

<기술논문>

브레이크 페달 해석 정확도 향상 연구

김희진\* · 이대원

경창산업 기술연구소 기술지원팀

The Study on Precision Enhancement at Brake Pedal Analysis

Heejin Kim\* · Daewon Lee

Technical Support Team, R&D Center, Kyung Chang Industrial Co. Ltd., 1072 Jungni-dong, Seo-gu, Daegu 703-833, Korea  
(Received 25 July 2011 / Revised 5 December 2011 / Accepted 28 June 2012)

**Abstract** : The brake pedal is one of the most important parts for controlling the speed of the vehicle. Incorrect design of the brake pedal can place the driver in danger. CAE is being done for weight reduction to improve the safety of the driver and the vehicle performance and research is performed to improve the accuracy of analysis. The accuracy of the experimental and analysis values in regard to the stiffness of brake pedals, however, is still poor. Therefore, the aim of this study is to present appropriate analysis conditions based on the factors that influence the analysis in order to obtain accurate analysis results.

**Key words** : Brake pedal(브레이크 페달), Vehicles(자동차), CAE(컴퓨터 지원 공학), Push rod(푸쉬로드)

1. 서론

브레이크 페달은 주행 중인 자동차를 운전자가 제동하기 위해서 발로 조작하는 장치이다. 브레이크 페달의 작동원리는 페달을 밟으면 페달에 연결된 마스터 실린더에서 유압이 발생하고, 이 유압은 가는 튜브를 통해 각 바퀴에 있는 휠 실린더에 전달하여 유압으로 바퀴의 회전을 멈추게 하는 것이다. 이렇듯 브레이크 페달은 자동차의 제동을 제어하는 역할을 하며 차량 및 운전자의 안전성 확보를 위한 필수 요소이다.

운전자의 안전성 향상과 자동차 성능 향상을 위한 경량화를 위해 CAE 해석을 하고 있으며, 해석 정확도 향상을 위한 연구가 추진되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 페달에 하중을 가한 상태에서 페달의 휘는 정도를 시뮬레이션하는 브레이크 페달의 강성해석에 있어서 실험값과 해석값의 정확도가 미흡한 수준에 머

물고 있다. 정확도가 떨어지게 되면 해석을 통하여 성능 예측이 어려워 과도한 설계로 인한 중량이 상승할 수 있다. 그래서 이를 보완하는 정확도 향상을 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 해석 정확도 향상을 위한 방법으로 해석에 영향을 미치는 인자들을 고려하여 적합한 해석 조건을 제시하고자 한다.

2. 시험조건 및 시험결과

브레이크 페달의 강성 특성을 분석하기 위해서 Fig. 1의 만능재료시험기를 사용하였다.

자동차 페달 암의 설계 시 적용되는 설계하중은 수직하중 294N이며, Fig. 1처럼 패드의 중심부분에 하중을 가하였고, 그 부분의 변위량을 측정하였다. 페달이 차체에 고정되는 마운팅 포인트를 지그를 사용하여 고정하였으며, 푸쉬 로드가 결합되어지는 부분(Clevis Hole)은 조립되는 암의 힌지부를 이용하여 고정하였다.

\*Corresponding author, E-mail: hjkim@kc.co.kr



Fig. 1 Universal testing machine

Fig. 2는 위의 실험조건으로 브레이크 페달에 수직하중이 작용할 때의 강성을 나타낸 실험결과이다. 부품간의 공차를 제거하고 실험을 통하여 데이터를 측정 하였으며, 이 데이터에서 하중에 대한 변위량이 선형적인 그래프가 그려짐을 알 수 있었다.

페달은 단품이 아닌 여러 부품들을 조립한 제품이며, 같은 제품이라도 공차가 조금씩 다를 수 있다. 변위량을 측정하는 실험을 하기 전에 공차를 제거하여도 편차가 발생할 수 있기 때문에 추가적으로 9 번의 실험을 더 수행하여서 그 평균값을 실험결과의 기준값으로 사용하고자 한다. Table 1은 총 10번

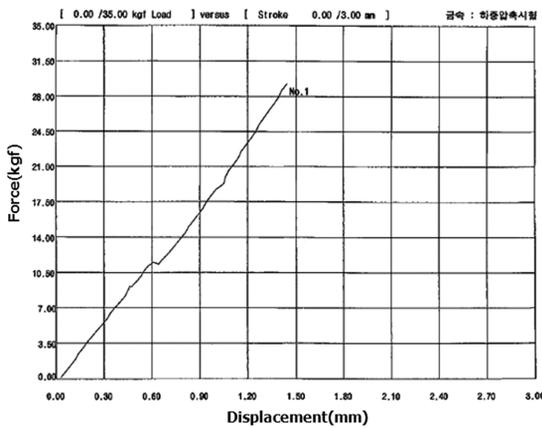


Fig. 2 Vertical load experimental data

Table 1 Vertical load experimental results

NO	변위량	NO	변위량
1	1.52	6	1.46
2	1.43	7	1.77
3	1.49	8	1.43
4	1.54	9	1.63
5	1.51	10	1.43

의 실험을 통하여 변위량을 측정한 데이터이다. 평균값이 1.53mm가 나왔으며, 이 데이터를 실험결과의 기준값으로 정하였다.

### 3. 해석 조건에 따른 데이터 분석

현재 해석조건에서 해석정확도 수준을 측정 위해서 기존에 사용되었던 해석의 경계조건을 사용하여 해석을 수행하였으며, 앞선 실험을 통해 얻어진 결과값을 기준으로 해석정확도를 계산하였다.

수직강성 해석의 최적화된 해석조건을 찾기 위하여 경계조건, 요소 형태, 페달 형상 등의 해석에 영향을 미치는 인자들을 선정하였고 이를 평가하기 위해서 해석을 수행하였다.

해석결과에 있어서 평가기준(SPEC)은 중요한 지표이지만 일반적인 해석정확도 산정방법(해석결과/실험결과)으로는 평가기준이 반영 되지 않는다. 그래서 평가기준을 반영한 해석정확도 산정을 위하여 아래와 같은 수식을 사용하여 해석정확도를 계산하였다.

해석정확도

$$= \left( 1 - \frac{| \text{실험값} - \text{해석값} |}{\text{평가기준}} \right) \times 100 \quad (1)$$

경계조건 상에서 해석 영역이 선형구간이기 때문에 하이퍼웍스 프로그램을 사용하여 해석을 수행하였다.<sup>2)</sup>

#### 3.1 기존 해석결과와 실험결과 비교

##### 3.1.1 기존 해석 경계조건

기존 해석의 경계조건은 Fig. 3과 같이 해석 모델에서 마운팅 포인트(Mt'g Point)를 3자유도 구속하고, 크레비스 홈은 회전방향의 자유도를 제외한 반경 및 구멍의 중심축방향 자유도를 구속하였으며, 하중은 패드의 수직한 방향으로 30kgf(294N)을 부여하였다.<sup>3)</sup>

##### 3.1.2 기존 해석 결과와 실험결과 비교

Table 2는 기존 해석 경계조건으로 해석결과와 실험결과를 비교한 테이블이다. 기존 해석 경계조건 상에서 실험결과와 비교하였을 때 정확도가 59.1%라는 결과가 나왔다.

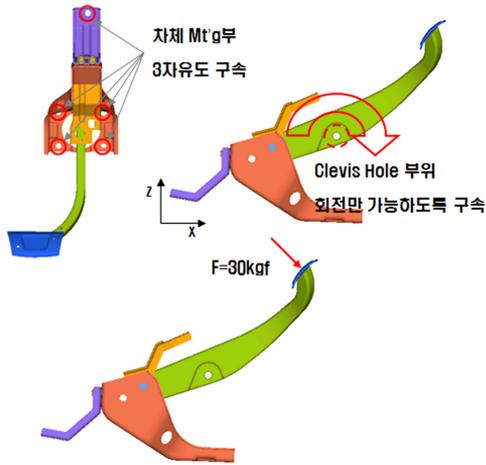


Fig. 3 Interpret the boundary conditions

일반적으로 해석정확도가 80%이내일 때 해석을 신뢰할 수가 있는데 기존 해석 결과로는 신뢰성이 많이 떨어짐을 알 수 있었다.

신뢰성을 높이고 해석정확도 향상을 위해서 해석에 영향을 미치는 암 형상, 경계조건 등의 인자들을 고려하여 해석을 수행하였다. 그 결과를 토대로 기존 해석조건의 결과값과 비교하여 어떤 조건들이 브레이크 페달 강성해석에 적합한지를 검토하고 그 타당성을 입증하고자 한다.

Table 2 Error rate of analysis result

	해석결과	실험결과	정확도
수직강성	0.507mm	1.53mm	59.1%

### 3.2 형상을 고려한 해석

#### 3.2.1 암 벤딩부 함몰 형상 반영

유한요소를 만들 때 기준이 되는 형상은 중요한 인자 중에 하나이다. 그러나 암을 제작할 때 나타나는 일부 함몰부분은 미비하고 제작할 때 마다 조금씩 다르게 나타난다. 그래서 함몰부위를 해석에서 구현하기에는 어려움이 있어서 지금까지는 함몰부위가 없는 것처럼 형상을 단순화하여 해석을 수행하여 왔었다.

Fig. 4는 암을 제작하는 과정 중에서 일부 구간에 생성된 함몰부위를 나타낸 그림이다. 최대 0.7mm 정도 함몰이 발생하며, 함몰이 발생함으로 인해서 두

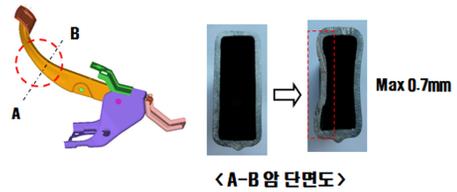


Fig. 4 Cancer shaped depressions

Table 3 Error rate of analysis result

	해석결과	실험결과	정확도
수직강성	0.549mm	1.53mm	60.8%

께가 최대 0.05mm 정도 변형되는 것을 알 수 있었다. 이번 해석에서는 함몰부위가 수직강성에 어느 정도 영향이 있는지를 알아보기 위하여 해석을 수행하였다.

Table 3에서 나타나듯이 암의 함몰 형상을 반영하여서 해석을 수행하였을 때 정확도가 60.8%로 기존 해석보다 조금 양호한 결과가 나왔다.

기존 해석결과와 비교하였을 때 함몰부 형상을 반영함에 따라서 해석결과에서 0.042mm 정도의 차이가 발생하여서 정확도가 1.7% 상승하기는 하였지만 주요인자라고 할 수 없다.

#### 3.2.2 암 용접부 형상 반영

암 하단부의 용접형상이 모델에 미 반영된 것이 해석결과에 영향을 주는지를 분석하기 위하여 Fig. 5와 같이 암의 용접되는 부분의 형상을 그대로 적용하여서 해석을 수행하였다.

Table 4에서 나타나듯이 암 용접부 형상을 반영하여서 해석을 수행하였을 때 정확도가 58.8%로 기존 해석보다 정확도가 떨어지는 결과가 나왔다.

암이 굽혀져 있기 때문에 수직하중 하에서 암은 비틀림 모멘트를 받게 되는데 용접형상으로 인하여 비틀림 모멘트가 더 커지는 것 보다는 단면적이 커짐으로 인한 강성이 더 강해지는 것을 해석을 통하여 알 수 있었다.



Fig. 5 Cancer weld geometry

Table 4 Error rate of analysis result

	해석결과	실험결과	정확도
수직강성	0.50mm	1.53mm	58.8%

### 3.3 하중 방향을 고려한 해석

일반적으로 하중의 벡터 방향은 해석에 있어서 중요한 인자이다. 수직하중은 페달 부품 중에서 사람의 발이 바로 닿는 페드(PAD)부분에 수직하게 하중이 작용하여야 한다. 그러나 페드 자체가 임의의 곡률을 가지고 있기 때문에 하중의 수직방향을 설정함에 있어서 약간의 오차가 발생하기도 한다.

이에 따라서 Fig. 6과 같이 하중 방향에 대한 영향성을 알아보기 위하여 기존의 경계조건으로 설정하였던 43도와 실험할 때 기준이 되는 38도로 해석을 수행하였다.

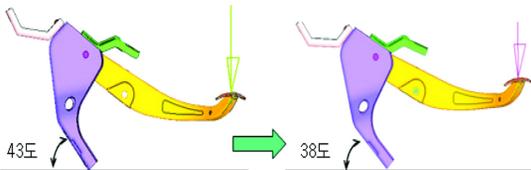


Fig. 6 Considering the direction of the load boundary condition

Table 5는 하중 방향을 43도와 38도로 설정하였을 때의 해석결과를 나타낸 테이블이다. 각도 변화에 따른 변형량의 차이가 0.002mm 정도로 기존의 경계조건(43도)상에서도 이상이 없음을 알 수 있었다.

Table 5 Analysis of result

	해석결과(43도)	실험결과(38도)
수직강성	0.507mm	0.505mm

### 3.4 경계조건 변경에 따른 해석

#### 3.4.1 기존 실험결과 검토

실험에서는 크레비스 홀에 고정되는 암의 힌지부를 지그를 이용하여 고정하게 되는데 수직강성 실험 중에 지그가 암을 완전히 고정시키지 못하고 지그의 자체 강성에 의해 움직이는 것을 볼 수 있었다.

마운팅 브라켓(Mt'g Braket)의 역할은 암에 부여되는 하중이 크레비스 홀에 모멘트를 작용하며, 이

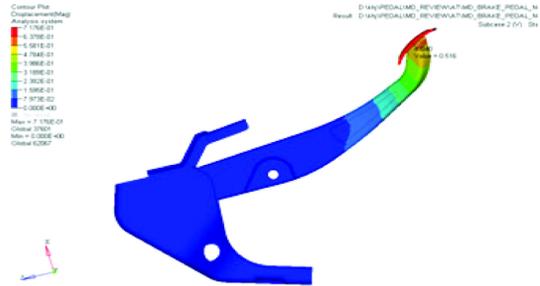


Fig. 7 The result of analysis after removing mountain bracket

모멘트가 멤버를 들리게 하는 것을 억제하는 역할을 한다. 그래서 마운틴 브라켓이 없는 상태에서 실험을 하게 되면 수직강성이 4.1mm 정도가 나오게 된다. 그러나 기존의 경계조건 상에서는 Fig. 7과 같이 수직강성이 0.516mm로 실험결과와는 다르게 마운틴 브라켓의 유무에 따른 결과가 비슷하게 나옴을 알 수 있었다. 그래서 기존의 경계조건이 실험조건과 맞지 않음을 알게 되었으며 크레비스 홀의 경계조건을 검토하여 해석을 수행하였다.

#### 3.4.2 크레비스 홀 경계조건 변경

기존 실험결과를 검토하였을 때 나온 지그의 자체 강성, 크레비스 홀의 모멘트 작용, 이 2가지 원인으로 인하여 기존 크레비스 홀 경계조건이 적절하지 못하다는 것을 알 수 있었으며, 이 원인을 해결하기 위하여 하이퍼웍스 프로그램의 요소 중에서 CELAS1의 스프링 요소를 사용하였으며 Z축 방향의 강성 값만 고려하였다.

해석 경계조건은 기존의 크레비스 홀의 경계조건에서 기존에는 Y축의 회전 자유도를 제외한 5자유도 구속 조건에서 Fig. 8과 같이 크레비스 홀을 고정하는 강체를 스프링 요소로 구현하였으며, 하중 및 구속조건은 동일하다.

그리고 스프링 요소의 스프링 상수(k)값을 구하

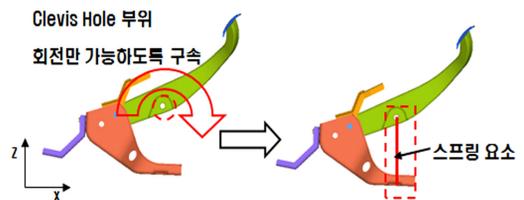


Fig. 8 Boundary conditions of clevis hole interpretation

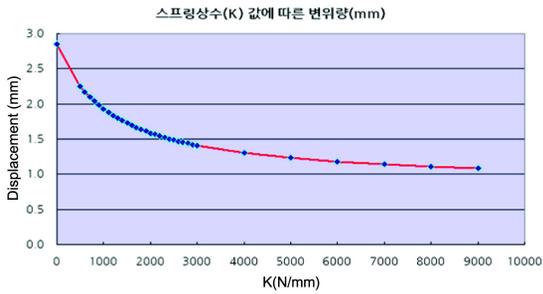


Fig. 9 Spring constant

Table 6 Error rate of analysis result

	해석결과	실험결과	정확도
수직강성	1.52mm	1.53mm	99.4%

기 위해서 Fig. 9와 같이 스프링 상수에 따른 강성 해석을 수행하여 적합한 스프링 상수 값을 찾았다.

적합한 스프링 상수값으로 스프링 상수를 구현하였을 때 Table 6과 같이 정확도가 99.4%에 이르는 결과값을 얻을 수 있었다.

기존의 경계조건으로 마운팅 브라켓 없이 해석을 수행하였을 때 정확도 12.6%였으나 Fig. 10과 같이 마운팅 브라켓을 제거한 후에 스프링 요소를 적용하여 해석을 하게 되면 Table 7과 같이 기존 해석 조건에서는 구현하지 못했던 부분을 구현할 수 있게 되었고 95.7%의 높은 정확도를 얻을 수 있게 되었다.



Fig. 10 The result of analysis after removing mountain bracket

Table 7 Error rate of analysis result

	해석결과	실험결과	정확도
수직강성	3.924mm	4.1mm	95.7%

### 3.4.3 적합한 경계 조건 적용

Table 8은 페달의 수직강성 해석에 있어서 크레비스 홀 부위를 스프링 요소를 사용하여 최적화한 경계조건을 다른 종류의 브레이크 페달에 적용하여 해석을 수행한 결과를 나타낸 데이터이다.

Table 8 Error rate of analysis result

NO	해석결과	실험결과	정확도
1	1.522	1.52	99.9%
2	1.55	1.67	95.2%
3	1.53	1.68	94%
4	1.52	1.45	97.2%
5	1.52	1.54	99.2%
6	1.56	1.5	97.6%
7	1.61	1.54	97.2%
8	1.52	1.41	95.6%
9	1.65	1.51	94.4%
10	1.58	1.62	98.4%

## 4. 결론

브레이크 페달 해석 정확도 향상을 위한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 크레비스 홀의 경계조건에 따라서 정확도가 기존의 59.1%에서 99.4%로 향상됨을 알 수 있었다.
- 2) 브레이크 페달에 적합한 경계조건을 구할 수 있었으며, 해석의 정확도가 올라감에 따라서 설계 및 해석의 신뢰성을 확보할 수 있게 되었다.
- 3) 본 연구에서 적합한 경계조건을 다른 브레이크 페달에 적용한 결과로 모두 오차율이 10%이내의 결과가 나옴을 확인할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 시행 성장동력기술개발사업의 “승용연료전지 차량설계 및 시스템 및 인터그레이션 개발”(주관: 현대자동차) 연구 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- 1) J. Son, S. Hyun, C. Kim, K. Cho and T. Song, “An Effective Shape Optimization Algorithm for the Automotive Pedal Arm,” Fall Conference

- Proceedings, KSAE, Vol.2, pp.1373-1378, 2003.
- 2) HyperWorks User Manual, Altair Co., 2009.
  - 3) J. Kim, C. Kim, T. Song and C. Park, “The

Shape Optimization of Automotive Pedal Arms and the Effect of a Rib,” Fall Conference Proceedings, KSAE, No.2, pp.932-937, 2004.