

# 작동각을 고려한 차량 후드 프레임의 실험식 개발

## Development of Experimental Equation of Hood Frame for Vehicle Considering Operating Angle

송요선\* · 허관도\*\* · 손인수\*\*\*†

Yo-Sun Song\*, Kwan-Do Hur\*\* and In-Soo Son\*\*\*†

(Received 16 April 2016, Revision received 7 June 2016, Accepted 7 June 2016)

**Abstract:** This paper presents the experimental result and theoretical analysis result to investigate the correlation between the operating force, angle and locking torque for vehicle hood frame. Also, we derived the experimental equation that using the results for 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, operating force and angle of hood frame. The correlation data for torque and reaction force of hood frame obtained through experiment and theory analysis. Finally, the experimental equation of the locking torque prediction for the hood frame is derived.

**Key Words :** Experimental Equation, Hood Frame of Vehicle, Locking Torque, Reaction Force, Operating Angle, Operating Force

### 1. 서 론

최근 자동차 산업의 주요 관심사는 차량의 성능 및 감성품질의 향상에 목적을 두고 있으며, 특히 차량의 정숙을 위한 자동차의 BSR(buzz, squeak, rattle) 개선에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup> 자동차 후드 작동용 프레임은 자동차의 후드를 개폐하기 위한 장치로 차량의 감성품질에 영향을 미치는 부품이라 할 수 있다. 차량 후드 및 후드 프레임에 대한 연구는 주행 중 후드 떨림의 문제 원인 파악 및 방지를 위한 연구<sup>3)</sup>와

차량 후드 보강재의 위상 최적화를 통한 차량의 감성품질 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>4)</sup> 또한 차량 후드 프레임 링크의 안정성 판단 및 기구학적 해석에 대한 연구도 진행되어지고 있으며, 기계 구조물의 특성평가를 통하여 얻은 실험 데이터를 이용하여 실험식을 유도하는 연구도 꾸준히 발표되고 있다.<sup>5-7)</sup>

이 연구에서는 차량 후드 프레임의 힌지에 대한 이론 해석을 수행하여 각 링크 힌지의 리벳팅 부분의 힘과 프레임을 작동하는 작동력 및 프레임의 각도 사이의 상관관계를 해석하고자 한다.

\*\*\* 손인수(교신저자) : 동의대학교 기계공학과

E-mail : issun92@deu.ac.kr, Tel : 051-890-2239

\*송요선 : 한국폴리텍대학 구미캠퍼스 컴퓨터응용기계과

\*\*허관도 : 동의대학교 기계공학과

\*\*\* In-Soo Son(corresponding author) : Department of Mechanical Engineering, Dong-eui University.

E-mail : issun92@deu.ac.kr, Tel : 051-890-2239

\*Yo-Sun Song : Computer Aided Machinery, Korea Polytechnics Gumi Campus.

\*\*Kwan-Do Hur : Department of Mechanical Engineering, Dong-eui University.

일반적으로 후드 작동용 프레임의 각 링크 간 힌지의 구속력(조임 힘) 변화에 따라 후드를 닫는 감도가 달라진다는 것은 당연한 일이며, 생산되는 후드 프레임의 힌지 체결토크와 작동력에 대한 정확한 관계정립이 필요한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 이론 설계식에서 구한 각각의 후드 프레임 힌지 힘(반력)과 실험으로 얻은 데이터와의 상관관계를 분석하여 실험식을 유도하고자 한다. 즉, 요구되어지는 작동력과 입력각에 대하여 각 힌지의 체결토크를 예측할 수 있는 실험식을 유도하고자 한다.

## 2. 이론해석 및 실험

### 2.1 이론해석

Fig. 1, 2는 차량 후드 프레임의 3D 모델링과 해석에 사용한 수학적 모델링을 나타낸 것이다. 해석에 있어 입력 각은  $\theta$ 로 두고 다른 링크의 각도는 입력각의 변화에 따라 자동적으로 결정되어 지도록 하였으며, Fig. 2에 보인 각들 사이의 상관관계는 다음 식과 같이 결정되어진다.

$$(L_1 + L_4 \cos \beta - L_3 \cos \theta)^2 + (L_4 \sin \beta - L_3 \sin \theta)^2 = L_5^2 \quad (1)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{(L_4 \sin \beta - L_3 \sin \theta)}{L_1 + L_4 \cos \beta - L_3 \cos \theta} \right]$$

$$\gamma = \alpha - 20.822^\circ$$

$$\delta = \pi - \theta + \alpha$$

$$\zeta = \pi - \beta + \alpha$$

기구학적 계산에 의하여 입력 각  $\theta$ 의 범위는  $0.96 \leq \theta \leq 3.01$  rad 이다. 후드 프레임의 기준 치수는 현재 생산하고 있는 제품의 치수를 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 프레임 장착 차량의 규제치인 23N을 기준으로 한다. 먼저, 힌지 D, E 부분의 반력을 구하기 위하여 힘과 모멘트의 평형 방정식을 유도하면 각각 다음과 같다.

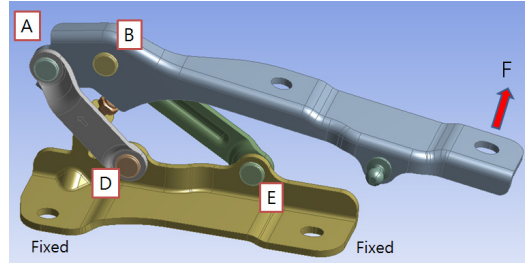


Fig. 1 3D modeling of vehicle hood frame

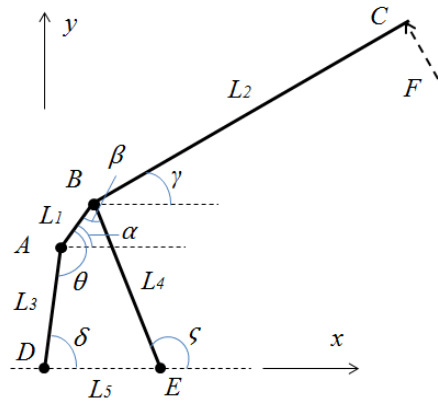


Fig. 2 Modeling of hood frame

$$\Sigma F_x = 0; D_x + E_x - F \sin(\gamma) = 0 \quad (2)$$

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

$$\Sigma M_D = 0; E_y L_5 + F \sin(\gamma) [L_1 \sin(\alpha) \quad (3)$$

$$+ L_2 \sin(\gamma) + L_3 \sin(\delta)] + F \cos(\gamma) [L_1 \cos(\alpha)$$

$$+ L_2 \cos(\gamma) + L_3 \cos(\delta)] = 0$$

$$\Sigma M_E = 0; -D_y L_5 + F \sin(\gamma) [L_4 \sin(\zeta) \quad (4)$$

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

$$+ L_2 \cos(\gamma)) = 0$$

같은 방법으로 링크의 A, B 부분 반력을 구하기 위하여 프레임 ABC를 고려하여 힘 및 모멘트 관계식을 유도하면 각각 다음과 같다.

$$\Sigma F_x = 0; A_x + B_x - F\sin(\gamma) + D_x + E_x = 0 \quad (5)$$

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

$$\Sigma M_A = 0; -B_x L_1 \sin(\alpha) + B_y L_1 \cos(\alpha) \quad (6)$$

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

$$[L_1 \sin(\alpha) + L_2 \sin(\gamma)] - L_3 \cos(\delta) D_y$$

$$+ L_3 \sin(\delta) D_x + E_y [L_5 - L_3 \cos(\delta)]$$

$$+ L_3 \sin(\delta) E_x = 0$$

$$\Sigma M_B = 0; A_x L_1 \sin(\alpha) - A_y L_1 \cos(\alpha) + F L_2 \quad (7)$$

$$+ D_x [L_3 \sin(\delta) + L_1 \sin(\alpha)] + E_x [L_3 \sin(\delta)$$

$$+ L_1 \sin(\alpha)] - D_y [L_3 \cos(\delta) + L_1 \cos(\alpha)]$$

$$+ E_y L_4 \cos(\pi - \zeta) = 0$$

## 2.2 실험

후드 프레임의 작동력과 입력각 그리고 힌지의 체결토크 사이의 관계를 파악하기 위하여 실험을 수행하였다. Fig. 3은 실험장치를 나타낸 것으로, 각 링크를 연결하는 힌지 나사를 토크 렌치를 이용하여 체결하고, 체결된 링크를 로드 셀을 이용하여 작동력과 각  $\theta$ 를 측정하였다. 실험에서는 모든 볼트를 토크 렌치를 이용하여 동일한 토크로 체결하였으며, 체결 토크를 일정간격으로 증가시키면서 작동력과 각도를 측정하여 결과를 도출하였다. 실험에서 후드 프레임의 입력 각도  $\theta$ 는 0.96 rad에서 시작하였으며, 최대 3.01 rad까지 작동하도록 실험장치를 설계하였다. 이 실험 결과는 이후에 이론해석에서의 각 조인트 반력과의 비교를 통하여 실험식을 도출하기 위한 기초 데이터로 활용되어진다.

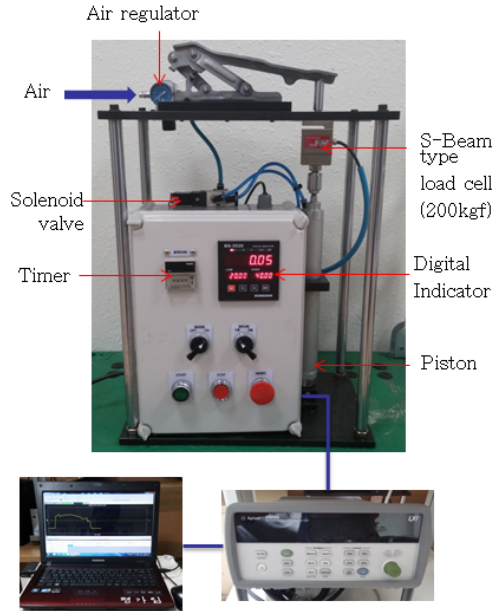


Fig. 3 Experiment setup

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 이론해석 결과

이론해석에서 사용한 모든 작동력은 기준 작동력인 23N을 사용하였다. Fig. 4는 입력각  $\theta$ 의 변화에 의한 프레임의 주요 각도인  $\alpha$ 와  $\zeta$ 의 각도 변화를 도시한 것이다. 입력각  $\theta$ 가 증가할수록 링크 1, 4번이 이루는 각도인  $\alpha$ 는 점점 증가하며, 각도  $\delta$ 와  $\zeta$ 는 반비례적인 경향을 보인다. 이것은 기구학적으로 충분히 예상 가능한 결과이지만, 각 프레임 각도 사이의 연관관계를 쉽게 파악할 수 있도록 수치계산 결과를 도시하였다.

Fig. 5는 기준 작동력인 23N을 적용한 경우 입력각  $\theta$  변화에 따른 각 조인트의 반력을 도시한 것이다. 전반적으로  $x$ 방향의 힘에 비하여  $y$ 방향의 분력이 더 크게 나타났으며, 조인트 A, B에서의 반력은 서로 대칭적인 경향을 보인다. 입력각이 약 2.6 rad에서 최대 반력이 발생한다는 것을 알 수 있으며, 조인트 D, E에서는 입력각이 증가할수록 반력도 거의 선형적으로 증가하는 경향을 보인다. 이후 실험식 유도에서는 선형적 특성을

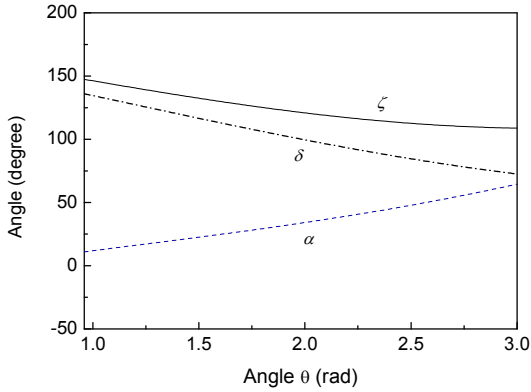
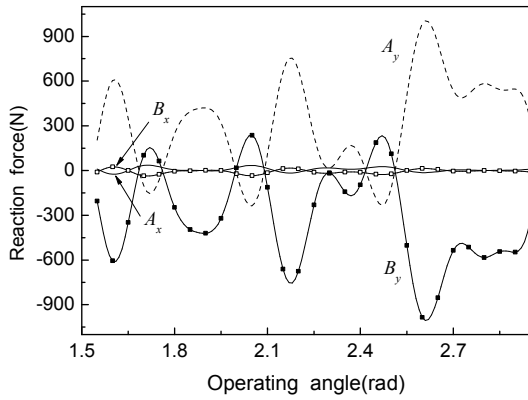
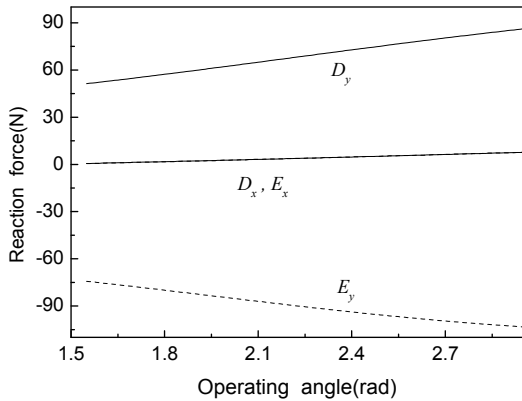


Fig. 4 Link Angle change of hood frame



(a) Joint A, B



(b) Joint D, E

Fig. 5 Reaction force of hood frame( $F=23N$ )

가지는 조인트 D, E에서의 이론값을 활용하고자 한다.

### 3.2 실험 결과

Fig. 6은 4개의 조인트에 동일한 체결토크를 적용한 후 프레임의 작동력과 입력각 사이의 관계를 시험한 결과를 도시한 것이다. 실험은 모두 10 번을 수행하여 그 평균값을 나타내었다. 실험결과 작동력과 체결토크는 서로 비례적인 경향을 나타내었으며, 입력각이 증가하면서 조금씩 증가하다가 입력각이 일정 정도 이상에서는 다시 감소하는 경향을 나타낸다.

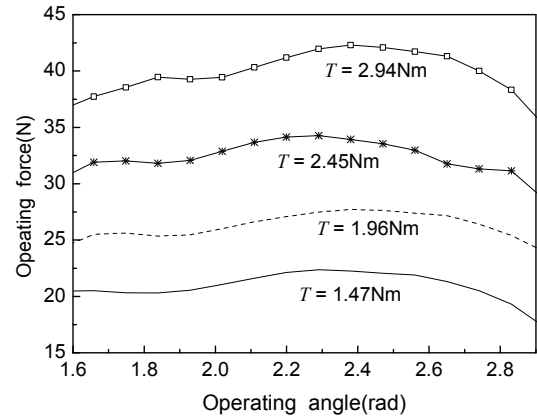


Fig. 6 Experimental results

## 4. 실험식 유도

### 4.1 실험식 유도

실험식을 유도하는 목적은 차량에 따라 요구되어지는 작동력과 각도 사양이 변하기 때문에 요구하는 작동력과 입력각 변화에 대하여 후드 프레임 볼트의 체결토크를 예측하기 위한 것이다. 특히, 실험을 통하여 예측하는 것이 아니라 이론 해석에서 쉽게 구할 수 있는 반력을 이용하여 체결토크를 예측하고자 함이다. 즉, 설계 파라미터(프레임의 각도) 변화에 대한 반력을 입력변수로 사용하여 각 조인트의 체결토크를 실험식으로 예측하고자 한다. 실험식 개발에서 중요한 문제는 이론에서 구한 반력은 평면력이며, 체결토크는 그 평면에 수직인 힘으로 이 두 힘의 상관관계를 규정할 수 있는 식을 도입하는 것이다. 이 연구에서는 반력과 수직력을 마찰계수와 마찰력과의 관계

식을 이용하여 구현하고자 한다. 먼저, 실험에서 적용한 체결토크를 이용하여 수직 체결 (축)하중을 다음 식을 이용하여 구하였다.<sup>8)</sup>

$$T = \frac{Qd}{2} \tan(\rho + \lambda) \quad (8)$$

여기서  $T$ 는 볼트 체결토크,  $Q$ 는 조임 축하중,  $\lambda$ 는 나선각(helix angle),  $d$ 는 볼트 직경 그리고  $\rho$ 는 마찰각을 나타낸다. 식 (8)을 이용하여 축하중  $Q$ 를 계산한 후 이를 다음 식과 같이 마찰력 개념을 고려한 식에 대입하여 각 조인트에 걸리는 평면력을 계산하도록 한다.

$$f_i(\theta) = m_i \mu_f Q_i \quad (9)$$

여기서 아래첨자  $i$ (=D or E)는 각 조인트를 의미하며 실험식 유도를 위한 기준 조인트를 의미한다. 이론 결과와 실험 결과의 관계를 매칭하기 위하여 매개함수로  $m_i$ 를 도입하여 그 값을 결정한 후 실험식을 완성하도록 한다.

마찰계수 개념인  $\mu_f$ 는 모든 실험값과 이론값에 대입하여 구한 값의 평균값(동일한 값)으로 결정하였으며, 조인트 D를 기준으로 한 경우 그 값은 0.042이며, 조인트 E를 기준했을 때는 0.055의 값으로 계산된다. 매개함수  $m_i$ 는 각 조인트에 대한 이론 및 실험값을 식 (9)에 대입한 후 3차 다항식 함수로 식을 결정하였다. 각 조인트(D, E)에 대한  $m_i$ 의 함수를 구하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Parameter function of experimental equation

Joint	functions
D	$m_D = b_3 f_D^3 + c_3 f_D^2 + d_3 f_D + 0.99$ $b_3 = 2.17 \times 10^{-8}, c_3 = -5.68 \times 10^{-6},$ $d_3 = +4.39 \times 10^{-4}$
E	$m_E = b_4 f_E^3 + c_4 f_E^2 + d_4 f_E + 1.01$ $b_4 = -1.05 \times 10^{-8}, c_4 = 3.05 \times 10^{-6},$ $d_4 = -2.60 \times 10^{-4}$

Table 1에서  $f_D, f_E$ 는 D, E 조인트에서의 반력을 의미한다. 주어진 작동력과 입력각에 대하여 구하고자 하는 조인트에 대한 체결토크의 최종 실험 식은 식 (9)에서 구한 하중  $Q$ 를 식 (8)에 대입하여 구할 수 있으며 그 값은 다음과 같다.

$$f_i(\theta) = f_i - p_i(\theta), \quad (10)$$

$$T_i = \frac{1}{2} \frac{[f_i - p_i(\theta)]d}{m_i \mu_f} \tan(\rho + \lambda)$$

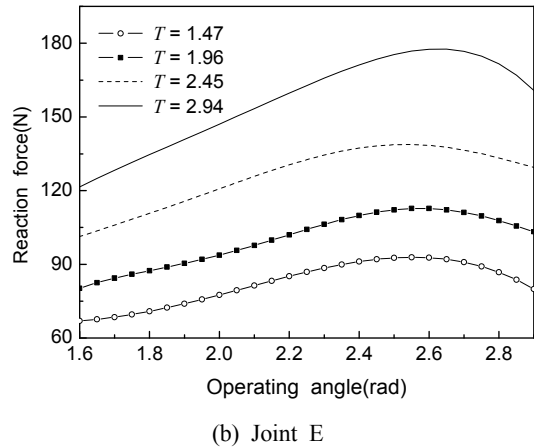
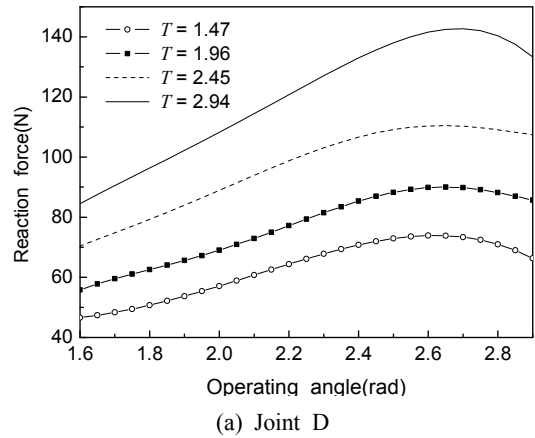


Fig. 7 Effect of input angle and torque on reaction force of hood frame

여기서 평면력에 도입된  $p_i(\theta)$ 는 보상함수이며 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

Table 2 Results of torque prediction for joint D

angle(rad)		1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
T=1.47	value	1.61	1.61	1.59	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.50	1.48
	error(%)	9.3	9.2	7.9	6.8	5.8	5.1	4.6	4.1	3.7	3.0	2.0	0.5
T=1.96	value	1.93	1.92	1.90	1.88	1.86	1.87	1.87	1.89	1.89	1.89	1.88	1.87
	error(%)	1.6	2.1	3.2	4.3	4.9	4.8	4.4	3.8	3.4	3.5	3.9	4.4
T=2.45	value	2.34	2.36	2.37	2.39	2.40	2.40	2.41	2.41	2.40	2.38	2.36	2.36
	error(%)	4.6	3.7	3.1	2.6	2.2	1.9	1.7	1.8	2.2	2.9	3.6	3.8
T=2.94	value	2.76	2.81	2.85	2.89	2.92	2.96	3.01	3.06	3.10	3.13	3.14	3.09
	error(%)	6.2	4.4	3.0	1.9	0.7	0.7	2.3	3.9	5.5	6.6	6.6	5.1

Table 3 Results of torque prediction for joint E

angle(rad)		1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
T=1.47	value	1.61	1.61	1.60	1.58	1.56	1.55	1.53	1.52	1.51	1.50	1.48	1.45
	error(%)	9.4	9.3	9.1	7.6	6.3	5.2	4.3	3.5	2.7	1.8	0.4	1.7
T=1.96	value	1.93	1.92	1.90	1.88	1.86	1.86	1.87	1.88	1.89	1.89	1.88	1.87
	error(%)	1.6	2.0	3.1	4.2	4.9	4.9	4.5	3.9	3.4	3.4	3.9	4.5
T=2.45	value	2.31	2.34	2.36	2.37	2.39	2.40	2.41	2.41	2.41	2.40	2.39	2.39
	error(%)	5.8	4.6	3.9	3.2	2.6	2.0	1.6	1.4	1.6	1.9	2.3	2.4
T=2.94	value	2.70	2.76	2.81	2.85	2.90	2.95	3.01	3.07	3.13	3.17	3.19	3.16
	error(%)	8.2	6.1	4.4	2.9	1.4	0.3	2.2	4.3	6.3	7.9	8.6	7.6

$$p_D(\theta) = -38.27\theta^3 + 235.69\theta^2 - 439.48\theta + 235.62$$

$$p_E(\theta) = -46.14\theta^3 + 279.06\theta^2 - 517.23\theta + 282.31 \quad (11)$$

식 (11)의 보상함수는 입력각 변화에 대한 작동력 변화를 보상해 주기 위한 함수로 매개함수  $m_i$ 를 구하는 과정에서 입력각에 대하여 변하는 작동력의 값들에 대한 평균값으로 구했기 때문에 필요한 함수이다. 즉, 작동력의 변화에 관계없이 실험식을 사용할 수 있도록 하기 위하여 도입한 보상함수라 할 수 있다.

#### 4.2 실험식 검증

Fig. 7은 앞 절에서 구한 실험식 (10)의 검증을 위하여 이론해석을 통하여 얻은 조인트 D, E의 반력을 입력각 변화에 따라 도시한 것이다. Fig. 7의 반력에 대한 데이터를 최종 실험식 (10)에 대입하여 얻은 결과 값을 Table 2와 3에 각각 기준 조인트 별로 나타내었다. 여기서 error는 실험에서 구한 체결토크와 실험식에 의해 얻은 토크와의 절대오차를 의미한다. 모든 입력각에 대하여 최대 오차가 10% 미만으로 매우 정확한 토크를 예측할 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 식 (10)의 실험식은 차량 후드 프레임의 체결토크를 예측하는데 매우 유용하다는 것을 판단할 수 있다.

## 5. 결 론

이 연구에서는 차량용 후드 프레임의 설계해석을 수행하였으며, 후드 프레임의 작동력 및 입력각의 변화에 대한 조인트의 체결토크를 예측할 수 있는 실험식을 개발하였다. 이 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 이론 해석 결과 프레임의 조인트 A, B의 반력은 서로 대칭적인 경향을 보이며, 조인트 D, E에서는 입력각이 증가할수록 반력도 거의 선형적으로 증가하는 경향을 보였다.

(2) 특정 보상함수를 도입하여 차량 후드 프레임의 작동력 크기에 관계없이 토크를 예측할 수 있는 실험식을 개발하였다.

(3) 이론해석을 통하여 비교적 예측하기 쉬운 D, E의 조인트를 기준으로 각각의 실험식을 유도하였으며, 최종 실험식은 검증을 통하여 모두 10% 미만의 예측 오차를 보였다. 즉, 유도되어진 실험식은 검증을 통하여 차량 후드 프레임 볼트의 체결토크를 예측하는데 매우 유용성이 있음을 확인하였다.

## References

1. S. H. Shin, C. Cheong and S. S. Jung, 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. S. J. Ahn et al., 2013, "Study on Property of NVH of Vehicle Doors Latch Part", Proceedings of the KSMPE Autumn Conference, p. 113.
3. J. Hong, S. Seo, S. Kang, D. Lee, J. Ju and B. Park, 2013, "The Study of Hood Trembling on Driving Bumpy Road", Proceedings of the KSAE 2016 Annual Fall Conference, pp. 1065-1066.
4. J. Y. Park, M. K. Im, Y. K. Oh, J. Y. Park and S. Y. Han, 2010, "Topology Optimization of the Inner Reinforcement of a Vehicle's Hood using Reliability Analysis", Journal of KSMTE, Vol. 19, No. 5, pp. 691-697.
5. I. S. Son, S. J. Ahn, H. S. Eom, K. D. Hur, S. P. Lee and J. K. Lee, 2015, "Design Analysis of 4-Link Hood Frame for Vehicle", Proceedings of the KSME Fall Annual Meeting. p. 2069.
6. K. S. Kim, J. Hwang, D. W. Lee, S. M. Lee and S. J. Lee, 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.
7. Y. W. Shin and S. K. Lee, 2011, "Development an Empirical Formula for the Friction Coefficient of a Circular Friction Damper", Transactions of Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 6, pp. 491-498.
8. S. I. Hong, 2007, "Machine Design", Munundang, Chapter 6.