

차체의 동적강성을 고려한 점용접 배치 위상최적설계

Topology Optimization of the Spot-weld Layout Considering the Dynamic Stiffness of the Car Body Structure

신경호* · 김성래* · 이용훈* · 임홍재 †

Kyung Ho Shin, Sung Rae Kim, Yong Hoon Lee and Hong Jae Yim

1. 서 론

점용접은 차체 조립에 일반적으로 사용되는 공정으로, 차체의 점용접 개수는 조립 공정의 속도 및 원가와 밀접한 관계를 맺고 있기 때문에 차량의 주요 성능목표를 만족하는 최적화 절감이 필요하며, 이에 따른 차체의 점용접 배치 최적화를 위해 선행된 연구로는 10배 많은 점용접 모델을 생성하여 비틀림과 굽힘에 대한 정강성을 최대화하는 점용접 배치 연구⁽¹⁾, 점용접의 개수에 따른 강성의 변화를 분석한 연구⁽²⁾ 등이 있다. 그러나 차체의 무게를 최소화하거나 점용접 감소에 따른 강성 변화 정도의 결과로서 점용접으로 연결된 구조물의 강성과 배치 최적화에 대한 연구는 미흡한 편이다.

본 연구에서는 차체의 동강성을 향상 시키는 점용접 배치에 대한 부분 최적화 방법을 연구한다. 차체를 여섯 부분으로 세분화하고, 각 부분에 대한 점용접 배치를 따라 새로운 점용접 배치모델을 만들어 위상최적설계를 수행한다. 그리고 기본 모델 대비 100%, 90%의 점용접일 때 차체의 고유진동수를 유지하면서 용접점 개수를 줄일 수 있는 각 부분을 최적화한 통합 모델을 선정한다.

2. 차체 해석모델 세분화 및 고유진동수 해석

본 연구를 위해 Fig. 1에 나타난 B.I.W 모델을 기본 모델로 선정한다. 기본 유한요소모델은 280여 개에 이르는 각각의 단품이 점용접과 강제요소로 의해 체결되어 있으며, 점용접은 Fig. 2와 같은 용접요소로 정의하였다. 기본 모델의 점용접 개수는 총 5,098개다.

† 교신저자, 국민대학교 자동차공학과

E-mail : hjyim@kookmin.ac.kr

Tel : (02) 914-8812, Fax : (02) 910-5037

* 국민대학교 자동차공학 전문대학원

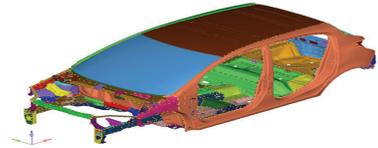
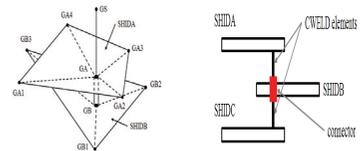


Fig. 1 Finite element model of vehicle body structure



(a) CWELD element (b) the 3-lap spot joint
Fig. 2 Illustrations of a CWELD element

차체 모델을 해석하기 위해 기본 모델에 대한 설계영역을 Fig. 3과 같이 전방, 차실 바닥, 후방 바닥, 후방 좌, 우측 사이드 그리고 천정의 일곱 부분으로 분류하였다. 또한 세분화 해석모델에 대해서 목적함수로 정의될 동강성을 판단하기 위해 상용유한요소해석 코드를 사용하여 고유모드해석을 수행하였다. 고유모드해석결과, Fig. 4와 같이 모델의 첫

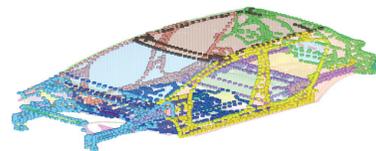
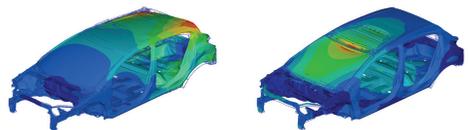


Fig. 3 Connector grouping for the spot-weld layout optimization



(a) First torsion mode (b) First bending mode
Fig. 4 Nomal mode analysis for B.I.W model

번째 비틀림 모드의 고유진동수는 약 37 Hz 이고 첫 번째 비틀림 모드의 고유진동수는 약 51 Hz 이다.

3. 점용접 배치 및 설계모델 정의

본 연구에서는 밀도법의 위상최적설계를 적용하기 위해 점용접 배치 및 설계모델을 정의한다. 우선 일곱 부분으로 세분화된 모델에 대해 기존 점용접 배치를 따라 10 mm 간격으로 새로운 점용접을 배치하였다. 이 때 고유진동수를 최적화하는 점용접 설계의 경우 충돌이나 좌굴 유도 등 다른 인자에 영향을 줄 수 있다. 특히, 전방 부분은 이러한 영향이 가장 크게 미치는 부분이라 판단하여 전방 부분에 대한 점용접 최적설계를 배제하였다. Table 1은 기본 배치 모델과의 비교를 나타낸 것이다.

Table 1 Comparison of original and new layouts for optimization

		Original layout	New layout	Original / New
Front body	Connector	753	-	-
	CWELD	903	-	-
Center floor	Connector	733	2733	-
	CWELD	889	3174	0.280
Rear floor	Connector	545	1348	-
	CWELD	711	1739	0.409
Rear panel	Connector	569	1674	-
	CWELD	696	1946	0.358
Left side	Connector	589	1935	-
	CWELD	834	2918	0.286
Right side	Connector	601	1976	-
	CWELD	844	3002	0.281
Roof panel	Connector	137	611	-
	CWELD	201	934	0.215

Table 2 The problem formulation for topology optimization

Objective	Constraints	Design variables
Maximize weighted frequencies(first torsion mode : 2, first bending mode: 1)	Volume fraction < G G is the rates of the number of elements in the design space, new over original layout model	The density for each element in the design space (design space is the spot weld component)

4. 최적설계 정식화 및 최적화 결과

본 연구에서는 고유진동문제에 대한 위상최적설계

에 따른 문제 정식화를 위해 구조물의 고유값 λ_{min} 을 최대화하는 문제정식화 식을 이용, Table 2와 같이 정식화하였다. 그리고 위상최적설계를 통한 각 용접 요소의 세분화된 강성밀도를 확인하기 위해 네 가지의 선정기준을 정립하고, 기본 모델 대비 점용접 개수가 100 %와 90 %인 부분 최적화 모델을 생성하였다. 그리고 세부적인 비교를 위해 2중 점용접, 3중 점용접과 그 이상의 점용접을 분류, 부분 최적화 모델을 기본 배치 모델과 교체, 전체 차체의 모드해석을 수행하였다.

해석결과 후방 부분은 비틀림 모드에, 좌, 우측 사이드 부분은 굽힘 모드에 각각 전체 차체의 동강성에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. Table 3은 고유모드해석 결과를 나타낸 것이다.

Table 3 Comparison of original and layout of the natural frequencies

		Original layout	Optimal layout(100%)	Optimal layout(90%)
Natural Frequency [Hz]	First torsion	37.70	38.14	37.90
	First bending	51.84	52.36	52.03
Connector		3944	3944	3626

5. 결 론

본 연구에서는 위상최적설계를 통해 차체의 동강성을 향상 시키는 점용접 배치에 대한 부분 최적화 방법을 연구했다. 그 결과 위상최적화를 바탕으로 각 부분 최적화 모델을 조합하여, 기본모델 대비 점용접 개수가 100 %와 90 %인 전체 차체 모델을 수립하였다.

고유모드해석을 수행한 결과, 굽힘 동강성 및 비틀림 동강성을 기본 모델 수준으로 유지하면서 용접 간격 재배치 최적화를 통해 용접점 개수를 10 % 줄일 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) A. Yamaguchi., G. Wakana., K. Obayashi., T. Okabe. and M. Muller-Bechtel., 2008, Spot-weld Layout Optimization for Body Stiffness by Topology Optimization, SAE Paper.
- (2) J.P. Leiva., L. Wang., S. Reck. and B.C. Waston., 2001, Automobile Design Using the GENESIS Structural Optimization program, Nafems Seminal, Advance in Optimization Technologies for Product Design, Chicago.