

블로우 모터 케이스 이음부 기계적 결합 강도 예측에 관한 연구

Study on Prediction of Mechanical Joining Strength of Blow Motor Case Joint

김국용¹, 권일근^{2*}, 박준우³

Gug-Yong Kim¹, Il-Keun Kwon^{2*}, Jun-Woo Park³

〈Abstract〉

In order to reduce the weight of the blow motor case and to maintain the strength of the motor joint, the mechanical joining strength is to be predicted. The true stress - true strain curves for finite element analysis were obtained through tensile tests of HGI and DP 780 steel. The mechanical joining strength was predicted through an explicit finite element analysis and the accuracy of the predicted results was verified by actual sample test. The regression equation for predicting the mechanical joining strength to the thickness of the DP 780 steel was derived. The minimum thickness of DP 780(1.2mm), which is equivalent to the joining strength of HGI(2.6mm), was derived from the equation.

Keywords : mechanical joining strength, light weight, motor case, advanced high strength steel

1. 정회원, 동의과학대학교 기계계열 교수
E-mail : kgv@dit.ac.kr
2. 교신저자, 동의과학대학교 기계계열 교수
E-mail : kik@dit.ac.kr
3. 항성산업사

1. Division of Mechanical Eng., Dongeui Institute of Technology, Prof. Ph.D.
2. Corresponding Author, Division of Mechanical Eng., Dongeui Institute of Technology, Prof. Ph.D.
3. Hang Seong Industrial Co., Ltd.

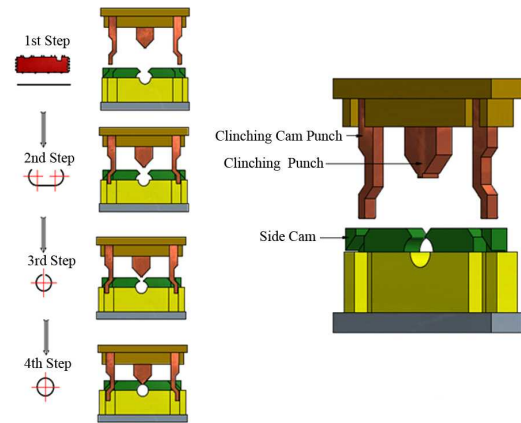
1. 서 론

최근 자동차의 이산화탄소 배출량 저감이나 연비향상에 대한 여러 대책이 강구되고 있으며, 그 중 차체 경량화는 가장 유효한 수단의 하나로 평가되고 있다. 차체 경량화는 일반강을 고장력강으로 대체하는 방법이 국내 자동차 업계에서는 주로 적용되고 있다¹⁾. 고장력강 적용 시 이점은 같은 하중이 작용할 때 버틸 수 있는 항복강도가 일반강에 비하여 높게 형성되므로 소재의 두께를 감소시키더라도 일반강과 비슷한 수준의 강도를 유지할 수 있어 적용 부품의 경량화를 유도할 수 있다²⁻⁴⁾.

본 연구에서 경량화를 검토 중인 부품은 자동차 HVAC(heating, ventilation and air conditioning) 용 블로우 모터 케이스이다. 기존 블로우 모터 케이스의 재질은 열연용융아연도금강판(HGI; Hot Galvanized Steel) 두께 2.6 mm를 적용하고 있으며, 인장강도는 275MPa 수준이다. 경량화를 위해서 검토 중인 소재는 초고장력 강판(AHSS: Advanced High Strength Steel)인 DP(Dual Phase) 780 재질로, 인장강도는 780MPa 수준이다.

블로우 모터 케이스는 Fig. 1(a)와 같이 판재를 두 단계의 밴딩 성형 후 클린칭(clinching) 공정을 통해서 Fig. 1(b)와 같이 기계적으로 접합하여 제작된다.

기계적 접합부는 모터 케이스가 내부의 스테이터(stator)를 고정 또는 보호하기 위해서 일정 수준의 강도를 가지고 있어야 한다. 모터 케이스의 경량화를 위해 재질변경 시에도 기계적 접합부의 강도를 유지해야 한다. 본 연구는 모터 케이스 이음부의 기계적 결합강도를 예측하고, 고장력강(DP 780)으로 재질 변경 시의 두께 감소량을 결정하고자 한다.



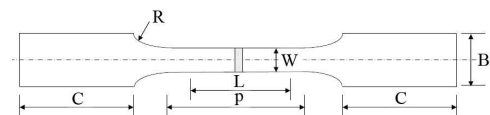
(a)



(b)

Fig. 1 Motor case forming process schematic diagram(a) and joint shape(b)

2. 재료실험



(units: mm)

W	L	C	B	P	R
12.5	50	50-70	23±2	60	20-30

Fig. 2 Specimen drawing and dimensions

유한요소해석에 필요한 재료물성을 획득하기 위해서 HGI, DP 780 재료에 대하여 판재 인장시험을 수행하였다. 인장시험편의 규격은 KS B 0801 정형시험편 13B호이며, 형상과 주요치수는 Fig. 2와 같다. 인장시험 결과를 통해서 얻어진 HGI와 DP 780의 진응력-진변형률 선도는 Fig. 3과 같다.

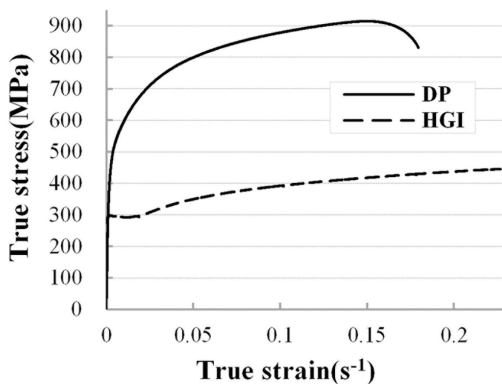


Fig. 3 True stress – true strain curves for HGI and DP 780

3. 기계적 접합강도 유한요소해석 경계조건

기존 재료(HGI 두께 2.6mm) 모터 케이스의 기계적 접합강도를 예측하기 위해서 상용 구조해석 프로그램인 ABAQUS를 활용하여 외연적 유한요소 해석을 수행하였다⁵⁾. 요소망, 접촉, 해석 스텝 조건은 Table 1과 Fig. 4와 같다. 소재의 탄성계수는 208GPa, 푸아송의 비는 0.3, 소성영역 거동은 Fig. 3의 진응력-진변형률 선도의 소성영역 부분을 사용하였다.

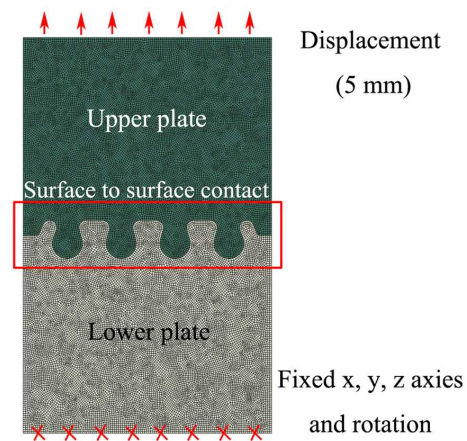


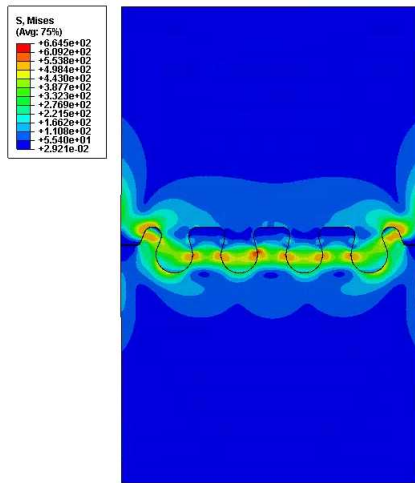
Fig. 4 Boundary conditions for joining strength analysis

기계적 접합강도 해석 첫 번째 단계는 억지 끼워맞춤(interference fit)을 수행하고, 두 번째 단계는 상측판을 인장모드로 5mm 이동하는 해석을 수행하였다.

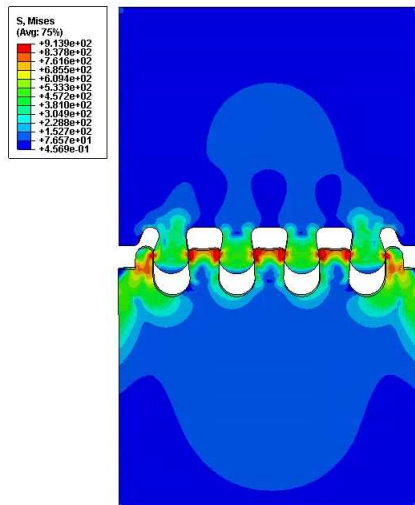
Table 1 Element, contact and step boundary conditions

Element	Order	Linear
	Type	8 node linear brick (reduced integration, hourglass control)
	Edge size	0.5 mm
Contact	Type	Surface to surface contact
	Sliding formulation	Finite sliding
	Friction coefficient	0.2
Step	1	Interference fit
	2	Tensile mode (5mm)

1단계 억지끼워맞춤 해석과 2단계 인장해석 결과는 Fig. 5와 같다.



1st Step – Interference fit



2nd Step – Tensile mode

Fig. 5 Joining strength analysis results for HGI(thickness: 2.6mm)

유한요소해석 결과로부터 기계적 접합부의 접합 하중을 계산하기 위해서 Fig. 4의 하측 고정부의 Z방향에 관한 반력을 계산하였으며, Fig. 6에서 보인 바와 같이 클린칭 접합부에 대한 예측된 최대 접합하중은 10,200N이다.

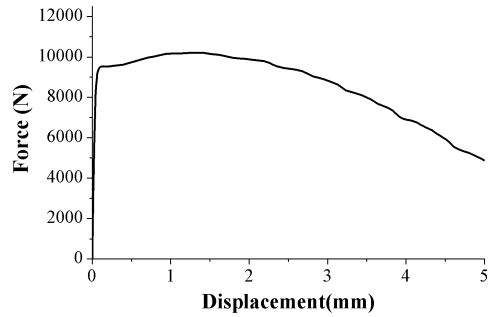


Fig. 6 Force–Displacement curve calculated from the joining strength analysis of HGI(thickness: 2.6mm)

4. HGI 기계적 접합강도 예측 결과 검증

모터 케이스 이음부의 기계적 접합강도 예측 결과를 검증하기 위하여 Fig. 1의 공정에서 1단계 블랭크(blank) 소재 HGI 두께 2.6mm를 가공하여 Fig. 7(a)의 시험편을 제작하였으며 유한요소해석과 동일한 조건으로 Instron 5969 인장시험기 (Fig. 7(b))를 사용하여 시료 3개를 실험하였다.

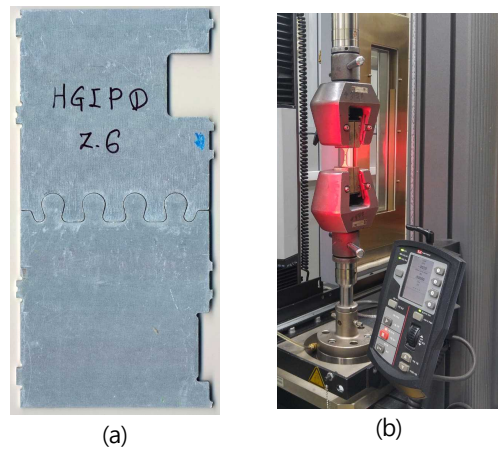


Fig. 7 Joining strength test specimen and test instrument

인장실험으로부터 측정된 기계적 접합부의 하중은 Fig. 8과 같고, 최고 접합하중은 9,650N으로 측정되었다. 기계적 접합강도 유한요소해석으로부터 예측된 최대하중 10,200N과는 5.7% 차이가 발생하는 것을 확인하였고 DP 780의 접합강도 예측에 적용 가능함을 검증하였다.

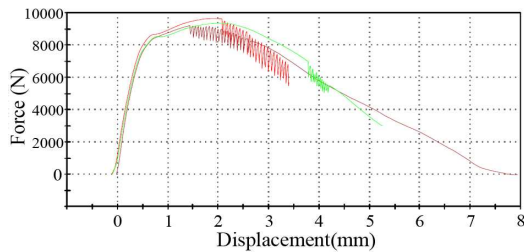
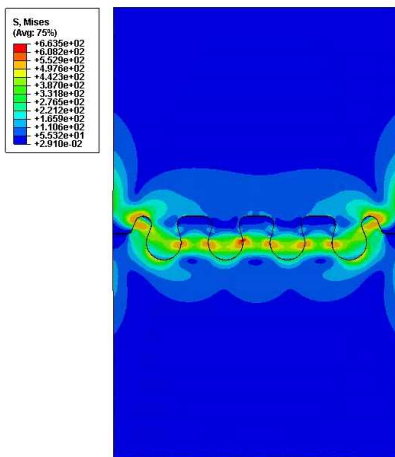


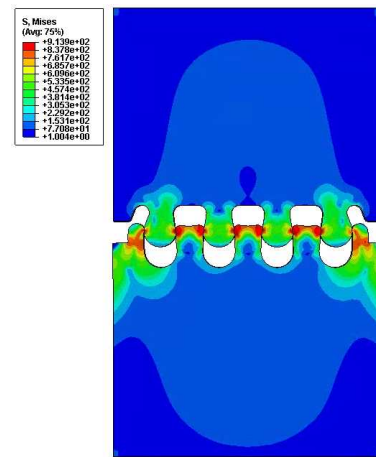
Fig. 8 Force-Displacement curve measured from experimental of HGI(thickness: 2.6mm)

5. DP 780 기계적 접합강도 예측

모터 케이스의 20%이상의 경량화를 위해 DP 780 소재 두께 2.0mm 적용을 검토 중에 있다.



1st Step - Interference fit



2nd Step - Tensile mode

Fig. 9 Joining strength analysis results for DP 780

DP 780을 적용하였을 때 모터 케이스 이음부의 결합 강도 예측하기 위해서 Fig. 4와 Table 1에서 기술한 경계조건에서 소재물성을 HGI 두께 2.6mm에서 DP 780 두께 2.0mm으로 변경한 것으로 유한요소해석을 수행하였다. 첫 번째 단계 억지끼워맞춤과 두 번째 단계 5mm 인장 해석한 결과는 Fig. 9와 같다.

DP 780의 유한요소해석 결과로부터 기계적 접합부의 접합하중을 계산하기 위해서 Fig. 4의 하측 고정부의 Z방향에 관한 반력을 계산한 결과, 예측된 최대 접합하중은 17,598N이다(Fig. 10).

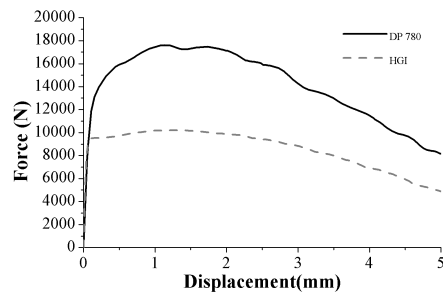


Fig. 10 Force-Displacement curve calculated from the joining strength analysis of HGI(thickness: 2.6mm) and DP 780(thickness: 2.0mm)

DP 780 두께 2.0mm을 적용한 블로우 모터 케이스 이음부의 기계적 접합 강도가 기존 HGI 두께 2.6mm 보다 약 1.7배 높게 예측되었다.

기계적 접합 강도만을 고려하였을 때 적용할 수 있는 최소 소재 두께를 알아보기 위하여 DP 780 두께 1.2mm와 1.6mm에 대한 기계적 접합 강도 유한요소해석을 수행하였다.

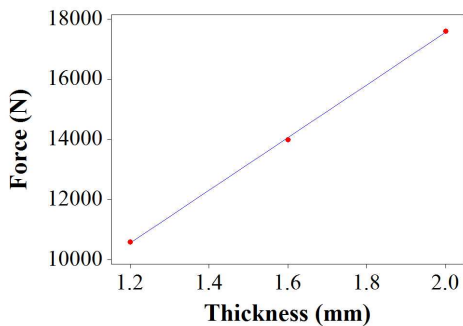


Fig. 11 Regression curve for joining strength of DP 780

두께 변화에 따른 기계적 접합강도 변화는 Fig. 11과 같이 선형적으로 변하는 것을 확인 하였고, 회귀분석을 통해서 식(1)의 관계를 유도하였다.

$$F_{js} = 8756 \times t_{mat} + 50 \quad (1)$$

유도한 회귀분석 식을 통해서 기존 HGI 두께 2.6mm에 상당하는 DP 780의 두께는 1.2mm로 예측되었으며, 1.2mm를 블로우 모터에 적용할 경우에 50% 이상의 경량화가 가능할 것으로 기대된다.

6. DP 780 기계적 접합강도 예측 결과 검증

HGI 두께 2.6mm 기계적 접합강도 실험 절차와 동일하게 DP 780 두께 2.0mm 접합강도 시험을

3회 수행하여 그 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 최대 접합하중은 15,770N으로 측정되었다. 유한요소 해석 예측 결과 17,598N 대비 1,828N 차이로 11.6% 차이가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 12의 하중-변위 선도를 보면 0~2mm 이동시에 이음부의 치형과 치형 사이에 미끄러짐 현상이 발생하여 이상 상태인 유한요소해석 결과보다 측정 결과가 낮게 측정되는 것으로 판단된다.

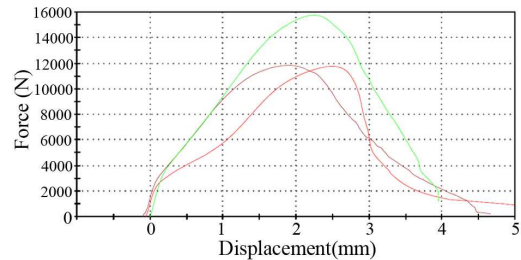


Fig. 12 Force-Displacement curve measured from experimental of DP 780 2.0mm

추가 검증을 위해 실시한 HGI 두께 2.0mm를 포함한 모터 케이스 이음부 접합강도 예측 유한요소해석과 실험결과에 대한 비교결과를 Fig. 13에 나타내었다. 실험 결과가 이음부 치형 사이의 미끄러짐 현상 등에 의해서 예측결과보다 낮게 측정되는 경향을 확인할 수 있다.

7. 결론

고장력강을 사용한 자동차 블로우 모터 케이스의 경량화와 이음부의 기계적 결합 강도 유지를 위해서, HGI와 DP 780 소재의 인장시험을 통해서 유한요소해석에 필요한 진응력-진변형률 선도를 얻었다. 외연적 유한요소해석을 통해서 HGI 두께 2.0mm, 2.6mm, DP 780 두께 2.0mm의 기계적 결합강도를 예측하였고, 실제 시료를 제작하여 실험한 결과 값과 최대 오차 11.6% 내로 예

측 결과의 정확성을 검증하였다.

고장력장 적용 시 모터 케이스의 최소 두께를 예측하기 위해서, DP 780 두께 1.2mm, 1.6mm, 2.0mm 기계적 접합강도 유한요소해석을 수행 후 회귀분석 식을 유도하였다. 기존 HGI 두께 2.6mm의 상당하는 DP 780 소재 두께는 1.2mm 라는 결론을 얻을 수 있었다.

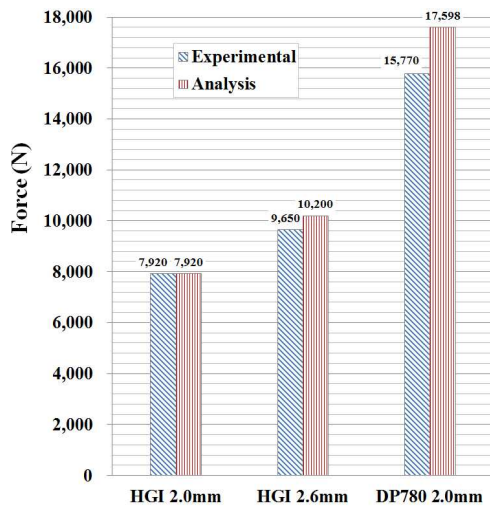


Fig. 13 Comparison with analysis and experimental

후 기

본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 2015년도 지역특화산업육성(R&D) 기술개발사업의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

기 호

F_{js} 기계적 접합하중 [N]
 t_{mat} 소재두께 [mm]

참고문헌

[1] 이강문, 김윤규, 문만빈, 차체 경량화 최신 기술 동향. 소성가공, 22(5), pp.286-290, (2013).
 [2] C. H. Cha, S. K. Lee, D. C. Ko, B. M. Kim, A study on the forming of automotive front side member part with ultra high strength steel of DP980, Trans. Mater. Process., 18(1), pp.39-44, (2009).
 [3] I. C. Park, Y. J. Kim, J. M. Lee, Y. C. Park, Optimization of design planning by using the spring back simulation of auto panels, Trans. Mater. Process., 15(2), pp.164-171.(2006).
 [4] 서창희, 신호동, 정윤철, 박춘달, 임용희, 김영석. DP780이 적용된 자동차용 계단형 사이드 실의 성형공정 연구. 소성가공, 18(8), pp.601-606. (2009)
 [5] Hibbitt, Karlsson, and Sorensen. ABAQUS/Explicit: User's Manual. (2001)

(접수:2017.02.06. 수정: 2017.03.06. 게재확정: 2017.03.10.)