

안전 성능을 고려한 오토바이 헬멧 최적설계

서울과학기술대학교 CSA팀
자동차공학과 정가영, 이성진

목차

1. 개요
2. 모델링
3. 해석
4. 최적화
5. 결론

1. 개요

1. 개요

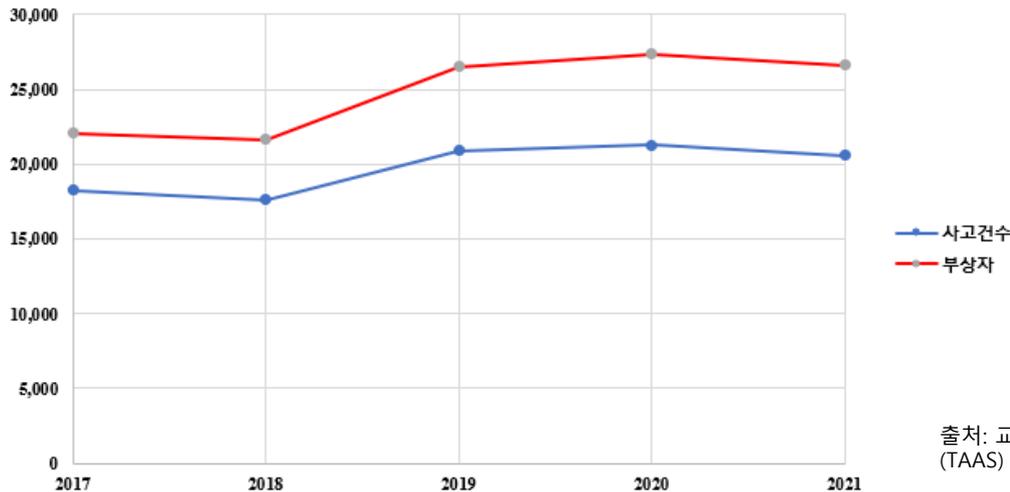
1.1 연구 배경

1.1.1 이륜차 안전 실태

최근 배달 어플 이용률 증가와 코로나 사태로 인해 이륜차의 사용이 증가하고 있고, 그에 따라 사고건수도 증가하고 있는 상황이다. 배달 기사 분들은 생업에서의 안전을 보장받지 못하고 있을 뿐 아니라 장시간 헬멧을 착용하는 직업의 특성으로 인해 불편함을 호소하고 있다.

현재 우리나라에서는 국가 기술표준원에서 제공되는 표준번호 KS G 7001의 시험을 통과해야만 KC 인증마크를 붙일 수 있다. 하지만 소비자원에서는 시중에 유통된 오토바이 헬멧 중, 상당수 제품이 충격흡수 성능이 미흡하다고 밝혔다. **헬멧은 승차자에게 필수적인 보호장비이기에 성능이 미흡한 경우에 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있다고 판단된다.**

최근 5년간 이륜차 교통사고 발생현황(단위=건, 명)



출처: 교통사고분석시스템 (TAAS)

1. 연구 배경 1.2 문제점 및 해결 방안

한국소비자원, 시중유통 오토바이 헬멧 성능시험...10개중 8개는 충격흡수성능 미흡

시중에 유통 중인 오토바이 헬멧 상당수 제품이 충격흡수 성능 미흡

- 안전과 직결되는 제품은 구매대행 특례 적용 대상에서 제외해야 -

[일터 일침] 배달 라이더 생명 지켜주는 ‘헬멧’...목 건강에는 해로워

■ 정재훈 노원자생한방병원 원장

늘어나는 배달업계 종사자, 2kg 헬멧 착용 시 목·어깨 부담 ↑



충격흡수성능을 만족시키면서 **무게를 최소화**하는 오토바이 헬멧의 필요하다.

1. 연구 배경

1.3 연구 목표

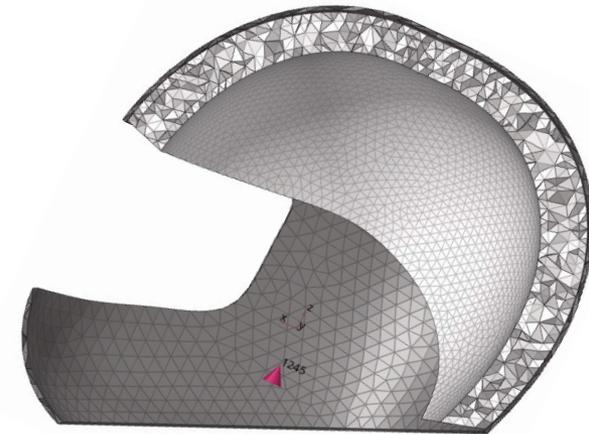
따라서, 본 연구에서는 **낙하 해석**을 통해 충격 흡수 실험을 시뮬레이션하여, **안전 성능을 유지**하면서 오토바이 **헬멧의 질량을 최소화**하는 최적설계를 진행하고자 한다.

1. 연구 배경

1.4 오토바이 헬멧 구성

오토바이 헬멧은 외부 물체와 충돌 시 머리를 보호해주는 제품이므로, 날아오는 물체로부터 머리를 보호해줄 수 있는 내관통성을 지녀야하고 충돌 시 충격 흡수를 수행할 수 있어야 한다. 따라서, 오토바이 헬멧은 다음과 같이 내관통성을 지닌 Shell(헬멧 외관), 충격 흡수를 담당하는 Liner(완충재), 내피로 이루어져 있다.

해석에서는 Shell, Liner, 머리 모형인 Head-foam을 모델링 하여 해석을 진행하였다.



2. 모델링

3. 해석

3. 해석

3.1 Materials

3.1.1 Shell

Shell (헬멧 외관)은 내관통성이 확보되어야 하며, 너무 큰 강성은 제품의 안전 성능을 떨어뜨릴 수 있기 때문에 적절한 강성을 가진 재료를 선정해야 한다.

현재 자동차 산업에도 경량소재로서 많이 이용되는 탄소 섬유강화플라스틱 (Carbon Fiber Reinforced Plastic : CFRP)은 재료 조건에 합당하며 경량화를 이루어 낼 수 있다는 판단 하에 선정하였다.

재료의 거동은 JOHNSON_COOK 모델로 묘사하였으며, 모델의 계수들은 논문을 참고하여 작성하였다.

Name	Value
Solver Keyword:	/MAT/PLAS_JOHNS/
ID:	4
Name:	CFRP
Color:	
Include:	[Main Model]
Defined:	<input checked="" type="checkbox"/>
User Comments:	Hide In Menu/Export
Card Image:	M2_PLAS_JOHNS_ZERIL
Type:	PLAS_JOHNS
Regular_OR_encrypted_fl...	Regular
RefRho_Option:	<input checked="" type="checkbox"/>
Ref_Rho:	0,0
Rho_Initial:	7,89e-09
E:	9000,0
Nu:	0,2
lflag:	0: Classic input for Johnson-Cook ...
SIGY:	200,0
b:	450,0
n:	0,2
EPS_p_max:	0,065
SIG_max0:	450,0
c:	0,005
EPS_DOT_0:	1,0
ICC:	1: Strain rate effect on sigma max0
Fsmooth:	0: Strain rate smoothing is inactive ...

<CFRP Materials>

3. 해석

3.1 Materials

3.1.2 Liner

헬멧의 충격 흡수의 상당 부분을 담당하고 있는 Liner는 reference 모델을 확인하였을 때, 충격 흡수를 수행할 수 있는 재료인 발포 폴리스타이렌(Expanded PolyStyrene : EPS)을(를) 사용함을 확인하였다.

Liner가 충격 흡수를 담당하고 있기 때문에 강성이 작은 재료여야 성능이 확보될 수 있으며, EPS는 밀도가 작을 수록 강성이 작아지는 경향성을 보이기 때문에 EPS 중 밀도가 3[ton/mm²]보다 작은 2.8[ton/mm²]인 EPS28을 사용하였다.

EPS는 폼 재이기 때문에 MLAW70 card를 이용하여 재료의 거동을 묘사하였다.

Name	Value
Solver Keyword:	/MAT/FOAM_TAB/
ID:	6
Name:	EPS28
Color:	
Include:	[Main Model]
Defined:	<input checked="" type="checkbox"/>
User Comments:	Hide In Menu/Export
Card Image:	MLAW70
Regular_OR_encrypted_flag:	Regular
RefRho_Option:	<input type="checkbox"/>
Rho_Initial:	2.8e-11
E0:	4.0
Nu:	1e-07
E_max:	45.0
EPS_max:	0.98
L_tens:	0: Same behavior between the com...
Fcut:	0.0
L_smooth:	0: Strain rate smoothing is inactive (...)
N_load:	1
load_fid:	(4) EPS28
STRAINRATE:	0.0
SCALE:	0.0
N_unload:	0
IFLAG:	4: Unloading is function of loading c...
SHAPE:	0.0
Hys:	0.0
HEAT_Input:	<input type="checkbox"/>
VISC_PRONY_option:	<input type="checkbox"/>

<EPS28 Materials>

3. 해석

3.2 Load

3.2.1 충돌 성능 시험 장치

국가 기술표준원에서 진행하는 충격 흡수성 시험 장치는 다음과 같다.

최소 높이 : 1830mm

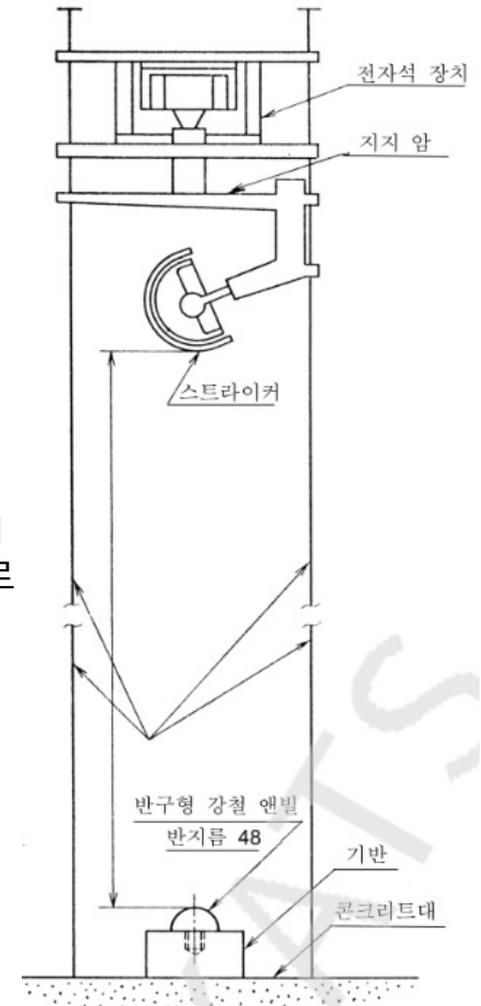
초기 속도 : 6000mm/s

충돌 횟수 : 4 지점, 각 2회씩

1830mm의 위치 에너지는 물리적 공식에 따라 계산하면 ,

"초기속도 = $\sqrt{2 \times \text{gravity} \times \text{height}} = 6000[\text{mm/s}]$ "인 운동 에너지와 같다.

따라서, hyper-mesh에서 중력에 의한 속도를 고려하여 헬멧을 강철 anvil 에 가깝게 위치시키고 초기속도를 입력하여 충돌 성능 시험을 효율적으로 묘사하였다.



3. 해석

3.2 Load

3.2.2 충돌 지점

국가 기술표준원에서 진행하는 충격 흡수 시험의 충돌 지점은 총 4지점 이지만, 기존 연구에서 90° 지점의 최대 가속도가 가장 높음을 확인하였으므로[2] 본 연구에서는 90° 지점에서 해석을 진행하였다.

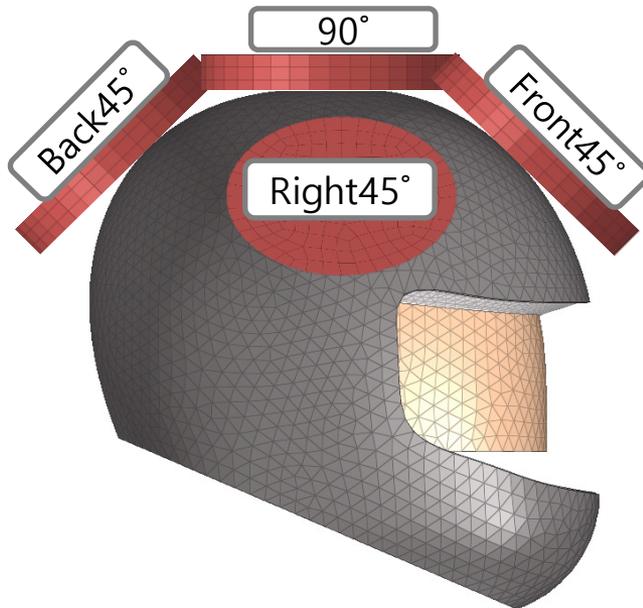


Table 2 Peak acceleration and H.I.C. for impact sites in flat anvils

	Flat anvil			
	90	Back45°	Front45°	Right45°
Peak Acceleration,G	271.48	249.39	248.66	239.06

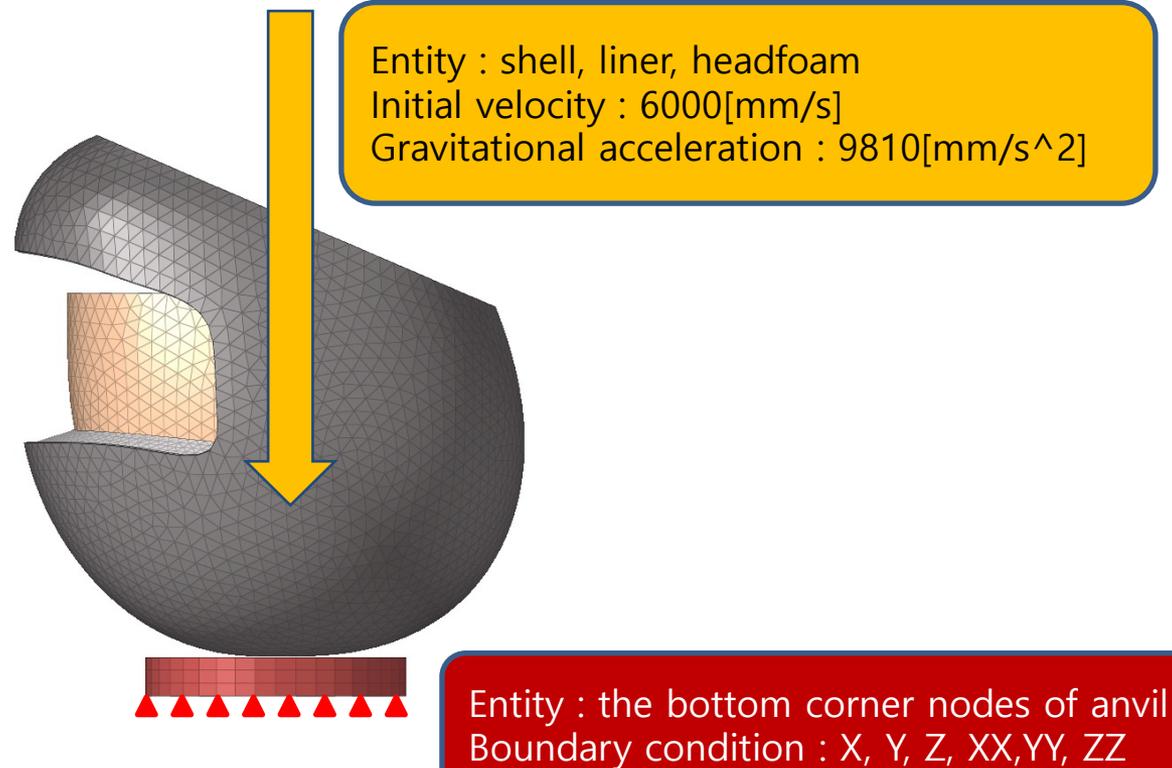
$$90^\circ > \text{Back}45^\circ > \text{Front}45^\circ > \text{Right}45^\circ$$

3. 해석

3.2 Load

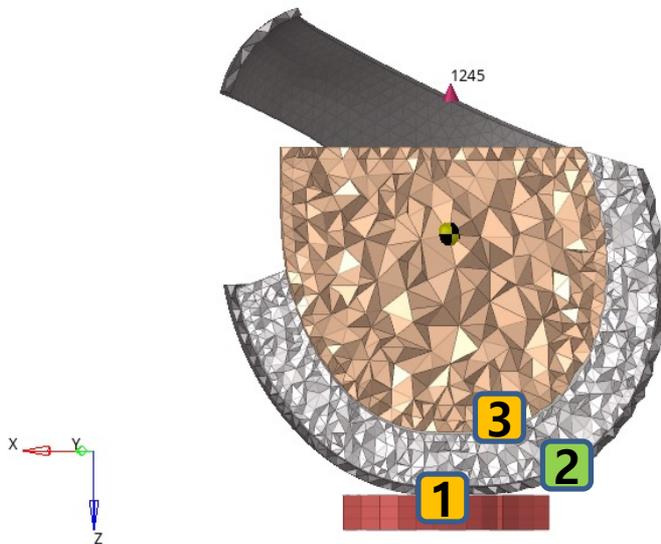
3.2.3 Load 및 Boundary condition

충돌 성능 시험은 다음과 같이 묘사해주었다.



3. 해석

3.3 Contact



1) Anvil_shell

Type7 : Type7의 node to surface 접촉을 사용하였으며, master: anvil, slave: shell로 지정하였다.

2) Shell_liner

Type2 : Shell과 liner는 실제로 붙어있는 것과 같은 거동을 보이기 때문에 Type2의 tied조건을 사용하였다.

2) Head-foam_liner

Type7 : Head-foam과 liner의 접촉도 Type7의 접촉을 사용하였다. Head-foam은 탄성체가 아닌 강체로 묘사하였기에 head-foam을 master으로, liner를 slave로 지정하였다.

3. 해석

3.4 가속도 데이터

summary						
1	CENTER OF GRAVITY					
2						
3	COMPONENT NAME	ID	MASS	X	Y	Z
4						
5	Headfoam	2	0.01003460884245	1.3456070960E-01	2.4791988775E-04	2.5408746181E+01

- 약 (0.1, 0, 25)

Hyper-mesh의 summary 기능을 활용하여 머리모형의 무게중심을 구하고, 무게중심과 가장 인접한 노드에서 가속도를 측정하였다.

4. 최적화

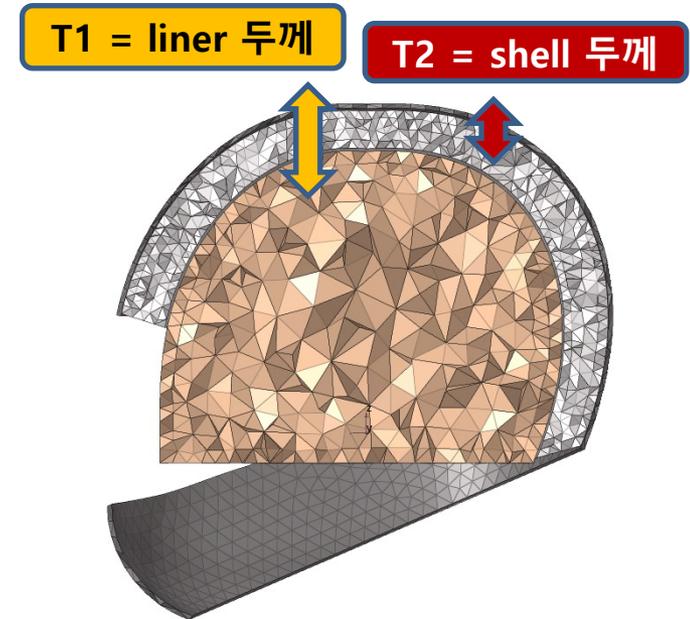
4. 최적화

4.1 최적화 정의

4.1.1 매개변수

최적화에 사용될 매개변수는 다음과 같이 Liner의 두께와 Shell의 두께 총 두가지의 변수를 선정하였다.

reference모델의 치수를 참고하여 기준 치수를 정하고 T1 6가지, T2 4가지의 조합으로 총 24가지의 경우를 만들었다.



단위 : mm

T1	17				18				19				20				21				22			
T2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

4. 최적화

4.1 최적화 정의

4.1.2 제약조건

KS G 7001 승차용 안전모 규정의 5.1에는 다음과 같이 최고 가속도의 기준이 명시되어 있다.

“ 모든 종류의 안전모에 있어 300G이상의 충격 가속도가 생기지 않아야 하며, 150G 이상의 충격 가속도가 생겼을 때 그 계속 시간이 4ms 이하이어야 한다. ”

4. 최적화

4.1 최적화 정의

4.1.2 제약조건

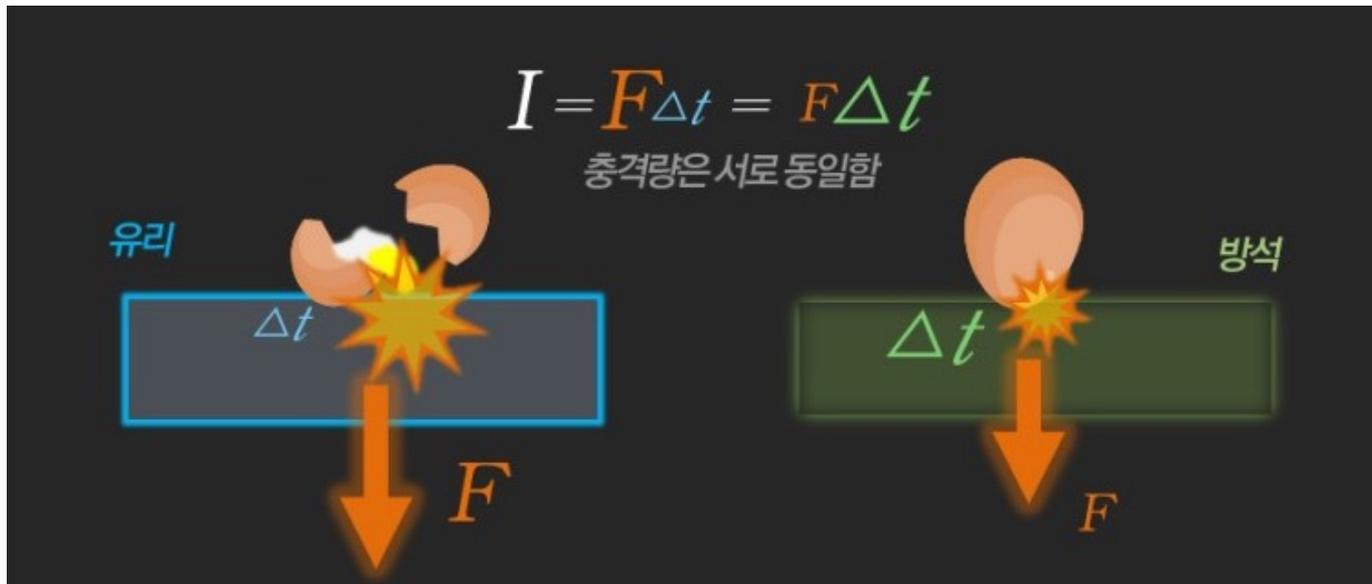
$$I = F \times \Delta t = m \times a \times \Delta t$$



4. 최적화

4.1 최적화 정의

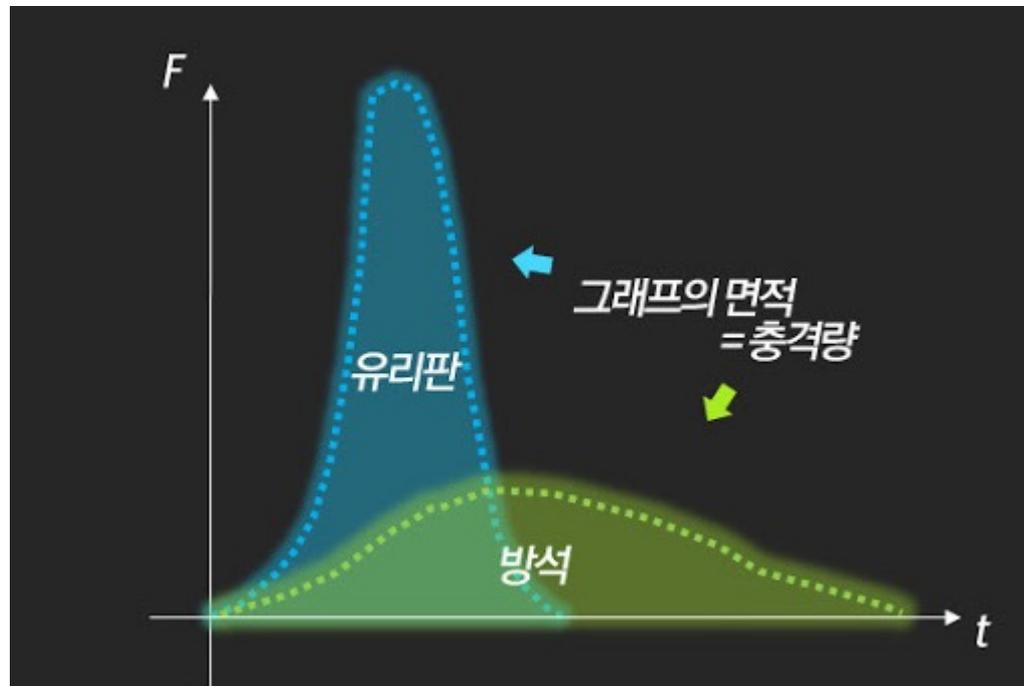
4.1.2 제약조건



4. 최적화

4.1 최적화 정의

4.1.2 제약조건



4. 최적화

4.1 최적화 정의

4.1.2 제약조건

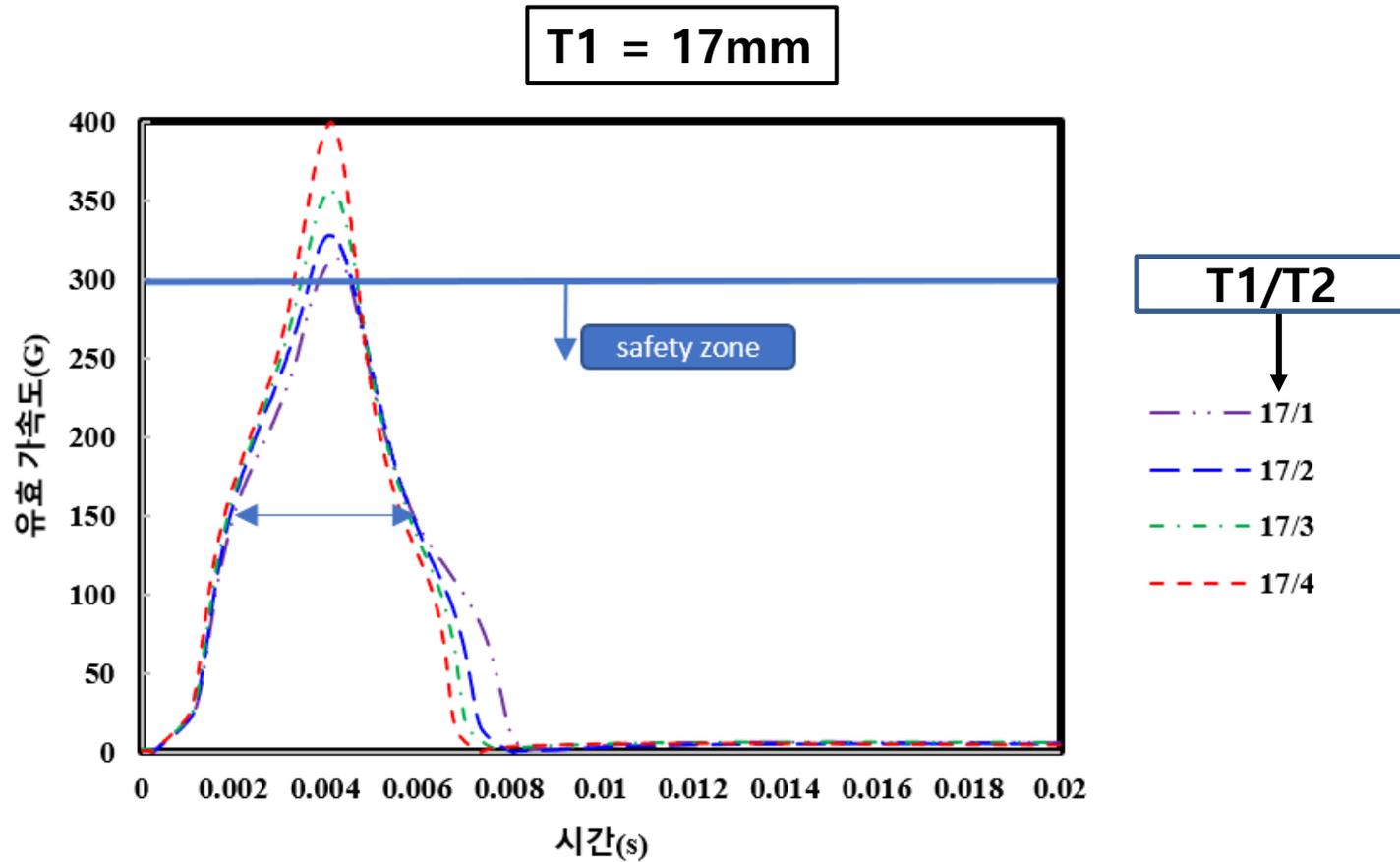
KS G 7001 승차용 안전모 규정의 5.1에는 다음과 같이 최고 가속도의 기준이 명시되어 있다.

“ 모든 종류의 안전모에 있어 300G이상의 충격 가속도가 생기지 않아야 하며, 150G 이상의 충격 가속도가 생겼을 때 그 계속 시간이 4ms 이하이어야 한다. ”

따라서, 본 연구에서는 규정 5.1의 제약 조건을 만족시키도록 최적화를 진행하였다.

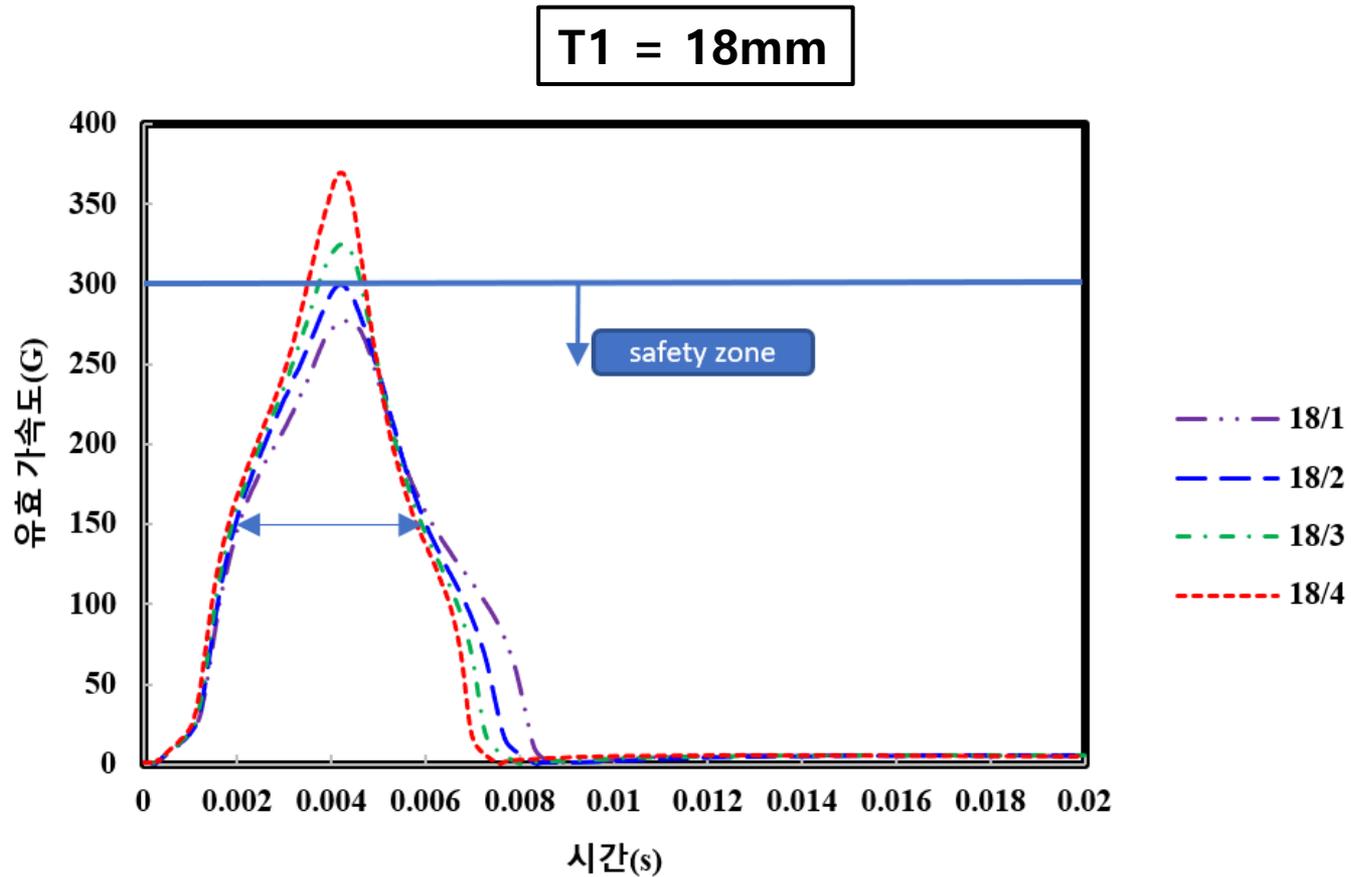
4. 최적화

4.2 해석 결과_가속도 데이터



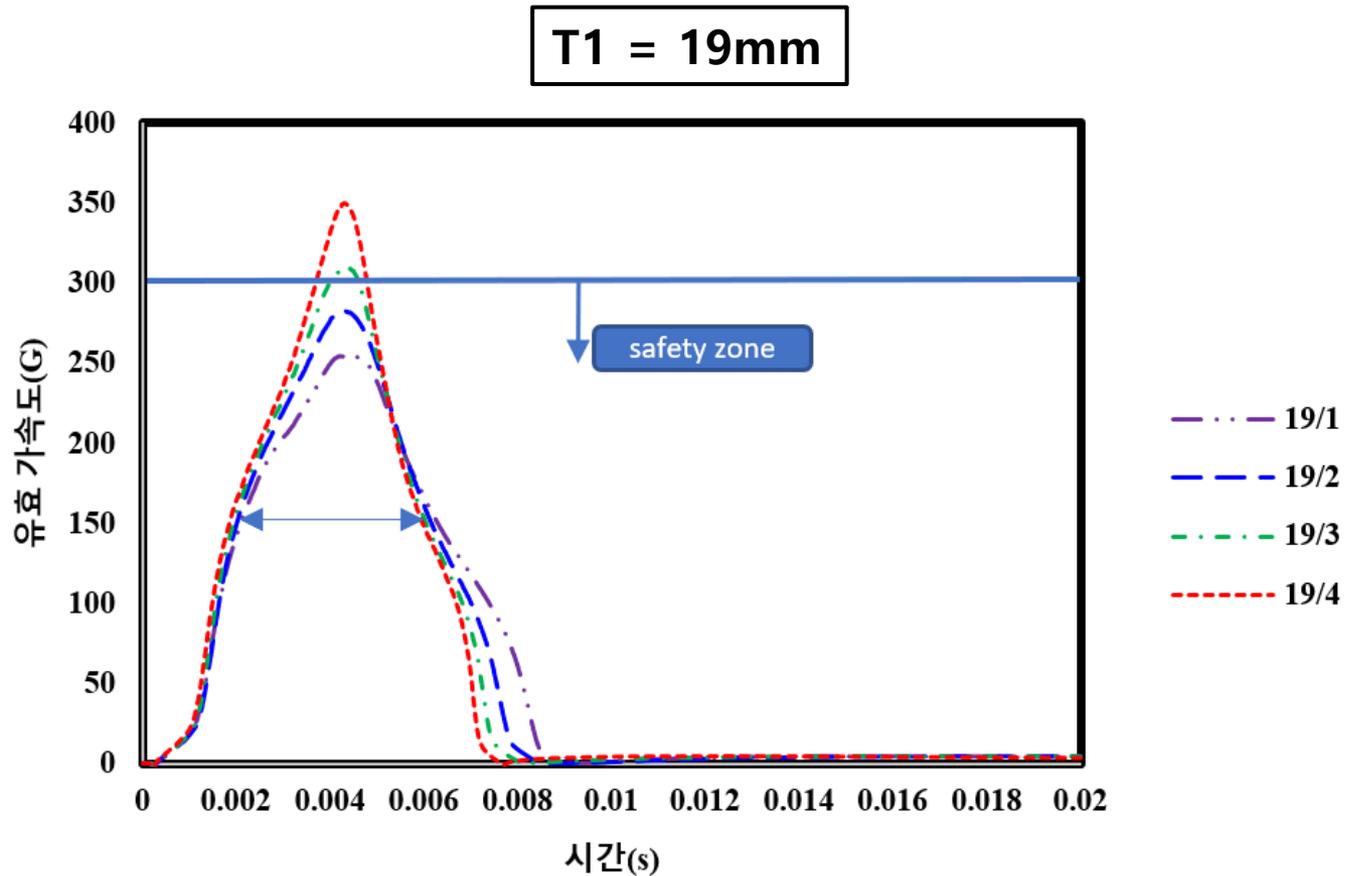
4. 최적화

4.2 해석 결과_가속도 데이터



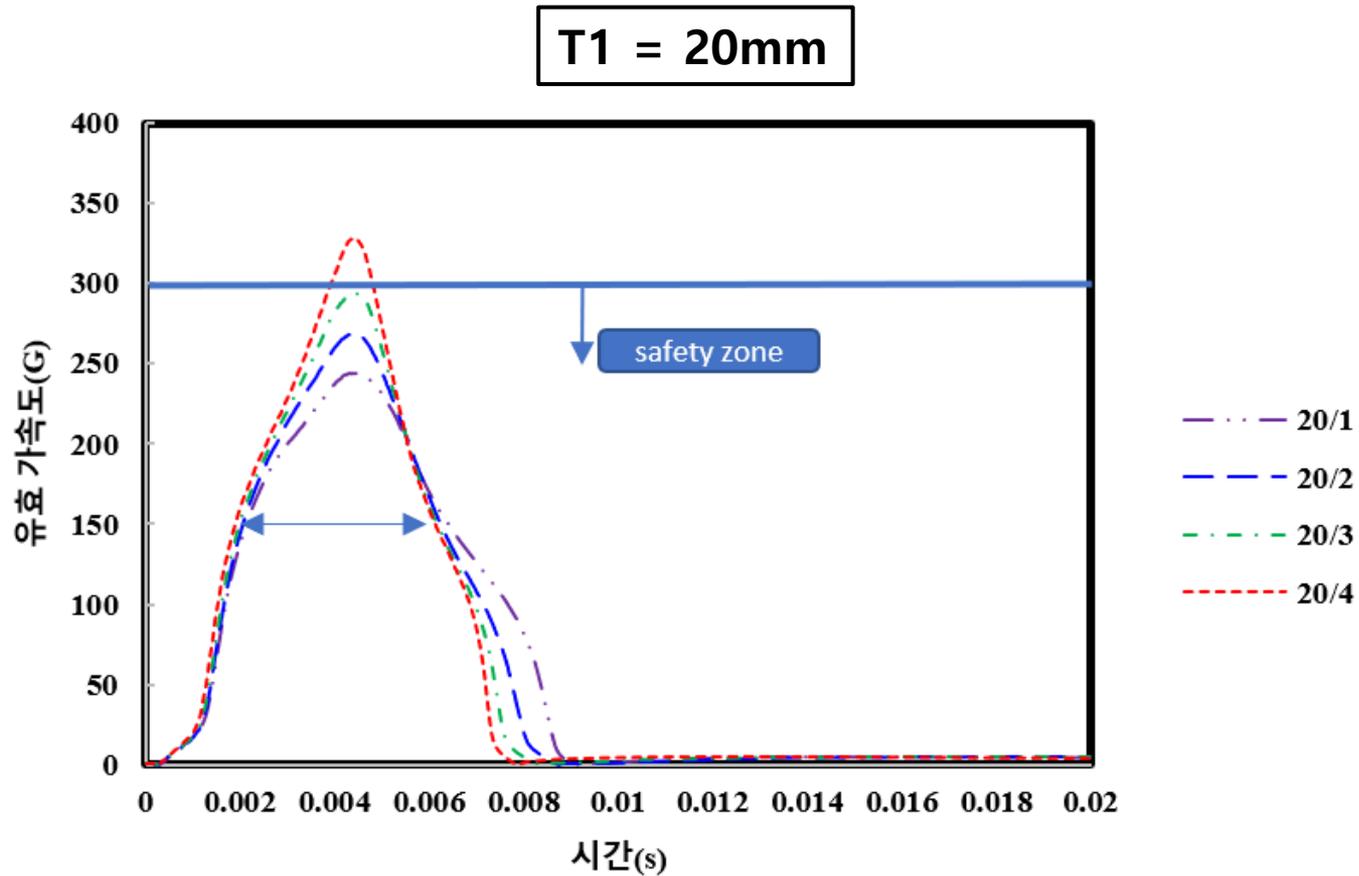
4. 최적화

4.2 해석 결과_가속도 데이터



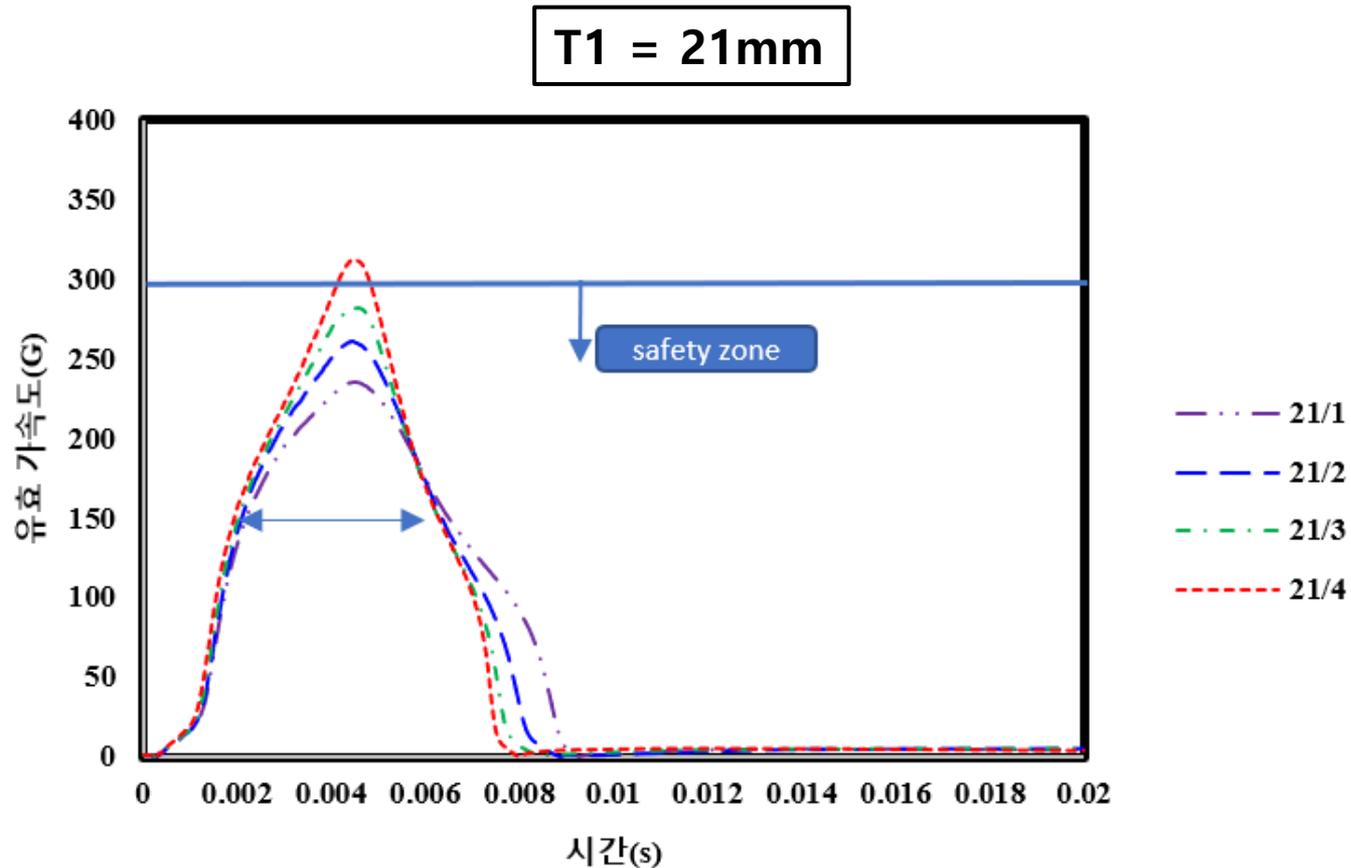
4. 최적화

4.2 해석 결과_가속도 데이터



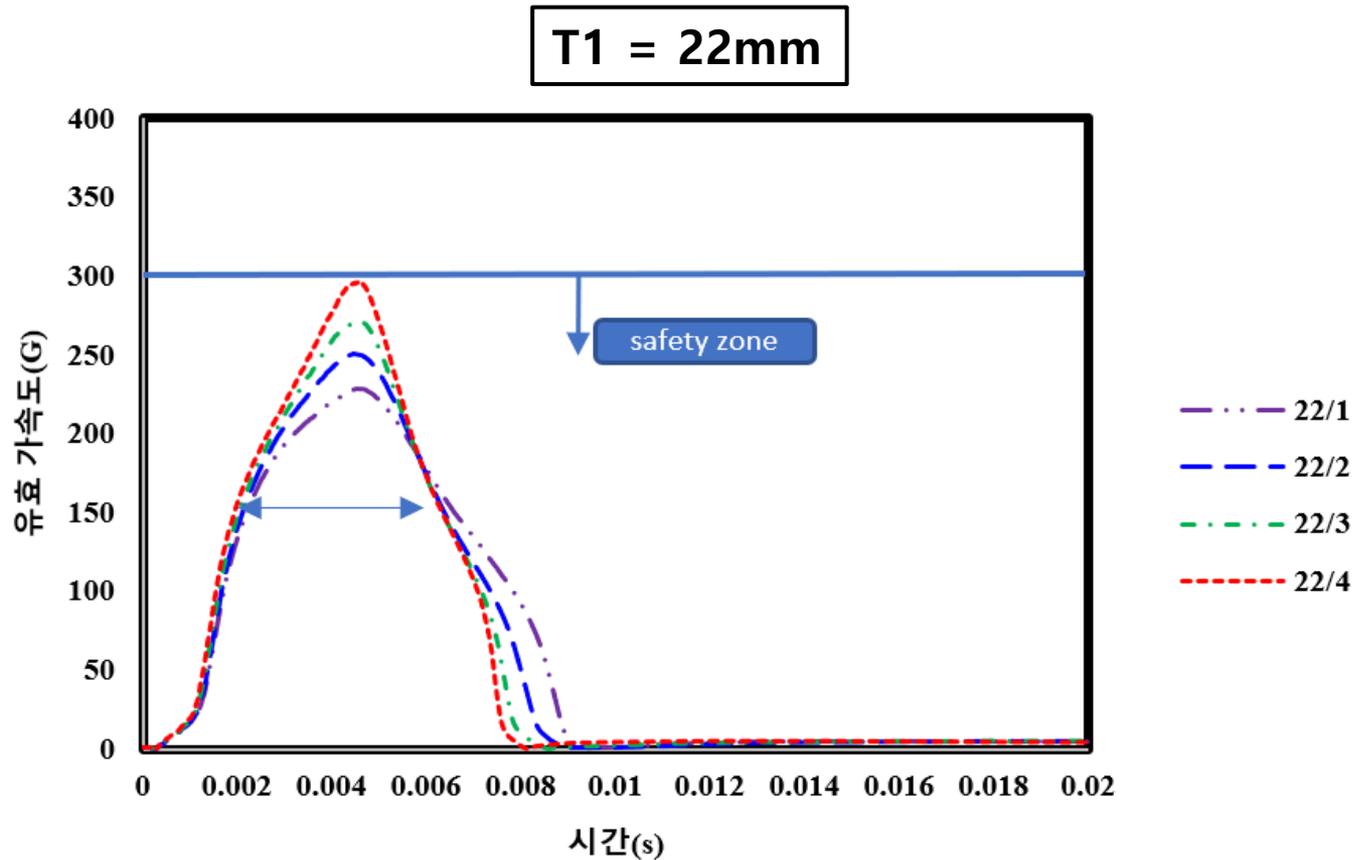
4. 최적화

4.2 해석 결과_가속도 데이터



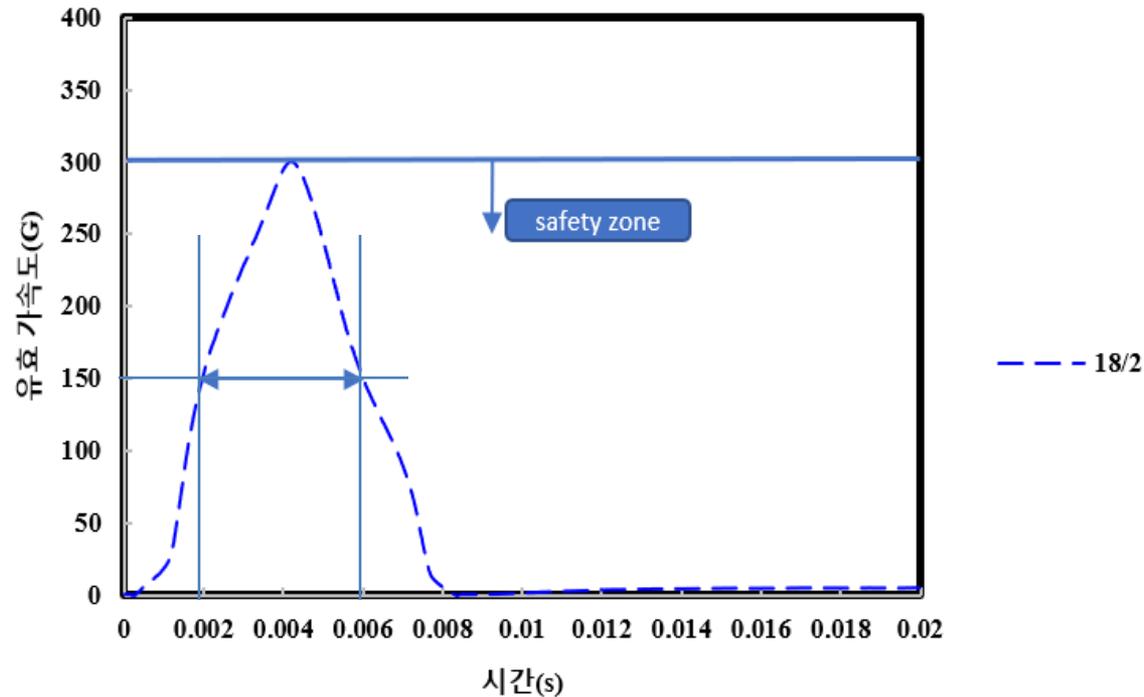
4. 최적화

4.2 해석 결과_가속도 데이터



5. 결론

5. 결론 5.1 최적 모델

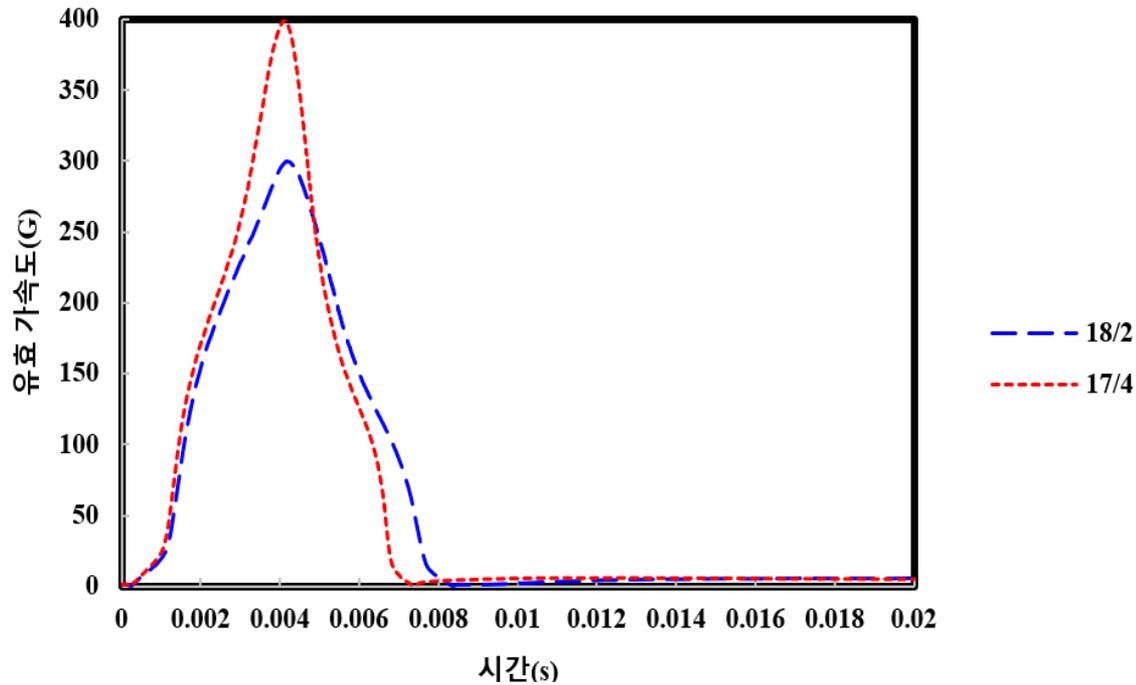


모델 case 중 제약조건을 만족시키면서 최소 무게를 가지는 모델은 **T1=18mm, T2=2mm** 모델이다.

5. 결론

5.2 결과 비교

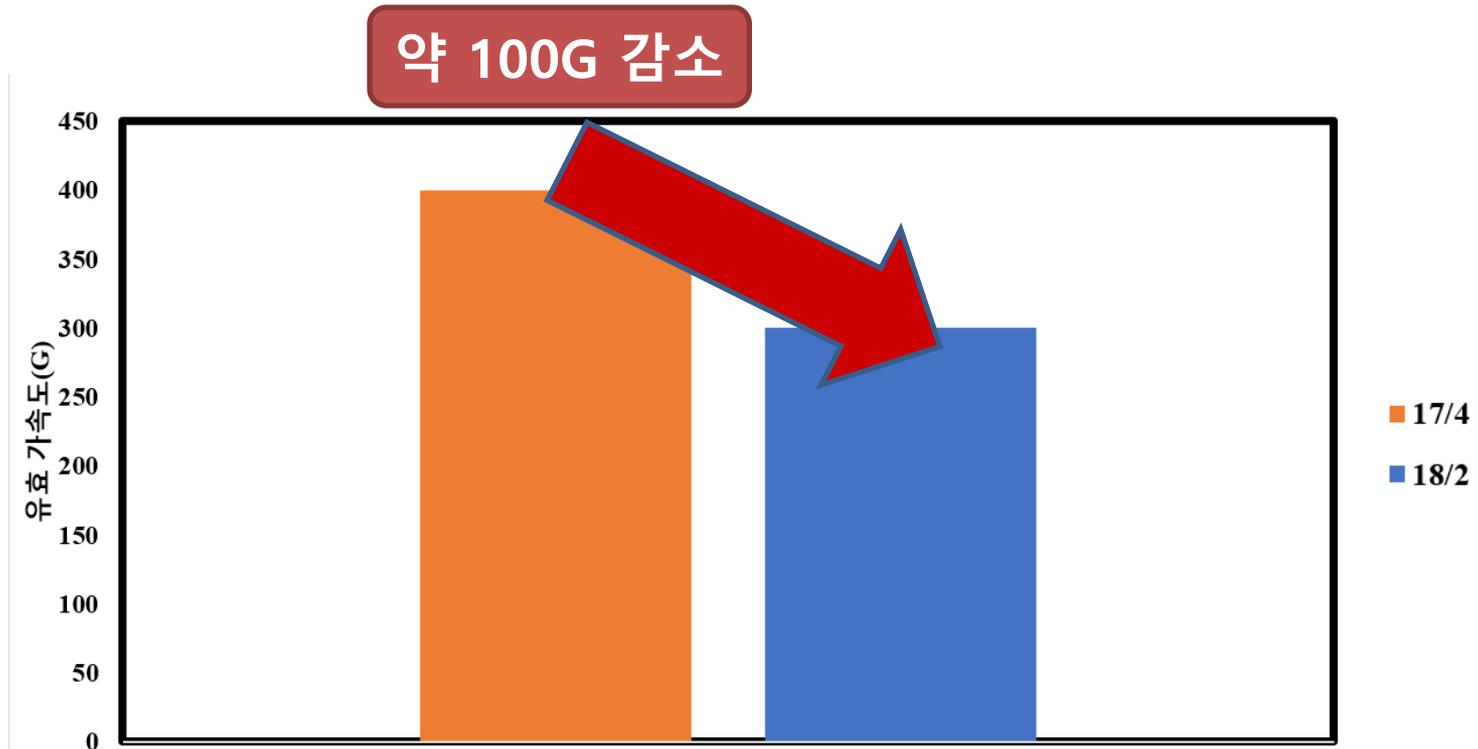
5.2.1 최고 가속도



5. 결론

5.2 결과 비교

5.2.1 최고 가속도



5. 결론

5.2 결과 비교

5.2.2 질량

<22/4>

mass							
1	CENTER OF GRAVITY						
2							
3	COMPONENT NAME	ID	MASS	X	Y	Z	
4							
5	LINER_20	17	5.4288745649E-05	-1.795517855E+01	-1.336524016E-03	9.5576069805E+01	
6	SHELL22.1	23	0.00494389763277	-5.936721577E+00	1.2759618757E-02	6.5877896117E+01	
7							
8	Number of Components: 2						
9	Mass of Model: 0.00499819						
10	Center of Gravity for Model -- X: -6.06726E+00 Y: 1.260651E-02 Z: 6.620047E+01						

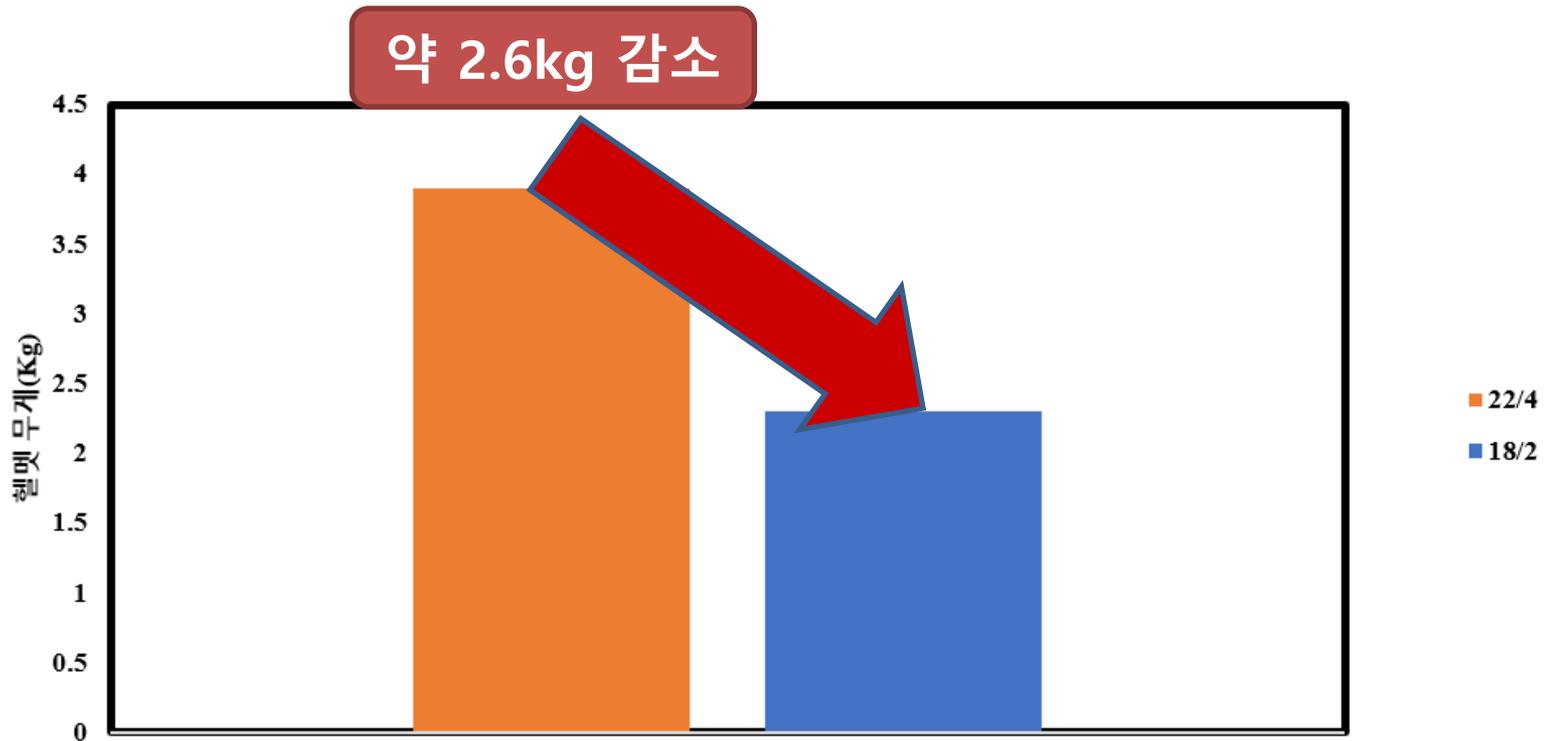
<18/2>

summary mass							
1	CENTER OF GRAVITY						
2							
3							
4	COMPONENT NAME	ID	MASS	X	Y	Z	
5							
6	LINER_18	19	4.2734218702E-05	-1.761384124E+01	-1.761136955E-03	9.3941540299E+01	
7	SHELL18	27	0.00232850577543	-5.447296010E+00	1.9182766076E-02	6.1551284959E+01	
8							
9	Number of Components: 2						
10	Mass of Model: 0.00237124						
11	Center of Gravity for Model -- X: -5.66656E+00 Y: 1.880532E-02 Z: 6.213502E+01						

5. 결론

5.2 결과 비교

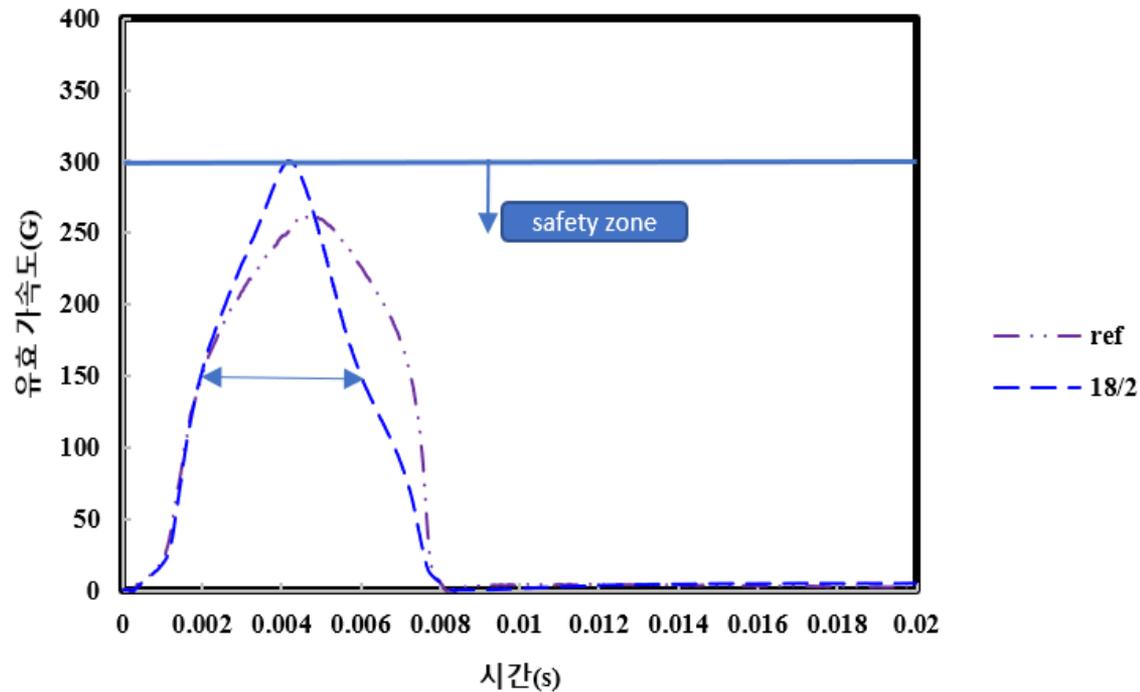
5.2.2 질량



5. 결론

5.2 결과 비교

5.2.3 reference 모델



5. 결론

5.3 기대효과



사진=케티이미지뱅크

참고자료

- [1] 최명진. "시뮬레이션에 의한 오토바이 헬멧의 충격응답 분석." *한국시뮬레이션학회지* 8.4 (1999): 25-31.
- [2] Yu, B. M., Song, J. S., Kim, D., Lee, S. K., & Kim, Y. H. (2007). Investigation for Impact Stability of the Motorcycle Helmet by Using Finite Element Method. *Transactions of Materials Processing*, 16(5), 370-374.
- [3] Chen, Wensu, et al. "Static and dynamic mechanical properties of expanded polystyrene." *Materials & Design* 69 (2015): 170-180.
- [4] Lee, S., et al. "The Homogenized visco elastic and rate dependent plastic model for plain weave fabric reinforced polymer composites." *18th international conference on composite materials, Jeju, Korea*. 2011.
- [6] 국가 기술 표준원, <https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocId=72059234006873231>

사진 참고자료

<https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=michaela423&logNo=100201131082>

국가 기술 표준원, <https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocId=72059234006873231>
http://taas.koroad.or.kr/sta/acs/gus/selectTfcacdOccrncSttusAnnual.do?menuId=WEB_KM_P_OVT_MVT_TAC_TOA

<http://www.insidevina.com/news/articleView.html?idxno=16677>

<https://www.kca.go.kr/home/sub.do?menukey=4002&mode=view&no=1003134583&page=3>

<https://www.sedaily.com/NewsView/264VPYEQTP>

<https://gooseskin.tistory.com/157>

Yu, B. M., Song, J. S., Kim, D., Lee, S. K., & Kim, Y. H. (2007). Investigation for Impact Stability of the Motorcycle Helmet by Using Finite Element Method. *Transactions of Materials Processing*, 16(5), 370-374.

감사합니다.