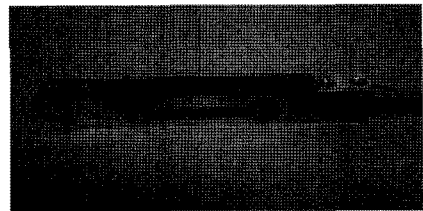


Fig. 3 Single process load cell

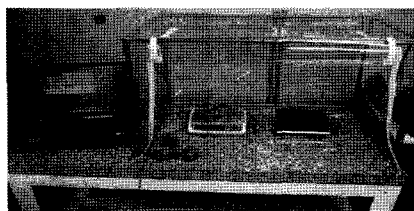


Fig. 2 Experimental setup

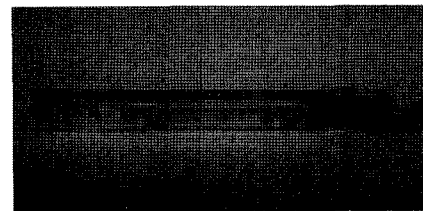


Fig. 4 Dual process load cell

및 FPC를 부착하여 배선작업을 완료하여 편심을 체크, 영점 조정 및 온도보상을 확인 후 실리콘으로 코팅을 한다. 마지막으로 로드셀을 건조 후에 배선을 완성한다. Fig. 3 는 단면 디자인된 로드셀의 형상이다. Fig. 4 는 양면 디자인된 로드셀의 형상이다.

2.3 분석방법

종래의 양면디자인과 양면게이지를 부착한 로드셀을 200g과 2000g용으로 두 개를 용량별로 제작하여 EK라 명칭하고, 새로 개발된 단면디자인과 단면게이지를 부착한 로드셀을 200g과 2000g용으로 두 개를 용량별로 제작하여 EJ라고 한다.

이러한 두 종류로 제작된 로드셀에 대하여 성능을 비교분석한다. 실험은 로드셀 제작에 있어서 필요한 네 가지 실험으로 직선성과 히스테리시스 오차는 0, 50, 100, 150, 200

g 과 0, 500, 1000, 1500, 2000g 에서 각각의 무게에 변화를 주면서 비교 분석하고, 크립의 변화량은 각 용량별로 5, 10, 15, 20, 25, 30분 단위로 측정한다. 또한 편심에 대하여 각 용량별로 중앙을 기준으로 오른쪽, 왼쪽, 전면, 후면 등 4곳의 오차 범위를 측정하여 종래의 로드셀과 개발된 로드셀의 성능으로 0.005% 에러 데이터를 만족하는지 비교 분석한다.

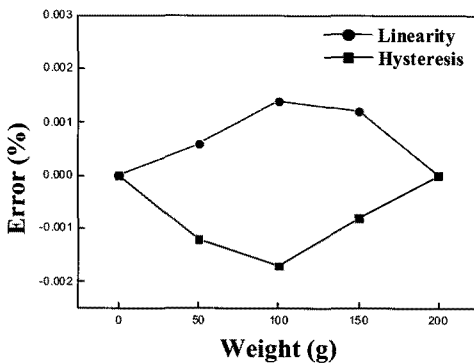
또한 종래의 로드셀과 개발된 로드셀의 디자인시간과 로드셀 제작 공정 시간을 측정하고, 7개월간 생산한 수량에 대한 불량률을 비교 분석 하여 대량생산이 가능한지를 확인한다.

3.결과 및 고찰

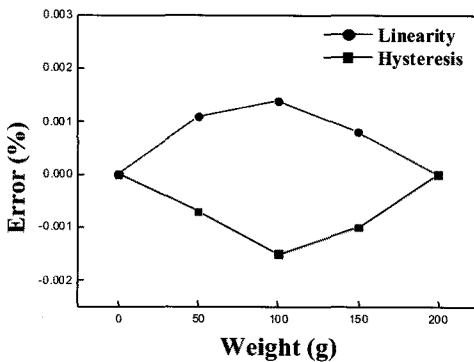
3.1 직선성과 히스테리시스 오차비교

(1) 하중 200g인 경우

Fig. 5 은 EJ200g(단면 디자인된 로드셀)과 EK200g(양

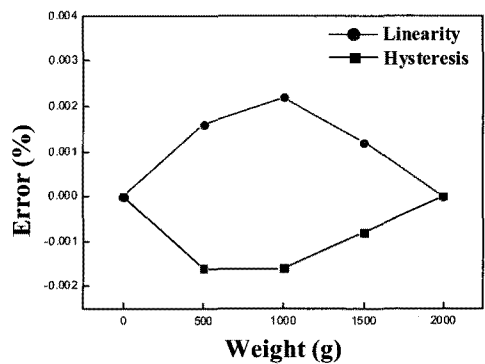


(a) EJ200

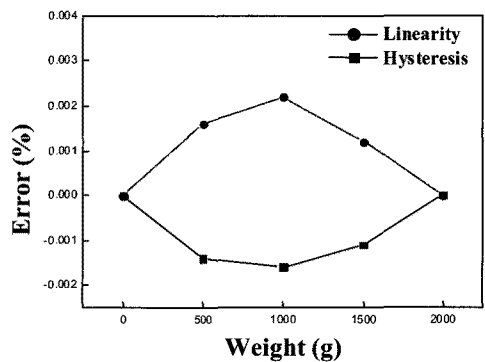


(b) EK200

Fig. 5 Linearity/Hysteresis error of the EJ200 and EK200



(a) EJ200



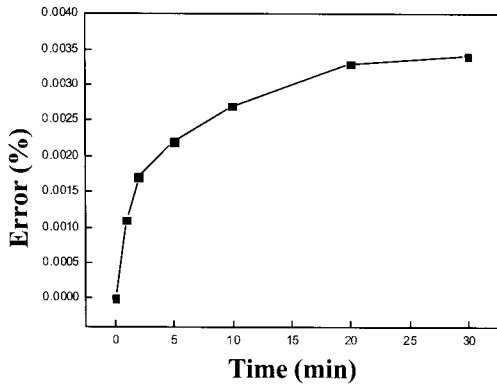
(b) EK200

Fig. 6 Linearity/Hysteresis error of the EJ200 and EK200

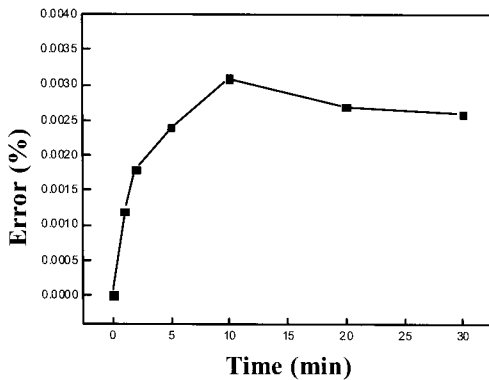
면 디자인된 로드셀)의 직선성과 히스테리시스 오차를 비교한 그래프이다. 하중을 0g → 50g → 100g → 150g → 200g → 150g → 100g → 50g → 0g 순으로 하중의 측정치를 나타냈으며 비교한 결과 성능에 관해서는 게이지 부착 부 위치가 다른 곳에 따라 EJ200은 EK200보다 예러 데이터가 약간 높은 것을 알 수 있으나 성능으로 0.005%에는 여유가 있었다.

(2) 하중 2000g인 경우

Fig. 6 는 EJ2000g, EK2000g의 직선성과 히스테리시스 오차를 비교한 그래프이다. 하중을 0g → 500g → 1000g → 1500g → 2000g → 1500g → 1000g → 500g → 0g 순으로 하중의 측정치를 나타냈으며, 비교한 결과 성능에 관해서는 게이지 부착 부 위치가 달라도 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.



(a) EJ200



(b) EK200

Fig. 7 Creep error of the EJ200 and EK200

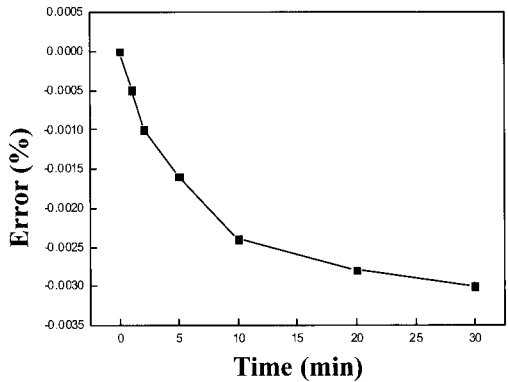
3.2 크립 오차비교

(1) 하중 200g인 경우

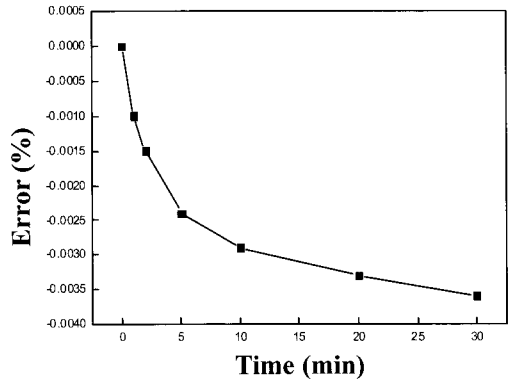
Fig. 7 은 EJ200g과 EK200g의 크립 오차를 비교한 그래프이다. 하중을 부하한 후 약 5분정도까지는 큰 변화가 있었다. 그 후 안정기로 들어가는 것을 확인할 수 있었고 비교한 결과 EK200g이 안정기 에서는 더욱 안정된 것을 알 수 있었다. 그러나 성능에는 두 모델 다 로드셀 특성이 좋은 것으로 사료된다.

(2) 하중 2000g인 경우

Fig. 8 은 EJ2000g과 EK2000g의 크립오차를 비교한 그래프이다. 하중을 부하한 후 약 5분정도까지는 큰 변화가 있었다. 그 후 안정기로 들어가는 것을 확인할 수 있었고, 비교한 결과 200g과는 달리 2000g에서는 기존모델이 안정기에서 다소 높았으나, 성능에는 두 모델 다 로드셀 특성이 좋은



(a) EJ200



(b) EK200

Fig. 8 Creep error of the EJ200 and EK200

것으로 사료된다.

3.3 편심 오차비교

(1) 하중 200g인 경우

Fig. 9 은 200g에서의 편심 오차를 비교한 그래프이다. 양면 디자인에 게이지를 부착 하는 것이 편심 오차가 적은 것을 알 수 있었다. 그러나 단면 디자인에 게이지를 부착한 것 또한 오차를 줄이기 위해 로드셀 디자인 시 게이지 부착부의 두께를 변화 시켜서 좋은 결과를 얻었으며, 성능에도 문제가 없는 것으로 사료된다.

(2) 하중 2000g인 경우

Fig. 10 는 2000g에서의 편심 오차를 비교한 그래프이다. 편심의 오차는 거의 동일하다는 결과를 얻었다. 기본적으로 단면디자인 구조는 편심오차가 큰 것이 특징이나 2000g에

서도 게이지 부착부의 두께를 변화시켜서 성능에 만족한 것으로 사료된다.

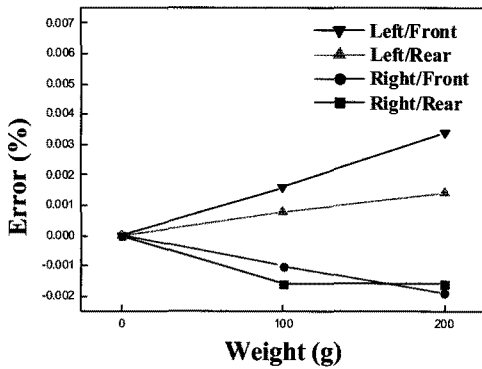
3.4 로드셀 디자인 시간 비교

(1) 제작 시간

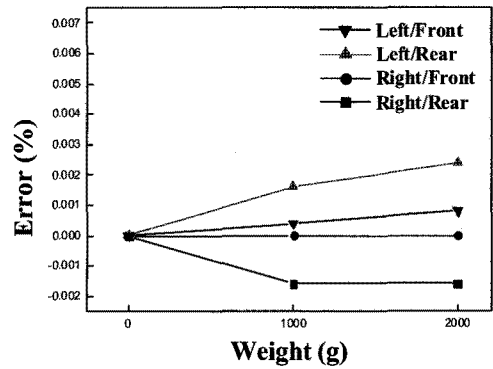
Table 1 은 기존 제품보다 개발된 제품과의 디자인시간을 비교한 결과를 육면 디자인과 형상 디자인에서 디자인시간을 비교한 것이다. 약 130sec에 차이를 보였다. 이에 따라 디자인시간, 생산효율, 원가절감 등이 높아질 것으로 사료된다.

(2) 제작 공정

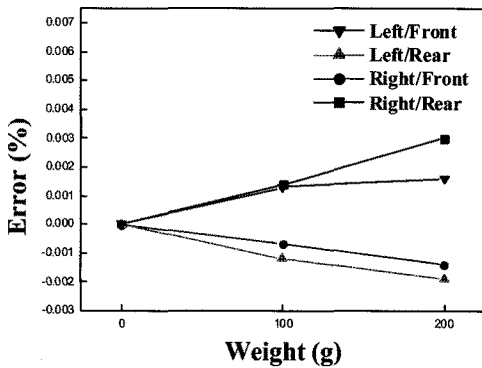
로드셀의 제작 공정에서 금 굵기, 게이지부착, 배선 작업 등 양면에 실행하던 것을 단면에 실행하면서 제작공정을 1/2 배로 줄일 수 있을 것으로 사료된다.



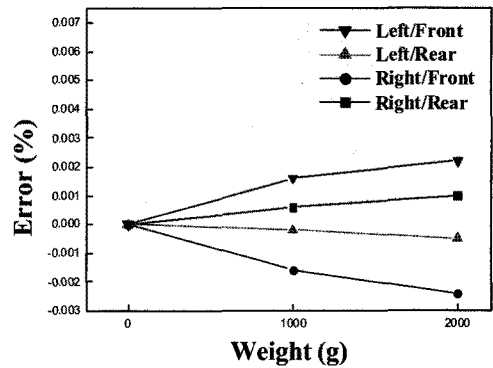
(a) EJ200



(a) EJ200



(b) EK200



(b) EK200

Fig. 9 Eccentricity error of the EJ200 and EK200

Fig. 10 Eccentricity error of the EJ200 and EK200

Table 1 Process time(sec)

| Process | E | D |
|---------------------------------|-----|-----|
| Cutting of raw material | 20 | 30 |
| Processing the six sides | 110 | 0 |
| Processing of side hole and tap | 70 | 90 |
| Shape processing | 50 | 30 |
| Precision processing | 60 | 30 |
| Total processing time | 310 | 180 |

(E: Existing(EJ), D: Developing(EK))

Table 2 Malfunction production table for load cell

(a) Dual process

| Time line \ Section | Existing product(EK) | | |
|---------------------|----------------------|-------------|---------------------|
| | Quantity | Malfunction | Malfunction Rate(%) |
| Apr./09 | 300 | 4 | 1.3 |
| May./09 | 200 | 3 | 1.5 |
| Jun./09 | 100 | 1 | 1 |
| Jul./09 | 100 | 1 | 1 |
| Aug./09 | 200 | 3 | 1.5 |
| Sept./09 | 300 | 5 | 1.6 |
| Oct./09 | 100 | 2 | 2 |
| Total | 1,300 | 19 | 1.46 |

(b) Single process

| Time line \ Section | Developing product(EJ) | | |
|---------------------|------------------------|-------------|---------------------|
| | Quantity | Malfunction | Malfunction Rate(%) |
| Apr./09 | 250 | 6 | 2.4 |
| May./09 | 100 | 2 | 2 |
| Jun./09 | 100 | 2 | 2 |
| Jul./09 | 50 | 1 | 2 |
| Aug./09 | 100 | 5 | 5 |
| Sept./09 | 300 | 9 | 3 |
| Oct./09 | 100 | 2 | 2 |
| Total | 1,000 | 29 | 2.9 |

3.5 불량비교

Table 2는 동일한 시기에 로드셀을 생산한 수량에 대한 불량률을 나타낸 것이다. 불량률을 비교한 결과 기존제품은 1.46%이고, 새로 개발된 제품은 2.9%로 개발된 제품의 불량률이 1.44% 높은 것을 알 수 있었다. 그 불량원인은 직선성과 히스테리시스와 크립 오차 불량으로 대량 생산 시 제품의 안정성 부족으로 나타나는 현상으로 기존제품은 1300개 중 19개와 새로 개발된 제품은 1000개 중 29개가 제품 불량으로 거의 2배에 가까운 불량 수량을 확인 할 수 있었다. 그러나 대량 생산 시 불량률이 3%를 초과하지 않으면 생산이 가능하므로 새로 개발된 로드셀은 대량생산이 가능하다고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 단일면 디자인 된 로드셀의 성능을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 로드셀의 성능을 비교한 결과 직선성, 히스테리시스, 크립, 편심의 차이가 3% 이내로 사용 성능을 만족할 수 있었다.
- (2) 로드셀의 디자인시간과 작업공정 시간을 줄일 수 있었고, 로드셀 제작비용을 절감 할 수 있어서 대량 생산이 가능함을 알 수 있었다.
- (3) 단면 디자인 된 로드셀은 작업공정 불량률 기존 제품의 작업공정 불량률에 비해 약 2배 정도 높은 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Han, E. K. and Ko, J. B., 2001, *Linear and Combinatorial The measuring method for a strain gauge*, Intervision, Korea, pp. 8~31.
- (2) Aggarwal, A., Singh, H., Kumar, P., and Singh, M., 2008, "Optimizing power consumption for CNC turned parts using response surface methodology and Taguchi's technique-A comparative analysis," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 200, pp. 373~384.
- (3) Kwak, J.-S., 2005, "Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process," *International Journal of*

Machine Tools & Manufacture, Vol. 45, pp. 327~334.

- (4) Kim, J. O., Ko, J. B., and Park, H. S., 2007, "A Study on the Measurement of Bending Constraint Force of STS304 Thin Plate Using The Load Cell," *Transactions of the Korea Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 16, No. 6, pp. 86~93.
- (5) Kim, C. I., Wang, S. M., Bae, K. R., and Moon, H. G., 2006, "Reliability-Based Topology Optimization with Uncertainties," *Int. J. KSME.*, Vol. 20, No.4, pp. 494~504.
- (6) Kim, C., Wang, S. M., Hwang, I. H., and Lee, J. G., 2007, "Application of Reliability-Based Topology Optimization for Micro electro mechanical Systems," *AIAA. J.*, Vol. 45, pp. 2926~2934.
- (7) Han, S. Y. and Bai, H. W., 2000, "Shape Optimization for Multi-Connected Structures," *J. KSAE*, Vol. 8, No. 2, pp. 151~158