

# 선형해석을 이용한 방열그릴(GRILLE)최적설계

최 용환\* · 조 여욱\*\*

## The Optimal Design of Vents using Linear Analysis

Yong-Hwan Choi, Yeo-Uk Joe

**Key Words :** Ballistic Impact Test(낙구충격실험), Air Vents Grille(방열그릴), Linear Analysis(선형해석), Optimal Design(최적설계), Resin of Plastics(플라스틱 수지), Elastic Area(탄성영역) Internal Deformation Energy(내부변형에너지), Impact Energy(충격에너지), Concentration Loads(집중하중), Structural Reinforcement(구조보강), Crack(파손)

### Abstract

It should be essentially considered as important points that design of case in electronic product which simultaneously satisfied with structural stability and molding form in respect to developmental period and economical aspect. Especially, a shape of air vents grille, which is made to emit heat happen to be in the internal of product, must satisfy durability and strength but We have no quantitative data because to be done by experience of designer. So, in this study, We will propose that structure of optimal and method of design in air vents grille, which to reduce a lot of loss of time and cost due to trial and error of design and to stabilize in the ballistic impact test as to estimate strength with external appearance of product, using linear analysis.

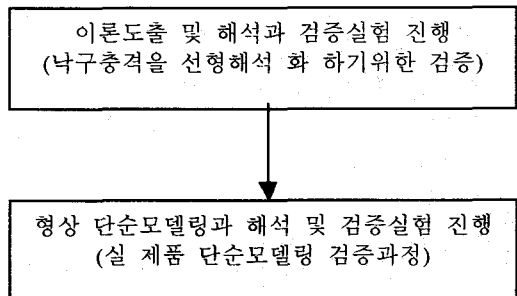
### 기호설명

$E_i$ (충격에너지, J),  $E_a$ (흡수에너지, J),  $\Delta_{max}$ (이론치 짐량, mm),  $\delta_{max}$ (최대치짐량, mm),  $\sigma_{max}$ (최대응력, mN/mm<sup>2</sup>),  $E_\epsilon$ (변형에너지, J),  $h$ (낙하높이, cm),  $P_{dyn}$ (동적하중, mN),  $\Delta_{st}$ (초기치짐량, mm),  $P_{st}$ (초기하중, mN),  $E_g$ (부여에너지, J)

### 1. 서론

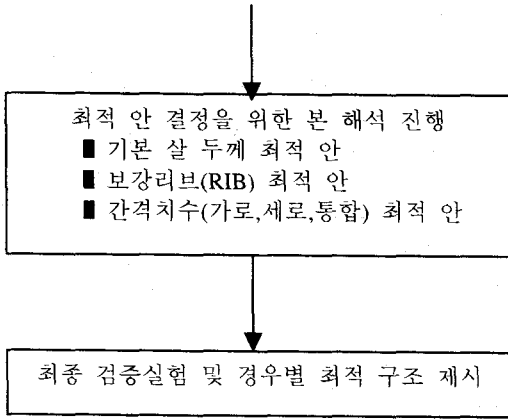
보통 제품내부에 발생하는 열을 외부로 방출할 수 있도록 공기의 순환매체 역할을 담당하는 방열그릴 형상은 실제 외부충격에 의해 제품에 발생할 수 있는 구조적인 문제들과 밀접한 관계가 있다. 따라서 제품설계시 열적 순환 뿐만 아니라 구조적인 강도측면을 동시에 고려해야 하지만 단순경험에 바탕을 둔 설계 및 가공과 생산비용 절감이라

는 문제로 인해 방열그릴에 대한 중요성을 간과하고 있는 실정이며 그로 인해 낙구충격 실험시 많은 문제점이 발생하고 그에 따른 시간과 비용의 손실이 수반된다. 본 논문에서는 선형해석을 이용하여 낙구충격실험에 대해 안정적이고 강인한 방열그릴 구조를 제안하고자 한다. 이를 위해 단순모델링에 대한 이론정립과 실험을 통한 이론검증을 진행하고 선형해석을 통해 최적설계 안을 결정하며 실 제품 적용실험으로 최종 검증한다. 해석진행 흐름도(Flow-Chart)는 아래와 같다.



\* 대우전자(주) 디지털 사업부 연구 4 팀 주임연구원

\*\* 대우전자(주) 디지털 사업부 연구 4 팀 주임연구원



## 2. 이론도출 및 해석과 검증

### 2.1 이론식 도출

낙구충격실험에 대한 내용과 기준 및 해석적용을 위한 가정에 대해서 설명하고 필요한 이론식을 도출하였다.

#### 2.1.1 낙구충격실험의 내용과 기준

530g의 구(직경 50mm)를 높이 143cm에서 자유낙하 시킬 때 생성된 에너지를 직접 제품에 충격하중으로 작용시키고 위치에너지의 외부손실이 없다는 가정하에 제품에서 충격에너지로 전환하여 충격하중 작용 직후 제품표면의 파손여부를 확인하는데 합격,불합격의 판단자료로만 활용된다.

[Table.1 A Standard of ballistic-impact test]

항 목	무게(g)	낙하높이(cm)	충격에너지(J)
UL <sup>(6)</sup>	500± 25	130	6.38
대 우	530	143	7.43

#### 2.1.2 낙구충격실험의 가정

낙구충격실험 과정을 단순한 집중하중의 선형해석으로 변화 시키기 위한 가정을 아래와 같이 정리하였다.

- 1.탄성영역에서 외부 충격에너지와 제품의 변형에너지는 동일하다.따라서 낙구실험을 단순히 제품에 집중하중이 가해지는 것으로 모델링할 수 있다.
- 2.낙구가 제품에 가하는 에너지에 의해 영향을 받는 부분은 낙구가 닿는 부분이다.즉,응력전파에 따른 현상은 고려하지 않는다.
- 3.낙구가 닿는 부분의 응력이 항복응력을 벗어난 경우 제품이 변형을 일으킨 것으로 간주한다.따라서 항복응력 이하의 값을 갖도록 하며 이 값은 제품을 구성하는 플라스틱 수지의 기계적 물성치에서 인장강도(인장응력)값을 기준으로 하고 탄성영역 범위 내에서만 적용한다.

### 2.1.3 낙구충격이론

2.1.2에서 언급한 가정과 동적하중 또는 충격하중을 받는 자유낙하체에 대한 이상적인 조건<sup>(1)</sup>을 근거로 하여 Fig.1에 대한 이론식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$mg(h + \Delta \max) = P_{dyn} \Delta \max = E_i$$

여기서,  $h \gg \Delta \max$  라 가정하면  $(h + \Delta \max) \approx h$  이므로

초기 자유낙하체의 자중  $W = mg = Pst$  를 적용하여  $\Delta st$  를 구하고 아래의 식을 이용하여  $\Delta \max$  값을

$$\therefore h = \frac{E_i}{mg}$$

구한다.

$$\Delta \max = \frac{\Delta st}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4h}{\Delta st}} \right)$$

$$\therefore P_{dyn} = \frac{E_i}{\Delta \max}$$

구조의 안정성에 대한 판정기준은 아래와 같다.

$$\sigma \max \leq \sigma y \text{ 이고}$$

$E\epsilon \approx E g$  라면 이 구조는 주어진 충격에너지 값에 대해 안정적이다.

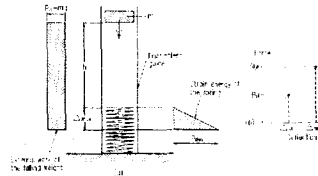


Fig.1 Movements of an elastic body under impact loads<sup>(1)</sup>

### 2.2 이론검증 실험 및 해석

상기 이론을 검증하기 위해 시편충격실험을 진행하였고 동일형상과 조건으로 해석을 수행하였다.

#### 2.2.1 이론검증 실험

시편충격 실험 장비인 DYNA-TUP을 이용하고 FMVSS 방식으로 제작된 HIPS 계열 시편을 사용하였는데 외부충격에너지에 대해 시편에 작용하는 하중과 흡수에너지 및 처짐량 등을 알아냈다. 결과값중 탄성영역 범위를 장비에서 인식한 허용

응력 값으로 결정<sup>(3)</sup>하고 에너지보존 이론을 근거로 하여 탄성영역 내에서 시편에 가해진 충격에너지는 시편이 흡수한 내부변형에너지가 되므로 실험을 통해 얻어진 흡수에너지를 내부에너지로 고려하였다. 즉,

$$E_a = E_i$$

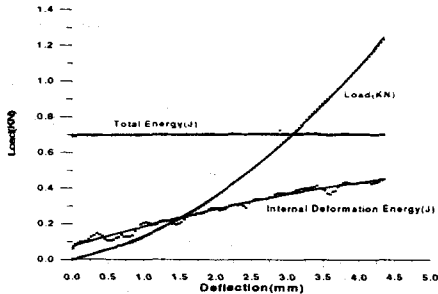


Fig.2 Distribution of load & deflection in specimen

### 2.2.2 이론검증 해석

실험에서 얻어진 데이터를 이용하여 선형해석으로 탄성영역 결정 및 이론검증을 진행하고 인장실험<sup>(4,5)</sup>을 통해 시편의 필요한 기계적 물성치를 확보하였다. 사용한 시편과 동일한 형상 및 구속조건을 부여하고 충격에너지를 변화 시켜 실험결과와 비교하였다.

[Table.2 Material property of specimen]

항 목	Units	HFH-400NS	FR3231NS
허용응력 ( $\sigma_y$ )	mN/mm <sup>2</sup>	24230.7	26487.0
탄성계수 (E)	mN/mm <sup>2</sup>	338150.7	314704.8
포아송 비 ( $\nu$ )	-	0.35	0.35
Mass Density ( $\rho$ )	Kg/mm <sup>3</sup>	0.00115	0.00115
전단계수 (G)	mN/mm <sup>2</sup>	125241.0	116557.3
초기하중 (Pst)	mN	53660.7	5199.3



Fig.3 Result of analysis (stress & deflection)

[Table.3 Compare analysis with experimental results]

항 목	HIPS(HFH-400NS)			
	$\sigma_y$	24230.7		
이론 / 실험	Ei	5.75	7.42	14.81
	Ea	0.7363	0.5394	0.6883
	$\Delta$ max	7.62	6.78	7.68
해석	$\delta$ max	7.61	6.77	7.67
	$\sigma$ max	25700	22900	25900
판정	$\sigma_y$ : $\sigma$ max(%)	6.1	5.5	6.9

해석결과에서 이론치짐량( $\Delta$  max)과 최대치짐량( $\delta$  max)이 같은데 이는 이론식과 계산방법이 적합함을 의미하는 것이고 허용응력( $\sigma_y$ )과 최대응력( $\sigma$  max)값의 차이는 실험장비의 운용 및 실험시편의 두께 균일성, 실험시 시편 위치의 정확성, 위치고정 지그의 진동 등에 의해 발생하며 보통 $\pm 10\%$  정도의 오차범위<sup>(2)</sup>를 갖는다. 이 값을 해석결과에 적용하면 최대응력이 허용응력값 범위에 포함되므로 지금까지 진행된 실험 및 해석과정을 통해 초기 설정한 이론식과 가정이 적합함을 알 수 있고 비선형 해석의 복잡한 낙구충격해석을 선형해석의 집중하중으로 단순화하여 적용하여도 구조적 안정성을 확보하는데 문제가 없음을 알 수 있다. 따라서 차후에 진행될 방열그릴 형상의 최적구조를 구하기 위해 상기 이론식과 해석방법을 적용하도록 한다.

### 3. 형상 단순모델링 및 해석과 검증

TV 수상기 외관을 구성하는 케이스 중에서 백커버(Back Cover)의 일부 형상을 이용하여 Case Study를 진행하였다.

#### 3.1 형상모델링 및 경계조건

보통 제품상에 가공되는 방열그릴 형상은 배열이 좌,우,상,하 대칭인데 관심부위를 기준으로 구조적으로 취약하며 충격체인 낙구의 직경범위 내에 속하는 구조를 중심으로 단순하게 표현하였으며 형상의 면적과 부피에 영향을 미치는 단차 구조도 동시에 반영하였다. 구속 및 경계조건은 Fig.5와 같이 부여하였는데 형상 아래부분의 자유도를 완전 구속하였고 메쉬(MESH)분할은 관심부분을 조밀하게 나머지 부분은 적당히 적용하였다. 메쉬 엘리먼트(ELEMENT)는 전자가 3~6, 후자가 21~24이다. 또한, 낙구가 떨어지는 표면의 한 점에 집중하중을 부여하여 알고자 하는 부위에서 발생하는 기계적성질의 변화를 최대응력 값을 기준으로 판정하였다.



Fig.4 Modeling of simplified shape

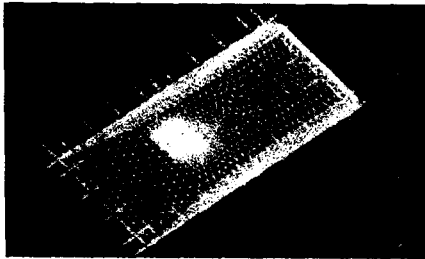


Fig.5 Constraint condition & mesh division

### 3.2 선형해석

플라스틱 수지 FR323INS 를 사용한 살 두께 3.5mm 의 제품에 충격에너지를 세분화 하여 부여하고 물성치는 [Table.2]를 적용하여 진행한다.최대 응력과 변형에너지가 탄성영역에 해당하는 에너지 범위를 결정하고 그 값을 제품실험에 이용한다.

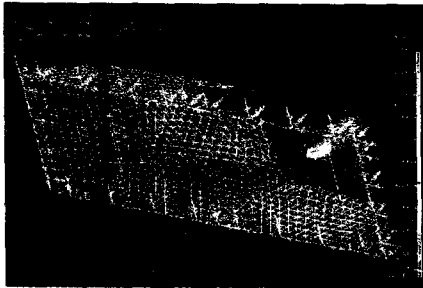


Fig.6 Result of analysis (Ei=2.0J)

[Table.4 Result of analysis in impact energy]

$\sigma_y$	26487.0			
Ei	7.43	3.5	3.0	2.5
$\Delta_{max}$	47.2	32.6	30.3	27.7
$\delta_{max}$	46.5	31.7	29.3	26.7
$\sigma_{max}$	82000	47500	43900	39800
E $\epsilon$ (J)	7.55	3.51	2.99	2.48
$\sigma_{y \geq 0.6\sigma_{max}}$	49200	28500	26340	23880
E $\epsilon \approx Ei(\%)$	1.6	0.4	0.4	0.7

제품성형(특히,사출제품에서)시 발생하는 유동성과 관련된 부분의 문제는 구조해석에서 지나치기가 쉬우나 외부적으로 현상이 나타나지 않더라도 내부적으로 구조에 따른 잔류응력이나 분자배향성, GATE 의 위치 등에 의해 얼마든지 생성될 수 있으므로 적합한 검토가 요구된다.보통 HIPS 계열의 플라스틱 수지에서는 WELD LINE 의 有,無에 따라 발생하는 WELD-LINE FACTOR 를 0.6<sup>2)</sup>으로 사용하는데 본 해석에서도 이 값을 판정기준에 포함시켰다.[Table.4]의 결과에 의하면 충격에너지 3.0J 이상의 영역에서는 소성으로의 변화가 발생함을 알 수 있다.이 에너지를 기준으로 하여 실제 제품에 낙구충격 실험을 진행하고 탄,소성 영역의 변화에 대해 제품외관에 나타난 현상(백화,파손 등)을 확인한다.

### 3.3 검증실험

방열그릴형상과 단차 구조가 있는 실 제품에 낙구충격실험을 실시하여 해석결과 및 단순모델링에 대한 검증을 수행하였다.

#### 3.3.1 실험방법

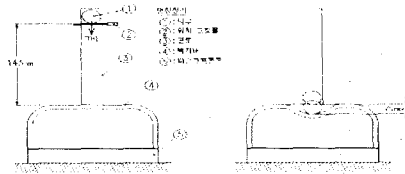


Fig.7 Devices of equipment for experiment

낙구를 접촉면에 대해 수직으로 위치시키고 1 회 충격직후의 표면상태를 확인하는데 에너지별로 5 회 반복 실험하여 결과를 해석치와 비교한다.이때 실험 오차범위는 $\pm 10\%$ 로 하고  $\pm 0.5J$  범위의 충격 에너지 값을 적용한다.

#### 3.3.2 실험결과

[Table.5 Result of experiment in elastic range]

No.	Impact Energy (J)		
	3.5	3.0	2.5
1	C	A	A
2	C	A	A
3	B	A	A
4	C	A	A
5	D	B	A

<기호정의-A:이상없음, B:백화, C:크랙, D:파손>

상기 표에서 보듯 낙구충격 실험에 의한 제품의

에너지 영역별 현상과 해석을 통해 도출된 결과가 동일함을 알 수 있다. 따라서 해석을 위한 제품의 단순 모델링 형상이 적합함을 알 수 있다. 동일 충격에너지에서 나타나는 현상의 차이는 낙구의 접촉점(충격점)이 취약부와 정확하게 일치할 때와 그렇지 못할 때의 오차임을 밝혀준다

#### 4. 방열그릴 형상의 최적구조

제품에서 구조적으로 안정적인 방열그릴 형상을 확보하기 위해 고려해야 할 설계요소를 기준으로 최적구조를 제시하겠다.

##### 4.1 제품 살 두께 최적 안

검증된 이론과 형상, 구속조건을 바탕으로 탄성영역 내에서 방열그릴 형상의 최적두께를 7.43J의 충격에너지에 대해 플라스틱 수지 HFH-400NS를 이용하여 결정한다.

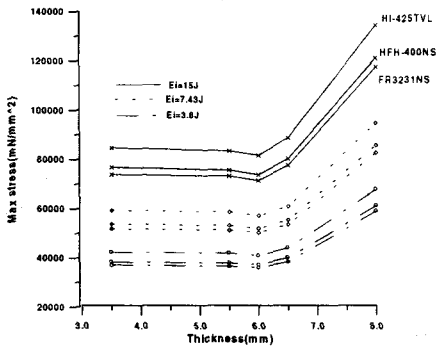


Fig.8 Result graph of analysis in type of basic thickness

해석결과에 따르면 두께의 증가량에 비해 최대응력의 감소량이 크지 않을 뿐만 아니라 적정두께 범위를 넘으면 오히려 응력값이 상승함을 알 수 있다. 이는 취약부위를 중심으로 주변에는 균등한 응력이 작용하더라도 국부적인 부분 즉, 에지(EDGE)부위, 급격한 형상의 변화가 있는 부위 등에서 순간적인 충격으로 인한 최대응력이 발생하여 기계적 성질의 변화가 먼저 진행됨을 의미한다. 따라서 제품 살 두께는 방열그릴 형상의 강도면에서 중요한 설계인자가 아님을 알 수 있고 일정 두께범위 내에서만 충격강도에 대한 효과를 기대할 수 있는데 그 두께범위는 외부 충격에 견딜 수 있는 방열그릴 구조를 두께만을 이용하여 적용 하고자 할 때 고려해야 하는 한계범위 값이 된다.

##### 4.2 보강리브(RIB)형상 최적 안

두께보다 다른 구조적인 보강이 강도측면에서 더 중요한 설계 인자임을 알았는데 그 중에서 보강리브(RIB)를 채택하였다. 실제 보강리브를 적용하고 응력의 변화량을 살펴보면 동일두께의 제품에서 같은 충격에너지에 대해 충분한 강도가 생성

됨을 알 수 있다. 보강리브의 가공위치에 따라 에지(EDGE)부분과 그릴부분으로 분리하여 최적 안을 찾아내었다.

##### 4.2.1 에지(EDGE)부분

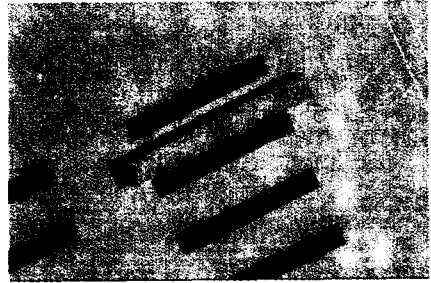


Fig.9 Type of RIB in edge part

급격한 형상의 변화가 이루어지는 구조적으로 가장 취약한 부분으로 충격전달의 흡수 및 분산효과가 원활하게 진행될 수 있는 형상이 바람직한데 외부충격이 직접 작용하는 부위면에 Fig.9와 같은 형상으로 가공하면 동일두께를 유지하면서도 응력값을 줄일 수 있다. 해석결과 집중하중이 작용하는 부위를 제외한 나머지 부분은 상대적으로 응력값이 낮기 때문에 구조상 가장 취약한 부분을 보강하면 나머지 부분은 동일 하중 내에서 안정함을 알았다.

##### 4.2.2 그릴(GRILLE)부분

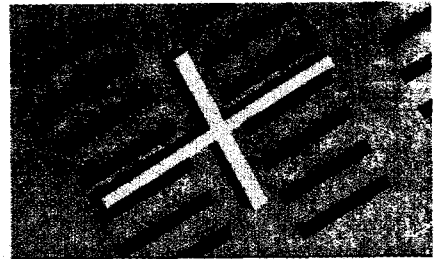


Fig.10 Type of RIB in grille part

에지(Edge)부에 비해 상대적으로 강인한 구조인데 구조상 작용하는 반발력과 플라스틱의 고유 특성인 완충력을 가지고 있어 국부적인 보강만으로도 충분한 강도를 유지할 수 있다. 따라서, 반복적인 충격이나 변형에 따른 취약부 보강만이 필요한데 외부충격이 작용하는 부위를 중심으로 Fig.10과 같은 형상으로 가공하면 방열 홀(Hole) 모서리 부분에서 충격전달 경로를 차단하는 효과가 있어 안정하고 그릴형상에 대한 전체적인 보강이 아닌 부분적인 보강만으로도 동일한 성능을 발휘한다. 상

기 2 가지 보강 리브(RIB) 형상은 외부 충격에 의해 발생하는 최대응력 값에 대하여 낙구의 지름범위 내에서 안정적인 구조만을 고려한 것이다. 해석과정을 통해 7.43J의 충격에너지에 대해 두께의 변경 없이 또한 방열그릴 형상 전체에 대한 보강이 아닌 취약부위를 중심으로 부분적인 보강을 통해 충분히 견딜 수 있는 최적 안을 찾아냈다.

### 4.3 간격치수 최적 안

외부충격에 대해 안정적인 방열그릴의 가로, 세로 및 통합(가로+세로)간격치수에 대한 최적 안을 단차 깊이별로 분류하여 찾아보았다.

#### 4.3.1 가로방향 간격치수 최적 안

방열그릴의 가로방향 간격은 단차 깊이와 밀접한 관계가 있는 바 간격치수의 증감 뿐만 아니라 방열홀(Hole)이 가공되는 부위의 살 두께의 변화도 동시에 고려해야 한다.

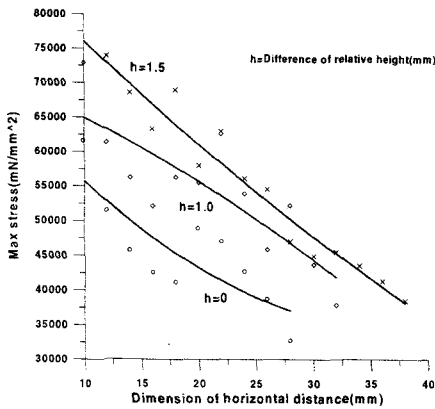


Fig.11 Result graph of analysis in dimension of horizontal distance

그래프에서 간격별 해석결과와 경향이 비슷하며 단차 깊이치수가 변화함에 따라 또한, 간격길이가 늘어남에 따라 일정한 비율로 응력 값이 감소함을 알 수 있다. 그러므로 가로방향에 대한 그릴형상에서는 단차 깊이 즉, 방열홀 부위의 살 두께가 충격에 대한 강도유지에 중요한 변수임을 알 수 있다.

#### 4.3.2 세로방향 간격치수 최적 안

가로방향과 동일한 조건과 방법으로 진행하고 간격 깊이치수 및 공간면적 확보에 주안점을 두었는데 해석결과에서 외부충격에 대해 실제 파손이 발생하는 부위가 간격사이에 존재하는 공간면적이 아닌 방열 홀(HOLE) 주변이고, 특히 사각형상의 모서리 부분이 상대적으로 충격에 약하다는 결과가 도출되었다. 따라서 모서리 부분을 라운드(ROUND)처리 하여 충격전달의 분산효과를 극대화 하고 방열홀 사이의 공간을 서로 보충해주는

엇갈린 배열방식이 적합함을 알 수 있다. 가로방향과 마찬가지로 단차 깊이의 감소와 간격의 증대에 따라 일정한 비율로 응력이 감소하는 안정된 구조가 된다.

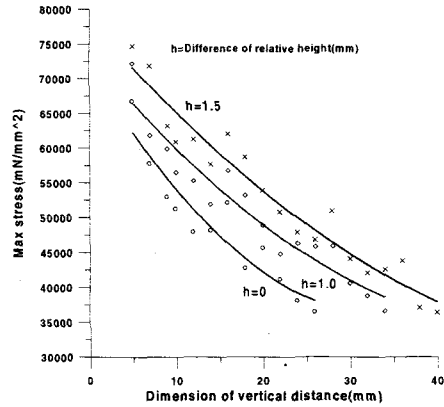


Fig.12 Result graph of analysis in dimension of vertical distance

#### 4.3.3 통합(가로+세로)간격치수 최적 안

한 방향(가로 또는 세로)뿐만 아니라 통합간격에 대한 치수정의도 병행 하였는데 상호간의 응력 값의 변화와 간격치수의 감소량을 파악하고자 상기 과정과 동일한 조건과 방법으로 해석을 진행하였다.

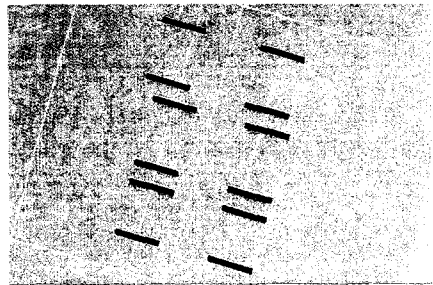


Fig.13 Modeling of combined shape (h=0mm)

해석결과 한 방향의 간격만을 변화 시키는 것에 비해 통합간격을 동시에 증가 시키면 가로 또는 세로간격 간의 상호 보완적인 역할로 말미암아 외부충격이 작용하는 표면에서의 응력 값이 현저하게 감소함을 알 수 있고 아울러, 단차 구조는 없는 구조가 있는 구조에 비해 충격에 강인하며 어느 한 방향으로의 치수증가보다는 통합적인 간격 조절이 필요하고 형상 및 구조에 적합한 배열간격의 조절을 통해 안정적인 구조를 확보하게 된다.

## 후 기

각종 시편의 충격실험과 기계적 물성치 확보에 많은 도움을 주신 금호케미칼(주)의 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) 이 완익, 1986, "재료역학", 회중당, pp.309~313, pp.567~571
- (2) "DYNA-TUP Users manual", Instron Corporation, Chapter.2~4, Appendix-C pp.1~pp.5
- (3) Matthew C. Cheresk' and Steven McMichael, 1987, "Instrumented Impact Test Data Interpretation", Special Technical Publication, pp.9~pp.23
- (4) 1992, "Standard Test Method for Tensile Properties ASTM", Annual Book of ASTM Standards, D638M-9a, vol 08.01
- (5) 1993, "플라스틱의 인장성 시험방법", 한국산업규격, KSM3006
- (6) 1981, "Standard for Television Receivers and Video Products", Underwriters Laboratories INC., UL1410 Chapter 6.1,
- (7) 조 길원, 1996, "고분자의 Weld-Line 강도에 관한 연구-Weld-Line Strength of Thermoplastics", 한국고분자학회 춘계연구논문, pp.289~pp.292
- (8) S.C. Wright, N.A. Fleck, W.J. Stronge, 1993, "Ballistic Impact of Polycarbonate-An Experimental Investigation, Int. J. Impact Engng vol.13, No.1, pp.1~pp.20
- (9) Jason Wu, Guoshu Song, Chao-pin Yeh, Karl Wyatt, 1988, "Drop/Impact Simulation and Test Validation in Motorola", 5<sup>th</sup> International LS-DYNA Users Conference, E. Impact and Drop I, pp.2~pp.11

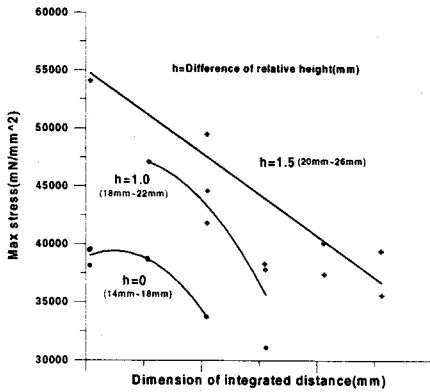


Fig.14 Result graph in a distance of combined shape

### 4.4 검증실험

상기 3.3.1에서 언급한 방법 및 내용을 동일하게 적용하여 보강리브 형상에 대한 검증실험을 진행한 결과 해석결과와 같은 내용을 얻었다. 따라서 지금까지 해석을 통해 도출된 각 경우별 최적 안이 안정적인 방열그릴 형상을 이끌어 내는데 효과가 있음을 알았다.

## 5. 결론

지금까지 본 연구를 통해 얻어진 결론을 정리하였다.

1. 복잡한 낙구충격의 비선형 해석분야를 집중하중의 선형해석분야로 단순화시킬 수 있는데 그에 따른 이론과 가정의 타당성을 검증하였다.
2. 낙구충격에 대한 제품 모델링은 낙구충격을 받는 부위만의 문제로 단순화할 수 있고 단지 최대 응력과 변형에너지 값만의 비교로 최적화가 가능함을 알아내었다.
3. 제품의 전체 살 두께가 제품강도에 영향을 미치는 중요한 설계인자가 아니며 그 보다는 부분적인 구조 보강이 더 중요한 설계 인자임을 밝혔다.
4. 방열그릴 형상에서 외부충격(낙구충격 시험규격 기준)에 대해 안정적인 구조를 확보하기 위해서는 제품 기본 살 두께 조정을 기본으로 하여 그릴의 형상과 배열방식을 결정하고 가로 및 세로방향 간격 및 통합간격에 대한 치수를 파악한 뒤 열적 흐름에 방해가 되지 않는 범위 내에서 리브(RIB)를 통한 부분적인 구조보강이 필요하다.
5. 낙구충격에 대해 안정적이고 강인한 구조를 확보하기 위한 방열그릴 형상의 해석 및 실험과정은 본 논문에서 제시된 방법과 내용을 적용하면 된다.