

엘리베이터 로프장력 자동조절기 개발에 관한 연구

김동복*, 김갑순**,#

*경상대학교 기계융합공학과, **경상대학교 제어계측공학과(ERI)

A Study on the Development of an Elevator Rope Tension Automatic Equalizer

Dong-Bok Kim*, Gab-Soon Kim**,#

*Department of Convergence Mechanical Engineering, Gyeongsang National Univ.,

**Department of Control & Instrumentation Engineering(ERI), Gyeongsang National Univ.

(Received 20 March 2020; received in revised form 26 March 2020; accepted 3 April 2020)

ABSTRACT

In this paper, we describe a rope tension automatic equalizer that automatically adjusts several rope tensions connecting the elevator car and the counterweight. The automatic rope tension equalizer is composed of a body, ram, and rope shaft. The body includes a cylinder hole, in which a ram is assembled. A rope shaft is assembled in a hole in the ram. Moreover, the rope is fixed to the rope shaft, with a hole through which fluid can pass between each cylinder hole and the hole of the body. The central concept is that the force of each rope is evenly distributed by the hydraulic pressure between the ram and the body cylinder when the rope is pulled. The thickness of the jaw connecting the small and large diameters of the body of the rope tension automatic equalizer was 15 mm based on structural analysis. The results of the representative experiment to install the produced rope tension equalizer on the elevator revealed it was possible to reduce the rope tension deviation by more than 71 kg.

Key Words : Elevator(엘리베이터), Wire Rope(로프), Automatic Equalizer(자동조절장치), Spring Socket(로프 소켓), Structural Analysis(구조해석)

1. 서 론

엘리베이터(elevator)는 5층 이상 대부분의 고층 건물에 설치되고, 익서은 많은 사람들이 수직이동 수단으로 사용하고 있다. 이 엘리베이터의 안전화를 위해 지속적으로 연구가 진행되고 있다^[1-8]. 엘리베이터는 Fig. 1의 (a)에 나타난 것과 같이 사람

이 타는 카(car), 도로래와 모터로 구성되는 권상기, 스프링 소켓(spring socket), 균형추(counterweight) 등으로 구성된다. 이것은 Fig. 1의 (b)에 나타난 것과 같은 스프링 소켓이 엘리베이터 카에 고정되고, 스프링 소켓에 여러 개의 로프(rope)를 고정시키며, 이 로프들은 권상기 모터축과 연결된 도로래를 감아 균형추에 고정된다. 엘리베이터의 동작은 모터가 회전하면 도로래가 회전되고, 이 도로래의 정회전 및 역회전에 따라 로프가 카와 균형추를 상하로 이동시킨다. 여러 개

Corresponding Author : gskim@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1745, Fax: +82-55-772-1749

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

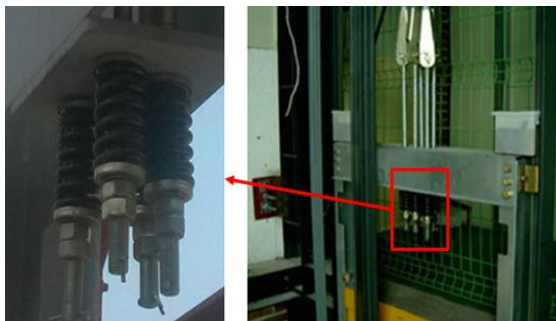
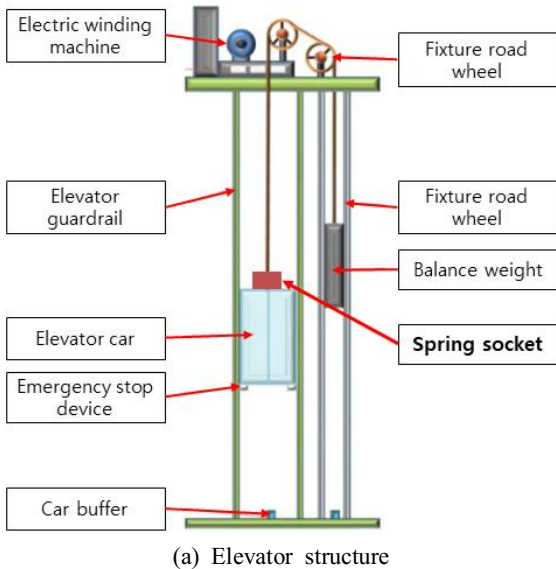


Fig. 1 Structure of elevator

의 로프의 한쪽 끝은 균형추와 다른 쪽 끝은 스프링 소켓과 고정되는데, 이때 여러 개의 로프의 길이를 정확히 같은 길이로 고정할 수 없으므로 각 로프에 걸리는 장력 중 가장 큰 장력과 작은 장력의 차가 보통 20% 내외로 발생하게 된다. 장력이 가장 큰 로프는 도로래의 홈과 마찰이 크게 발생되고, 이로 인해 여러 가닥의 가는 철심으로 꼬아 만든 로프는 가는 철심이 끊어지는 현상이 발생할 뿐만 아니라 소음과 진동이 크게 발생되게 된다. 그리고 도로래 홈의 마모로 인해 로프는 미끄럼이 발생되고, 이것이 사고로 연결되는 경우가 많다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 여러 개의 로프의 양쪽 끝에 스프링 소켓과 균형추를

고정할 때 로프의 길이를 모두 같게 하는 것이다. 그러나 엘리베이터 기술자가 수동으로 로프를 연결하므로 여러 개의 로프를 모두 같은 길이로 고정하는 것은 매우 어렵다. 그러므로 엘리베이터의 안전을 위해서는 여러 개의 로프의 장력을 균일하게 분포되도록 조절하는 기능을 가진 장치의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 엘리베이터의 7개 로프의 장력을 자동으로 조절하는 로프장력 자동조절기를 설계 및 제작하였다. 7개의 로프를 연결할 수 있는 로프장력 자동조절기를 모델링하였고, 구조해석을 통해 안전도를 확인하였다. 그리고 로프장력 자동조절기를 제작하였고, 실험용 엘리베이터에서 특성실험을 실시하였으며, 실제 건물의 엘리베이터에 설치한 후 장력측정실험을 실시하였다.

2. 로프장력 자동조절기 설계

2.1 로프장력 자동조절기 원리

Fig. 2는 로프장력 자동조절기의 원리를 나타내고 있고, 이것은 몸체(body), 램(ram), 로프축(rope shaft), 고정판(fixture plate) 등으로 구성된다. 몸체는 엘리베이터 로프 개수만큼 램이 왕복운동할 수 있는 실린더와 같은 홀을 가공하고 각 홀들은 유체가 통과할 수 있는 관통된다. 그리고 몸체의 상부는 고정판과 고정된다. 램은 몸체의 실린더 홀에서 왕복운동할 수 있도록 구성된다.

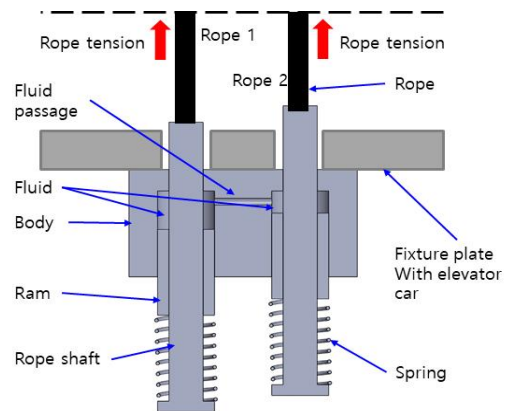


Fig. 2 Principle of rope tension automatic equalizer

로프축은 램의 내측과 미끄럼운동을 하고 엘리베이터 로프와 고정되며, 완충 스프링이 장착된다. 고정판은 몸체의 상부와 엘리베이터 카 상부와 고정된다. 로프장력 자동조절장치는 7개 로프가 균형추와 고정될 때 로프길이가 약간 다르게 고정하더라도 Fig. 2에서 보는 것과 같이 램이 몸체의 홀 내에서 이동하여 로프의 길이를 비슷하게 조정하므로 각 로프에 장력이 비슷하게 작용된다. 이때 몸체의 7개 실린더 홀 안에는 유체가 이동되어 같은 압력을 유지하게 되므로 각 로프에 작용되는 장력은 비슷하게 되어 균형을 이루게 된다.

2.2 로프장력 자동조절장치 모델링

Fig. 3의 (a)는 로프장력 자동조절기의 구조를 나타내고 있고, 이것은 몸체(body), 램(ram) 등으로 구성되어 있다. 몸체는 7개 램이 조립될 수 있는 홀이 있고, 램이 조립되는 하부와 상부에는 실링 홀이 있으며, 각 램 홀에 유체가 흐를 수 있도록 관통홀이 있다. 램은 중앙에 로프축이 조립될 수 있는 홀이 있고 로프고정구가 조립될 수 있는 나사홀이 있다. Fig. 3의 (b)는 로프장력 자동조절장치의 구조를 나타내고 있고, 이것은 (a)에 로프축, 스프링, 로프고정기구가 추가적으로 포함된 것이다. 로프축은 램의 내부에 조립되고, 스프링은 램의 하부와 로프축 사이에 위치하고, 로프고정기구는 엘리베이터 균형추와 연결되는 로프와 고정된다. 로프장력 자동조절장치는 엘리베이터의 카 상부에 부착되고 각 로프와 고정된다. Fig. 3의 (c)는 로프장력 자동조절기의 몸체의 3차원 모델링을 나타내고 있고, 이것은 구조해석을 통해 설계된다.

2.3 로프장력 자동조절장치의 몸체 구조 해석

로프장력 자동조절기의 몸체는 안전하게 설계되어야 하므로 구조해석을 실시해야 한다. 로프장력 자동조절기를 구성하는 로프축의 재질은 S45C로 선정하였고, 크기는 $\Phi 50 \times 140 \text{mm}$ 로 결정하였으며, 표면연마 후 도금(니켈과 크롬)처리하였다. 그리고 램의 재질은 S45C로 선정하였고, 크기는 작은 직경을 $\Phi 30 \text{mm}$ 이고 큰 직경을 $\Phi 50 \text{mm}$ 로 결정

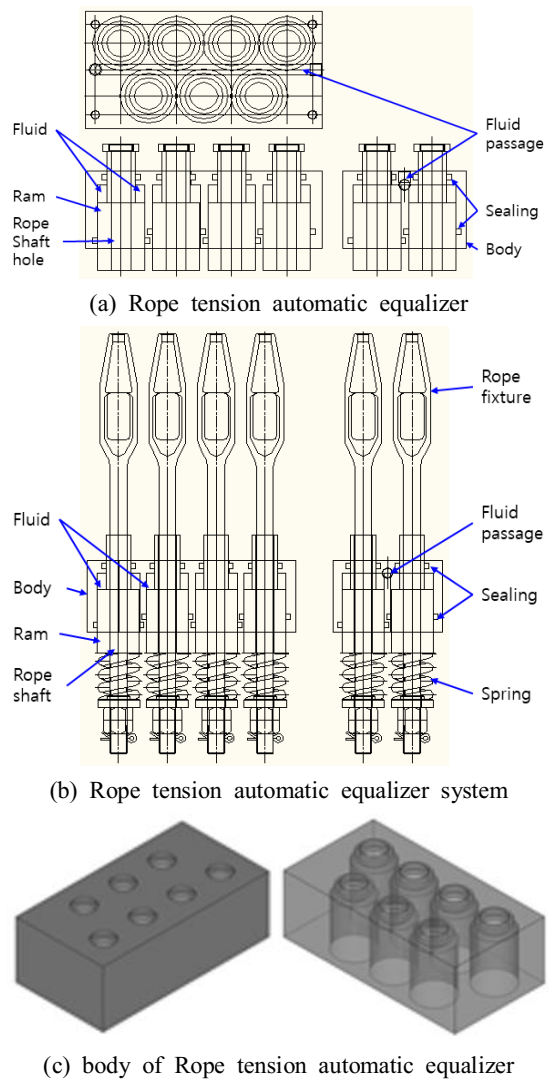
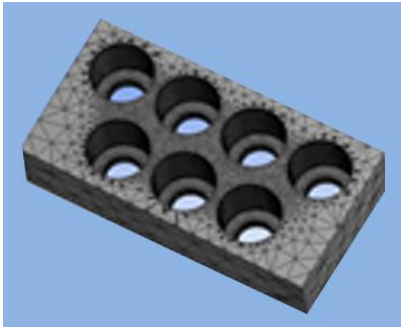
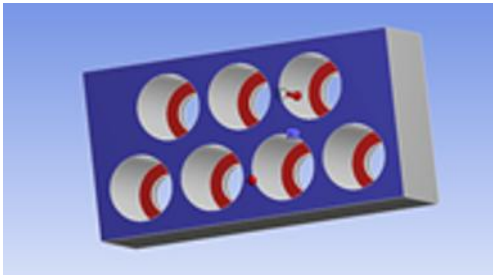


Fig. 3 Structure of rope tension automatic equalizer

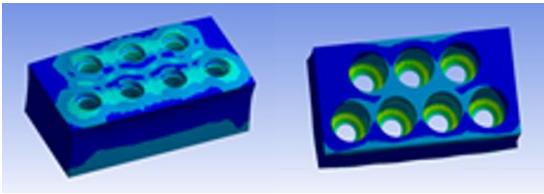
하였다. 로프축과 램은 재질을 S45C를 사용하였기 때문에 매우 안전하므로 구조해석을 실시하지 않고 몸체의 램의 상부의 힘에 의해 유압이 받는 부분의 응력과 처짐을 확인하기 위한 구조해석을 실시하였다. 이를 위해 로프장력 자동조절기 몸체의 재질은 알루미늄 Al6063을 선정하여 경질도금(아노다이징)하였고, 외형 크기는 $85 \times 120 \times 254 \text{mm}$ 로 결정하였다. 몸체의 작은 직경과 큰 직경은 램의 그것들이 조립되므로 각각 $\Phi 30 \text{mm}$ 와 $\Phi 50 \text{mm}$ 이



(a) Mesh



(b) Applied force



(c) Structural analysis result

Fig. 4 Structural analysis of body of rope tension automatic equalizer

다. 작은 직경과 큰 직경이 연결되는 턱의 반경차는 10mm로 결정하고, 턱의 두께를 결정하기 위해 소프트웨어(ANSYS Workbench 18)를 이용하여 구조해석을 실시하였다.

엘리베이터는 사람을 수직으로 이동하는 것으로 매우 안전하게 설계해야 하므로 몸체의 안전율은 9배 이상, 수직 처짐을 거의 발생되지 않도록 $3\mu\text{m}$ 이내가 되도록 설계하고자 한다. 몸체 재질(Al6063)의 물성치는 항복강도 145MPa, 인장강도 185MPa, 포와송비 0.33, 비중 $26,500\text{N/m}^3$ 이다. 엘리베이터 체원은 속도가 150m/min, 승객 질량이 1,500kg(20인승, 75kg/인), 카 질량이 2,000kg(승객

질량(1,500kg)×13배속2,000kg)으로 계산된다. 그러므로 엘리베이터 로프가 지탱하는 총 질량은 3,500kg이고, 이것을 힘으로 계산하면 34,300N ($3,500\text{kg}\times 9.8\text{m.s}^{-2}$)이다. 그래서 엘리베이터 로프가 지탱하는 총 중력을 35,000N으로 결정하였다.

Fig. 4의 (a)는 로프장력 자동조절기 몸체를 구조해석하기 위해 나눈 매쉬를 나타내고 있다. Fig. 4의 (b)는 구조해석시 램 상부로 유체를 압축시키므로 몸체의 7개 홀턱에 1개 홀당 5000N을 균일하게 분포도록 균일분포 힘을 가하는 모습을 나타내고 있다. Fig. 4의 (c)는 구조해석 결과를 나타내고 있고, 고조해석 결과, 최대 등가응력(equivalent stress)은 15.215MPa, 최대 처짐은 0.0021mm이었다. 안전율은 재료의 항복강도를 최대 등가응력으로 나누어 계산하므로 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$S_F = \frac{Y}{\sigma_{\max}} \quad (1)$$

여기서, S_F 는 안전율, Y 는 항복강도, σ_{\max} 는 등가응력이다.

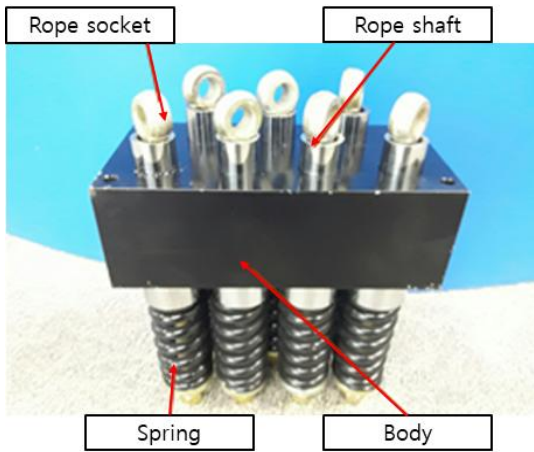
안전율은 몸체 재질의 항복강도 145MPa와 등가응력 15.215MPa를 식 (1)에 대입하여 계산할 수 있고, 안전율을 계산한 결과 9.53이었다. 구조해석을 적용하여 로프장력 자동조절기의 몸체 작은 직경과 큰 직경이 연결되는 턱의 두께는 15mm이었다. 그리고 최대 처짐은 0.0021mm($2.1\mu\text{m}$)이었고 안전율은 9.53배이었다.

2.3 로프장력 자동조절장치의 제작

Fig. 5의 (a)는 제작된 로프장력 자동조절기를 나타내고 있고, 이것은 몸체, 램 증으로 구성되어 있다. 몸체에 7개 램을 조립하고, 몸체의 시린더와 램 사이에 유압유(#48~68)를 주입시켰으며, 램의 상부 외경과 하부외경과 몸체 홀들 사이로 유압유가 누수되지 않도록 우레탄 패킹($\Phi 50\times 5\text{mm}$, $\Phi 30\times 5\text{mm}$)을 끼웠다. Fig. 5의 (b)는 제작된 로프장력 자동조절장치를 나타내고 있고, 이것은 (a)의 로프장력 자동조절에 로프축과 스프링을 끼워 조립한 것이다.



(a) Rope tension automatic equalizer



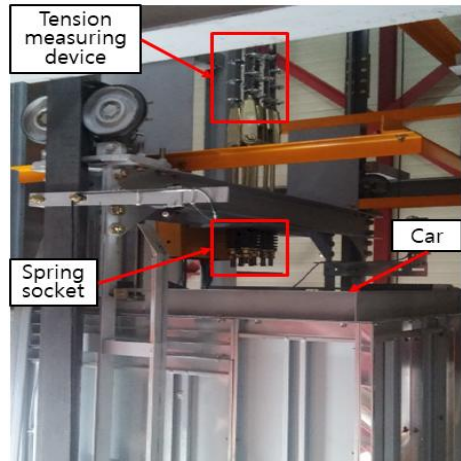
(b) Rope tension automatic equalizer system

Fig. 5 Manufactured rope tension automatic equalizer

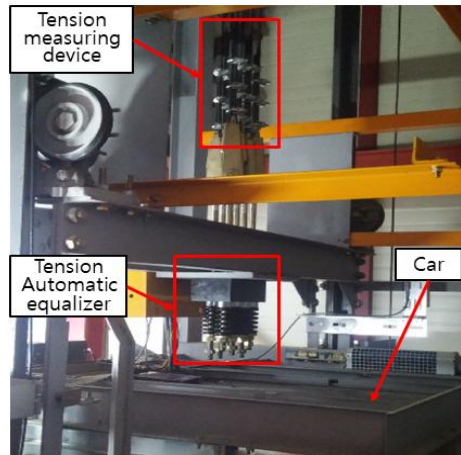
3. 실험결과 및 고찰

Fig. 6은 엘리베이터 로프들의 로프장력 측정실 험장치를 나타내고 있고, (a)는 로프장력 자동조절기가 없는 경우를 나타내고 있으며, 이것은 엘리베이터 카의 상부와 7개 로프가 연결된 스프링 소켓을 고정한 것이다. Fig. 6의 (b)는 본 논문에서 제작한 로프장력 자동조절기가 부착된 것을 나타내고 있고, Fig. 6의 (c)는 (a)와 (b)의 경우 로프장력 측정을 위한 로프장력 측정기가 부착된 모습을 각각 나타내고 있고, 사용된 측정기는 독일 Henning 사에서 제작한 MSM12 모델이다.

Table 1은 로프장력 자동조절기가 없는 경우의 로프장력을 측정된 결과를 나타내고 있고, Fig. 7



(a) Without rope tension automatic equalizer



(b) With rope tension automatic equalizer



(c) Tension measuring device

Fig. 6 Experimental device of tension measurement of elevator ropes

Table 1 Result of rope tension measurement without rope tension automatic equalizer

No.	R.1	R.2	R.3	R.4	R.5	R.6	R.7	AG	MD	E(%)
1	237	267	180	169	264	223	282	231.7	113	27.1
2	237	267	181	170	264	223	282	232.0	112	26.7
3	238	268	180	169	264	222	284	232.1	115	27.1
AG	237	267	180	169	264	223	283	232.0	113	27.0

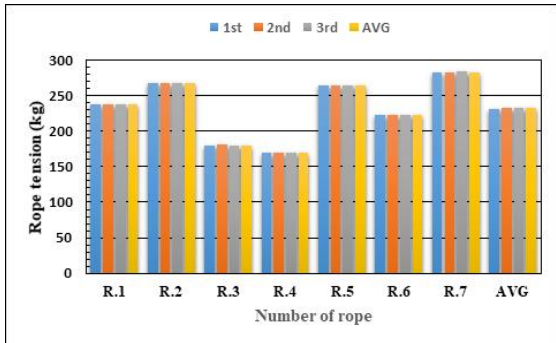


Fig. 7 Graph of rope tension measurement without rope tension automatic equalizer

은 Table 1을 그래프로 나타낸 것이며, 이것은 Fig. 6의 (a)에서 나타낸 것과 같이 실험장치와 같이 실험을 실시하였다. 측정은 독일 Henning 사에서 제작한 로프장력 측정기(MSM12 모델)를 이용하였다. 실험은 7개 로프(R2~R7)에 로프장력측정기 7개를 부착하고 각각 3회씩 측정하였다. 특성 실험에 사용된 엘리베이터는 15인승(75kg/인×75kg= 1125kg)이고, 카의 질량은 승객 질량의 1.5 배인 1687kg이나 실제 제작한 후 측정결과 1624kg이었다. 그러므로 엘리베이터 사용된 로프가 7개이므로 1개의 로프에 작용되는 질량은 232kg이다. 로프 1~7번에 가해지는 질량은 Table 1에 나타낸 것과 같고, 이것들을 합한 총 질량은 1624±2kg, 로프장력 평균(AG: average)은 232±0.3kg, 각 로프장력 간의 편차(MD: maximum deviation)는 113±2kg, 최대 오차는 27.1%이었다. 최대오차는 각 로프의 측정값에서 로프 1개에 가해지는 기준질량 232kg을 뺀 것을 기준질량으로 나누어 계산한 값들 중에 가장 큰 값이다.

Table 2는 로프장력 자동조절기가 부착된 경우

Table 2 Result of rope tension measurement with rope tension automatic equalizer

No.	R.1	R.2	R.3	R.4	R.5	R.6	R.7	AG	MD	E(%)
1	259	240	257	239	241	230	218	240.6	41	11.7
2	259	240	258	239	240	229	217	240.3	42	11.7
3	259	240	258	239	241	230	217	240.6	42	11.7
AG	259	240	258	239	241	230	217	240.5	42	11.7

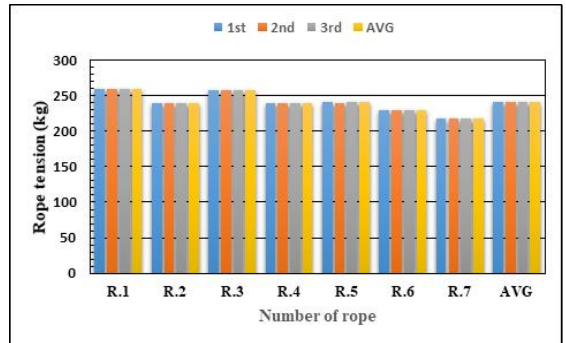


Fig. 8 Graph of rope tension measurement with rope tension automatic equalizer

의 로프장력을 측정된 결과를 타나내고 있고, Fig. 8은 Table 2를 그래프로 나타낸 것이며, 이것은 Fig. 6의 (b)에서 나타낸 것과 같이 실험장치와 같이 실험을 실시하였다. 특성실험에 사용된 엘리베이터는 Fig. 6의 (b)와 같은 15인승이나 로프장력 자동조절기를 부착하였으므로 1683kg이었다. 그러므로 엘리베이터 사용된 로프가 7개이므로 1개의 로프에 작용되는 질량은 240.5kg이다. 로프 1~7번에 가해지는 질량은 Table 2에 나타낸 것과 같고, 이것들을 합한 총 질량은 1683±1kg, 로프장력 평균(AG: average)은 240±1kg, 각 로프장력 간의 편차(MD: maximum deviation)는 42±1kg, 최대 오차는 11.7%이었다. 로프장력 조절기를 설치한 경우는 로프장력 편차를 71kg을 줄일 수 있었고, 오차는 15.4%을 줄일 수 있었다. 그러므로 엘리베이터 동작시, 장력이 가장 큰 로프와 도로래의 흡과의 마찰을 줄일 수 있어 철심의 끊어짐, 소음, 진동, 미끄럼 등이 적게 될 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 엘리베이터의 7개 로프의 장력을 자동조절하는 로프장력 자동조절기를 설계 및 제작하였다. 모델링한 로프장력 자동조절기의 몸체 작은 직경과 큰 직경이 연결되는 턱의 두께를 구조해석을 통해 15mm로 결정하였고, 이것의 최대 초침이 $3\mu\text{m}$ 이하, 안전율이 9배 이상이었다. 제작한 로프장력 자동조절기를 엘리베이터에 장착하여 특성실험한 결과, 로프장력 자동조절기가 부착되지 않았을 때보다 로프장력 편차를 71kg 이상 줄일 수 있었으므로 엘리베이터 동작시 발생하는 로프와 도로래의 홈 마찰, 철심 가닥의 절단, 소음, 진동, 미끄럼 등을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Nagel, H. D., BRAKE REGULATING APPARATUS FOR AN ELEVATOR CAR, Unated States Patent, No. 5,648,644, 1997.
2. Tyni, T. and Ylinen J., Evolutionary bi-objective optimisation in the elevator car routing problem, European Journal of Operational Research, Vol. 169, No. 3, pp. 960-977, 2006.
3. Inaba, H., Shigeta, M., Ando, T., Nokita, A. and Konya, M., "Attitude control system of a super-high speed elevator car based on magnetic guides," Proceedings of IECON'94 - 20th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 1994,
4. Yos, G. R. and Rothenfluh, T. R., Configuring elevator systems, International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 44, No. 3-4, pp. 521-568, 1996.
5. Tominaga, S., Suga, I. Araki, H., Ikejima, H., Kusuma, M. and Kobayashi, K., "Development of energy-saving elevator using regenerated power storage system," Proceedings of the Power Conversion Conference-Osaka 2002 (Cat. No.02TH8579), 2002.
6. Lee, Y. T., Kim, T. S., Cho, H. S., Sung, D. K. and Choi, B. D., "Performance analysis of an elevator system during up-peak, Mathematical and Computer Modelling," Vol. 49, No. 3-4, pp. 423-431, 2009.
7. Ryu, H. M., Kim, S. J., Sul, S. K., Kwon, T. S., Kim, K. S., Shim, Y. S. and Kim, K. R., "Dynamic load simulator for high-speed elevator system," Proceedings of the Power Conversion Conference-Osaka 2002 (Cat. No.02TH8579), 2002.
8. Lee, Y. M., Kang, J. K. and Sul, S. K., "Acceleration feedback control strategy for improving riding quality of elevator system," Conference Record of the 1999 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Forth IAS Annual Meeting (Cat. No.99CH36370), 1999.