

전자 저울을 위한 지능형 고장 진단 시스템

Intelligent Diagnosis System for an Electronic Weighting Machine

김종원*, 김영구*, 조현찬*, 서화일*, 김두용**, 이병수**

*한국기술교육대학교 정보기술공학부

**순천향대학교 정보기술공학부

Jong Won Kim*, Young Goo Kim*, Hyun Chan, Cho*, Hwa Il Seo*,
Doo Yong Kim**, Byung Soo Lee**

*School of Information Technology, Korea University of Technology and Education

** Dept. of Electronic Communications, Soon-Chun-Hyang Univ.

ABSTRACT

Electronic Weighting Machine is used an electronic scale which has many trouble because of broken load cells. In this paper, we propose an Intelligent Diagnosis System will for an electronic weighting machine using fuzzy logic. It's purpose be detect of the load cell's trouble. The electronic circuit of system, which call 'junction box', will be connected resistances in a series at circuit of Wheatstone Bridge for monitoring the condition of load cells

Keywords : Load Cell, strain gage, Junction Box, Indicator, Insert Resistor

1. 서론

근래의 첨단 자동화와 통신의 발달에 힘입어 인간이 하던 일들을 기계가 대신하는 일이 점점 늘어나고 있다. 자동화는 편리함과 간편성을 우리에게 제공해 주지만 일어 날 수 있는 기계 고장으로 인한 피해 또한 상당하다. 본 논문에서 언급하는 전자저울도 로드셀이라는 센서를 사용하며 이 전자저울의 고장으로 인해 발생하는 손해와 분쟁을 막기 위해 시스템에 고장 진단 장비를 구축한다. 현재의 고중량 측정에 사용되는 공업용 자동저울은 로드셀을 센서로 사용한 전기식 저울이 대부분을 차지하고 있으며 그 구성은 로드셀의 아날로그(analogue)출력 전압을 증폭기와 A/D변화기를 거쳐 디지털(digital)로 지시, 기록하는 경우가 많다[1].

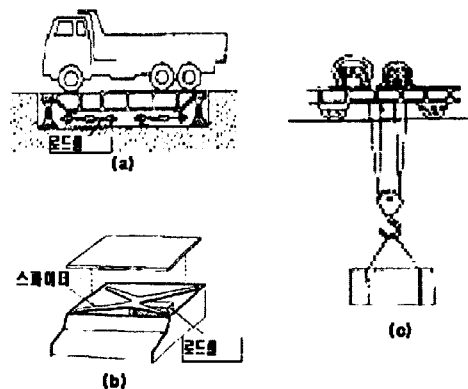


그림 1. 로드셀을 이용한 저울

그림 1에서 (a)는 트럭스케일의 저울 시스템을 보이고 있으며 통상 최대 측정량은 100ton까지이다. (b)는 탁상저울의 형태를 표시한 것이며 디지털로 변환시켜 표시 하는 경우가 많다. (c)는 물체를 올려서 전송하는 도중에 측정하는

저울이며, 진자식, 스프링식, 로드셀식등이 있으나 로드셀식이 많이 쓰인다. 그림 1에 보여준 시스템 중 (a)의 시스템을 대상으로 실험이 이루어진다.

현재 고 중량 측정용 전자저울에는 여러개의 로드셀이 병렬형태로 접속되어 있어 하나의 로드셀이 고장이 나더라도 병렬접속에 의해 고장난 로드셀과 연계하여 고장 진단 시스템 장비의 개발을 어렵게 한다. 본 논문에서 이러한 문제를 해결하기 위해 병렬 접속형태에 저항을 삽입하는 구조로 실제 회로를 구성하여 장치를 구성한다. 기존의 로드셀부 정선 박스부, 인디케이터부로 나누어지는 세부분중 가능하면 구조 변경이 쉽고 수동소자로만 이루어진 정선 박스부에 회로만을 일부 변경하여 고장 진단 시스템을 삽입하는 형태로 시스템을 구성한다.

일반적으로 오인식의 경우 실제 저울을 운영하는 실무자 외에는 그 오인식에 대한 어떠한 정보도 가질 수가 없고 이러한 오인식에 대한 원인도 여러 가지 일 수 있어 전통적인 알고리즘으로는 문제를 해결할 수 없다. 따라서 인간의 경험을 적용할 수 있고 판단 기능을 가진 퍼지 알고리즘을 사용하여 지능형 시스템을 구성한다. 적용될 퍼지화 방법은 Murayama 와 Terano가 제안한 이등변 삼각형법을 사용하고, 퍼지 추론법 (Fuzzy Reasoning)은 max-min Method라고 불리는 Mamdani's method를 사용하며, 비퍼지화 방법은 면적 중심법 (Center Of Area Methode ; COA)을 사용한다[2][3].

본 논문의 구성은 II장 고중량 전자저울에서 1절 로드셀 장치에 따른 특성을 살펴보고 2절에서 지능 시스템의 적용 가능한 결선에 대해 알아보고, 3절에서 퍼지 시스템에 적용될 입력과 출력변수를 결정하고 4절에서 퍼지 알고리즘에 의해 지능형 저울 시스템에 대한 실험 값을 분석한다. III장 결론에서는 퍼지 알고리즘에 의한 결과를 분석하고 결론 및 연구방향에 대해 논한다.

II. 고중량 전자저울

2.1. 로드셀 장치부

로드셀은 탄성체에 스트레인 게이지를 붙이고, 비례 한계내의 압축 또는 인장하중을 가하면 스트레인 게이지의 저항치는 가한 하중에 비례한 변화를 한다. 이 저항치의 변화를 하중치와 비례시켜 브리지 회로를 이용해서 전압치의 변화로서 가해진 하중치를 구하도록 하는 것이다. 특히 로드셀에 사용되는 스트레인 게이지는, 구리-니켈 합금의 저항소자, 에폭시 수지 등의 베이스를 쓴 접착형 자기 온도 보상 박게이지(저항값350Ω)가 가장 일반적으로 사용된다

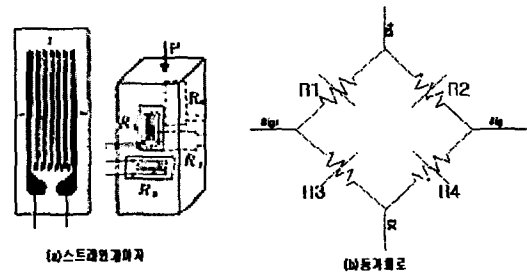


그림2 . 스트레인게이지와 등가회로

그림2는 스트레인 게이지(a)와 등가 회로(b)를 나타낸다. 그림2의 ((b)의 등가 회로에서 입력 전원을 E_i 로 출력 전압을 E_o 라 하면

$$E_o = E_i \left\{ \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \right\} \quad (1)$$

로 표현 되면 4개의 게이지 저항이 변화 할 때의 출력 전압의 변화 dE_o 는

$$dE_o = \frac{\partial E_o}{\partial R_1} dR_1 + \frac{\partial E_o}{\partial R_2} dR_2 + \frac{\partial E_o}{\partial R_3} dR_3 + \frac{\partial E_o}{\partial R_4} dR_4 \quad (2)$$

(1)식에 적용하고 $R_1=R_2=R_3=R_4$ 의 조건을 가정하면

$$\frac{dR_i}{E_i} = \frac{dR_1 - dR_2 - dR_3 + dR_4}{4R} \quad (3)$$

과 같다.

이러한 로드셀을 실제 시스템에 적용할 때는 그림 3과 같이 여러개의 로드셀을 조합하여 사용한다.

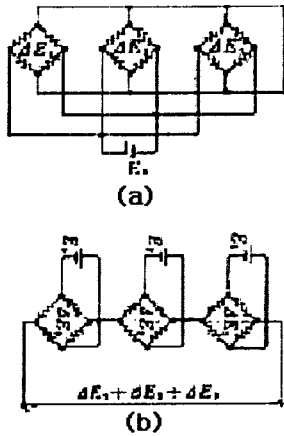


그림 3. 로드셀 조합

그림 3의 (a)회로는 병렬 방식이며 (b)회로는 직렬 방식의 구성을 보여 준다. 직렬 방식의 경우 독립된 복수개의 전원을 필요로 하는 대신 출력이 각 로드셀의 출력의 합이 되므로 감도가 좋다. 일반적인 대형의 전자 저울에는 총 하중을 여러개의 로드셀이 나누어 측정할 수 있는 (a)방식의 병렬 구조로 되어 있다.

2.2 정선박스 결선

앞절에 소개한 결선에서 지능 시스템구성에 필요한 구조는 병렬구조에 저항을 직렬로 삽입시킨 그림 4와 같은 방법을 취한다.

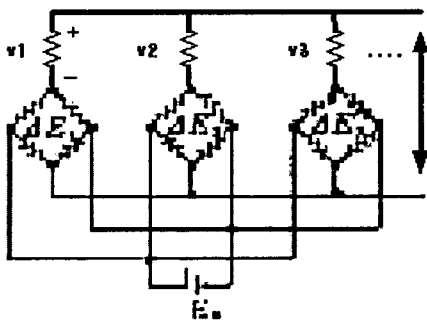


그림 4. 병렬구조에 저항삽입

삽입된 저항 양단간의 전압강하를 측정하여 퍼지 변수의 입력으로 사용한다. 표1은 1Ω의 저항을 삽입했을 때의 로드셀쪽을 + 방향으로 하여 저항 양단의 전압 강하를 측정한 값이다. 실험 대상 시스템은 트럭 스케일의 전자 저울로

서 4개의 로드셀로 이루어진 시스템이다.

표1. 삽입 저항이 1옴인 경우(단위 mv)

로드셀 \ 중량	0kg	20kg
v1	-0.084	-0.079
v2	-0.109	-0.101
v3	-0.008	0.003
v4	0.025	0.031
전체	0.301	0.8958

표2. 삽입 저항이 10옴인 경우(단위 mv)

로드셀 \ 중량	0kg	20kg
v1	-0.416	-0.367
v2	-0.620	-0.570
v3	0.232	0.307
v4	0.611	0.656
전체	0.305	0.898

표1의 경우 전압강하의 값이 너무 낮아 증폭부를 고려하여 다시 10Ω의 저항으로 측정한 결과 표2의 결과에서 그 값의 변화를 볼수 있다.

표3. 삽입 저항이 100옴인 경우(단위 mv)

로드셀 \ 중량	0kg	20kg
v1	-0.271	-0.237
v2	-0.203	-0.371
v3	0.208	0.239
v4	0.239	0.478
전체	0.309	0.903

표3의 100옴인 경우의 측정에서는 인디케이터와 임피던스 매칭이 이루어지지 않아 시스템이 불안하게 되며 이것은 측정값의 신뢰도가 낮추는 결과를 초래한다. 실제 로드셀의 출력 임피던스가 350Ω±3.5 정도를 가지게 되므로 100의 저항을 삽입하면 신뢰도를 해치게 된다. 따라서 실제 실험에 사용할 보드의 설계는 10옴의 저항을 삽입하여 개별 로드셀 출력의 값에 비례하여 로드셀의 상태를 추정한다. 저항을 삽입하여도 인디케이터에서는 설정과정에서 전체 전압 변화치와 설정시에 주어진 값에 의해 상대적인 비율에 의해 중량을 측정하기 때문에 일부의 전압강하는 중량의 측정값에는 영향을 미치지 아니한다. 따라서 퍼지 입력 변수를 삽입 저항에서의 전압 강하로 하면 전체 병렬로 이

루어진 로드셀의 구성에서 개별 로더셀의 출력 기여도를 파악하여 변화의 정도를 분석함으로써 개별 로드셀의 이상여부를 판단한다.

$$f_2 = \left| \frac{t_i - \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \right)}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \right)} \right| \quad (5)$$

2.3 퍼지 논리의 적용

2.3.1 퍼지 입력 변수

입력 변수를 결정하기 위해 그 실험값 변수의 분포를 살펴보면 표4와 같다.

표4. 삽입 저항양단간의 전압강하(단위 mv)

	0kg	20kg	40kg	60kg	80kg	100kg
v_1	-0.416	-0.367	-0.325	-0.308	-0.269	-0.224
v_2	-0.620	-0.57	-0.53	-0.495	-0.461	-0.418
v_3	0.232	0.307	0.347	0.393	0.442	0.493
v_4	0.611	0.656	0.705	0.738	0.786	0.831
평균	-0.048	0.007	0.049	0.082	0.125	0.171

따라서 삽입 저항양단간의 전압강하의 평균값과의 비교를 퍼지 입력 변수중 하나로 한다. 표현은 식(4)와 같다.

$$f_1 = \left| \frac{\left(\left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \right) - v_i \right)}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \right)} \right| \quad (4)$$

식(4)에서 n은 로드셀 개수, v_i 는 각 로드셀에서의 저항사이의 전압강하를 의미한다.

표5에서 하나의 로드셀이 고장났을 때 대표적으로 보이는 응답이다. 따라서 표5에서 0점에서의 각 로드셀 출력값의 평균을 비교한 값을 두 번째 입력 변수로 한다. 그 표현식은 식(5)와 같다.

표5. 로드셀 1개 고장 예(단위 mv)

	0kg	20kg	100kg
v_1	54.811	54.794	54.877
v_2	53.307	53.309	53.383
v_3	55.179	55.243	55.262
v_4 (고장)	-162.902	-162.957	-162.982
평균	0.099	0.097	0.135

식(5)에서 n은 각 로드셀 개수 이고 t_i 는 응답 시간이다.

2.3.2 퍼지화

f_1 의 퍼지화는 다음과 같이 나타내고 {very small, small, normal, big, very big} 분포정도는 {0.1,0.3,0.5,0.7,0.9}이며 f_2 의 퍼지화는 다음과 같으며 {more little, little, middle, much, very much} 분포정도는 {0.3, 0.7, 1.1, 1.5, 2}로 나타낸다. 출력 f_{out} 의 퍼지화는 다음과 같으며 {very good, good, not good, bad, very bad}로 분포정도는 {20, 40, 60, 80, 100}으로 나타낸다.

2.3.4 룰베이스

very good 인 경우 {(very small, more little) }
good 인 경우 { (small, more little) (small, little) (very small, little) }

not good 인 경우 { (normal, more little) (normal, little) (normal, middle) (small, middle) (very small middle)}

bad인 경우 {(big,more little) (big, little) (big, middle) (big, much) (normal, much) (small, much) (very small, much)}

very bad인 경우 { (very big, more little) (very big, little) (very big, middle) (very big, much) (very big, very much) (big, very much) (normal, very much) (small, very much) (very small, very much)} 이다.

추론은 Max-Min법을 사용하며 비퍼지화 방법은 면적 중심법을 사용한다.

2.4 시뮬레이션 결과

AD컨버터는 8비트의 해상도를 가지며 시간

을 측정하기 위해 마이크로 프로세서를 이용하여 계산을 수행한다. 퍼지 논리판단은 마이컴과의 시리얼통신으로 수행을 한다. 앞의 표4, 표5의 자료를 적용하여 시뮬레이션을 실시한 결과는 다음 표6과 표7에 나타나 있다.

표6. 표4에 대한 신뢰도 평가

로드셀	신뢰도(%)
1	93.7
2	93.7
3	93.7
4	93.7

표4에서의 로드셀에는 불량 응답을 하는 로드셀이 없으며 따라서 신뢰도 또한 93.7% 정도의 양호한 응답을 보여주고 있다. 표6에서 전체가 같은 결과로 응답하므로 하나의 신뢰도만을 표시했다.

표7. 표5에 대한 신뢰도 평가

	0kg	20kg	100kg
1	86.7	86.5	93.5
2	87.2	86.9	93.7
3	86.6	86.4	93.3
4(고장)	52.5	51.9	60.9

표5에서는 하나의 로드셀이 불량응답을 할 경우이다. 표7의 응답에서 보면 고장난 로드셀의 신뢰도가 낮게 나오는 것을 볼 수 있다.

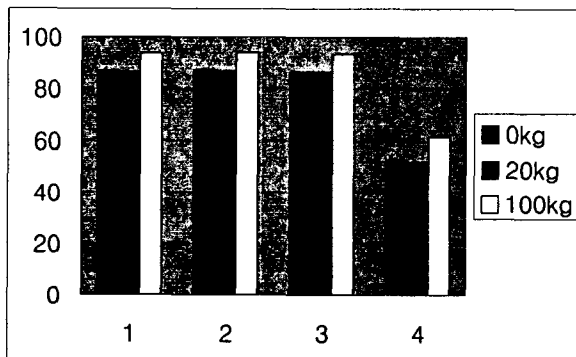


그림 6. 로드셀 신뢰도(4번 고장)

그림6에서는 표5에 나타난 고장난 로드셀의 경우에 대한 결과를 그림으로 보여주고 있다.

III. 결론

전자 저울의 구성요소는 로드셀이 있는 프레임 축과 그 로드셀의 모든 센싱 신호를 결합하는 정선박스 그리고 중량을 표시하는 인디케이터부로 나뉘어져 있다. 여기서 로드셀의 신호를 결합하는 과정에서 신호의 직·병렬 결합을 조절하여 로드셀의 상태를 파악한다. 직렬의 조합형일 경우에 각 로드셀의 전원을 독립 시켜주어야 하므로 정선박스부와 인디케이터부의 회로 일부를 변경을 가져와야만 한다. 하지만 병렬형태를 그대로 가져 가면서 저항을 직렬로 삽입하여 그 양단간의 전압 강하를 비교 함으로서 정선박스만을 일부 변경시키고도 고장 진단 시스템을 부착할 수 있음이 증명된다. 앞으로 더 많은 실험이 있어야 하며 진단시스템에 대한 대상장비의 독립적인 시스템 구성이 이루어져야 하겠다.

IV. 참고문헌

- [1] 김재열 외 2인, 최신계측공학, 반도출판사 4판, 1993
- [2] Chin-Teng Lin & C.S George Lee, Neural Fuzzy Systems - A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems, Prentice Hall P T R Upper Saddle River, nj07458, 1996.
- [3] 변증남, Topic on Fuzzy Logic-Based control Systems and Applications, 한국 과학 기술원 전기 전자공학과, 1991