

승용차량 리어도어의 강도 및 피로에 대한 CAE해석

고종현* · 강대민#

(#, * 부경대학교 기계공학과)

CAE Analysis on Strength and Fatigue of Rear Door of Passenger Car

Jong hyoun Ko*, Dae min Kang#

(Received 7 April 2014; received in revised form 8 May 2014; accepted 9 June 2014)

ABSTRACT

This paper studies the strength, fatigue sensitivity, safety factor and lifetimes by means of structural and fatigue analyses of different models of rear doors upon the opening of doors and windows leading to severe fatigue fractures of the window motor components of rear doors. The simulation models were a standard model and other models. The other models, which are denoted here as models I and II, were modified versions of the standard model, with a rib of 3mm and a thickness of 2mm as compared to the standard model. The door was modelled with CATIA V5 and analyzed with the ANSYS program. The material of the rear door was cold rolled steel (DDQ). From the study results, the standard model and model I were confirmed to be less safe upon the opening of the door as compared to the opening of a window in terms of fatigue, but model II was found to be safe for both door and window openings.

Key Words : Fatigue analysis(피로해석), CAE analysis(CAE해석), Rear door(리어도어), Strength analysis(강도 해석)

1. 서 론

차량수명에 영향을 주는 인자 중 피로 현상에 대한 방지하기 위해서 하중 스펙트럼에 대한 다양한 정보와 기존 설계방안을 보완하기 위한 새로운 방법론이 요구되어진다. 차량에 대한 피로설계⁽¹⁻²⁾는 하

중에 의해 발생하는 응력-변형률에 대한 상세한 해석을 행하는 대신 매년 생산되는 수백만대의 자동차를 상대로 수집한 파손 데이터를 통계 처리하여 경험적으로 설계해왔다. 이러한 과정들이 아직 이용되고 있으나 최근 급속히 발전하고 있는 새로운 고강도재료의 출현과 자동차 산업에의 새로운 제작과정의 도입 때문에 신뢰성 있는 성능을 보증하는 데는 미흡하다.

한편 승용차량용 리어도어(rear-door) 내부에 설치되어 있는 윈도우 모터의 고정 부위 3개소의 피로파괴에 대해 2008년 후반부에 출시된 차량과 2009년에 출시된 차량들을 분석한 결과 이러한 현

Corresponding author:

Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University.

E-mail : dmkang@pknu.ac.kr

* Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University

상이 빈번히 발생하여 평균 주행거리가 약 130,000 km 주행한 차량은 입고가 되고 있는 실정이다. 이와 같은 파손이 발생하고 있는 도어의 설계 시 고려되어야 할 구조성능은 프레임 강성, 수직새그강성, 벨트라인 강성 및 동적 강성 등이 있으나 이처럼 동적인 차량의 구성품 중 하나인 도어의 설계 시에는 수많은 변수를 고려해야한다.

이와 같이 승용차의 도어에 관한 연구로는 도어 체크의 도어움직임에 대한 저항력과 도어체크 성능시험에 대해 연구⁽³⁻⁶⁾와 도어의 개폐필링에 영향을 주는 주요설계인자를 도출하여 개폐필링 향상을 위한 설계인자들을 최적화⁽⁷⁾하는 등 일부 연구가 진행되고 있으나 이에 대한 연구가 상당히 불충분한 실정이다.

본 연구에서는 피로파손이 많이 발생하는 리어 도어의 형상을 다양하게 변화시켜 차량의 도어의 강도 및 피로에 대해 고찰하고자 한다.

2. 해석방법

2.1 모델링

차량도어의 피로파괴에 의해 파손된 부분을 살펴 보면 Fig.1와 같이 도어내부에 형성되어있는 윈도우 모터의 고정부위 3개소 A, B 및 C에서 대부분 발생한다. 특히 A부분에서 파손이 심각하며 다음으로 B, C순으로 파손의 크기가 나타난다. 이 중 C부분의 경우는 A에서 발생한 피로가 점차적으로 전달되었기 때문으로 생각된다.

해석을 위한 도어의 모델링은 CATIA V5를 이용하여 Fig. 2에 나타난 것과 같이 기존 문제시되어지고 있는 형상과 이러한 파손 문제를 해결하기 위한 방안으로 수정된 모델 I 과 모델 II 등 총 3가지 경우에 대해 3D 모델링하였다. 여기서 수정된 모델 I 은 기존 형상에서 파손이 발생하는 부위 주변으로 높이 3 mm의 리브형상을 구현하여 기존모델에서 발생하는 파손이 어떠한 변화가 발생하는지 파악하고자하며, 또한 모델 II는 기존 모델과 동일한 형상을 유지하고 있으나 두께가 기존의 두 배인 2 mm로 변화시켜 기존모델에서 발생하는 파손에 대하여 어떠한 변화가 발생하는지 보고자 한다.

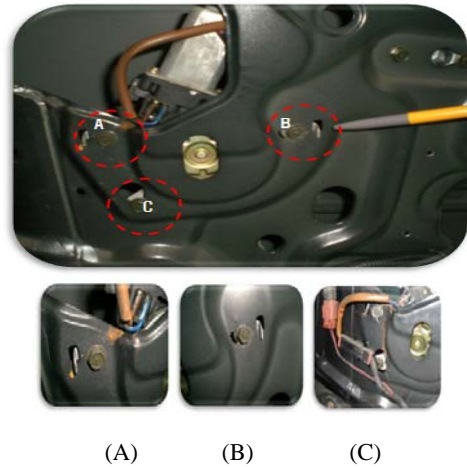


Fig. 1 Fracture of rear door

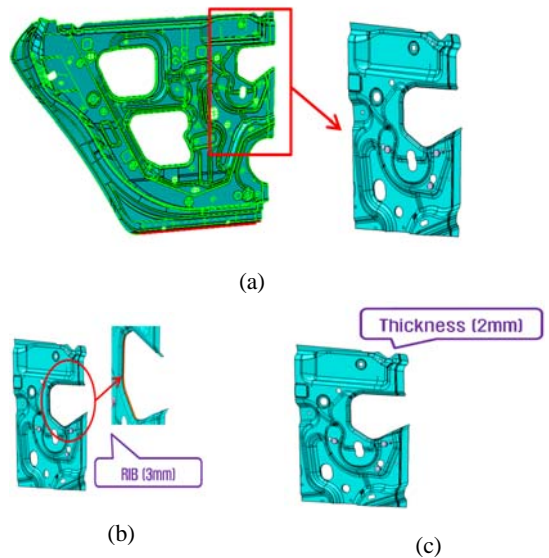


Fig. 2 Modeling of rear door for analysis

2.2 해석조건

해석에 적용된 재료는 자동차의 내판 및 외판에 사용되는 DDQ 냉연강판이고 경계조건을 위해 도어의 파손에 영향을 미치는 인자를 아래 Fig. 3a과 같이 두 가지 인자를 가장 대표적인 요소로 분류할 수 있다. 그림속의 D와 같이 먼저 도어 개폐 시에 발생하는 충격으로 인하여 도어 내부에 장착되어 있는 윈도우 모터 조립체의 하중이 전달되어 지고 이

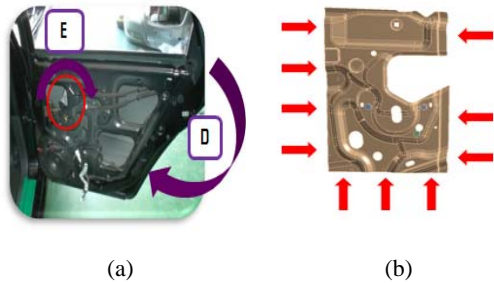


Fig. 3 Analysis conditions for FEM

러한 하중이 도어에 충격하중으로 작용하게 된다. 두 번째 주된 요소로는 E와 같이 창문 개폐 시에 모터 에서 발생하는 모멘트로 인하여 전달되는 하중을 고려할 수 있다. 해석에서 적용된 윈도우 모터 조립체의 하중은 1.1 kg이고, 모터가 작동될때 발생하는 최대 토크는 15 N·m 으로 하였다. 도어의 구속조건은 Fig. 3b에서와 같이 실제 도어가 차량에 장착되어 있는 환경을 구현하도록 화살표가 가리키는 방향으로 고정 되도록 선정하였다.

3. 해석결과 및 고찰

유한요소해석을 적용하기위해 도어의 3D 모델링을 CATIA V5를 활용하여 구현한 3D 모델링을 바탕으로 ANSYS s/w를 활용하여 해석하였다. 적용된 유한요소는 4면체 4점 솔리드요소로서 최종 해석이 수행되기 전 결과 값의 신뢰성을 높이기 위하여 유한요소의 크기 및 수를 조정하는 과정을 거쳐 수차례 해석을 수행한 후 최적의 유한요소 크기 및 수를 선정하여 적용하였다. 이론적으로 유한요소의 수는 무한한 값을 가질 때 가장 정확한 결과 값을 도출하나 ANSYS W/B를 활용하여 생성한 결과 생성된 유한요소의 크기는 2 mm, 절점수 34, 953 개, 유한요소의 수는 33,224 개로 생성하였다.

3.1 기존모델에 대한 해석결과

Figs.4,5는 기존모델에 대하여 도어 개폐 시에 발생하는 충격하중과 창문개폐 시에 발생하는 모멘트를 고려하여 해석된 전체 변형량(a)과 등가응

력분포(b)를 나타낸 것으로 전체 변형량과 등가응력분포는 전체 최대 변형량이 0.22 mm 및 0.10 mm등이고 최대등가응력은 152.92 MPa 및 79.14 MPa등으로 각각 나타났다.

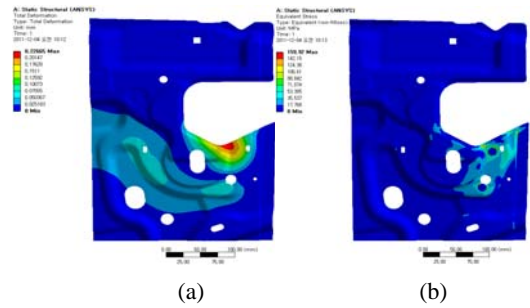


Fig. 4 Analysis results for standard model at door opening

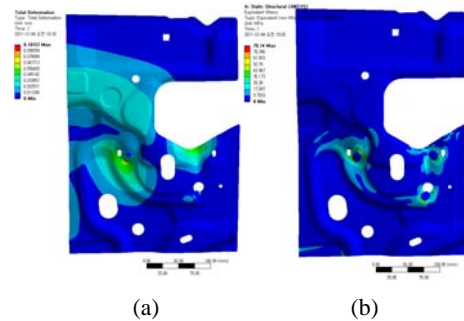


Fig. 5 Analysis results for standard model at window opening

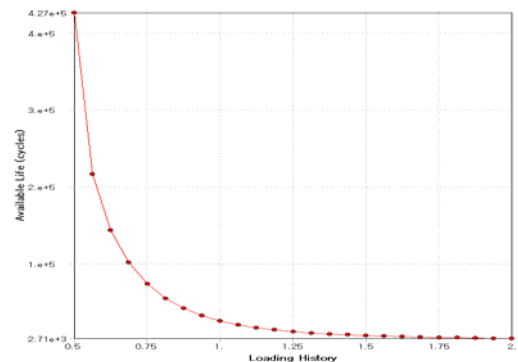


Fig. 6 Fatigue sensitivity for standard model at door opening

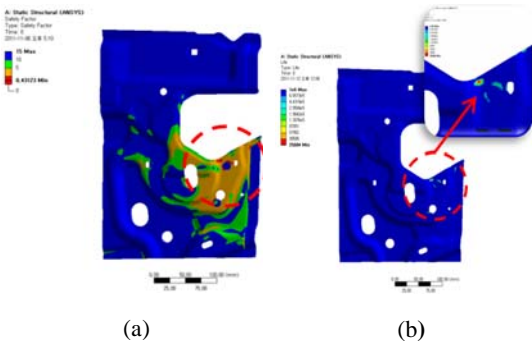


Fig. 7 Safety factor(a) and life time(b) for standard model at door opening

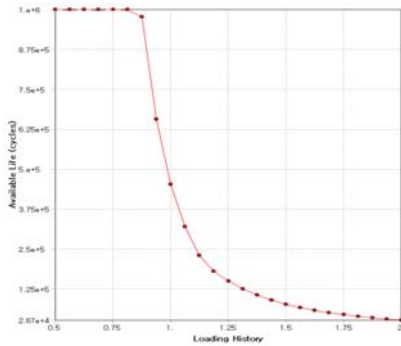


Fig. 8 Fatigue sensitivity for standard model at window opening

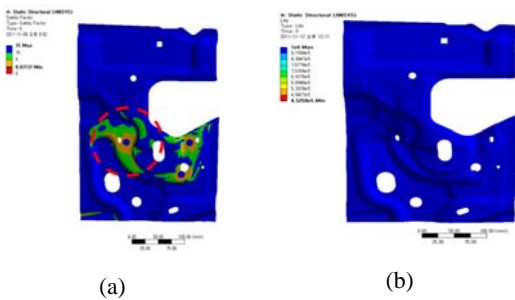


Fig. 9 Safety factor(a) and life time(b) for standard model at window open

Figs.6,7은 기존모델에 대해 도어 개폐 시에 발생하는 충격하중에 대한 피로민감도와 안전율 및 유

효수명을 각각 나타낸 것으로 피로해석을 위해 하중 조건 및 경계조건은 앞서 수행한 구조해석의 조건과 동일하게 적용되었다. 기존모델의 수명사이클은 1×10^6 이며, 충격 하중 및 모멘트는 발생하는 응력의 최소 50%에서 최대 200%까지 변위를 피로민감도 그래프에 나타나도록 하였다. 여기서 보면 충격하중 피로해석을 통한 피로민감도는 50%의 하중만 가해진 상태에서도 설계 수명인 1×10^6 에 훨씬 못 미치는 결과로 나타났고 안전율은 0.43, 유효수명은 25,684회로 나타났다.

Figs.8,9는 각각 창문 개폐 시에 발생하는 모터의 모멘트가 도어에 가해질 경우의 피로민감도와 안전율 및 유효수명을 나타낸 것이다. 피로민감도는 약 80%의 모멘트가 가해지는 시점부터 설계 수명인 1×10^6 에 못 미치는 결과를 타나내는 것을 알 수 있고 안전율은 0.87, 유효수명은 4.52×10^5 회로 나타났다.

3.2 모델 I 에 대한 해석결과

Figs.10,11은 모델 I 에 대하여 도어 개폐시와 창문 개폐시에 대해 전체 변형량(a)과 등가응력분포(b)의 해석결과이다. 여기서 보면 전체 변형량과 등가응력분포는 전체 최대 변형량이 0.17 mm 및 0.10 mm등이고 최대등가응력은 184.28 MPa 및 72.83 MPa등으로 각각 나타났다.

Figs.12,13은 모델 I 에 대하여 도어 개폐 시에 발생하는 충격하중에 대한 피로민감도와 안전율 및 유효수명을 각각 나타낸 것으로 기존 모델에서 파손부위 주변으로 리브를 형성한 경우 그 부위에 집중응력이 걸리면서 파손이 더욱 빠르게 진행된

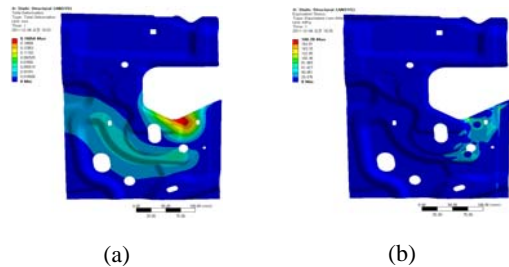


Fig. 10 Analysis results for model I at door opening

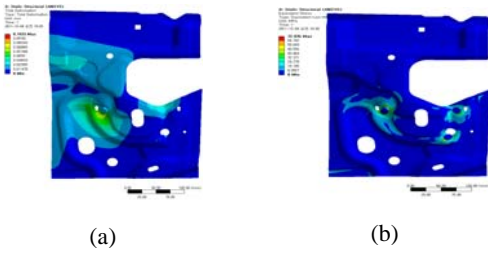


Fig. 11 Analysis results for model I at window opening

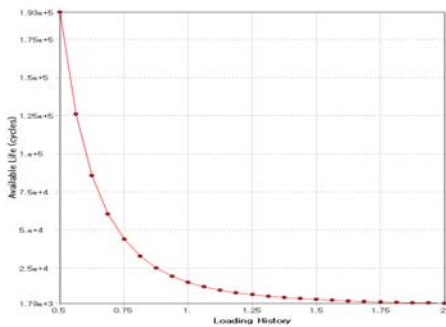


Fig. 12 Fatigue sensitivity for model I at door opening

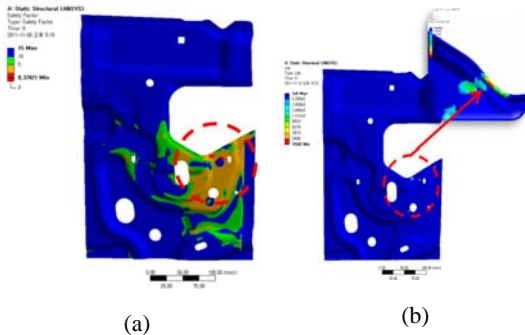


Fig. 13 Safety factor(a) and life time(b) for model I at door opening

다는 결과를 가져온다. 즉 50%의 하중만 가해진 상태에서 설계 수명에 훨씬 못 미치는 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 안전율은 기존모델보다 더욱 낮아진 0.37에 불과 하고 유효수명 역시 15,542 회로 상당히 낮아졌다.

Figs.14,15는 모델 I 에 대해 각각 창문 개폐 시에

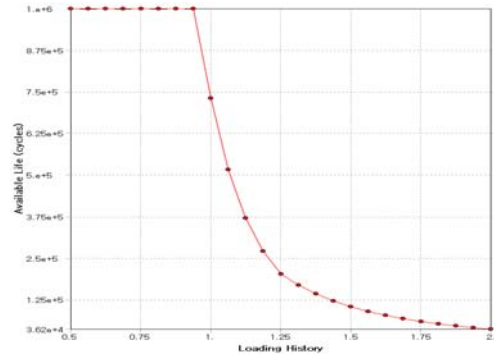


Fig. 14 Fatigue sensitivity for model I at window opening

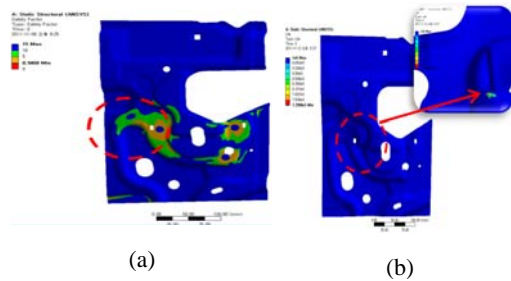


Fig. 15 Safety factor(a) and life time(b) for model I at window opening

발생하는 모터의 모멘트가 도어에 가해질 경우의 피로민감도와 안전율 및 유효수명을 나타낸 것으로 피로민감도는 약 90%의 모멘트가 가해지는 시점부터 설계 수명치에 훨씬 낮은 결과가 나타났다. 이 경우의 안전율은 0.95 이며, 유효수명은 7.3×10^5 로써 모터의 모멘트에 대한 강성 및 수명은 기존 모델에 비하여 우수하였다.

3.3 모델 II에 대한 해석결과

Figs.16,17은 모델II에 대하여 도어 개폐시와 창문 개폐시에 대해 전체 변형량(a)과 등가응력분포(b)의 해석결과이다. 여기서 보면 전체 변형량과 등가응력분포는 전체 최대 변형량이 0.047 mm 및 0.028 mm등이고 최대등가응력은 40.48MPa 및 30.06 MPa등으로 각각 나타났다.

Figs.18,19는 모델II에 대하여 도어 개폐 시에

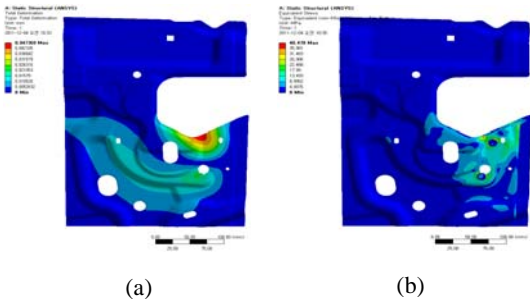


Fig. 16 Analysis results for model II at door opening

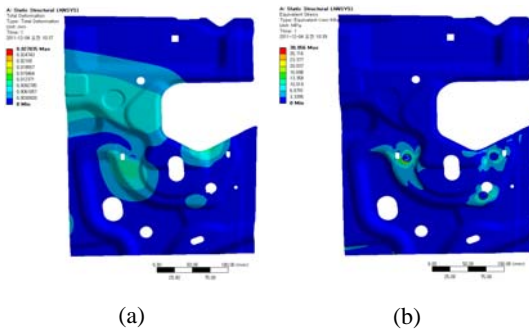


Fig. 17 Analysis results for model II at window opening

발생하는 충격하중에 대한 피로민감도와 안전율 및 유효수명을 각각 나타낸 것으로 충격하중의 160%의 하중이 가해지더라도 설계수명을 만족하는 결과를 나타냈고 설계수명 내에서는 파손이 거의 발생하지 않았다. 안전율은 기존모델보다 약 4배정도 높아진 1.7에 달하며, 유효수명은 충격하중이 160% 영역까지 설계수명에 모두 만족하는 결과를 나타내었다.

Figs.20,21은 모델II에 대해 각각 창문 개폐 시에 발생하는 모터의 모멘트가 도어에 가해질 경우의 피로민감도와 안전율 및 유효수명을 나타낸 것으로 200%의 모멘트가 가해지는 시점까지 설계수명치에 만족하는 결과를 나타냈고 안전율은 기존

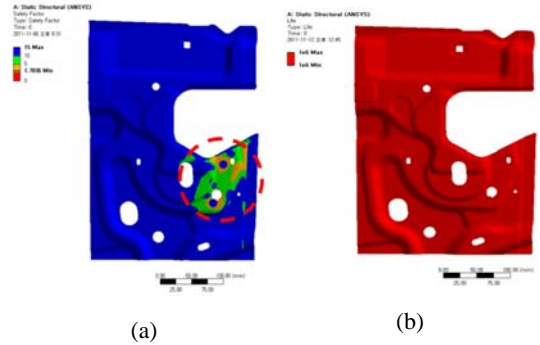


Fig. 19 Safety factor(a) and life time(b) for

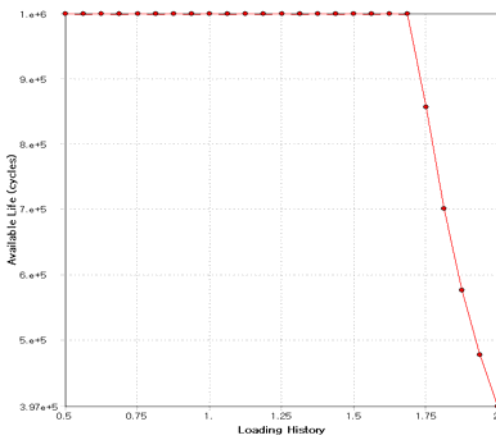


Fig. 18 Fatigue sensitivity for model II at door opening

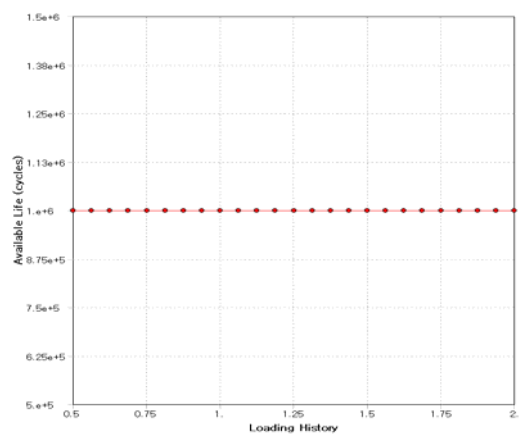


Fig. 20 Fatigue sensitivity for model II at window opening

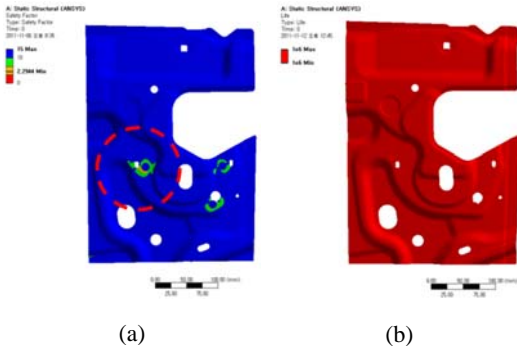


Fig. 21 Safety factor(a) and life time(b) for model II at window opening

모델의 약 2.3 이며, 유효수명역시 기존 모델에 비하여 아주 우수한 결과가 나타났다.

4. 결론

피로파손이 많이 발생하는 승용차량의 리어도어 형상을 다양하게 변화시켜 차량의 도어의 강도 및 피로에 대해 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존 모델의 경우 도어 개폐시 안전율 0.43으로 피로에 매우 취약한 구조로 형성되어 있는 것을 확인 되어 이러한 취약한 부위를 보강하기 위한 리브를 파괴되는 주변부에 형성 하였으나 이 경우역시 도어 개폐시 큰 등가응력이 발생하고 이러한 응력으로 인한 수명 또한 짧아졌다.

2. 철판의 두께를 2 mm로 변경한 경우 초기 설계 안전율을 도어 개폐시 창문 개폐시 모두 안전한 결과로 나타났다.

3. 세 종류의 모델에 대한 해석결과값을 분석하여보면 도어의 강도 및 피로성능을 저하시키는 요소는 창문 개폐시 모터에서 발생하는 모멘트에 대한 응력 보다 도어 개폐시 발생하는 충격하중이 도어의 피로에 더욱 큰 영향을 받았다.

REFERENCES

1. K. D. Park and Y. B. Jin, 'The Effect of

Compressive Residual Stress on Fatigue Fracture of the Spring steel', KSMPE, Vol. 3, No. 3, pp. 79-85, 2004

2. D. H. Choi, 'The Effect of Sub-groove on The Stress Concentration Reduction of the Axle Shaft according to the Angle Change', Proceeding of the KSMPE Autumn Conference', pp.49-50, 2010

3. O. S. Ko and W. N. Choi, 'Door Checker Arm Surface Profile Design for Optimum Door Effort', Hyundai Motor Review, Vol.2, No.1, pp.114-125, 1994

4. S. J. Kang, Development of Design Program for Checker Arm Shape', Technical Report, Catholic University of Daegu, pp. 17-19, 2003

5. K. T. Kwak, S. M. Kim and K. H. Cho, 'A Theoretical Study on the Profile of Door Checker Arm and Door Operating Force for Spring Roller and Hybrid Type', Annual Conference Proceedings, KSAE, pp.2247-2252, 2009

6. C. W. Kim and S. J. Kang, 'Analysis of Door Effort using 2D Model', Transactions of KSAE, Vol. 11, No.3, pp.131-137, 2003

7. J. H. Son, S. B. Hur, J. C. Oh, S. G. Byun and H. D. Cho, 'Optimization & Design Factors of door latch for improved feeling of door open & close', KSAE13-G0017, pp. 15-18, 2013