

전복시 차량 옆문의 구조해석

조재웅*, 한문식#

Structural Analysis of Vehicle Side Door at Overturn

Jae-Ung Cho*, Moon-Sik Han#

(Received 11 October 2010; received in revised form 24 November 2010; accepted 2 December 2010)

ABSTRACT

This study aims to analyze the structural safety by comparing deformation and equivalent stress of door with a stiffener or no stiffener when the door crashes against something in case of overturn. Three types are classified on the basis of the no stiffener model in the vehicle door. One is the type which has a stiffener. Another is the type which has no stiffener and the other is the type which has a hole in the stiffener. These three types are compared with each other by analyzing. This side door of vehicle is the automotive part about the kind of vehicle as Mercedes Benz E-Klasse scaled down as 1/18 times as the real size. The study model of vehicle door is modelled by CATIA program and it is analyzed by ANSYS.

Key Words : Condition Monitoring(상태감시), High Speed Machining(고속가공), Cutting Force(절삭력), Runout(런아웃), Acceleration(가속도), Tool Wear(공구마멸)

1. 서 론

근래에 자동차 산업이 발달함과 동시에 자동차에 대한 소비자들의 생각도 달라졌다. 처음에는 이동수단으로만 생각되던 것이 의식의 발달과 더불어 각종 편의사항 요구 및 안전성에 대한 관심이 많아지게 되었고^[1-3] 그중에서도 가장 관심이 가는 부분으로는 차량의 안전성이 손꼽혀 그 안전성에 대한 법률이 날로 강화되고 있는 추세이다^[4].

차량의 안정성은 대표적으로 승차를 하고 있는 사람을 보호함을 말하는데 승차자를 보호하기 위해서

는 크게 차량의 충돌 연구와 충돌시 승차자의 거동에 대한 연구^[5]로 나뉠 수 있고 충돌 연구는 다시 정면, 측면, 후면 충돌이 있다. 정면충돌에는 차량의 엔진룸 부분에서의 충격 흡수와 에어백으로 승차자를 보호하지만 측면 충돌에서 충격을 흡수하는 차량 도어는 엔진룸 부분에 비해 충격 흡수 정도가 떨어지며^[6-7] 앞으로도 많은 연구와 기타 안전장치로 보완해야 할 여지가 많다. 따라서 본 연구에서는 충돌이나 측면에서의 전복시에 차량의 사이드 도어의 보안 설계를 하고 해석하고자 한다. 차량 도어가 충돌시 받는 응력의 분포와 보강대가 있을 때와 없을 때의 변형의 차이 및 전복 시 도어가 뒤틀러지는 정도를 해석하였다^[8-9].

본 연구에서는 차량의 사이드 도어에 보강대가 없는 경우를 기본 모델로 하여 각 변형을 해석해 보고

* 공주대학교 기계자동차공학부

교신저자 : 계명대학교 기계자동차공학과

E-mail : sheffhan@kmu.ac.kr

도어 안쪽에 기둥이 있을 때와 그 기둥에 구멍이 뚫려 각종 전선이 통과할 수 있도록 한 모델을 설정하여 해석하고 각각을 비교 분석해 보았다. 또한 CATIA 프로그램으로 모델링하였으며 ANSYS로 해석하였다. 해석결과, 본 연구에서는 도어 안쪽에 기둥이 있을 때와 그 기둥에 구멍이 뚫려 각종 전선이 통과할 수 있도록 구멍이 뚫려 있는 보강대를 가진 사이드 도어가 가장 효율적이고 내구성 있게 사용될 수 있다고 사료된다.

2. 모델 및 해석

2.1 연구 모델

본 연구에서 사이드 도어는 Mercedes Benz사의 E-Klasse 차량에 장착된 것으로 모델링 하였으며 가로 70.674mm, 세로 61.298mm, 높이는 12.971mm이다. Mercedes Benz E-Klasse 차량 옆문의 실제 크기에 비해 18배로 전부 축소 모델링하였으며 측면 충돌만을 연구하기 때문에 차량의 각종 바디를 제외한 도어만을 모델링하여 해석하였다. 실제형상에 대하여 1/18로 축소한 것은 실제로 Mercedes Benz사의 E-Klasse 차량을 1/18로 축소하여 만든 모형인 프라 모델을 그대로 측정하여 모델링을 한 것이다. 사실 이러한 차량의 문짝을 실제 그대로 모델링하여 해석을 하면 요소 및 절점의 개수가 많아져 해석 시간이 상당히 많이 걸리기 때문에 효율적인 해석을 위하여 모델을 축소하여 해석을 하였다^[10].

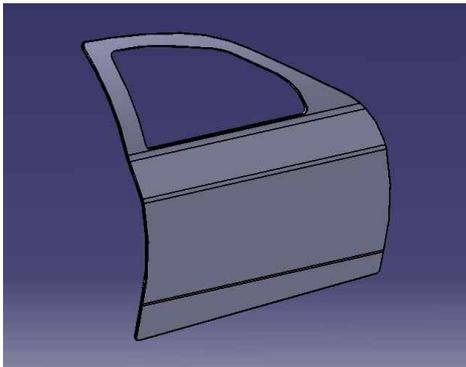


Fig. 1 Model of general side door -Front

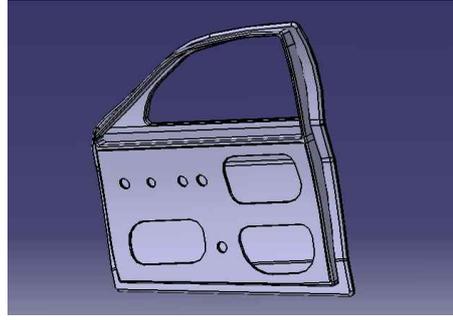


Fig. 2 Model of general side door -Rear

위의 Fig. 1과 Fig. 2는 보강대가 없는 모델로 도어의 속 부분이 빈 상태이다. Fig. 3의 보강대는 안쪽에 두께 0.5mm 두 개로 충격 흡수를 위해 보강되었다. Fig. 4의 모델은 같은 보강대 중간에 파워 윈도우 또는 음양기기의 설치를 위하여 사용되는 전선이 통과할 수 있는 크기 0.7mm의 구멍 7개를 뚫어서 모델링하였다.

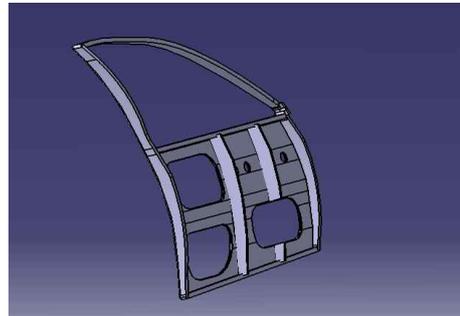


Fig. 3 Model added with stiffener of side door

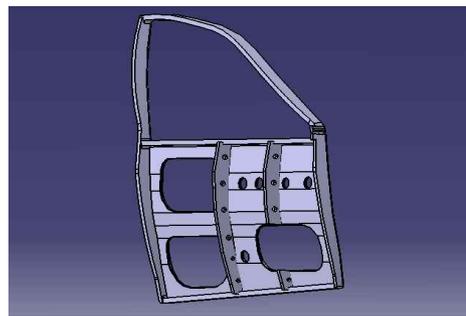


Fig. 4 Model added with stiffener of holed side door

구조해석 모델은 구조용 강이 적용되었으며 이 재료에 대한 물성치는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Material properties of model

Properties	Values
Elastic modulus	250MPa
Poisson's ratio	0.3
Density	7.85kg/cm ²
Yield stress	250MPa
Tensile stress	460MPa

도어가 닫혀있다는 가정 하에 바깥 면에서 137780N의 힘으로 가하였다. 이 힘은 운동에너지 방정식 $F = \frac{1}{2}mv^2$ 의 식에서 1000kg의 물체가 60km/h 의 속도로 충돌할 때를 가정으로 나온 값이다. 60km/h를 단위 환산을 해주면 약 16.6m/s 의 속도가 되며

$$137780N = \frac{1}{2} \times 1000kg \times (16.6m/s)^2$$

이 된다. 운동에너지 방정식을 통해 얻은 값의 1/18 값 약 7650N을 작용하였다.

2.2 구조 해석

각 해석에 적용된 구속조건은 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다. 도어의 초록색 부분의 옆 Line 부분을 Fixed Support 하여 도어 외측 중심부분에 7650N의 Force 를 가해주었다.

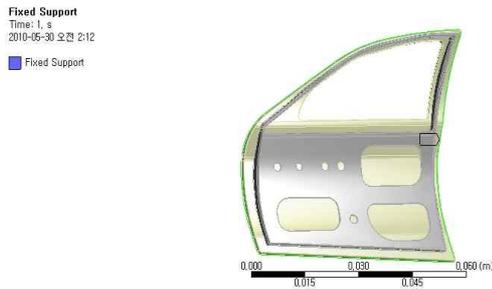


Fig. 5 Fixed support as constraint condition

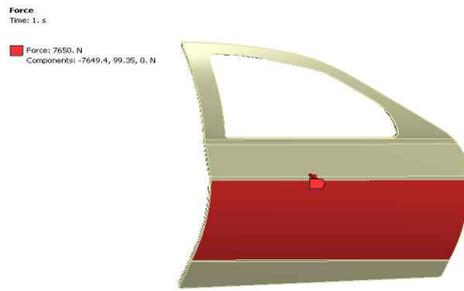


Fig. 6 Force condition as constraint condition

충돌 시 가해지는 응력에 의해 도어가 뒤틀려지는 정도를 알아보기 위한 모멘트 해석을 위해 적용된 구속조건은 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었다. 그림과 같이 도어의 오른쪽면을 Fixed Support한 후, 그림과 같이 오른쪽면에 z축으로 100N·mm 크기의 모멘트를 부여하였다.

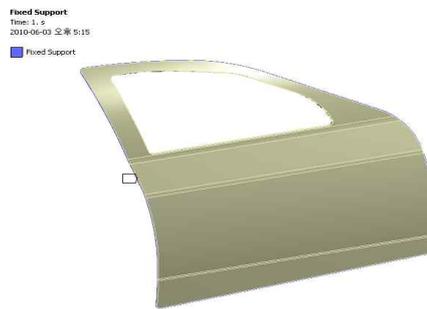


Fig. 7 Fixed Support as constraint condition at torsion



Fig. 8 Moment condition as constraint condition at torsion

2.2.1 보강대가 없는 경우

2.2.1.1 힘이 작용되는 경우

Fig. 9 및 Fig. 10은 보강대가 없는 사이드 도어에서 힘이 작용되는 경우에 각각 변형량 및 등가 변형율, 응력을 나타낸다. Fig. 9에서는 힘을 가하는 중심 부분에서 최대의 변형이 일어났고 힘의 분포가 넓어지면서 끝부분에서는 최소의 변형이 일어났다. 중심 부분의 최대 변형은 0.36319mm가 일어났다.

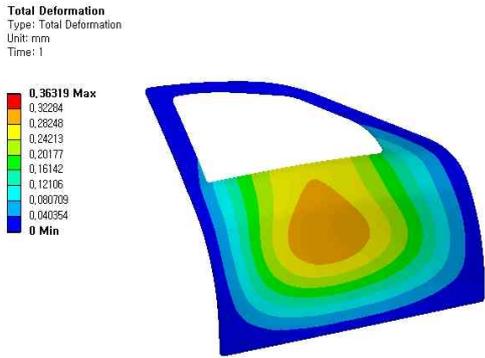


Fig. 9 Deformation contour of model with no stiffener under force

또한 Fig. 10에서는 등가응력과 변형율의 분포 양상은 같게 나타났으며 이 모델의 최대 등가응력은 2222.5MPa 최대변형율은 0.01112의 결과 값을 보였다.

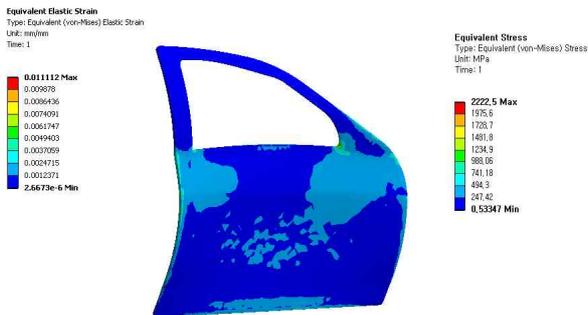


Fig. 10 Equivalent strain and stress contour of model with no stiffener under force

2.2.1.2 모멘트를 받았을 때

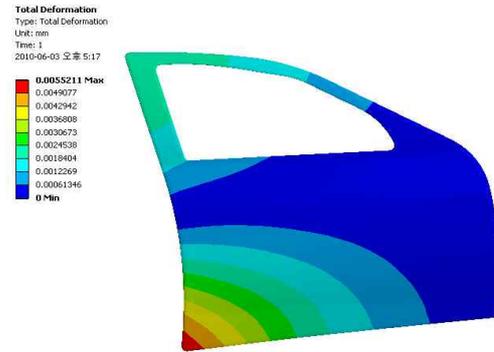


Fig. 11 Deformation contour of model with no stiffener under moment

Fig. 11 및 Fig. 12는 보강대가 없는 사이드 도어에서 모멘트가 작용되는 경우에 각각 변형량 및 등가 변형율, 응력을 나타낸다. Fig. 11에서는 도어 왼쪽 아래 모서리 부분에서 0.0055211mm의 최대 변형이 발생하였고, 위쪽 모서리에도 0.0024538mm 정도의 변형이 발생하였으며, Fixed Support를 한 도어의 부분은 변형이 발생하지 않았다.

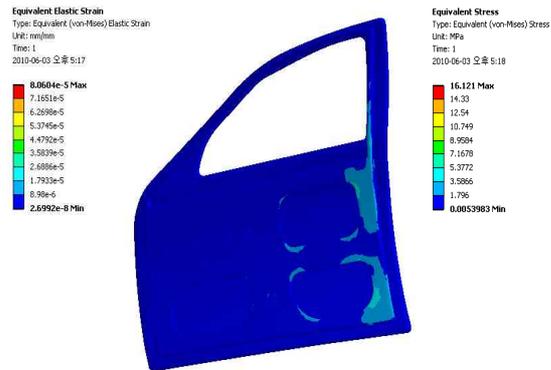


Fig. 12 Equivalent strain and stress contour of model with no stiffener under moment

Fig. 12는 등가응력과 변형률의 분포이며 이 때의 최대등가 응력은 16.121MPa, 0.000080604의 최대 변형률을 갖는다.

2.2.2 보강대가 있는 경우

도어 안쪽의 빈 곳에 보강대를 대어 주어서 보강대가 없을 때와의 도어의 변형이 얼마나 차이가 나타나는지를 해석하였다.

2.2.2.1 힘이 작용하는 경우

Fig. 13 및 Fig. 14는 보강대가 있는 사이드 도어에서 힘이 작용되는 경우에 각각 변형량 및 등가 변형율, 응력을 나타낸다. Fig. 13에서는 힘을 가한 중심 부분에서 최대의 변형이 일어났고 힘의 분포가 넓어지면서 끝부분에서는 최소의 변형이 일어났으며 최대 변형 값은 0.31422mm가 일어났다. 도어 안쪽에 보강대를 설치한 결과 그렇지 않은 도어보다 0.04897mm 더 작아짐을 보였다.

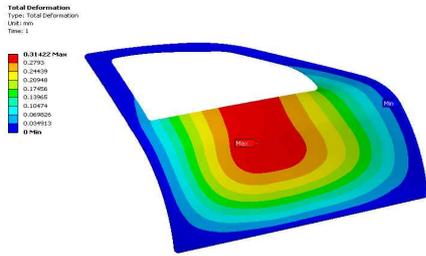


Fig. 13 Deformation contour of model with stiffener under force

Fig. 14는 등가응력과 변형률의 분포이며 이 때의 최대등가 응력은 1601.2MPa 최대변형율은 0.0080061의 결과 값을 얻었다. 도어안쪽에 보강대를 설치한 결과 그렇지 않은 도어보다 621.3MPa 더 작아짐을 보였다.

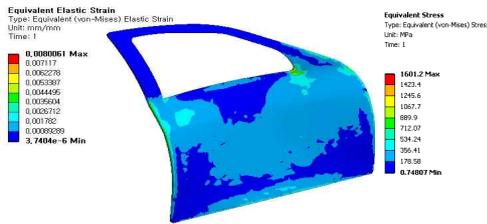


Fig. 14 Equivalent strain and stress contour of model with stiffener under force

2.2.2.2 모멘트를 받았을 때

Fig. 15 및 Fig. 16은 보강대가 있는 사이드 도어에서 Fig. 8의 조건과 동일하게 모멘트를 부여한 경우로서 각각 변형량 및 등가 변형율, 응력을 나타낸다. Fig. 15에서 보는 바와 같이, 보강대가 있는 경우 왼쪽 아래 부분에서는 0.0054061mm, 위쪽 모서리에서는 0.0030034mm 정도의 변형을 나타냈다. 보강대가 없는 경우보다 작은 결과 값을 얻었으며, Fixed Suppor을 한 도어의 부분에서는 보강대가 없을 경우와 같은 결과 즉, 변형이 발생하지 않았다.

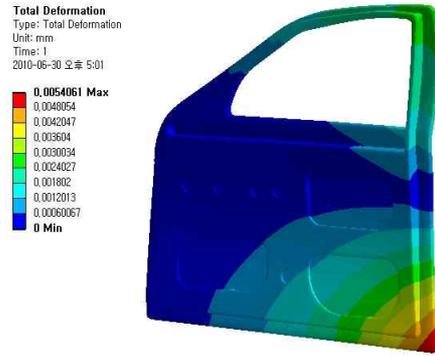


Fig. 15 Deformation contour of model with stiffener under moment

Fig. 16은 등가 응력과 변형률의 분포이며 이때의 최대등가 응력은 16.37MPa, 0.00008185의 최대 변형률을 갖는다.

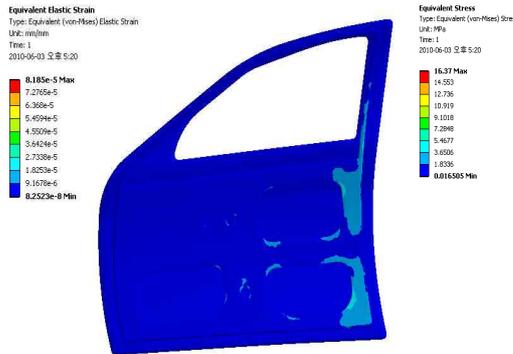


Fig. 16 Equivalent strain and stress contour of model with stiffener under moment

2.2.3 보강대에 구멍이 뚫려 있는 경우

2.2.3.1 힘이 작용하는 경우

보강대에 구멍을 뚫어 도어 바디 내에 들어가는 파워윈도우에서 필요한 전선들의 통로로 쓰이기 위한 통로이고 소량이지만 원가절감을 위하여 보강대 중간에 구멍 7개를 뚫고 질량을 같게 하기 위해 0.7mm의 두께로 해석하였다.

Fig. 17 및 Fig. 18은 구멍이 뚫려 있는 보강대가 있는 사이드 도어에서 힘이 작용되는 경우에 각각 변형량 및 등가 변형율, 응력을 나타낸다. Fig. 17에서는 힘을 가한 중심 부분에서 최대의 변형이 일어났고 힘의 분포가 넓어지면서 끝부분에서는 최소의 변형이 생겼다. 최대 변형 값은 0.31296mm가 일어났다. 보강대에 구멍을 뚫었을 때의 결과를 보강대를 설치하지 않았을 경우와 구멍이 뚫려있지 않은 보강대를 설치한 경우와를 각각 비교해 보면 0.05023mm, 0.00126mm만큼 더 작아짐을 보였다.

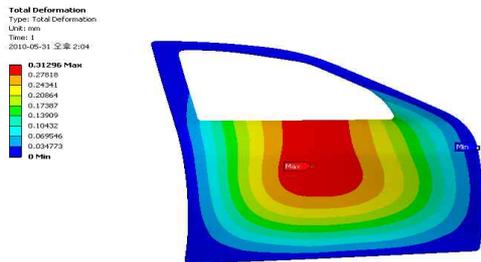


Fig. 17 Deformation contour of model with holed stiffener under force

Fig. 18은 등가 응력과 변형률의 분포이며 이때의 최대 등가응력은 1853.4MPa, 최대변형율은 0.0092672의 결과 값을 얻었다. 도어안쪽에 구멍이 뚫려 있는 보강대를 설치한 결과, 구멍이 뚫려 있지 않은 보강대보다는 174.2MPa만큼 다소 높아졌으나 보강대가 없는 도어보다는 더 369.1MPa 작아짐을 보였다. 이는 구멍이 뚫려 있는 보강대를 가진 사이드 도어가 내구성 있게 사용할 수 있다고 사료된다.

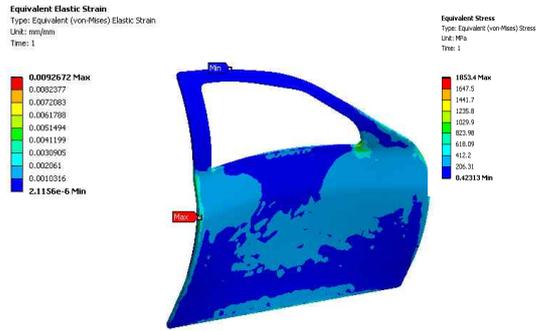


Fig. 18 Equivalent strain and stress contour of model with holed stiffener under force

2.2.3.2 모멘트를 받을 때

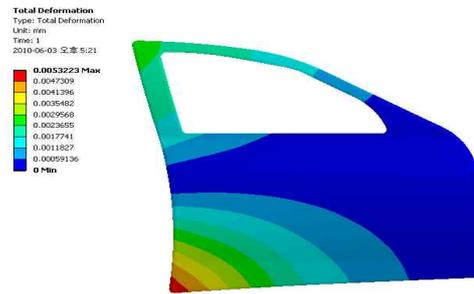


Fig. 19 Deformation contour of model with holed stiffener under moment

Fig. 19 및 Fig. 20은 구멍이 뚫려 있는 보강대 있는 사이드 도어에서 Fig. 8의 조건과 동일하게 모멘트를 부여한 경우로서 각각 변형량 및 등가 변형율, 응력을 나타낸다. Fig. 19에서 보는 바와 같이 보강대에 구멍이 뚫려 있는 경우 최대 변형은 왼쪽 아래 모서리 부분으로 0.0053223mm변형의 미소한 변형이 발생했다. 위 모서리에서는 0.0029568mm 정도의 변형이 발생하며, Fixed Support를 한 도어의 부분은 변형이 발생하지 않았다.

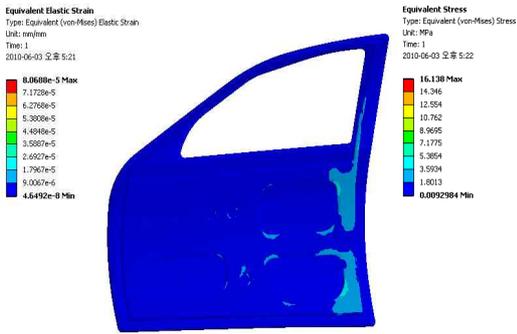


Fig. 20 Equivalent strain and stress contour of model with holed stiffener under moment

Fig. 20은 등가 응력과 변형률의 분포이며, 이때의 최대등가 응력은 16.138MPa, 0.000080688의 최대 변형률을 보였다. Table 2는 사이드 도어에 대하여 힘이 작용하는 경우에, 보강대가 없는 경우 및 보강대가 있는 경우, 각각 그 최대변형량, 최대등가응력 및 최대 변형율들을 해석 결과로 정리하였다. 본 연구에서는 Mercedes Benz사의 E-Klasse인 실제 차량에 대하여 사이드 도어에 각종 전선이 통과하여 그 배치상에서 부득이 구멍을 뚫을 수 밖에 없는 상황에서 보강대를 설치하여 전복시에 그 변형 및 구조적 안전 등 내구성을 확인하여 검증하는 데에 있다. 해석 결과, 도어 안쪽에 기둥이 있을 때와 그 기둥에 구멍이 뚫려 각종 전선이 통과할 수 있도록 구멍이 뚫려 있는 보강대를 가진 사이드 도어가 가장 효율적이고 내구성 있게 사용될 수 있다고 사료된다.

Table 2 Analysis results in cases of no stiffener, stiffener with no hole and stiffener with hole

	Maximum deformation (mm)	Maximum equivalent stress (MPa)	Maximum equivalent strain
no stiffener	0.36319	2222.5	0.011112
Stiffener with no hole	0.31422	1601.2	0.0080061
Stiffener with hole	0.31296	1853.4	0.0092672

3. 결론

측면 충돌이나 전복 시, 차량의 사이드 도어를 대상으로 하여 보강대가 없는 경우, 구멍이 없는 보강대가 있는 경우 및 구멍이 있는 보강대가 있는 사이드 도어의 경우에 있어 각각의 경우에 생기는 해석 연구에 대한 결과를 다음과 같이 도출하였다.

1. 사이드 도어에 대하여 힘이 작용하는 경우에, 보강대가 없는 경우 및 보강대가 있는 경우 공히 힘을 가하는 중심 부분에서 최대의 변형이 일어났고 힘의 분포가 넓어지면서 끝부분에서는 최소의 변형이 일어났다.
2. 사이드 도어에 대하여 모멘트에 의한 비틀림이 있는 경우에, 보강대가 없는 경우 및 보강대가 있는 경우 공히 도어의 왼쪽 아래 모서리 부분에서 최대의 변형이 발생하였고, 위쪽 모서리에도 미세한 변형이 발생하였으나, Fixed Support를 한 도어의 부분에서는 변형이 전혀 발생하지 않았다.
3. 사이드 도어에 대하여 힘이 작용하는 경우에, 도어안쪽에 구멍이 뚫려 있는 보강대를 설치하여 보강대가 없는 도어보다는 369.1MPa 더 작아짐을 보였다.
4. 도어 안쪽에 기둥이 있을 때와 그 기둥에 구멍이 뚫려 각종 전선이 통과할 수 있도록 구멍이 뚫려 있는 보강대를 가진 사이드 도어가 가장 효율적이고 내구성 있게 사용될 수 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Shin, H. W. and Yang, S. H., "The Analysis of the Side Door Strength of Sports Utility Vehicle," 1998 Autumn conference Proceeding of the KSAE, No. 2, pp. 1070-1075, 1998.
2. Park, S. H., Kang, S. Y., Kim, H. Y. and Han, D. C., "Development of Vehicle Crash Program and Analyses of Frontal Crash and Side Impact," 1997 Autumn conference Proceeding of the KSAE, No. 2, pp. 883-889, 1997.
3. Lee, K. H. and Bang, I. K., "Structural Design

- of an Automotive Door Using the Kriging Models,” Transactions of the KSAE, Vol. 15, No. 1, pp. 146-153, 2007.
4. Song, S. I. and Park, G. J., “Multidisciplinary Optimization of Automotive Door,” Transactions of the KSME A, Vol. 29, No. 2, pp. 201-213, 2005.
 5. Kim, H. S., Park, S. H., Kang, S. Y. and Han, D. C., “Crashworthiness Improvement of Idealized Vehicle's Side Rails,” Transactions of the KSAE, Vol. 4, No. 2, pp. 189~197, 1996.
 6. Choi, J. M., Jun, I. K., Cho, M. H., Jeon, O. H. and Ji, S. H., “A Method for FEM-EMA Correlation and Applications for Automotive Door Assembly,” 2006 spring conference Proceeding of the KSAE, Vol. 4, pp. 2096-2101, 2006.
 7. Chang, H. G, Song, J. H., Suk, J. S., Lee, S. Y., Kim, G. H. and Kwon, I. S., “Consideration for the vehicle side impact test results of NCAP,” 2004 spring conference Proceeding of the KSAE, Vol. 2, pp. 1049-1054, 2004.
 8. Park, S. C. and Sohn, J. H., “Matching Simulations to Side Collision Tests of Model Cars for Accident Reconstruction,” Transactions of the KSME, pp. 52-56, 2008.
 9. Kang, S. Y. and Kim, H. Y., “Side Impact Analysis of Vehicle Front Door,” Transactions of the KSAE, Vol. 19, No. 2, pp. 1-9, 1997.
 10. Cho, J. U. and Min, B. S., “A Study on Failure Analysis for Impact of Automotive Door,” 2010 spring conference Proceeding of the KSAE, pp. 71-75, 2010.