

차량 후드 작동용 프레임의 설계해석 및 실험식 유도

Design Analysis and Derivation of Experimental Equations of Hood Frame for Vehicle

손인수[†]·안성진*·엄현수*·손중호*·송요선**

In-Soo Son, Sung-Jin Ahn, Hyeon-Soo Eom, Jung-Ho Son and Yo-Sun Song

(Received January 20, 2016 ; Revised May 4, 2016 ; Accepted May 4, 2016)

Key Words : Hood Frame of Vehicle(차량용 후드 프레임), Operating Force(작동력), Reaction Force(반력), Experimental Equation(실험식)

ABSTRACT

This paper presents the experimental result and theoretical analysis result to investigate the correlation between the operating force and locking torque for vehicle hood frame. Also, we derived the experimental equations that using the results of experiment and theory. The hood frame is switching-devices used for opening and closing the vehicle hood. It needs the correlation data between locking torques of each joint and operating force of hood frame because the parameters affects the emotional quality of the vehicle. The correlation data for torque and force of hood frame obtained through experiment and theory analysis. Finally, two experimental equations of correlation are derived. Thus, the developed equations show that has high usefulness for the basic design of hood frame of vehicle.

1. 서론

최근 자동차 산업의 핵심 문제는 차량의 성능 및 감성품질의 향상을 목적으로 하며, 특히 차량의 정숙을 위한 자동차의 BSR(buzz, squeak, rattle) 개선에 관한 연구가 활발히 진행되어지고 있다^(1,2). 자동차 후드 작동용 프레임은 자동차의 후드를 개폐하기 위한 장치로 차량의 감성품질에 영향을 미치는 부품이라 할 수 있다. 후드 프레임 힌지의 종류에는 힌지의 회전 중심이 고정되어 있는 원 포인트 힌지와 힌지가 링크로 연결되어 있는 링크식 힌지가 있다⁽³⁾. 후드가 비교적 큰 승용차에는 일반적으로 링크식 후

드 프레임이 사용되는 경우가 많으며, 차량 후드의 경우 후드를 열 때 필요한 작동력에 대한 규제치를 주어 품질검사를 수행한다. 링크식 후드 프레임의 기구학적 해석에 대한 연구⁽⁴⁾와 기계 구조물의 특성 평가를 통하여 얻은 실험 데이터를 이용하여 실험식을 개발하는 연구도 꾸준히 발표되어지고 있다^(5,6). 일반적으로 차량 후드 작동용 프레임의 각 링크 간 힌지의 구속력(체결토크) 변화에 따라서 후드를 열고 닫는 감도가 달라진다는 것은 당연한 사항이며, 후드 프레임의 힌지 체결토크와 요구되는 작동력(operating force)과의 상관관계에 대한 정확한 데이터가 필요한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 설계해석을 통하여 작동력

[†] Corresponding Author; Member, Mechanical Engineering, Dong-eui University
E-mail: isson92@deu.ac.kr

* Pyeong Hwa Automotive Co., Ltd.

** Computer Aided Machinery, Korea Polytechnics Gumi Campus

‡ Recommended by Gi-Woo Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

및 링크 사이의 상관관계를 분석하고 가장 영향이 큰 설계인자를 파악한다. 또한 실험을 통하여 얻은 데이터와 이론 설계식에서 구한 각각의 후드 프레임 힌지 힘(반력)과의 상관관계를 분석하여 실험식을 유도하고자 한다. 즉, 요구되어지는 작동력에 대하여 각 힌지의 체결토크를 예측할 수 있는 실험식을 유도하는 것을 이 연구의 최종 목적으로 한다.

2. 이론해석 및 실험

2.1 이론해석

Figs. 1, 2는 차량 후드 프레임의 실제 모습과 해석에 사용한 후드 힌지 프레임의 수학적 모델링을 나타낸 것이다. 여기서 입력 각은 θ 로 두고 다른 링크의 각도는 입력각의 변화에 따라 자동적으로 결정되어 지도록 하였다. 해석에 있어서 기구학적 계산에 의하여 입력 각 θ 의 최솟값은 54.98° (약 0.96 rad)이며, 최댓값은 172.67° (약 3.01 rad)이다. 해석을



Fig. 1 Hood frame of vehicle

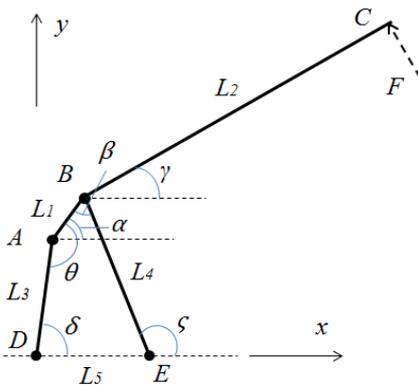


Fig. 2 Modeling of hood frame

위한 프레임의 기준 치수는 현재 생산하고 있는 후드 프레임의 치수를 그대로 적용하였으며 그 값은 각각 다음과 같다.

$$L_1 = 0.033 \text{ m}, L_2 = 0.215 \text{ m}, L_3 = 0.070 \text{ m},$$

$$L_4 = 0.102 \text{ m}, L_5 = 0.068 \text{ m}$$

또한 Fig. 2의 작동력 F 는 연구 대상 후드 프레임의 장착 차량의 규제치인 23 N 을 기준으로 해석을 수행하였다. 먼저, 링크의 A, B 부분 반력을 구하기 위하여 프레임 ABC를 고려하여 힘 및 모멘트 관계식을 유도하면 다음과 같다.

$$\Sigma F_x = 0; A_x + B_x - F \sin(\gamma) = 0 \tag{1}$$

$$\Sigma F_y = 0; A_y + B_y + F \cos(\gamma) = 0$$

$$\Sigma M_A = 0; -B_x L_1 \sin(\alpha) + B_y L_1 \cos(\alpha)$$

$$+ F \cos(\gamma) [L_1 \cos(\alpha) + L_2 \cos(\gamma)]$$

$$+ F \sin(\gamma) [L_1 \sin(\alpha) + L_2 \sin(\gamma)] = 0 \tag{2}$$

$$\Sigma M_B = 0; A_x L_1 \sin(\alpha)$$

$$- A_y L_1 \cos(\alpha) + F L_2 = 0 \tag{3}$$

같은 방법으로 힌지 D, E 부분의 반력을 구하기 위하여 평형 방정식을 유도하면 다음과 같다.

$$\Sigma F_x = 0; D_x + E_x - F \sin(\gamma) = 0 \tag{4}$$

$$\Sigma F_y = 0; D_y + E_y + F \cos(\gamma) = 0$$

$$\Sigma M_D = 0; E_y L_5 + F \sin(\gamma) [L_1 \sin(\alpha)$$

$$+ L_2 \sin(\gamma) + L_3 \sin(\delta)] + F \cos(\gamma)$$

$$\times [L_1 \cos(\alpha) + L_2 \cos(\gamma) + L_3 \cos(\delta)] = 0 \tag{5}$$

$$\Sigma M_E = 0; -D_y L_5$$

$$+ F \sin(\gamma) [L_4 \sin(\zeta) + L_2 \sin(\gamma)]$$

$$+ F \cos(\gamma) [L_4 \cos(\zeta) + L_2 \cos(\gamma)] = 0 \tag{6}$$

2.2 실험

후드 프레임의 작동력과 힌지의 체결토크의 영향을 파악하기 위하여 실험을 수행하였다. Fig. 3은 실

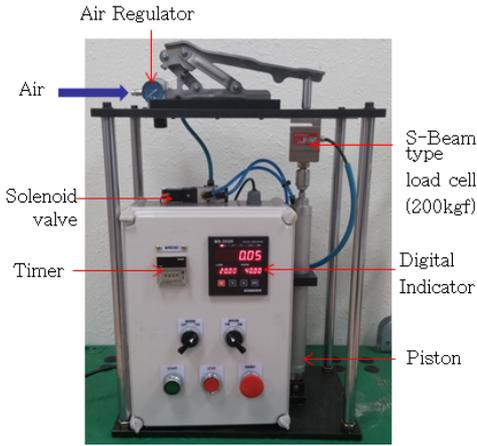


Fig. 3 Experiment setup

힘장치를 나타낸 것으로, 각 링크를 연결하는 힌지 나사를 토크 렌치를 이용하여 체결하고, 체결된 링크를 로드 셀을 이용하여 작동력을 측정하였다. 실험에서 각 볼트는 동일한 토크로 체결하였으며, 토크 렌치를 이용한 체결 토크는 일정간격으로 증가시키면서 작동력을 측정하여 결과를 도출하였다. 실험에서 후드 프레임의 입력 각도는 0.96 rad으로 고정한 후에 작동력을 증가시켜 프레임이 움직이기 시작하는 시점의 작동력을 측정하였다. 이 실험 결과는 이후에 이론해석 결과와의 비교를 통하여 실험식을 도출하기 위한 기초 데이터로 활용되어 진다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이론해석 결과

이론해석에서 사용한 모든 작동력은 기준 작동력인 23 N을 사용하였으며, 입력 각 θ 를 0.96 rad으로 고정한 후 전체 해석을 수행하였다. 그 이유는 이 연구의 목적이 후드 프레임의 초기 작동력에 중점을 두었기 때문이다.

Table 1은 실험에서와 같이 입력 각 θ 를 0.96 rad으로 고정한 후 해석한 각 조인트의 반력을 나타낸 것이다. 링크 2(조인트 B) 부분이 민감도가 가장 크게 나타났으며, 전체 힘의 약 40.5 % 정도의 반력이 작용하는 것으로 나타난다.

Fig. 4는 입력각이 0.96 rad로 일정한 경우 작동력 변화에 따른 각 조인트의 반력 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 작동력이 증가하면 모든 반력의

Table 1 Results of theory analysis for hood frame ($\theta = 0.96 \text{ rad}$)

Joint	Dir.	Reaction force(N)	Sum.(N)	Ratio(%)
A	x	0	152.65	35.3
	y	152.7		
B	x	-3.93	175.35	40.5
	y	-175.3		
D	x	-1.96	40.95	9.5
	y	40.9		
E	x	-1.96	63.60	14.7
	y	-63.6		
Total			432.55	100

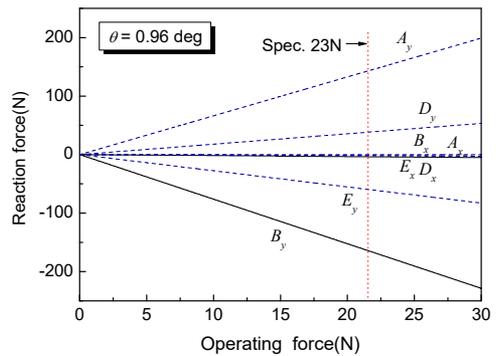
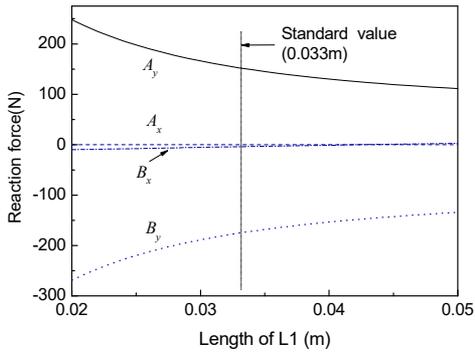


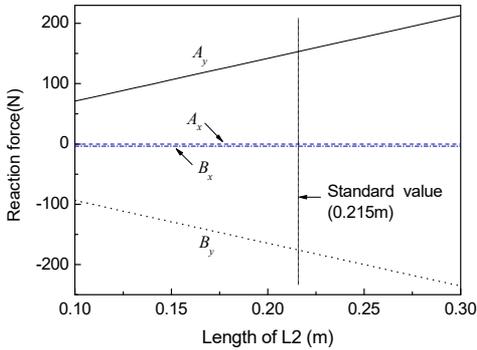
Fig. 4 Effect of operating force on reaction force of hood frame

절댓값은 선형적으로 증가하는 경향을 보인다. 앞에서 살펴본 바와 같이 B부분 조인트의 영향이 가장 크며 A부분의 x방향 힘은 항상 0의 값을 나타낸다.

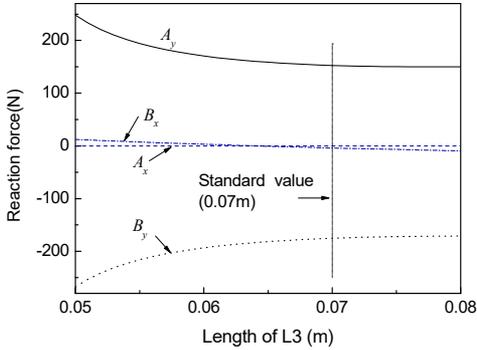
Fig. 5는 조인트의 반력에 미치는 각 링크의 영향을 도시한 것으로 비교적 반력의 영향이 크게 나타나는 조인트 A, B반력을 집중적으로 고찰하였다. 링크의 길이 선정은 현재 생산되어지는 길이를 기준으로 하였다. Fig. 5(b)의 링크 2의 길이 변화에 따른 각 조인트의 반력 변화는 링크의 길이가 길어질수록 각 방향의 반력은 최대 39%정도 증가하며, Fig. 5(c)의 링크 3의 경우는 링크 2와는 반대의 경향을 보인다. 즉, 길이가 증가할수록 모든 조인트의 반력은 감소하는 경향을 가지며 그 변화율은 약 7% 이하임을 알 수 있다. Fig. 5(d)는 프레임을 구성하는 링크 4와 조인트 DE사이의 거리 변화에 대한 반력의 변화를 나타낸 것이다. 링크 4의 길이를 변화한 경우 전반적으로 반력에 큰 영향을 주지 않으며 특히



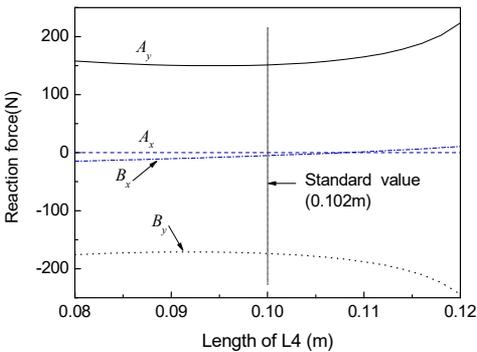
(a) Effect of link 1



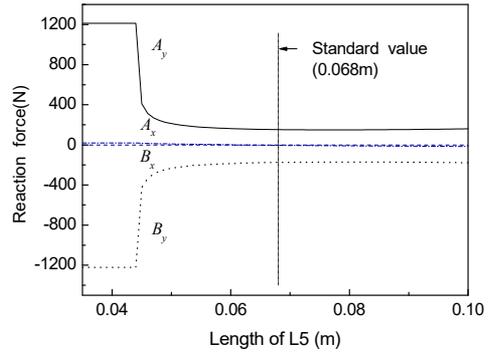
(b) Effect of link 2



(c) Effect of link 3



(d) Effect of link 4



(e) Effect of L5

Fig. 5 Results of theoretical analysis

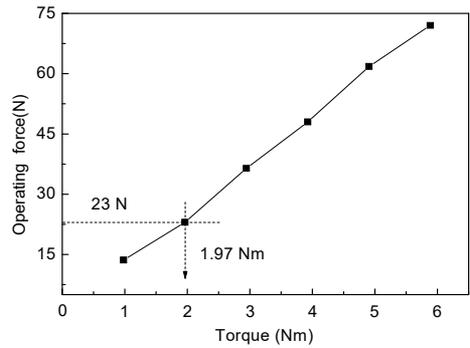


Fig. 6 Experimental results of hood frame

조인트 A, B의 x 방향 힘에는 거의 영향을 주지 않고 있다는 것을 알 수 있다. Fig. 5(e)는 조인트 D와 E 사이의 거리 변화에 따른 각 조인트의 반력을 나타낸 것이다. 조인트 A와 B 반력의 경우 약 0.45 m 전후는 약 3배 이상의 힘 차이를 보이고 있으며 그 이후는 거의 일정한 값을 가진다는 것을 알 수 있다. 이상의 결과에서 볼 수 있는 것처럼 차량 후드 프레임에서 조인트 D, E 사이의 거리변화가 조인트 반력에 가장 큰 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

3.2 실험결과

Fig. 6은 4개의 조인트에 동일한 체결토크를 적용한 후 프레임의 작동력을 시험한 결과를 도시한 것이다. 전반적으로 작동력과 볼트 체결토크는 선형적인 비례 성향을 나타내었으며, 요구 규정 사양인 23 N에 대하여 약 1.97 Nm 전후의 체결 토크가 가장 적절한 것으로 판단된다.

Table 2는 각 조인트의 토크 변화에 따라 시험한

Table 2 Operating force by experiment

Torque (Nm)	Operating force(N)					
	1	2	3	4	5	Ave.
1	13.9	14.4	14.0	13.7	13.9	13.98
1.5	20.1	20.2	19.9	18.9	20.1	19.84
2	24.0	25.4	24.8	24.1	24.5	24.56
2.5	29.3	29.6	28.7	27.1	29.7	28.88
3	35.0	34.1	33.4	30.7	33.8	33.40

5번의 결과와 평균값을 나타낸 것으로 조금의 오차가 발생하지만 거의 일정한 실험값을 얻었다.

4. 실험식 유도 및 검증

4.1 실험식 유도

실험식을 유도하는 목적은 차종에 따라 요구되어지는 작동력 사양이 변하기 때문에 요구하는 작동력에 대하여 볼트의 체결토크를 예측하기 위한 것이다. Fig. 7에서와 같이 실험 결과 값으로만 간단히 다음과 같은 실험식을 유도할 수 있다.

$$T = 0.082F - 0.030 \text{ (N)} \tag{7}$$

여기서 F 는 작동력을 의미한다. 식 (7)은 실험식 유도 목적인 작동력에 대한 볼트의 체결토크를 예측할 수는 있다. 하지만, 이 실험식은 이론식과의 연계성을 갖지 않으며, 각각의 조인트에 대한 체결 토크를 구할 수 없다는 단점을 가진다. 따라서 이론에서 각 파라미터의 변화에 의하여 결정되어지는 반력을 이용하여 보다 명확한 실험식을 유도하고자 한다. 즉, 설계 파라미터(링크 길이) 변화에 대한 반력을 입력 변수로 사용하여 각 조인트의 체결토크를 예측하고자 한다. 이 과정에서 가장 문제가 되는 것은 이론에서 구한 반력은 평면력이며 체결토크는 그 평면에 수직한 힘으로 이 두 힘의 상관관계를 규정할 수 있는 식을 도입하는 것이다. 이 연구에서는 반력과 수직력을 마찰계수와 마찰력의 개념을 이용하여 관계식을 제안하고 적용하였다. 먼저, 실험에서 적용한 볼트 체결토크를 이용하여 수직 체결(축)하중을 다음 식 (8)을 이용하여 구하였다⁷⁾.

$$T = \frac{Ql}{2} \tan(\rho + \lambda) \tag{8}$$

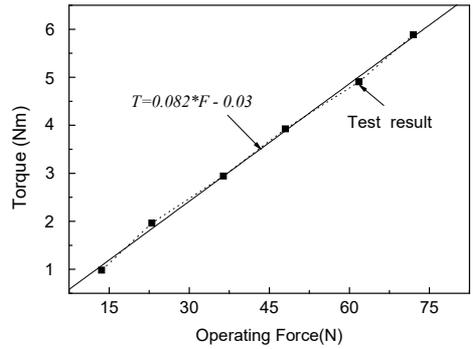


Fig. 7 Derivation of experimental equation using experimental results

여기서 T 는 체결토크, Q 는 조임 축하중, λ 는 나선각(helix angle), d 는 나사 직경 그리고 ρ 는 마찰각을 나타낸다. 이 연구에서는 직경 d 를 8 mm로 적용하였다. 식 (8)을 이용하여 축하중 Q 를 계산한 후 이를 다음 식과 같이 마찰력 개념을 고려하여 가정한 식 (9)에 대입하여 각 조인트에 걸리는 평면력(반력)을 계산하도록 한다.

$$f_i = m_i \mu_f Q_i \tag{9}$$

여기서 아래첨자 i 는 각 조인트 부분을 나타내며, 이론에서 구한 반력과 실험 결과의 관계를 매칭하기 위하여 매개함수로 m_i 를 도입하여 그 값을 결정할 후 실험식을 완성하도록 한다. 마찰계수 개념인 계수 μ_f 는 모든 실험값과 이론값에 대입하여 구한 값의 평균값(동일한 값)으로 결정하였으며, 매개함수 m_i 는 각 조인트에 대한 이론 및 실험값을 식 (9)에 대입한 후 1차 함수로 식을 결정하였다. 각 조인트에 대한 m_i 의 함수는 Table 3에 나타내었다. 주어진 작동력에 대하여 구하고자 하는 각 조인트에 대한 체결토크의 최종 실험식은 식 (9)를 식 (8)에 대입하여 구할 수 있으며 다음과 같다.

$$T_i = \frac{1}{2} \frac{f_i d}{m_i \mu_f} \tan(\rho + \lambda) \tag{10}$$

Fig. 8은 두 개의 실험식에 대한 간략한 설명을 나타낸 것이다. 첫 번째 실험식(점선)은 동종 프레임에 대하여 작동력 사양만 바뀔 때 조인트 체결토크를 예측할 수 있으며, 두 번째 실험식(실선)은 프레임의 설계 변수(프레임 링크의 길이)가 변하더라도

Table 3 Parameter function of experimental equation

Joint(<i>i</i>)	Parameter functions($\mu_f = 0.076$)
A	$m_A = -0.0021f_A + 1.4675$
B	$m_B = -0.0021f_B + 1.684$
D	$m_D = -0.0021f_D + 0.3938$
E	$m_E = -0.0021f_E + 0.6109$

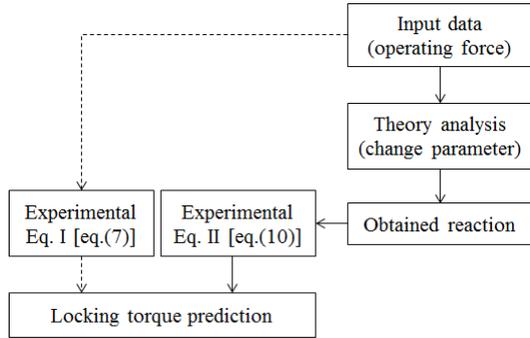


Fig. 8 Process of experimental equations

Table 4 Reaction force by theory analysis

Torque (Nm)	Reaction force(N)			
	f_A	f_B	f_D	f_E
1	92.78	106.58	24.89	38.66
1.5	131.68	151.26	35.33	54.86
2	163.00	187.25	43.73	67.91
2.5	191.67	220.18	51.42	79.86
3	221.67	254.64	59.47	92.35

Table 5 Locking torque prediction and error

Joint		Torque(Nm)				
		1	1.5	2	2.5	3
A	Results	0.998	1.513	1.983	2.463	3.028
	Error(%)	0.2	0.9	0.9	1.5	0.9
B	Results	0.999	1.515	1.985	2.467	3.032
	Error(%)	0.1	1.0	0.8	1.3	1.1
D	Results	0.997	1.513	1.982	2.462	3.026
	Error(%)	0.3	0.9	0.9	1.5	0.9
E	Results	0.999	5.515	1.985	2.466	3.031
	Error(%)	0.1	1.0	0.8	1.4	1.0

이론식을 이용하여 체결토크를 구할 수 있는 실험식이다.

4.2 실험식의 검증

Table 4는 앞에서 구한 실험식 (10)의 검증을 위하여 Table 2의 실험 데이터를 이론해석에 대입하여 얻은 각 조인트의 반력을 나타낸 것이다. Table 4의 해석결과를 식 (10)에 대입하여 얻은 체결토크 예측값을 Table 5에 나타내었다. 여기서 error는 실험에서 구한 체결토크와 실험식에 의해 얻은 토크와의 절대오차를 의미한다. 모든 조인트에 대하여 거의 오차가 발생하지 않으며 따라서 식 (10)의 실험식은 매우 유용하다는 것을 판단할 수 있다.

예를 들어, 동일한 작동력 23 N에 대하여 링크 1의 길이 L_1 이 0.025 m로 줄어드는 경우 식 (10)을 이용하면 각 조인트의 체결 토크는 각각 $T_A = 2.57$ Nm, $T_B = 2.46$ Nm, $T_D = 1.74$ Nm, 그리고 $T_E = 1.73$ Nm로 구할 수 있다. 만약 동일한 체결토크가 필요하다면 최대 토크 값으로 선정하면 될 것이다.

5. 결 론

이 연구에서는 차량용 후드 프레임의 설계해석을 수행하였으며, 후드 프레임의 작동력에 대한 조인트의 체결 토크 예측 실험식을 유도하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 후드 프레임에서 조인트 DE 사이의 거리변화가 반력에 가장 큰 영향을 미치고 있으며, 두 지지점 DE의 거리가 매우 짧을 경우 각 조인트에 적용되는 힘이 매우 크게 작용한다는 것을 알 수 있다.

(2) 실험결과 전반적으로 작동력과 체결토크는 선형적인 비례 성향을 나타내고 있으며, 요구 규정 사양인 23 N에 대하여 약 1.97 Nm 전후의 체결 토크가 가장 적절한 것으로 판단된다.

(3) 이론해석과 실험결과를 바탕으로 두 개의 실험식을 유도하였으며, 첫 번째 실험식은 작동력의 요구사양에 대한 동일한 체결토크를 예측할 수 있는 실험식이며, 두 번째 실험식은 이론해석 결과와 연계성을 가지고 설계변수가 변할 때 각 조인트의 체결토크를 각각 구할 수 있는 식이다.

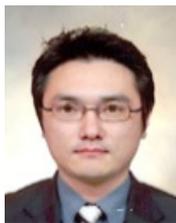
(4) 유도되어진 실험식은 검증을 통하여 프레임의 볼트 체결토크를 예측하는데 매우 유효성이 있음을 확인하였다.

향후 추가 연구를 통하여 후드 프레임의 입력각

변화에 따른 체결토크의 영향 분석 및 실험식의 개발이 필요하다고 판단된다.

References

- (1) Shin, S. H., Cheong, C. and Jung, S. S., 2007, Experimental Evaluation of Buzz, Squeak and Rattle Noise of Vehicle Doors and Its Prevention, Transactions of Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 12, pp. 1217~1222.
- (2) Ahn, S. J. et al., 2013, Study on Property of NVH of Vehicle Doors Latch Part, Proceedings of the KSMPE Autumn Conference, p. 113.
- (3) Shin, W. H. et al., 2012, Automobile Dictionary, Illjinsa.
- (4) Son, I. S., Ahn, S. J., Eom, H. S., Hur, K. D., Lee, S. P. and Lee, J. K., 2015, Design Analysis of 4-link Hood Frame for Vehicle, Proceedings of the KSME Fall Annual Meeting.
- (5) Kim, K. S., Hwang, J., Lee, D. W., Lee, S. M. and Lee, S. J., 2015, Study on the Frictional Torque in the Angular Contact Ball Bearing for Machine Tool Spindle by Empirical Formula, Journal of KSPE, Vol. 32, No. 2, pp. 149~157.
- (6) Shin, Y. W. and Lee, S. K., 2011, Development an Empirical Formula for the Friction Coefficient of a Circular Friction Damper, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 6, pp. 491~498.
- (7) Hong, S. I., 2007, Machine Design, Munundang, Chapter 6.



Sung-Jin Ahn received the B.S. degree, M.S. degree and the Ph.D. degree from Dong-eui University, Korea in 2002, 2005 and 2009, respectively. His research interests are study on a detection of cracks and damages for beams using vibration characteristics.



Hyeon-Soo Eom received the B.S. degree, M.S. degree from Kei-myung University, Korea in 2006 and 2008, respectively. His research interests are the effect of fuel dilution and flame curvature on the laminar lifted flame.



Jung-Ho Son received the B.S. degree from Yeung-jin College, Korea in 2016. He works at Pyeong-hwa Automotive R&D Center. His research interests are technology development of automotive moving system for power open and close using electronic control system.



Yo-Sun Song received the B.S. degree, M.S. degree and the Ph.D. degree from Dong-eui University, Korea in 1990, 1997 and 2004, respectively. His research interests are dynamic behavior of mechanical systems and automobile.



In-Soo Son received the B.S. degree, M.S. degree and the Ph.D. degree from Dong-eui University, Korea in 1999, 2001 and 2005, respectively. His research interests are dynamic behavior and stability analysis of mechanical systems, and identifying damages in beam-structures.