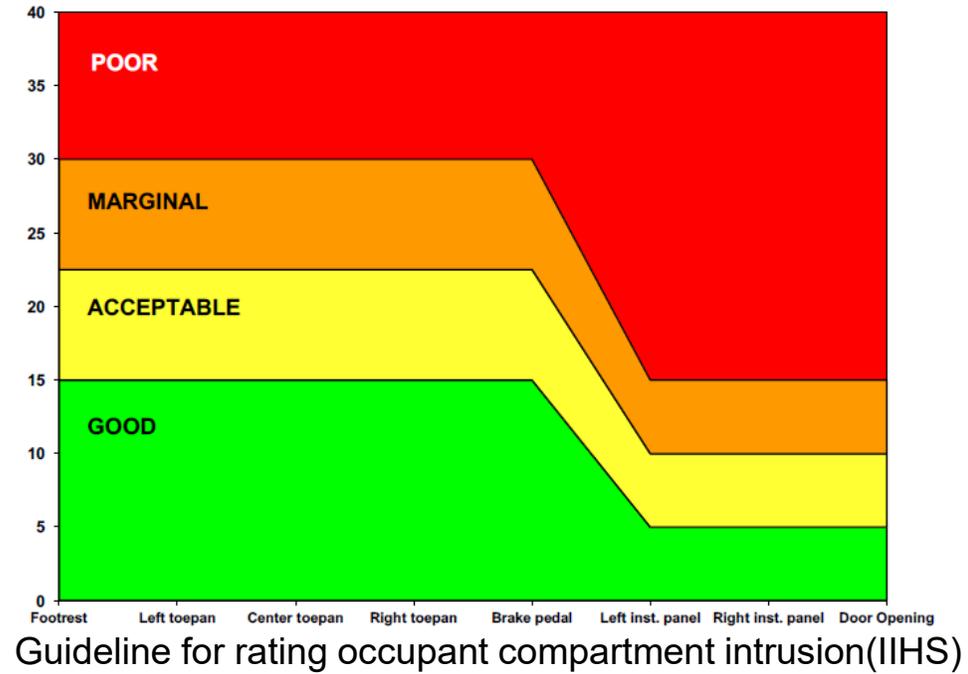


정면 충돌 상황을 고려한 **front mid-rail** 최적 설계

한양대학교 미래자동차공학과
최적설계 연구실
2017104230 권태준

- Motivation
- Reference
- Modeling
- Analysis
- Optimization
- Conclusion

- 국내에서 발생하는 차량 대 차량 교통사고 중 사망 및 중상자의 비율이 가장 높은 사고 유형이 정면 충돌 사고이다
- 치명적인 부상을 당할 위험이 높은 만큼, 충돌안전성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음
- IIHS, Euro NCAP 등의 단체에서도 정면충돌에 관한 항목을 여러 케이스로 세분화하여 발표하는 중
- 이에 따라, 차량의 전면에 위치한 mid-rail 프레임을 총 다섯개의 sub part로 나눠 각 부분의 두께에 대한 치수최적화 실시



- IIHS의 가이드라인을 참고하여, 최소화 할 목적함수는 프레임의 부피로 설정하고 제약조건은 초기모델의 하중 방향 최대 변위 값으로 설정함

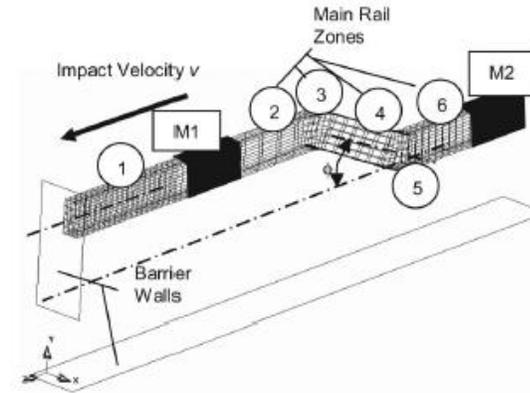
Karim Hamza
Ph.D. Candidate
e-mail: khamza@umich.edu

Kazuhiro Saitou
Associate Professor
e-mail: kazu@umich.edu

Department of Mechanical Engineering,
University of Michigan,
Ann Arbor, MI 48109-2125

Design Optimization of Vehicle Structures for Crashworthiness Using Equivalent Mechanism Approximations

A new method for crashworthiness optimization of vehicle structures is presented, where an early design exploration is done by the optimization of an "equivalent" mechanism approximating a vehicle structure. An equivalent mechanism is a network of rigid links with lumped mass connected by prismatic and revolute joints with nonlinear springs approximating aggregated behaviors of structural members. A number of finite element (FE) models of the thin-walled beams with typical cross sections and wall thicknesses are analyzed to build a surrogate model that maps a property of nonlinear spring to the corresponding FE model. Using the surrogate model, an equivalent mechanism is optimized for given design objectives by selecting the properties of the nonlinear springs among the values that can be realized by an FE model. After the optimization, the component FE models corresponding to the optimal spring properties are "assembled" into a FE model of an entire structure, which is further modified for final tuning. Two case studies of a vehicle front substructure are presented, which demonstrate the approach can help obtain a better design with far less computational resources than the direct optimization of a FE model. [DOI: 10.1115/1.1862680]



Tailor-Welded Blanks

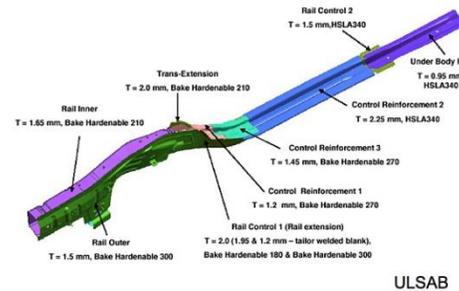
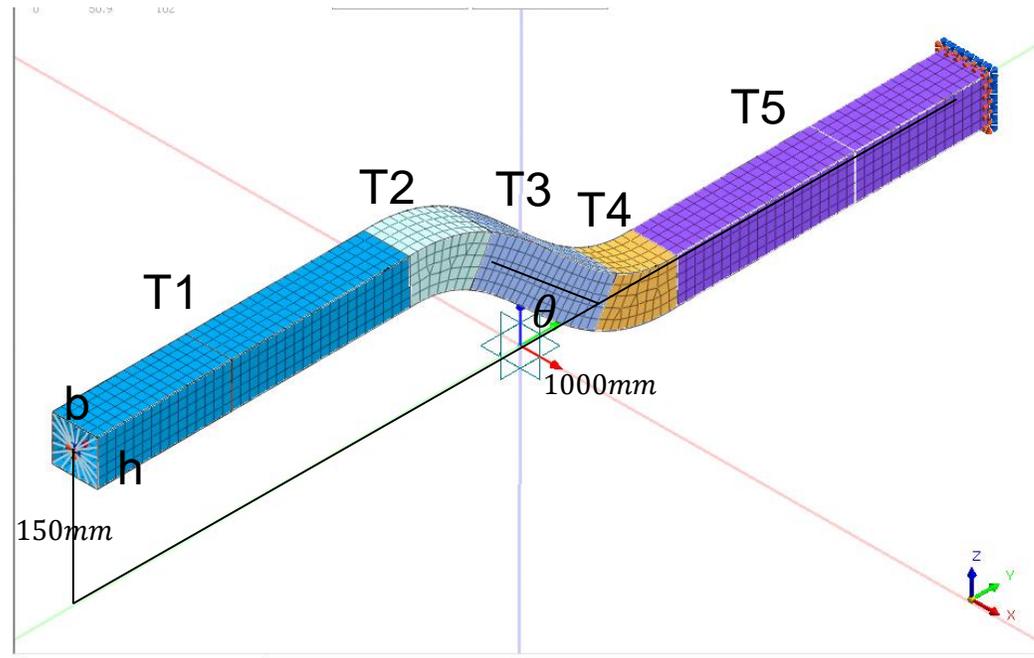


Table 1 Parameter values of three test main rails

	Test 1	Test 2	Test 3
M_1 [kg]	58.0	58.0	60.0
M_2 [kg]	130.0	130.0	130.0
v_o [m/s]	15.0	15.0	15.0
ϕ [rad]	0.451	0.451	0.451
h [mm]	50.0	50.0	50.0
b [mm]	50.0	50.0	80.0
t_1 [mm]	1.0	1.0	1.6
t_2 [mm]	1.0	1.0	1.6
t_3 [mm]	1.0	2.0	1.6
t_4 [mm]	1.0	2.0	1.6
t_5 [mm]	1.0	2.0	1.6
t_6 [mm]	1.0	2.0	1.6

- 초기모델의 치수를 선정하기 위해 관련 해외 문헌을 참고함
- 프레임을 여러 파트로 나눠 각각의 두께 값을 설계변수로 설정



■ Initial design

- $T1 = T2 = T3 = T4 = T5 = 1\text{mm}$
- $\theta = 30^\circ$
- $b = h = 50\text{mm}$
- Mild steel
 - Young's modulus: 207GPa
 - Poisson's ratio: 0.3
 - Density: 7800kg/m^3
 - Yield stress: 240MPa

The screenshot displays the midas nFX software interface. The main window shows a 3D model of a structure with a purple mesh. A '최적화 제어' (Optimization Control) dialog box is open, showing a table of optimization variables:

번호	이름	해석케이스	서브케이스
1	VOL_DYNA	Analysis_Dyna	외연적 비선형 동
2	STR_DYNA	Analysis_Dyna	외연적 비선형 동
3	DISP_DYN	Analysis_Dyna	외연적 비선형 동

Below the table, the status is 'COMPLETED' and 'OPTIMIZATION COMPLETED'. The system info shows 'NUMBER OF THREADS : 4' and 'WALL CLOCK TIME : 75.15 sec'. A red arrow points from the status bar to a '출력창' (Output Window) dialog box containing the following warnings:

```

> WARNING [3004] : NO ANALYSIS OUTPUT WITH ID=16
> WARNING [3004] : NO ANALYSIS OUTPUT WITH ID=15
> WARNING [3004] : NO ANALYSIS OUTPUT WITH ID=16
> DESIGN SAMPLING: 0%
    
```

To the right, the '실험테이블' (Experiment Table) dialog box is open, showing a table of time points and response values:

	t1	t3	t4	t5	t7	VOL	STR	DISP
1	0.700096	1.031380	1.237080	1.015590	1.288970	-	-	-
2	0.704537	1.195290	1.147320	0.969248	0.843198	-	-	-
3	0.707805	0.749308	1.187400	1.252270	1.035040	-	-	-
4	0.709258	1.130810	1.079030	0.985552	1.051800	-	-	-
5	0.713087	0.824967	1.246590	1.257620	0.745233	-	-	-
6	0.716943	0.763088	0.900854	1.003010	1.274280	-	-	-
7	0.718926	1.106220	1.227190	1.002750	0.752261	-	-	-
8	0.720928	0.949965	0.916890	0.940938	0.906941	-	-	-
9	0.724771	1.173930	0.834775	0.878832	1.017390	-	-	-
10	0.727249	1.221600	1.192700	1.034070	0.998293	-	-	-
11	0.728784	0.819489	1.177810	0.787233	0.800866	-	-	-
12	0.733830	1.095370	0.899887	0.868830	1.231620	-	-	-
13	0.736990	0.997070	0.708767	1.130980	1.077750	-	-	-
14	0.739577	1.287940	0.862829	1.044710	1.207930	-	-	-
15	0.741396	0.911848	1.271150	0.981967	0.727670	-	-	-
16	0.745278	1.133170	0.766351	0.923524	0.851743	-	-	-
17	0.746520	0.910056	1.218010	0.761758	0.953393	-	-	-
18	0.751370	1.189070	1.253720	1.035060	1.223580	-	-	-

- 초기 계획은 동적 하중 및 변형에너지에 대한 해석과 최적화를 진행하려 하였으나, 활용 능력의 부족으로 인해 해석 불가
- 앞에서 언급한 변위와 정적 선형 해석을 통해 최적화 진행

- 실험계획법

- 라틴방격계획법

- 포화점(saturated number)의 수 $nSAT = \frac{(NDV+1)(NDV+2)}{2} = \frac{(5+1)(5+2)}{2} = 21$

(NDV=설계변수의 수)

- 권장되는 실험점의 개수 $n = 2 \cdot nSAT \sim 10 \cdot nSAT$

- 시뮬레이션의 결과를 모르는 상황이므로, 많은 실험점의 결과값으로 대체모델을 생성한다.

$$n = 10 \cdot nSAT = 210$$

- 설계변수의 상, 하한: $\pm 30\%$ each

- 응답: $absmax(displ)$ and $volume$

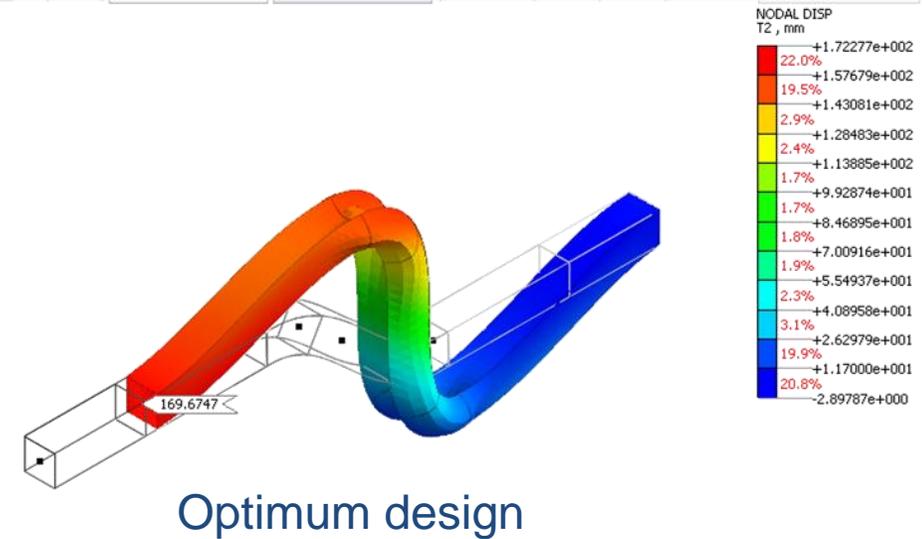
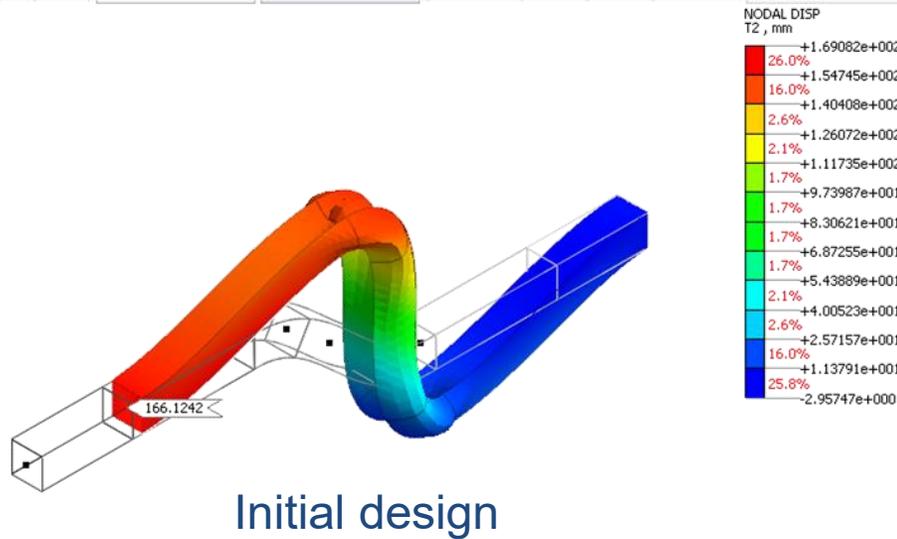
- 대체모델은 크리깅 모델을 사용

설계세트

번호	이름	최소값	초기값	최대값	변수종류	미산값	설명
1	t1	0.700000	1.000000	1.300000	연속	X	특성, T1, 두께
2	t2	0.700000	1.000000	1.300000	연속	X	특성, T3, 두께
3	t3	0.700000	1.000000	1.300000	연속	X	특성, T4, 두께
4	t4	0.700000	1.000000	1.300000	연속	X	특성, T5, 두께
5	t5	0.700000	1.000000	1.300000	연속	X	특성, T7, 두께

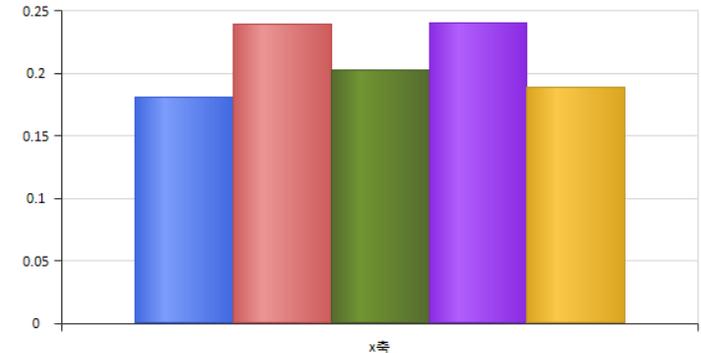
실험계획법 유형: 라틴방격계획법
 라틴방격방법: 일반
 실험점 개수: 21
 실험계획법 추가

유형	t1	t3	t4	t5	t7	VOL	STR
1	LHD	0.700096	1.031380	1.237080	1.015590	1.288970	-
2	LHD	0.704537	1.195290	1.147320	0.969248	0.843198	-
3	LHD	0.707805	0.749308	1.187400	1.252270	1.035040	-
4	LHD	0.709258	1.130810	1.079030	0.985552	1.051800	-
5	LHD	0.713087	0.824967	1.246590	1.257620	0.745233	-
6	LHD	0.716943	0.763088	0.900854	1.003010	1.274280	-
7	LHD	0.718926	1.106220	1.227190	1.002750	0.752261	-
8	LHD	0.720928	0.949965	0.916890	0.940938	0.906941	-
9	LHD	0.724771	1.173930	0.834775	0.878832	1.017390	-
10	LHD	0.727249	1.221600	1.192700	1.034070	0.998293	-
11	LHD	0.728784	0.819489	1.177810	0.787233	0.800866	-
12	LHD	0.733830	1.095370	0.899887	0.868830	1.231620	-
13	LHD	0.736990	0.997070	0.708767	1.130980	1.077750	-
14	LHD	0.739577	1.287940	0.862829	1.044710	1.207930	-
15	LHD	0.741396	0.911848	1.271150	0.981967	0.727670	-
16	LHD	0.745278	1.133170	0.766351	0.923524	0.851743	-
17	LHD	0.746520	0.910056	1.218010	0.761758	0.953393	-
18	LHD	0.751379	1.188070	1.252720	1.035080	1.223580	-



Design variables	T1	T2	T3	T4	T5
Initial	1	1	1	1	1
Optimum	0.804	1.207	1.067	1.133	0.776

Responses	<i>disp_y</i>	<i>volume</i>
Initial	166	2.1e5
Optimum	169	1.8e5



- 차량 프레임의 mid-rail을 다섯 개의 파트로 나눠 두께를 설계변수로 한 최적화 진행
- 결과적으로 총 부피(질량)이 약 15% 감소하였으며, 하중 인가 이후의 변위는 초기 모델과 같은 수준을 유지하였다
- 수행한 정적 선형 해석이 목표로 했던 전방 충돌 상황을 시뮬레이션 했다고 보기에는 어려움

Q&A