

Strain Gauge를 이용한 핀형 로드셀 개발

이동욱*, 박민혁*, 이계광**, 김인환***, 이석순#,

(#, * 경상대학교 기계공학부, ** 미래 인더스트리, *** 경남과학기술대학교 기계공학과)

Development of the Pin Type Load-cell Using Strain Gauge

Dong-Wook Lee*, Min-Hyuk Park*, Gye-Gaong Lee**, In-Hwan Kim***, Seok-Soon Lee#

(Received 14 July 2014; received in revised form 29 July 2014; accepted 8 August 2014)

ABSTRACT

A pin-type load-cell which uses shear-type strain gauges was developed to measure the tension of a wire in a winch. A finite element analysis was performed to determine the locations of the strain gauges. All of the shear-type strain gauges were attached onto parts that undergo regularly shear stress distributions. A Wheatstone bridge circuit was used to connect each of the gauges and to measure the strains. Linearity within the 5% error range was noted when testing the pin-type load-cell.

Key Words : Shear Type Strain Gauge(전단응력 스트레인 게이지), Loadcell(로드셀), Winch Wire Tension (원치 와이어 장력)

1. 서 론

디지털중량제어기 및 전자저울용 센서로 사용하고 있는 스트레인 게이지식 로드셀은 물건의 무게 즉 하중을 전기신호로 변환하는 트랜스듀서이다. 전기적으로 물건의 무게를 검출하는 방법으로는 마그네틱을 이용하는 자기식, 스트레인 게이지식, 음파식, 진동식 그리고 정전용량식 등이 있는데 대부분 스트레인게이지를 사용한 트랜스듀서를 로드셀이라고 부르고 있다. 이러한 로드셀의 특징

으로는 비교적 소형으로 가벼워서 조립성이 좋고, 센서성능은 최대가 1/10,000 정도이며 구조가 간단하며 경시변화가 적다. 또한 정격하중이 수 그램으로부터 수백 킬로그램으로 사용범위가 넓다. 이러한 이유로 해서 스트레인 게이지식 로드셀이 많이 사용되고 있다.^[1] 선박에 위치하는 원치의 개발은 제품 생산에 앞서서 각 주요 부위의 시물레이션 및 각종 시험을 통하여 요구조건에 만족하는 성능을 보장하고 안전성을 확보하는 것이 매우 중요하다.^[2] 그 중에서도 특히 원치에 적용되는 와이어의 동적인 힘을 측정하는 것은 원치 개발에 있어서 매우 중요한 사항으로 차지하고 있다. 로드셀이란 무게를 숫자로 표시하는 전자저울에 필수적인 무게측정소자이다. 한국에서는 1985년 한국과학기술원에서 독자적으로 개발되어 현재는 일상생활, 유통, 공업용, 실험실용, 산업분야에 이르기까지 여러 분야에서 사용되고 있다.^[2] 이를 응용하여 본 논문에서는 스트레인 게이지를

* School of Mechanical Engineering, Gyeongsang National UNIV.

** Mirae Industry

*** School of Mechanical Engineering, Gyeongnam National UNIV. of Science and Technology

Corresponding Author

School of Mechanical Engineering, Gyeongsang National UNIV., ERI, E-mail : leess@gnu.ac.kr

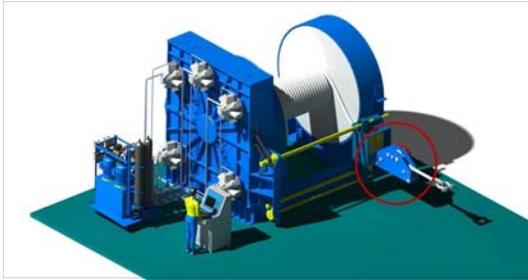


Fig. 1 Whole model of winch

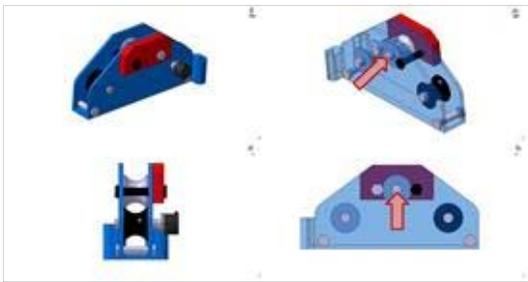


Fig. 2 Loadcell part

이용한 편형 로드셀을 개발하는 것으로 선박의원 치에 사용되는 와이어 장력을 측정하고자 하는 목적으로 접근하였다.

2. 로드셀 형상 및 설계

2.1 로드셀 설계

로드셀을 설계하기 위해서 고려할 사항은 첫째, 측정하고자 하는 최대 하중을 고려한 로드셀의 용량 설정, 둘째, 로드셀의 정밀도와 정확도를 높이기 위하여 가해지는 하중에 대하여 최적의 로드셀 형상 선택이라고 할 수 있다. 또한 설치와 운용이 적합하고 제작의 편리성과 실용성이 향상될 수 있도록 하는 것이 중요하다.^[3] 로드셀의 형상은 본 논문의 목적에 맞게 와이어 장력 측정을 위한 구조에 맞게 설계되어야 한다. Fig. 1 은 편형 로드셀이 장착 될 윈치의 전체모델이다. 편형 로드셀을 장착하여 장력을 측정 할 수 있도록 로드셀 전

체를 설계하였다. Fig. 2 에서 로드셀 전체 구조를 확인할 수 있다. 그림에서 화살표로 표시한 부분에 편형 로드셀이 위치할 곳이다. 본 구조의 와이어에 텐션이 발생하게 되면 중앙에 위치한 편형 로드셀에 응력을 가하게 되고 이를 실시간으로 측정하기위해 구조개발을 실시하였다.

Fig. 3 은 편형 로드셀을 모델링 한 모습이다. 편형 로드셀은 상용 설계프로그램인 CATIA V5를 이용하여 모델링을 실시하였다.

2.2 로드셀 유한요소해석

하중측정이 가능한 편형 로드셀을 설계하기 위하여 편형 로드셀의 형상에 따른 측정부의 응력상태를 분석하였다.^[4] 편형 로드셀의 형상파일을 이용하여 모델링 하고 Hypermesh 프로그램으로 유한요소 격자를 나눈 뒤 해석프로그램인 ABAQUS를 이용하여 유한요소 해석을 수행하였다. 유한요소 해석은 편형 로드셀의 양쪽을 고정 한 후 고정되는 부분에서 중앙 부위에 와이어 장력을 받을 것으로 가정하여 고정되는 부분에는 변위를 0으로 중앙 부분에는 로드셀의 축방향을 기준으로 직각 방향 일정 압력을 가하였다.



Fig. 3 Pin type loadcell

Table 1 Material property (Stainless 304)

	Density (kg/m ³)	Modulus of elasticity (GPa)	Poisson's Ratio	Yield Strenth (MPa)
Stainless 304	7860	193	0.27	207

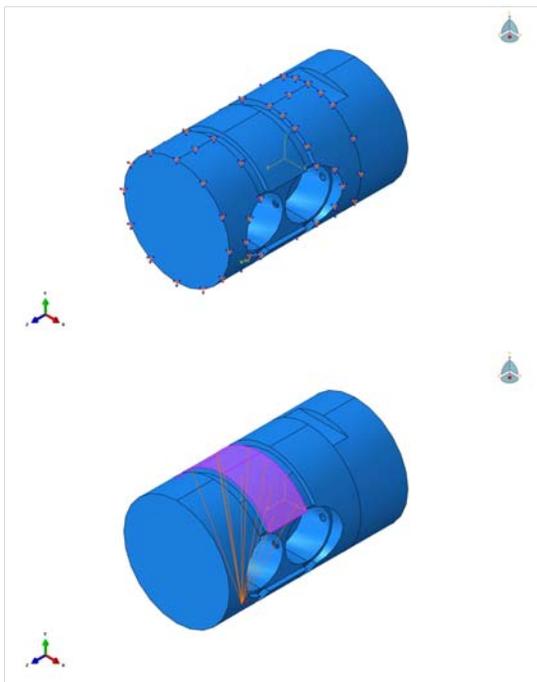


Fig. 4 Loadcell boundary condition of analysis

로드셀 유한요소 해석의 조건은 ABAQUS 프로그램을 이용하여 Fig. 4와 같이 나타내었다. Fig. 4의 위쪽에 위치한 그림은 로드셀의 양쪽 고정부분을 완전 고정된 상태이고 아래쪽에 위치한 그림은 아랫방향으로 힘을 가한 부분이다. 재료에 대한 물성치는 Stainless 304로 Table. 1 과 같이 적용하였다. 해석 수행 후 해석결과 값을 확인한 결과 Fig. 5와 같은 해석 결과 값을 확인할 수 있었다. 결과 값은 각각 von Mises 응력 크기로 나타내었다. 결과 값의 위쪽에 위치한 그림은 응력 거동을

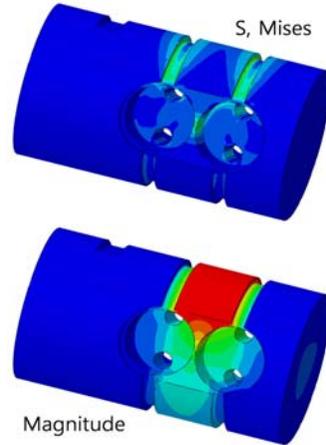


Fig. 5 Loadcell analysis result

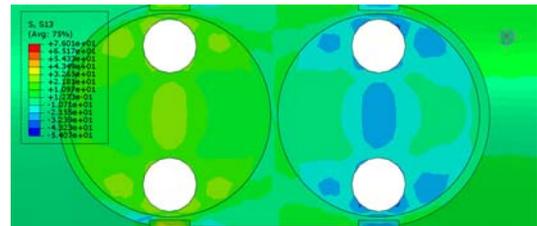


Fig. 6 Strain S13 Direction of Analysis result

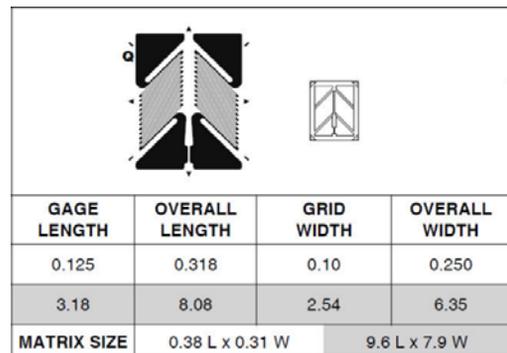


Fig. 7 Shear type strain gauge specification

나타내고 있으며 아래쪽에 위치한 그림은 변위에 대한 거동을 나타내고 있다. 그리고 Fig. 6을 확인해 보면 S13 방향으로 응력이 원형의 중앙부분에 일정하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이를 이용하기 위하여 전단형 스트레인 게이지를 본 부분에 부착하였다. 좌측의 원형은 양의 방향을 우측의

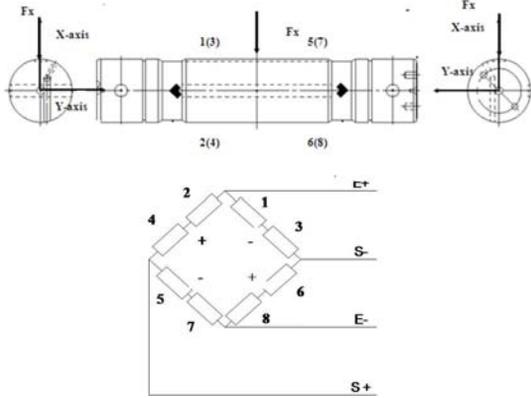


Fig. 8 Wheatstone bridge

원형은 음의 방향으로 나타난 것을 확인하였다. 본 논문에서 사용한 스트레인 게이지는 전단형의 FCT-2-350-11로서 저항값 350Ω, Matrix Size 9.6L&7.9W를 사용하였다. 자세한 사양은 Fig. 7에 표기하였다.

본 논문에서 선택한 스트레인 게이지는 보통 저항값에서 120Ω과 350Ω이 주로 사용되고 있고 저항값이 크면 더 안정적이기 때문에^[5] 일반적으로 로드셀 제작에 많이 쓰이는 제품 FCT-2-350 보다 열 특성이 더 강하며 내구성이 뛰어난 장점을 고려하여 선택하게 되었다. 스트레인 게이지는 Wheatstone Bridge의 결선방법과 동일하게 결선하였다. Fig. 8에서 Wheatstone Bridge를 확인할 수 있다. Fig. 8의 게이지 결선 방법은 Double Full Bridge 방법이며, 통상 일반적인 경우의 스트레인 측정에는 Quarter Bridge를 사용하며 온도 보정 및 잡음 제거 혹은 측정 전압 증폭의 경우에는 Half Bridge를 사용한다. 또한 이 두 경우를 동시에 구현 하는 데는 Full Bridge를 사용한다.^[6] 만약 Single Full Bridge를 사용할 경우에는 5~9번 게이지를 제외하면 되지만 이 경우 좌, 우의 균형이 문제가 될 수 있으므로 통상 Double Full Bridge를 사용하여 균형을 맞춘다.

Wheatstone Bridge에서 1-2 번으로 표시한 것이 스트레인 게이지 하나를 나타낸다. 하나의 게이지가 양 갈래로 나뉘어 있는 것을 표현하는데 결국 한 쪽 방향을 측정하기 위해서는 4개의 게이지가

필요하며 두 방향의 측정을 위해서는 8개의 게이지가 필요하다.^[7] 게이지 사이의 연결은 되도록이면 저항이 적은 선을 이용해야 한다. 결선을 완료하고 나서 멀티미터를 이용하여 결선 한 곳에 이상이 없는지 확인하였다. 총 저항 값은 병렬로 연결하였기 때문에 센서라인에서 측정할 때와 파워라인에서 측정할 때가 동일하게 700Ω으로 나타난다.

Fig. 9는 Fig. 8의 Wheatstone Bridge와 Fig. 6의 유한요소 해석결과를 바탕으로 스트레인 게이지를 결선한 모습이다. 양의 방향과 음의 방향을 일치시키며 Full Bridge를 결선하면 결과 값은 총 4개의 스트레인 게이지를 참조하여 나타나게 된다.

Fig. 10은 Wheatstone Bridge와 유한요소 해석의 결과 값을 토대로 결선을 완료한 모습이다. 결선을 위해서 핀형 로드셀의 각 스트레인 게이지 부

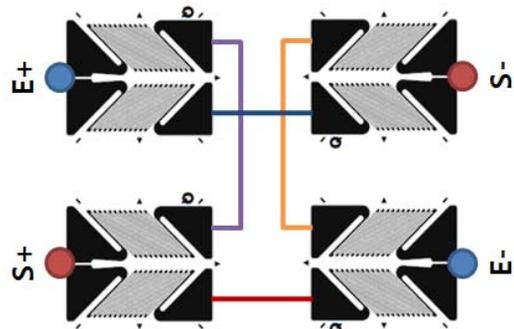


Fig. 9 Attached strain gauge to loadcell

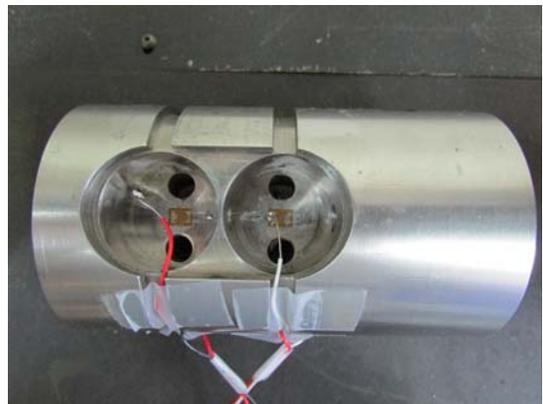


Fig. 10 Attached strain gauge to loadcell



Fig. 11 Instron zig for test

착부분 사이에 Hole을 만들어 결선이 용이하도록 결선에 이상이 없는지 확인하였다. 로드셀을 제작한 후 성능 실험을 위해 재료시험기 장비에 맞게 지그를 제작하였다. 지그의 물성치는 SS400을 사용하였다. 지그를 피로시험기에 설치한 모습이 Fig. 11이다. 지그의 형상은 피로시험기의 핀과 결합이 가능하도록 제작하였고 압력이 가해지는 부분은 로드셀의 원형부분과 동일한 크기로 라운드를 주었다. 지그의 형상을 제작한 후 피로시험기에 설치하였다. 재료 시험기의 상부는 고정되며 로드셀 부분이 장착 되어있어 실험값을 측정할 수 있으며 재료 시험기의 하부 구조에는 액추에이터가 장착되어 있어 유압을 이용하여 실험 구조를 움직일 수 있다. 하부가 움직이며 상부에 힘을 가하게 되고 이를 측정하는 원리이다. 지그의 물성치는 Table. 2에서 확인할 수 있다. 실험에 사용된 피로시험기는 Fig. 12의 Instron 8516 테스트 시스템으로서 로드 프레임, 액추에이터, 로드셀, 각종 유압과워 컨트롤로 구성되어 있으며 최대하중이

Table 2 Material property (SS 400)

	Density (kg/m^3)	Modulus of elasticity (GPa)	Poisson's Ratio	Yield Strength (MPa)
SS400	7865	205	0.29	230

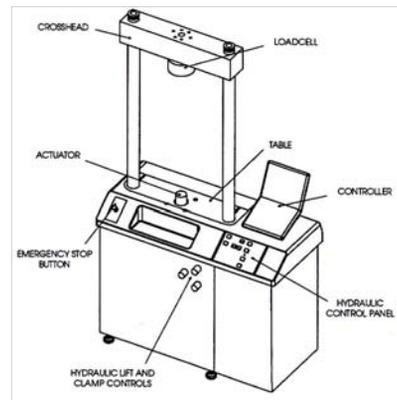


Fig. 12 8516 Instron structure

10톤이다.

3. 로드셀 성능실험 및 결과

앞서 유한요소 해석에서 실시한 로드셀을 제작하고 재료시험기를 이용하여 로드셀 성능 실험을 실시하였다. 와이어 장력을 측정한다는 가정하에 편형 로드셀에 압력을 가할 실험 구조를 설정하였다. 실험에 앞서 신호 전달이 잘 되는지 확인하기 위하여 Digital Weighing Indicator를 이용하여 로드셀에 힘을 가하여 보았다. 스트레인 게이지의 결선이상유무와 압력을 가했을 때 스트레인의 변화량이 생기는지 관찰을 해보기 위함이다. 이 장비는 여타 장비와는 달리 컴퓨터와 같은 디스플레이 시스템 없이도 스트레인 변화량을 바로 확인 가능하다는 장점이 있다.

Fig. 13은 Digital Weighing Indicator를 이용하여 실험 한 모습이다. 또 다음은 P-3500 이라는 장비를 사용하여 스트레인 게이지저항을 관찰해 보았



Fig. 13 Using the digital weighing indicator test

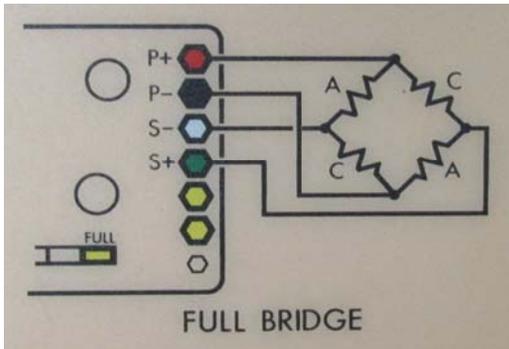


Fig. 14 Full bridge method

다. Fig. 14는 P-3500 장비의 매뉴얼을 참고한 스트레인 게이지 결선방법이다. 각각의 로드셀을 구성하는 스트레인 게이지들을 Fig. 14와 같이 완전 결선회로를 구성하여 로드셀을 제작하였다.^[8] 이 장비는 영점 조절 및 스트레인을 몇 배수로 증가하여 나타낼 수 있는 기능도 있어 아주 작은 스트



Fig. 15 Using the P-3500 test

레인에도 실험자가 확인 가능하다. 스트레인 게이지와 장비 사이를 결선하고 실행하여 실험을 실시해 보았다. 기준은 영점을 맞춘 후 실험을 진행하니 스트레인 게이지의 저항 값이 변화하는 것을 확인하고 본격적인 실험을 시작했다.

Fig. 15는 P-3500 장비로 실험 전 마지막 체크를 한 것이다. Full Bridge로 결선한 로드셀과 E-DAQ 장비를 연결하고 E-DAQ 장비는 그래프로 나타낼 컴퓨터와 연결한다.

E-DAQ 장비는 SOMAT사에서 개발한 정밀 데이터 수집 시스템이다. 아날로그 및 디지털 데이터를 모두 결합 가능하도록 설계되어 데이터 수집에 매우 용이한 장비이다. 총 8개의 채널을 사용 가능하도록 되어 있으며 여러 시스템의 자동 데이터 수집 및 네트워킹이 모두 가능한 장비이다. 그리고 피로시험기에서 압력을 가하며 스트레인의 변화를 그래프 및 수치로 확인하는 실험을 실시하였다. 본 논문에서는 임의로 채널 1을 선택하여 Full Bridge를 결선하였다. 본 실험구조의 Calibration은 SOMAT 프로그램 상에서 설정하였다. 로드셀에 힘을 가하지 않아도 스트레인 게이지에 가해지는 힘은 0이 될 수 없기 때문에 프로그램 상으로 영점을 설정하였고 각 센서의 범위 및 감도, 스트레인 게이지 종류, Bridge Type 등을 설정한 후 실험을 진행하였다. Fig. 16은 실험에 사용된 E-DAQ장비를 나타낸다. E-DAQ 장비의 후면부에 Lan Code와 Digital Code 신호를 확인할



Fig. 16 E-DAQ Equipment

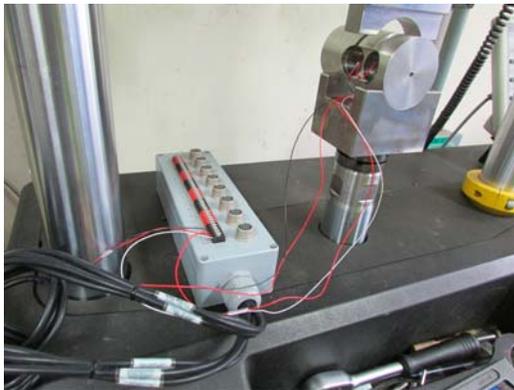


Fig. 17 Loadcell test bench

노트북에 연결하여 사용한다.

Fig. 17은 E-DAQ 장비와 Full Bridge 로드셀을 결선 한 전체 실험 구조모습이다. Full Bridge Method와 같이 센서 라인과 파워 라인을 구분하여 E-DAQ 장비와 결선하였다.

다음 구조로 스트레인 측정 실험을 실시하였다. 스트레인 값은 E-DAQ 장비와 연결 되어있는 노트북으로 확인하였다. E-DAQ장비와 결선 된 곳에 이상이 없는지 마지막으로 멀티미터를 이용하여 확인한 후 실험을 실시하였다. 실험은 각각 10kN, 20kN, 30kN, 40kN, 60kN, 80kN 으로 실시하였다.

각각의 스트레인 결과 그래프는 Fig. 18에서 확인할 수 있다. 그래프의 결과 값에서 노이즈가 조금 발생 하긴 하였지만 평균값 그래프인 Fig.

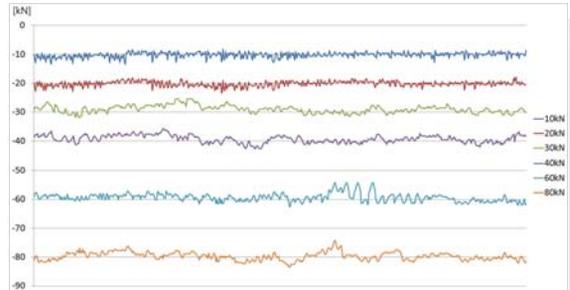


Fig. 18 Strain results

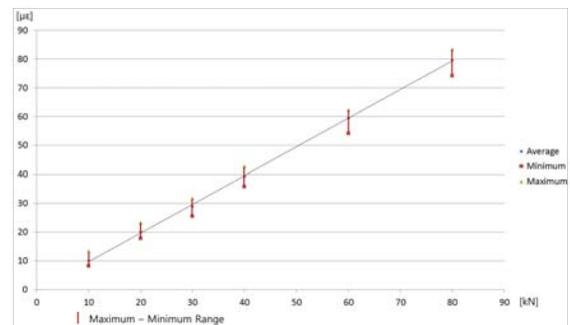


Fig. 19 Average of results

19을 확인하면 먼저 10kN 에서 오차율이 0.7%, 20kN 에서 0.5%, 30kN 에서 3%, 40kN에서 1.8%, 60kN 에서 1.17% 그리고 80kN 에서 0.38%를 보이고 있다.

Fig. 19는 각각의 스트레인 실험값 평균과 최소 그리고 최대값을 연결한 그래프로서 절대값으로 표현하였다. 각 케이스에서의 최대값과 최소값의 차이가 노이즈로 인하여 그리고 피로시험기의 유압이 일정하지 못한 이유 및 여러 가지 이유로 인하여 발생하는 것을 확인할 수 있었지만 결과의 평균값을 확인하면 그래프의 기울기에서 오차율이 낮은 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 편형 로드셀을 설계하였다. 로드셀의 형상은 유한요소 해석의 결과를 통하여 구조를 결정하였고 결과값에서 전단응력이 규칙적으로 나타나는 곳에 전단형 스트레인 게이지를 부착하

였다. 그리고 Wheatstone Bridge를 참조하여 각각의 게이지를 결선하였다.

실험 결과, 스트레인 값은 가한 압력에 비례하도록 나타나는 것을 확인하였고 그래프의 결과 값을 비교해 더 정확히 알 수 있었다. 각각의 오차율은 5% 미만으로 나타나는 것을 확인하였으며 이는 스트레인을 측정하는 것에 있어서 정확성이 매우 뛰어나다 할 수 있다. 따라서 처음 목적에 맞게 원치의 와이어 장력을 측정하는 장치로는 문제가 없을 것으로 판단된다.

본 연구는 원치의 와이어에 가해지는 텐션을 실시간으로 측정할 수 있는 구조로서 현장산업의 문제를 조기에 판단 할 수 있을 것이라 판단된다. 또한 이는 원치 발전에 크게 기여할 것으로 보인다.

후 기

“본 연구는 지역대학 육성사업(BK Plus)과, 동남광역권 선도사업의 지원에 의해 연구되었다. 아낌없이 지원해주신 것에 대해서 감사드린다.”

REFERENCES

- (1) Hae-Jun Seo, Haing-Sup Jung, Gi-Ju Ryu, Tae-Won Cho, "High Accurate Creep Compensation of the Loadcell using the Strain Gauge", Vol. 16 No. 1 IKEEE, pp.34-44 2012
- (2) Sung-il Chu, Jun-hyub Park, Jin-gun Lee, Ji-young Park, "Development of 3-axis Loadcell for Measuring the Side Force of MPV Using Design of Expertiment", Vol. 15 No. 4 KSAM, pp.83-93 2007
- (3) J Lee, C Song, S Park, "Design of Triaxial Load Cell by Finite Element Analysis" Korean Society for Precision Engineering, pp.635-636 ,Apr 2010.11
- (4) Dong-Seop Han, Jeong-Min Ha, Geun-Jo Han,

"Creative Design of Large-Angle Pin Type Load Cell for the Overload Limiter of a Movable Crane", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.9 No.1 ,pp.35-41, 2010.02

- (5) Jong-II Bae, Chi-Kook Ryu, "On Study for Digital Load Cell using Zig-Bee" The Korean Society of Manufacturing Process Engineering, pp.218-221 ,Apr 2007.06
- (6) "Strain Gauge Manual", <http://www.radian21.com>
- (7) "Principle of the column load cell of TECHNOLOGY Strain Gage Based Transducers", <http://www.measurementsgroup.com>, pp.52
- (8) Gab-Soon Kim, Se-Hun Rhee, Ki-Woan Um, "Development of a Precision 3-component Load Cell", A Vol. 22 No. 10 KSME, pp.1850-1857 1998.10