

자동차 충돌문제에 MDO를 적용하기 위한 시스템 해석 방법 개발

신 문 균^{*1)} · 김 창 희²⁾ · 박 경 진³⁾

한양대학교 기계설계학과^{*1)} · 삼성전자²⁾ · 한양대학교 기계정보경영학부³⁾

Development of System Analysis for the Application of MDO to Crashworthiness

Moonkyun Shin^{*1)} · Changhee Kim²⁾ · Gyungjin Park³⁾

^{*1)}Post Doctorial Fellow, Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²⁾Samsung Electronics Co. Ltd.

³⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi-do 425-791, Korea

(Received 24 July 2002 / Accepted 18 July 2003)

Abstract : MDO (multidisciplinary design optimization) technology has been proposed and applied to solve large and complex optimization problems where multiple disciplines are involved. In this research, an MDO problem is defined for automobile design which has crashworthiness analyses. Crash model which are consisted of airbag, belt integrated seat (BIS), energy absorbing steering system, and safety belt is selected as a practical example for MDO application to vehicle system. Through disciplinary analysis, vehicle system is decomposed into structure subspace and occupant subspace, and coupling variables are identified. Before subspace optimization, values of coupling variables at given design point must be determined with system analysis. The system analysis in MDO is very important in that the coupling between disciplines can be temporary disconnected through the system analysis. As a result of system analysis, subspace optimizations are independently conducted. However, in vehicle crash, system analysis methods such as Newton method and fixed-point iteration can not be applied to one. Therefore, new system analysis algorithm is developed to apply to crashworthiness. It is conducted for system analysis to determine values of coupling variables. MDO algorithm which is applied to vehicle crash is MDOIS (Multidisciplinary Design Optimization Based on Independent Subspaces). Then, structure and occupant subspaces are independently optimized by using MDOIS.

Key words : Multidisciplinary design optimization(다분야 통합 최적설계), Global sensitivity equation(전역 민감도 해석), Optimum sensitivity analysis(최적 민감도 해석), Subspace optimization(하부 시스템 최적화), System analysis(시스템 해석), MDOIS(독립적 하부 시스템에 의한 다분야 통합 최적설계), Concurrent subspace optimization(동시 시스템 최적화)

Nomenclature

α_1, α_2 : weighting factors

Δd : steering column in/out tube relative displacement shown in Fig. 6.

Δd_{anchor} : anchor point max. displacemet

F : objective function, load in F-d curve

F^k : objective function in kth-subspace

g_j : inequality constraints

g_i^k : inequality constraints in kth-subspace

h_i : equality constraints

*To whom correspondence should be addressed.
mkshin@hanyang.ac.kr

- HIC : head injury criterion
- $HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(\dot{t}) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1)$
- m : number of equality constraints
- p : number of inequality constraints
- p^k : number of inequality constraints in kth-subspace
- T : total analysis time
- W : seat weight in structure optimization
- Y_i : coupling variables, $i=1,4$
- Y^q : behavior variables in qth-subspace, $k \neq q, q=1, nss$
- X^k : design variables in kth-subspace
- X^k_l : lower limits for design variables in kth-subspace
- X^k_u : upper limits for design variables in kth-subspace
- X_i : design variables, $i=1,4$
- X_l : lower limits for design variables
- X_u : upper limits for design variables
- X_s : structure thickness
- X_o : scale factor of F-d curve for belt, airbag mass flow rate, EA steering column
- δ^{given} : given displacement
- δ^{appr} : approximated displacement

1. 서론

최적설계는 컴퓨터를 이용하여 자동설계를 하는 기술로 공학설계에서 대단히 중요한 위치를 차지하고 있다. 일반적으로 설계 문제에서 적용되고 있는 최적설계는 특정한 분야에 잘 맞는 수치해석 방법을 효율적으로 이용하고 있다. 그러나 최근에 여러 분야로 이루어진 크고 복잡한 시스템의 설계에 최적설계를 적용할 필요가 생겼다. 이러한 시스템은 여러 분야의 설계문제를 포함하고 있으며, 이 분야들 사이에는 서로 종속적이면서, 복잡한 물리적인 연성관계가 있어 최적설계를 적용하기가 어렵거나 불가능한 경우가 많다. 따라서 여러 분야 사이 연성

관계를 이용하여 복잡한 시스템의 설계에 최적설계를 적용하기 위하여 다분야 통합 최적설계(multi-disciplinary design optimization, MDO)가 제시되었다.¹⁾

다분야 통합 최적설계는 복잡한 시스템을 최적화하기 쉬운 작은 문제로 분해한다. 그리고 작은 문제들 사이 연성관계를 최적설계하기 전에 일시적으로 제거한 후에 분해된 작은 문제들을 독립적으로 최적설계하는 방법이다. 초기 설계 단계에서 다분야 통합 최적설계를 적용하면 여러 가지 공학분야를 동시에 고려해서 통합적으로 설계할 수 있다. 따라서 최종 설계 결과는 순차적인 방법에 의해 설계된 것보다 더 좋은 설계를 할 수 있다. 다분야 통합 최적설계 방법 중 MDF(multiple discipline feasible)³⁻⁶⁾, CSSO(concurrent subspace optimization)^{2,7-11)}, MDOIS(multidisciplinary design optimization based on independent subspaces)¹²⁾ 등은 하부 시스템 최적화를 수행하기 전이나 과정에 각 하부 시스템 사이 연성관계를 일시적으로 제거해주는 것이 필요하다. 이러한 각 분야 사이 연성관계를 일시적으로 제거하는 것을 시스템 해석(system analysis)²⁾이라고 한다. 시스템 해석을 통해서 주어진 설계점에서 연성변수 값을 결정하고, 하부 시스템 최적화에 연성변수 값을 매개변수로 전달한다.

지금까지는 다분야 통합 최적설계는 항공분야에만 집중적으로 적용되었다. 본 논문에서는 다분야 통합 최적설계를 자동차 충돌문제에 적용하기 위해서 여러 분야 사이 연성변수 값을 결정하는 시스템 해석 방법을 개발하고자 한다.

일반적으로 다분야 통합 최적설계에서 여러 분야 사이 연성관계를 일시적으로 제거하는 시스템 해석 방법에는 Newton 방법과 고정점 반복법(fixed point iteration)을 사용한다. 그러나 이 방법들을 사용하기 위해서는 문제들이 수학적으로 잘 정의되어 있어야 한다. 자동차 충돌문제에서 자동차 분야의 충돌해석은 구조해석 분야이고, 승객거동해석은 다물체 동역학(multibody dynamics) 분야로 서로 다른 역학 분야에 속해있기 때문에 연성관계를 해결하는 시스템 해석에서 Newton 방법이나 고정점 반복법을 적용할 수 없다. 따라서 자동차 충돌문제에 다분야 통

합 최적설계를 적용하기 위해서는 충돌해석과 승객 거동해석 사이 연성관계를 해결하기 위한 새로운 시스템 해석 방법이 여기에 서론을 입력하시오. 필요하다. 자동차 충돌문제에 다분야 통합 최적설계를 적용하기 위해서 안전띠 일체형 의자(belt integrated seat, BIS), 에너지 흡수 조향계, 안전띠, 에어백으로 구성된 자동차 충돌문제를 선정하였다. 그리고 설계문제 구성을 통해서 자동차 충돌문제를 구조해석과 승객거동해석으로 설계문제를 분해하고, 두 분야 사이 연성관계를 분석하였다. 그리고 두 분야를 독립적으로 설계하기 위하여 두 분야 사이 연성관계를 일시적으로 끊어주는 새로운 시스템 해석 방법을 개발하였다.^{3,4)} 이 이 시스템 해석 방법은 최적설계를 이용하여 구조해석에서의 안전띠 장착점의 변위와 승객거동해석의 안전띠 장착점의 변위 차이를 일치시키는 방법이다. 실제로 구조해석에서의 안전띠 장착점의 변위와 승객거동해석에서의 안전띠 장착점의 변위는 같을 수가 없다. 그러나 엔진 리어링 경험에 의해서 두 분야에서의 변위는 같다고 가정하고 시스템해석에서 일치시키는 최적화를 수행하였다. 시스템 해석 결과로 얻은 연성변수 값들은 다분야 통합 최적설계 적용시 구조해석 하부 시스템과 승객거동해석 하부 시스템에 보내어 하부 시스템 최적화를 위한 매개변수로 사용하게 된다.

2. 다분야 통합 최적설계와 시스템 해석

다분야 통합 최적설계는 여러 분야의 공학적 원리들, 예를 들어 구조해석, 동역학, 유체역학, 열역학, 제어, 전자기장 해석 등을 동시에 고려하여 각 분야간 상충된 설계 조건들을 통합적으로 다루기 위한 설계 기법이다.¹⁾ 즉 여러 분야의 공학적 설계 원리들을 동시에 고려하여 균형 있고 유기적인 방법으로 최적설계의 해를 구하는 방법으로 단일단계(single-level) 와 다단계(multi-level) 다분야 통합 최적설계, 그리고 계층적(hierarchic)와 비계층적(non-hierarchic) 다분야 통합 최적설계 2가지 방법으로 분류된다. Fig. 1은 하부 시스템인 CA1(contributing analysis¹⁾), CA2, CA3, CA4으로 구성된 비계층적인 시스템에 대한 그림이다. 이 시스템 설계문제에서 각 하부 시스템들은 서로의 해석 결과를 입력으로

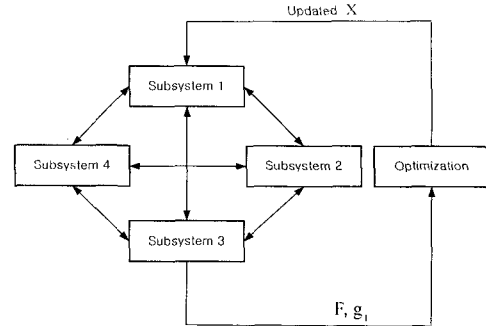


Fig. 1 Non-hierarchical subsystem interactions

주고 받고 있으므로 연성관계가 있음을 알 수 있다. Fig. 1의 4개의 하부 시스템으로 이루어진 시스템은 식 (1) - (2)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 CA_1[(X_1, Y_2, Y_3, Y_4), Y_1] &= 0 \\
 CA_2[(X_2, Y_1, Y_3, Y_4), Y_2] &= 0 \\
 CA_3[(X_3, Y_1, Y_2, Y_4), Y_3] &= 0 \\
 CA_4[(X_4, Y_1, Y_2, Y_3), Y_4] &= 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= Y_1(X_1, Y_2, Y_3, Y_4) \\
 Y_2 &= Y_2(X_2, Y_1, Y_3, Y_4) \\
 Y_3 &= Y_3(X_3, Y_1, Y_2, Y_4) \\
 Y_4 &= Y_4(X_4, Y_1, Y_2, Y_3)
 \end{aligned} \tag{2}$$

식 (1), (2)를 보면 한 하부 시스템의 해석 결과가 다른 하부 시스템의 입력이 되고, 또 다른 하부 시스템의 결과가 입력으로 받고 있다. Fig. 1에서는 화살표 방향이 해석결과를 다른 하부시스템에 입력으로 전달되는 것을 의미한다. 따라서 4개의 하부 시스템은 서로 연성되었다. 4개의 작은 문제로 구성된 설계문제를 시스템 해석을 포함하는 하나의 최적화 문제로 정식화하면 식 (3)과 같다.¹³⁻¹⁶⁾

$$\begin{aligned}
 \text{Find} & \quad X \\
 \text{to minimize} & \quad F(X, Y) \\
 \text{subject to} & \quad h_i(X, Y) = 0, \quad i = 1, m \\
 & \quad g_j(X, Y) \leq 0, \quad j = 1, p \\
 & \quad X_l \leq X \leq X_u \\
 & \quad Y = Y(X)
 \end{aligned} \tag{3}$$

식 (3)의 최적화 문제를 여러 개의 하부 시스템으로 분해했을 때 임의의 k 번째 하부 시스템의 최적화를 위한 정식화는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Find} && X^k \\
 &\text{to minimize} && F^k(X^k, Y^d) \\
 &\text{subject to} && g_j^k(X^k, Y^d) \leq 0, \quad j=1, p^k \\
 &&& X_i^k \leq l d X
 \end{aligned} \tag{4}$$

그러나 식 (4)의 하부 시스템 최적화 과정 전에 이 연성변수의 값들을 계산하는 과정이 필요하며, 이 과정은 본질적으로는 비선형 연립방정식의 해를 구하는 과정으로 반복계산 필요하다. 항공기를 예들 들면 공기역학적(aerodynamic) 하중과 탄성체인 비행기 날개의 구조적(structural) 변위를 수렴시키기 위한 비선형 공기역학 해석과 구조 해석사이의 반복계산을 들 수 있다.

다분야 통합 최적설계 방법 중 하부 시스템 최적화를 수행하기 위해서 시스템 해석을 통해서 최적화를 수행하기 전 또는 최적화 과정 중에 현재의 설계변수 값에서 연성변수 값을 계산함으로써 각 분야 사이 일시적으로 연성을 제거해야한다.

3. 자동차 충돌 문제의 다분야 통합 최적설계를 위한 모델링

자동차 충돌문제에 다분야 통합 최적설계를 적용하기 위해서 안전띠 일체형 의자(belt integrated seat, BIS), 에어백, 안전띠, 에너지 흡수 조향계로 구성된 충돌문제를 선정하였다. 이 설계문제에서 안전띠 일체형 의자는 Fig. 2와 같이 안전띠가 의자에 부착되어 있는 형태이다. 안전띠 일체형 의자는 승객의 착석 위치와 의자의 위치에 따라 안전띠의 성능이 달라지지 않도록 비정상 거동을 억제하는 역할을 한다. 그리고 충돌 시 의자의 프레임 자체가 변형을 하여 에너지를 흡수하기 때문에 충격을 줄이는 효과가 있다. 또한 후방 추돌 시 승객이 의자에 부딪힌 후에 반동을 효과적으로 구속하여 승객안전에 도움을 주게 된다. 하지만 안전띠에 의한 하중이 차체에 작용하는 기존의 의자와는 달리 직접 작용하기 때문에 기존 의자 보다 견고하며 무겁게 의자를 설계하고 있다. 그러나 이 의자는 안전도를 높이는 장점이 있지만 현재의 자동차 경량화 추세에 역행하는 것이다. 따라서 구조 최적화를 통해서 안전띠 일체형 의자를 경량화하면서 우수한 안전도 성능을 유

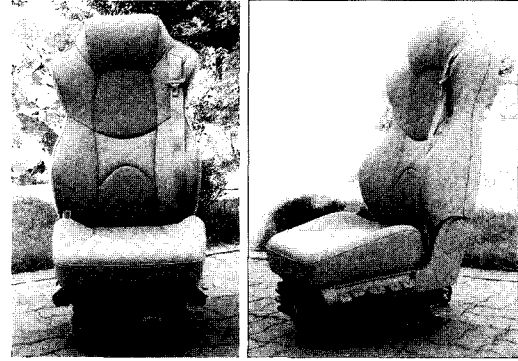


Fig. 2 Belt integrated seat (BIS)

지하는 설계가 필요하며, 이 구조최적화 과정이 자동차 충돌문제에서의 구조 하부 시스템(structure optimization subspace)이다.

에너지 흡수 조향계는 1950년대 이 후로 충돌시 스스로 압축 가능한 조향계가 운전자의 안전을 증진시킬 수 있는가 하는 것에 논란이 제기되어왔다. 1960년대 이후 많은 연구에서 심한 사고에서는 운전자가 조향계와 충돌함으로써 매우 심각하고 때로는 가슴에 치명적인 상해를 받는다는 것이 밝혀졌다. 이러한 상해는 운전자의 가슴이 견고한 조향계 구조물에 충돌하여 발생하는 것으로 이것을 막기 위해서 고안된 것이 충돌 시 자체 변형에 의해 충돌 에너지를 흡수하는 구조로 된 에너지 흡수 조향계이다.⁵⁾ 조향계는 안전벨트와 에어백이 없는 경우 운전자가 가장 먼저 충돌을 일으켜 직접적인 충격 흡수원으로 작용하며, 또한 안전벨트와 에어백이 있는 경우에도 조향계의 특성에 따라서 그 영향이 서로 복합적으로 난다. 따라서 안전벨트와 에어백의 특성해석을 위해서도 조향계에 대한 특성규명이 필요하다.

이상적인 에너지 흡수 조향계는 차를 조향하는 주된 기능을 수행하면서, 차량의 정면충돌 시 조향계가 승객실 안으로 밀려들어오는 후방이동의 양이 적어야하고, Fig. 4처럼 에너지 흡수 장치가 있어서 운전자가 조향계와 충돌했을 때는 상해를 유발하지 않는 범위 내로 하중을 제한하며 스스로 압축되어 충돌에너지를 흡수해야한다.

이외에 안전띠의 힘-변형 곡선과 에어백의 흡입 가스 유량이 승객거동 하부 시스템을 구성하고 있다.

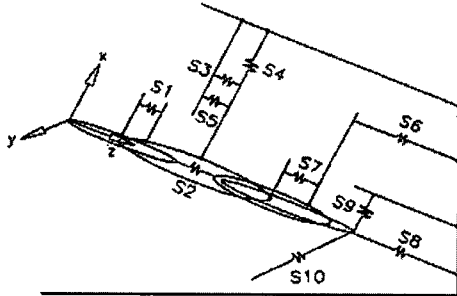


Fig. 3 Energy absorbing steering system

4. 자동차 충돌문제의 설계분석 및 정식화

4.1 자동차 충돌문제의 설계 분석내용

다분야 통합 최적설계를 자동차 충돌문제에 적용하기 위해서 설계문제 분석을 통해서 Fig. 4와 같이 구조해석과 승객거동해석 두 개의 하부 시스템으로 나누었다. 각각의 하부 시스템을 보면, 구조해석 하부 시스템에서 최적설계를 통해서 제한조건을 만족 하면서 안전띠 일체형 의자의 무게를 줄이기 위하여 설계변수인 안전띠 일체형 의자 구조물의 두께를 변경한다. 그러면 구조해석 하부 시스템의 설계 결과로서 안전띠 일체형 의자 등받이의 강성이 바뀌며, 따라서 승객거동해석의 입력 데이터인 안전띠 일체형 의자의 등받이 강성, 즉 승객거동해석에서 안전띠 일체형 의자의 안전도 성능을 평가하기 위하여 입력되는 힘-변형 곡선(F-d curve)이 바뀌게 된다. 또한 승객거동해석 하부 시스템에서도 구조해석 하부시스템의 설계 결과인 의자 등받이의 힘-변형 곡선을 매개변수로 받은 상태에서 제한조건을 만족하면서 승객의 상해 치인 HIC를 줄이기 위해서 설계변수인 안전띠의 힘-변형 곡선(F-d curve), 조향계의 에너지 흡수부의 힘-변형 곡선의 스케일 팩터와 에어백 유량을 결정한다. 그러면 다시 승객거동해석 하부 시스템에서의 설계 결과인 안전띠에 의해서 의자에 작용하는 힘이 바뀌게 된다. 따라서 이 두 시스템에서 연성변수(coupled variables)는 Fig. 5와 같이 구조해석 하부 시스템에서의 설계 결과인 안전띠 일체형 의자의 등받이의 강성과 승객거동해석 하부 시스템의 설계 결과인 안전띠에 의한 안전띠 일체형 의자에 작용하는 하중이 된다. 그러므로 각 하부시스템 최적화를 수행하기 전에 먼저 주어진

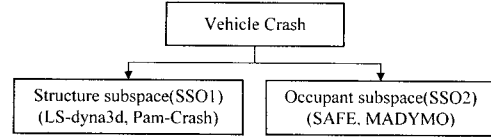


Fig. 4 Multidisciplinary analysis for vehicle crash

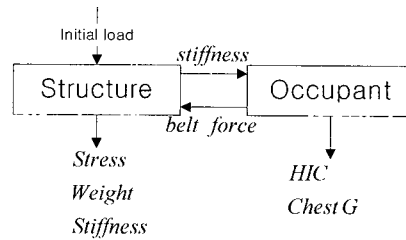


Fig. 5 Dependency diagram of vehicle crash

설계 변수 값에서의 연성변수 값인 안전띠 일체형 의자의 강성과 안전띠에 작용하는 하중을 시스템 해석을 통해서 먼저 결정되어야 한다.

4.2 자동차 충돌문제의 표준최적화를 위한 정식화

최적설계를 충돌문제에 최적화를 적용하기 위해서 식 (5)와 같이 정식화하였다. 식 (5)에서 목적함수는 구조 하부 시스템에서 목적함수인 시트의 무게 (W)와 승객거동해석 하부 시스템에서의 목적함수인 HIC가 서로 다른 설계영역에 있어 다목적 함수 (multi-objective function)를 사용하여 정의하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Find } X_s(\text{structure : thickness}) \\
 & X_o(\text{occupant : scale factor of}) \\
 & \text{F-d curve for belt, airbag mass flow rate ,} \\
 & \text{steering column EA)} \\
 & \text{to minimize } F = a_1 W + a_2 HIC \quad (5) \\
 & \text{subject to } g_1 = \Delta d_{\text{anchor}} \leq 200\text{mm} \\
 & g_2 = \Delta d \leq 12.0\text{Cm} \\
 & g_3 = HIC \leq \text{Current HIC} \\
 & g_4 = G_{\text{Chest}} \leq G_{\text{Current Chest}}
 \end{aligned}$$

식 (5)의 정식화에서 설계변수는 시트 구조물의 두께, 시트의 강성을 모델링한 힘-변형 곡선의 스케일 팩터, 에어백에 유입되는 가스 유량의 스케일 팩터, 조향계의 에너지 흡수부를 모델링한 힘-변형 곡선의 스케일 팩터 등이다. 제한조건은 구조해석에

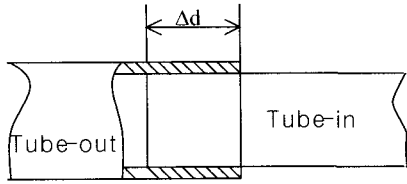


Fig. 6 Steering column tube-in/out

서 벨트 장착점의 변위, 승객거동해석에서는 Fig. 6. 에서처럼 조향계가 충돌에 의해서 압축되면서 충돌 에너지를 흡수하는데 이때 에너지 흡수장치중의 하나인 조향계 컬럼의 튜브 인과 튜브 아웃 사이 상대 변위가 12.0Cm 이상 되면 안되기 때문에 이 상대 변위를 제한조건으로 하였다. 그리고 머리 상해값, 가슴 가속도 등이다. 다분야 통합 최적설계 정식화는 식 (5)를 구조 해석 분야의 설계변수, 목적함수, 제한조건만을 분리하고, 승객거동 해석 분야의 설계 변수, 목적함수, 제한조건만을 분리해서 이용해서 하부 시스템 최적화를 위한 정식화에 이용된다.

5. 시스템 해석

5.1 자동차 충돌문제에 적용하기 위한 시스템 해석 방법 개발

시스템 해석은 서로 연성된 시스템 사이 관계를 하부 시스템 최적화 과정 동안 일시적으로 비연성화 시키는 것이다. 또한 시스템 해석은 각 하부 시스템에서 최적화에 의해서 얻은 설계결과를 다른 하부 시스템에 전달하는 역할도 한다. 그러므로 하부 시스템 최적화가 이루어지기 전에 시스템 해석을 통해서 연성변수 값을 결정하고, 이 연성변수 값들을 하부 시스템 최적화 과정에 매개변수로 전달해야 한다. 따라서 연성된 하부 시스템들이 일시적으로 비연성화 되어 서로 독립적으로 최적화를 수행할 수 있다. 일반적으로 연성관계는 비선형 연립방정식으로 Newton 방법, 고정점 반복법과 같은 수치해석 방법으로 연성변수의 값을 구한다. 그러나 자동차 충돌문제처럼 서로 다른 분야 사이 연성되었을 경우 이러한 방법을 통해서 연성변수 값을 구하는 불가능하다. 그러므로 자동차에 다분야 통합 최적설계를 적용하기 위해서 정의한 충돌문제에서 연성변수인 의자 등받이의 힘-변형 곡선과 안전띠 하중 구하기 위한 새로운 시스템 해석 방법의 개발이

필요하다. 자동차 충돌문제에 적용하기 위한 시스템 해석 방법은 승객거동해석에서 얻은 안전띠에 의한 하중을 하중조건으로 해서 구조해석에서 얻은 안전띠 장착점에서의 변위와 Fig. 8(a)와 같이 안전띠 일체형 의자와 Hybrid 50% tile 더미안으로 구성된 승객 거동 해석에서 얻은 안전띠 장착점에서의 변위를 식 (6)과 같은 최적화를 통해서 일치시키는 방법이다. 시스템 해석에서는 Fig. 7은 자동차 충돌 문제에 적용하기 위해서 개발한 시스템 해석 방법의 흐름도이며, 순서는 다음과 같다.

- 1) 등받이 강성인 힘-변형 곡선 초기화
- 2) Fig. 8(a)에서처럼 승객거동 해석을 통해서 안전띠 하중을 구한다.
- 3) Fig. 8(b)에서처럼 1번에서 구한 안전띠 하중을 구조해석의 하중조건으로 해서 구조해석을 수행, 의자 등받이의 강성을 구한다.
- 4) 구조해석에서 구한 등받이 강성에 승객거동 해석에서 등받이를 모델링한 스프링-댐퍼의 강성이 유사하도록 최적화한다. 이 때 최적설계를 위한 정식화는 다음과 같다.

Find F-d curve

$$\text{to minimize } E = \int_0^T [\delta^{given}(t) - \delta^{abbr}(t)]^2 dt \quad (6)$$

subject to $F_l \leq F < F_u$

- 6) 힘-변형 곡선을 이전 것과 비교하여 유사하면

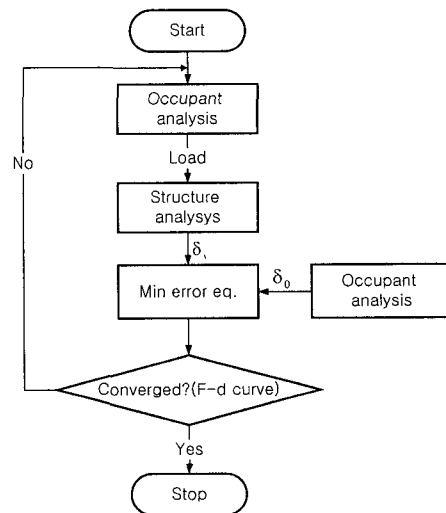
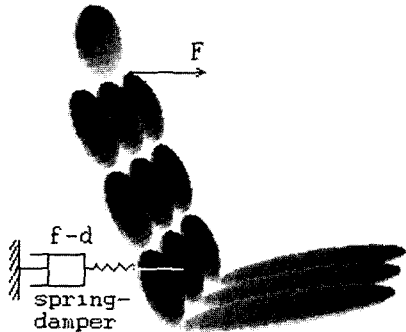
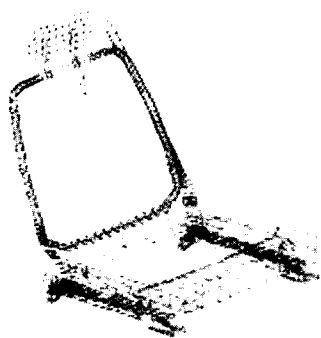


Fig. 7 Flowchart for the system analysis



(a) Modeling for occupant analysis



(b) Modeling for structure analysis

Fig. 8 Modeling of BIS for system analysis

수렴한 것으로 보고 시스템 해석 과정을 마치고, 유사하지 않으면 1)번으로 되돌아간다.

5.2 시스템 해석 결과

충돌문제의 시스템 해석은 초기화 과정을 거쳐서 결정된 시트 등받이 강성값을 힘-변형 곡선으로 입력한 승객거동해석을 통해서 안전띠에 작용하는 하중을 구하는 것으로부터 시작된다. 이 하중을 충돌 해석에 하중조건으로 입력하여 의자의 등받이 강성을 구하고, 이 강성에 승객거동에서의 등받이 강성이 같도록 최적화를 수행한다. 최적화 후에는 안전띠 하중이 변하기 때문에 이 하중을 다시 충돌해석 모델에 적용하고, 같은 작업을 힘-변형 곡선이 수렴할 때까지 반복한다. 여기서 개발한 시스템 해석에서는 반복 작업을 총 5회 한 후에 수렴하였다. Fig. 9는 강성 근사화를 위한 최적화 과정에서 의자 등받이의 힘-변형 곡선의 변화 과정이다. 힘-변형 곡선 중에서 힘이 작은 부분에서 약간의 차이가 있으나 이

부분은 전체 시스템에 미치는 영향이 작기 때문에 수렴한 것으로 볼 수 있다. 이와 같이 수렴했을 때 의자에 작용한 안전띠 하중은 Fig. 10과 같다. 최대 하중은 5,157kN으로 바로 전의 최대 하중인 5,097 kN과는 0.06kN의 차이를 보이고 있다. 그리고 Table 1은 최적화 과정에서 목적함수인 오차 방정식 값의 변화 과정을 보여주고 있다. 시스템 해석에서 얻은 Fig. 9의 시트 등받이 힘-변형곡선은 승객거동 하부 시스템에 전달되며, 승객거동해석에서 의자 등받이의 힘-변형곡선으로 사용되며, Fig. 10의 안전띠 하중은 구조해석 하부 시스템에 전달되어 구조최적화에서 하중조건으로 사용된다.

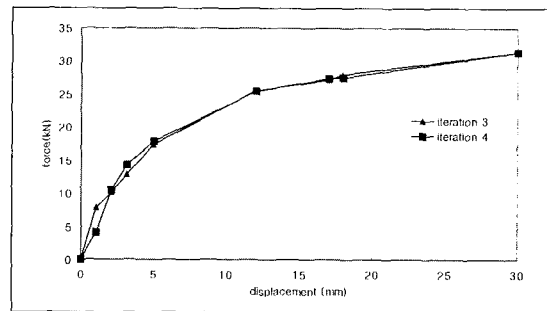


Fig. 9 Load applied for system analysis and displacement result

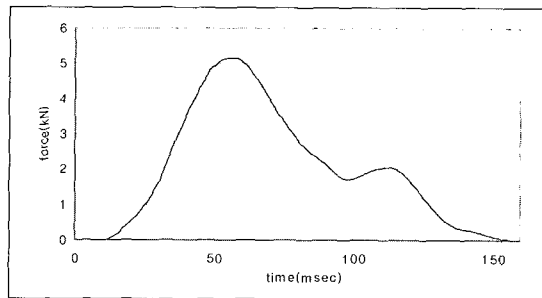


Fig. 10 The converged belt load

Table 1 Objective function histories

Iteration No.	Objective function
1	7.0897
2	0.7055
3	0.5853
4	0.4686
5	0.4794

6. 결론

지금까지는 차량 충돌문제에서 승객거동해석과 차체충돌해석은 따로 수행되어 왔다. 그러나 더 좋은 설계를 위해서는 승객거동 해석과 충돌해석을 동시에 동시에 고려하는 설계가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 차량 충돌문제에 다분야 통합 최적설계를 적용하기 위하여 차량충돌문제로는 안전띠 일체형 의자, 에어백, 에너지 흡수 조향계, 안전디로 구성된 시스템을 선정하였다. 이 시스템에 대한 설계문제 분석을 통해서 구조해석 하부 시스템과 승객거동 하부 시스템으로 나누었다. 그리고 기존의 다분야 통합 최적설계에서 사용된 시스템 해석 방법은 자동차 충돌 문제에 적용할 수 없기 때문에 최적화 방법을 이용해서 구조해석에서의 안전띠 장착점의 변위와 승객거동 해석에서의 변위 차이를 최소화하는 최적화를 통해서 시스템 해석 방법을 개발하였다. 시스템 해석 결과는 하부 시스템에 매개변수로 전달되어 하부 시스템 최적화의 매개변수로 사용된다.

후 기

본 연구는 한양대학교 교내 연구비의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- 1) J. Sobieszczanski-Sobieski, "A Linear Decomposition Method for Large Optimization Problems - Blueprint for Development," NASA TM 83248, 1982.
- 2) J. Sobieszczanski-Sobieski, "Optimization by Decomposition: A Step from Hierarchic to Non-Hierarchic Systems," In Recent Advances in Multidisciplinary Analysis and Optimization (Ed. J.-F. Barthelemy), NASA CP 3031, 1988.
- 3) M. K. Shin, K. J. Park, G. J. Park, "Occupant Analysis and Seat Design to Reduce the Neck Injury for Rear End Impact," Transactions of KSAE, Vol.7, No.9, 1999.
- 4) M. K. Shin, S. W. Hong, G. J. Park, "Axiomatic Design of the Motor Driven Tilt/ Telescopic Steering System for Safety and Vibration," J. of Automobile Engineering, 2001.
- 5) E. J. Cramer, J. E. Dennis, P. D. Frank, R. M. Lewis, and G. R. Shubin, "Problem Formulation for Multidisciplinary Optimization," Center for Research on Parallel Computation, Rice Univ., Rept. CRPC-TR93334, Houston, 1993.
- 6) K. F. Hulme, C. L. Bloebaum, "A Comparison of Solution Strategy for Simulation-Based Multidisciplinary Design Optimization," AIAA Paper AIAA-97-4977, AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC 38th Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, 1998.
- 7) R. D. Braun, "Collaborative Optimization: An Architecture for Large-Scale Distributed Design," Ph.D. Dissertation, Stanford University, 1996.
- 8) R. Sellar, S. Batill, "Concurrent Subspace Optimization Using Gradient-Enhanced Neural Network Approximations," 6th AIAA/NASA/USAF/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, Bellevue, WA, AIAA 94-4019, 1996.
- 9) C. L. Bloebaum, P. Hajela, J. Sobieszczanski-Sobieski, "Non-Hierarchic System Decomposition in Structural Optimization," Engineering Optimization, Vol.19, pp.171-186, 1992.
- 10) R. S. Sellar, M. Stelmack, S. M. Batill, J. E. Renaud, "Response Surface Approximations for Discipline Coordination in Multidisciplinary Design Optimization," AIAA Paper AIAA-96-1383, AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC 37th Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Salt Lake City, Utah, 1996.
- 11) R. V. Tappeta, S. Nagendra, J. E. Renaud, "A Multidisciplinary Design Optimization Approach for High Temperature Aircraft Engine Components," Structural Optimization 18, pp.134-145.
- 12) M. K. Shin, "Multidisciplinary Design Optimization Based on Independent Subspaces," Ph. D Dissertation, Hanyang University, 2001.
- 13) G. N. Vanderplaats, Numerical Optimization Techniques for Engineering Design, McGraw-Hill Co., New York, 1984.

- 14) J. S. Arora, "Introduction to Optimum Design," McGraw-Hill Co., New York, 1989.
- 15) J. Sobieszczanski-Sobieski, "Sensitivity Analysis and Multidisciplinary Design Optimization for Aircraft Design: Recent Advances and Results," *Journal of Aircraft*, Vol.27, No.12, pp.993-1001, 1990.
- 16) J. Sobieszczanski-Sobieski, Ed. J. F. Barthelemy, K. M. Riley, "Sensitivity of Optimum Solutions to Problem Parameters," *Proceedings of AIAA/ASME/ASCE/AHS 22nd Structures, Structure Dynamics, and Materials Conference*, Atlanta, Georgia, 1981.