

# ALUMINUM PROTECTIVE HEAT SHIELD 적용연구

이중윤, 이호기, 이경남  
대우자동차 기술연구소

## THE APPLICATION OF ALUMINUM SHEET FOR THE PROTECTIVE HEAT SHIELD

JOONG-YOON LEE, HO-KI YI, KYUNG-NAM LEE  
TECHNICAL CENTER DAEWOO MOTOR CO., LTD.

### ABSTRACT

There are kinds of materials for protective heat shield, i.e. Zn-coated steel, Al-coated steel and aluminum alloy sheets. This study compare formability, corrosion resistance, heat protectability, weight, and cost of these materials for heat protective shield. Generally aluminum alloy sheets are less formable than steel sheets, but A1100 alloy sheet shows almost same press quality of steel parts, using the press dies which producing steel parts. The heat shields using aluminum alloy sheet and steel sheet show almost same heat protectibility. It is the conclusion that Zn-coated steel sheet is recommendable for the part in moderately corrosive market area because of the cost merit, and Al-coated steel sheet and aluminum alloy sheet can be used to protect functional corrosion in severely corrosive market area. The material cost of Al-coated steel sheet and aluminum alloy sheet for a mid-size car is almost same, so aluminum alloy sheet is more recommendable in the point of weight reduction of vehicle.

## 1. 서론

자동차에서 배기 pipe의 열을 차체와 차량 실내로의 전달을 차단하는 것을 열차폐막(protective heat shield)이라 한다. 이 열차폐막은 보통 배기 pipe 및 3 chamber(catalytic converter, front muffler, rear muffler)와 floor panel 사이에 설치되어 있으며 사용하는 재질은 주로 강판(Zn-coated 강판, Al-coated 강판)과 알루미늄 합금 판재이다.

부식환경이 온화한 국내에서는 상대적으로 저가인 Zn-coated 강판을 주로 사용하고 있으며, 북미, 유럽 지역 등의 부식환경이 열악한 나라에서는 고가이나 내식성이 좋은 Al-coated 강판 및 aluminum 합금판재를 주로 사용하고 있다.

Aluminum 합금판재는 내식성이 우수하며 강판에 비해 비중이 낮아 차량 경량화가 용이하나 가격이 상대적으로 높으며, 가격안정성이 낮아 소량의 고급차에 주로 적용되고 있다.

본연구에서는 protective heat shield의 재질로 강판과 aluminum 합금판재의 성형성, 내식성, 열차폐성 및 가격을 비교 평가하여 aluminum protective heat shield의 적용 가능성을 모색하였다.

## 2. 실험 방법 및 결과

Aluminum 합금판재의 성형성을 평가하기 위해 인장실험을 행하였으며, 강판용 양산금형에서 aluminum 합금판재의 부품 성형성을 실험하였다. 내부식성을 비교 평가하기 위해서 판재상태에서 염수분무실험과 차량상태에서의 부식가속실험을 행하였고, 열차폐성을 평가하기 위해서 풍동실험실에서 차량상태의 열차폐성을 비교하였다.

## 2.1. 사용재질

다음의 표 1.에서는 평가대상 판재의 종류 및 특성을 나타내었다.

표1. 평가대상 판재의 종류 및 특성

종류	생산업체	두께 (mm)	도금량 (g/m <sup>2</sup> )	화합성분(wt%)							
				C	P	S	Mn	Mg	Si	Fe	Al
Zn-coated SPCEN	포항제철	0.8	Zn 137.5	0.0025	0.013	0.02	0.15	-	-	BAL.	-
Al-coated SPCD	포항제철	0.5	Al 60	0.007	0.015	0.015	0.15	-	-	BAL.	-
A1100	대한알루미늄	0.5	-	/	-	-	-	-	-	BAL.	-
A1100	(일)KOBES	0.6	-		-	-	0.06	0.56	BAL.	-	
A3004	(일)KOBES	0.6	-		1.03	1.13	0.27	0.47	BAL.	-	
A5052	(일)KOBES	0.6	-		-	2.28	-	0.33	BAL.	-	

## 2.2. 성형성 평가

### 2.2.1. 인장 시험

표 2.에 aluminum 소재의 인장특성을 나타내었으며, 강판의 물성은 reference로 나타내었다. 인장시험기는 ZWICK사(독) UTM을 사용하였다. 표 2. 에서와 같이 A1100은 강도가 낮으나 신율이 높으며 A3004 와 A5052는 비교적 강도는 높으나 낮은 신율을 나타낸다.

표 2. 인장시험 결과

종류	생산업체	T.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	EL (%)
Zn-coated 강판	포항제철	300	160	-
0.5t A1100	대한알루미늄	95.4	-	34
0.6t A1100	(일)KOBES	88.2	34.3	34
0.6t A3004	(일)KOBES	170.5	66.7	21
0.6t A5052	(일)KOBES	194.6	95.8	22

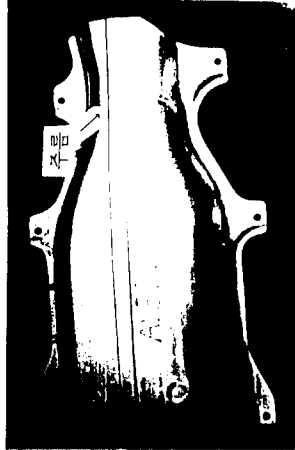
### 2.2.2. 부품 성형성 시험

현재 강판 부품을 양산중인 금형으로 0.6t aluminum 합금판재 3종에 대해서 부품 성형성을 시험하였다. Drawing 공정은 양산 가동 중인 150 ton 유압 press(삼창사)를 사용하였다.

A1100의 경우 성형성이 우수하여 성형이 어려운 부품도 넓은 범위의 성형조건에서 양호한 품질을 얻을 수 있었으며, A3004와 A5052는 성형이 용이한 부품인 경우는 양호하게 성형되나, 성형



A1100

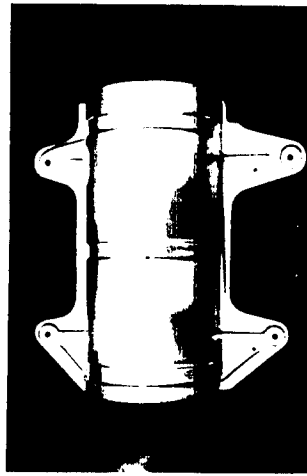
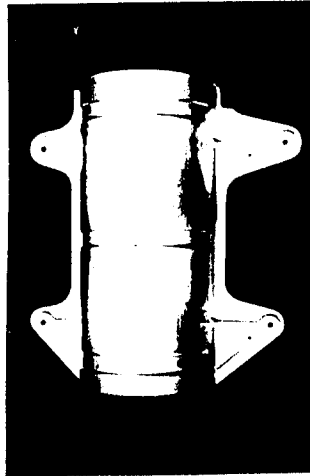
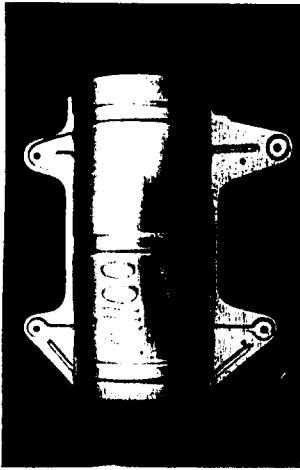


A3004

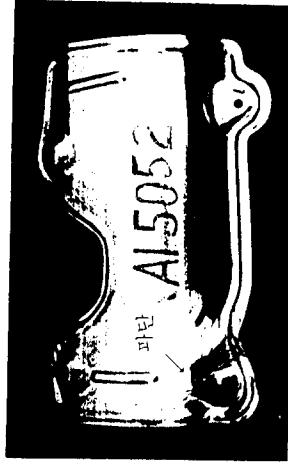
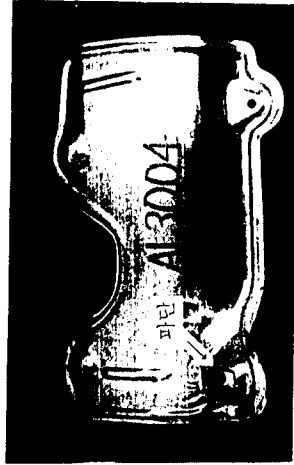
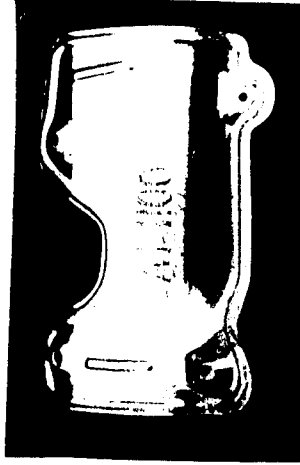


A5052

CATALYTIC CONVERTER



FRONT MUFFLER



REAR MUFFLER

사진 1. 0.6t aluminum 합금 판재 3종의 부품 성형 결과 사진

이 어려운 형상의 부품인 경우 소재 자체의 성형성 부족으로 대부분 주름이 발생 되었으며 국부적으로 deep drawing 되는 부분에서는 파단이 발생하였다. 즉 성형성이 우수한 A1100을 사용하는 경우에는 강판용 양산금형을 공용하여 부품양산이 가능하다. (표 3. & 사진 1.)

표 3. 0.6t aluminum 합금 판재 3종의 부품성형성 시험 결과

구분	A1100	A3004	A5052	성형 조건	
				Main압력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	Blank Holder압력 (kgf/cm <sup>2</sup> )
Catalytic Converter부	○	△	△	135-137	20-100
Front Muffler 부	○	○	○	130-140	0-60
Rear Muffler 부	○	×	×	90	0-50

(범례 ○ ; 양호, △ ; 적용가능(주름발생), × ; 적용불가(터짐발생))

## 2.3. 내부식성 비교

### 2.3.1. 염수분무 실험

시편은 300×300 mm<sup>2</sup> 의 크기로 Zn-coated 강판과 0.6t aluminum 합금판재 3종으로 하였으며, 실험조건은 35±2 °C 에서 5% NaCl 용액으로 하였다.

실험결과 알루미늄 판재는 종류에 상관 없이 Zn-coated 강판 대비 백청 발생 시점이 2배 이상 걸린다. 즉, Zn-coated 강판은 24일 이후적청이 발생되고 86일 이후부터 전면이 적청으로 덮여 소지금속이 들뜨기 시작했으나 알루미늄 판재는 125일 후 약간의 fit(0.5~1.0mm)이 발생하였다. 이 결과는 표 4.에 나타내었다.

표 4. Zn-coated 강판 및 KOBE사 aluminum 합금판재 3종의 염수분무시험 결과

시간 (일)	Zn-coated 강판	A1100	A3004	A5052
1	백청 발생(전체덮음)	-	-	-
3	백청량 증가(전체회색)	-	백청 발생	-
4	백청량 증가(백색 50%)	백청 발생 (<5%)	백청수 증가(~10%)	백청 발생(<5%)
7	백청량 증가(백색 100%)	백청수 증가(~10%)	백청량 증가(~30%)	백사청 발생(~10%)
13	백청량 증가(백색 100%)	백청수 증가(~20%)	백청량 증가(~35%)	백청량 증가(~30%)
22	적청 발생(<5%)	백청량 증가(~40%)	백청량 증가(~40%)	백청량 증가(~40%)
30	적청 증가(~20%)	백청량 증가(~60%)	백청량 증가(~40%)	백청량 증가(~50%)
40	적청 다량(~80%)	100% 백청	백청량 증가(~60%)	백청량 증가(~90%)
86	100%적청(METAL 들뜸)	FIT 확장	100% 백청	FIT 확장
100	100%적청(METAL 손실계속)	FIT 확장	FIT 확장	FIT 확장
125	100%적청(METAL 손실계속)	FIT ~1.0 mm	FIT ~1.0 mm	FIT ~0.5 mm

### 2.3.2. 실차 부식가속실험(Proving Ground Corrosion Test)

Heat shield는 고온에 노출되어 있는 부품으로 고온 부식환경이 중요하며, 실차 부식가속실험은 시장의 부식환경을 가장 근사하게 모사할 수 있다.

부식환경이 열악한 북미시장에서 10년간 운행하는 조건으로 Zn-coated 강판(0.8t), Al-coated 강판(0.5t) 과 A1100(0.5t)을 대상으로 가속실험한 결과 Zn-coated 강판은 소지금속이 손실되어 부품 기능이 상실된 상태로 되었고, Al-coated 강판과 A1100 은 표면 변색 및 약간의 표면갈라짐이 있으나 사용상 문제는 없을 정도로 양호한 결과를 나타내었다. (표 5.)

표 5. 실차 부식가속실험 결과 (북미부식조건 10년 가속실험)

종 류	실험결과	비 고
Zn-coated 강판(0.8t)	소지금속 손실	북미지역 사용불가
Al-coated 강판(0.5t)	표면변색 및 표면 갈라짐	양호
A1100 (0.5t)	경미한 표면 갈라짐	우수

### 2.4. 열차폐성능 실험

표 6.과 그림 1.은 heat shield의 역할인 열차폐성에 대해 실험한 결과를 나타내었다. 실험방법은 풍동실험실에서 차량의 rear muffler 부의 protective heat shield를 0.5t Al-coated 강판, 0.5t Al-coated 강판을 두장 겹쳐(밀착) 부품 및 0.5t A1100을 교대로 장착하여 test mode에 따라 차량을 가동하면서 rear muffler 표면부, protective heat shield 표면 및 trunk mat 부의 온도를 측정하여 비교하였다. Rear muffler 표면의 온도는 열원으로서의 값이며, 열원의 온도가 heat shield를 거쳐 trunk mat에 까지 전달되어 trunk mat의 온도로 나타난다.

표 6. 열차폐성능 실험 결과 (시험 mode에 따른 부위별 최대온도 ℃)

측정부 TEST MODE	RR MUFF. 표면			HEAT SHIELD 표면			TRUNK MAT		
	STEEL	DUAL	AL	STEEL	DUAL	AL	STEEL	DUAL	AL
50KPH 7.2% Grade Load	229.1	185.6	194.7	67.5	66.8	64.6	49.3	49.7	50.7
HOT IDLE	241.8	213.4	218.0	86.1	82.1	83.5	56.1	56.6	57.4
40KPH 12% Grade Load	287.6	241.8	282.6	73.4	71.4	73.1	46.1	42.5	44.6
HOT IDLE	295.0	269.0	283.5	95.1	90.8	88.9	53.4	49.9	51.5
50KPM 5.5% Trailer Grade Load	264.8	190.2	193.3	74.6	68.1	65.1	55.6	51.9	52.0
ENG OFF	279.3	211.7	218.1	93.5	77.8	76.7	58.6	54.7	54.6
MAX TEMP.	295.0	269.0	283.5	95.1	90.8	88.9	58.6	56.6	57.4

범례 STEEL ; 0.5t Al-coated 강판

DUAL ; 0.5t Al-coated 강판을 두장 겹쳐(밀착) 만든 부품

AL ; 0.5t A1100

표 6.은 각 실험 mode 별로 최대온도를, 그림 1.은 40KPH 12% grade load + hot idle mode의 온도변화를 나타내었다. 그림 1.에서 시간에 따른 muffler 표면온도의 순서가 heat shield의 종류에 상관없이 trunk mat에서도 똑같이 나타났으며, 표 6.에서 50KPH 7.2% grade load + hot idle mode

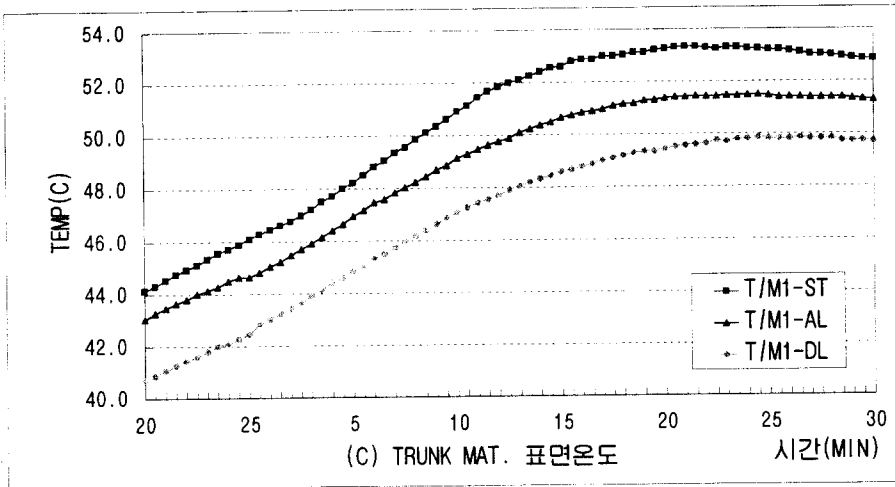
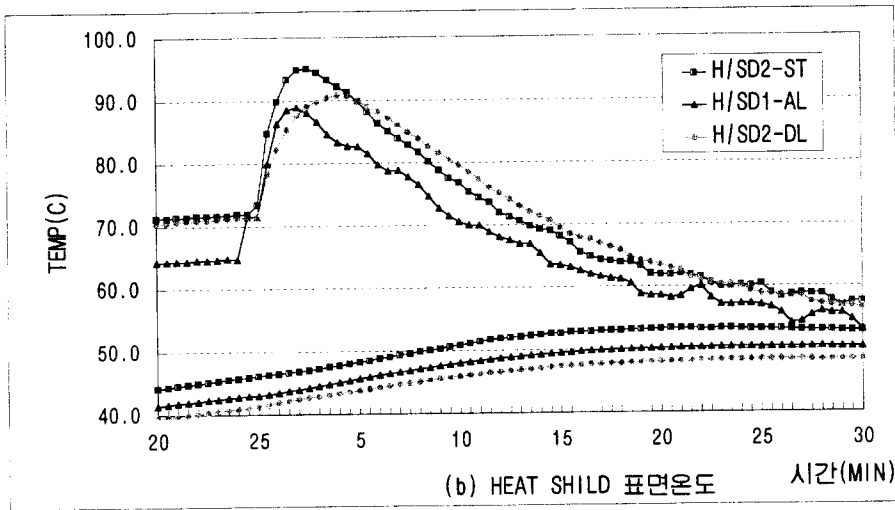
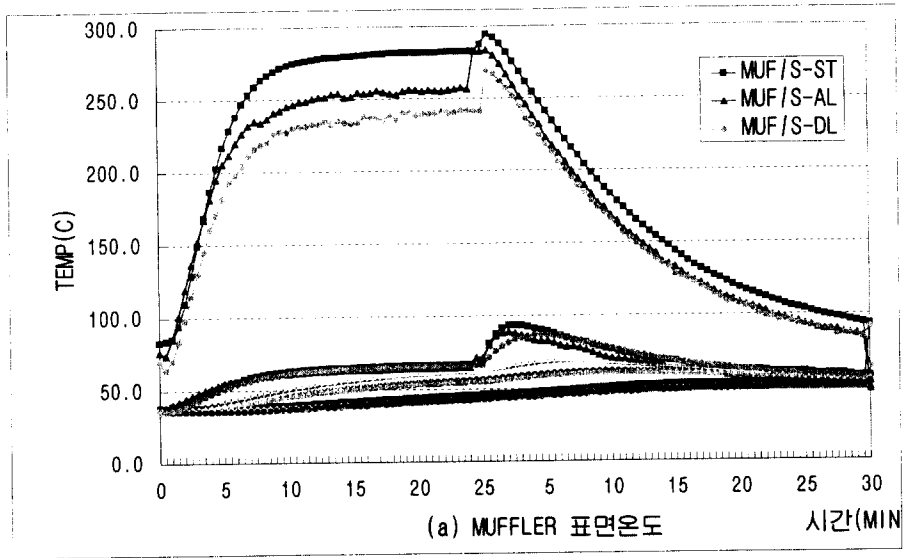


그림 1. 열차폐성 실험 결과표(40KPH 12% Grade Load + Hot Idle)

ST ; 0.5t Al-coated 강판  
 DL ; 0.5t Al-coated 강판을 두장 겹친부품  
 AL ; 0.5t A1100

의 경우 heat shield 종류에 따른 muffler 표면의 온도가 약 190-230℃ 정도이며 trunk mat의 온도는 50±0.7℃ 정도로 heat shield의 종류에 따른 trunk mat의 최대온도는 비슷하며, 이와 같이 각 mode 별로 비교하면 heat shield의 종류에 따른 뚜렷한 차이는 보이지 않는다. 따라서 열차폐 성능은 비슷하다고 볼수 있다.

### 3. 중량 및 가격분석

당사 중형차를 기본으로 heat shield의 중량을 분석한 결과 0.5t 강판은 차량당 2.88 kg 이며 aluminum 합금판재는 차량당 0.99 kg 으로 강판대비 aluminum 합금판재는 약 1.9 kg/veh.(약 65%)의 경량화 효과가 있다.

가격측면에서는 강판의 가격이 안정적인데 반하여 aluminum 합금판재는 aluminum ingot 가격의 등락에 따라 가격변동이 심하다. 따라서 96년 5월 가격을 기준으로 scrap 가격까지 고려하여 차량당 실소요 가격을 분석하면 Al-coated 강판과 aluminum 합금판재의 가격이 동등한 정도이며, Zn-coated 강판이 Al-coated 강판의 75% 정도로 가장 저렴하다. 장기적인 가격 특성의 분석을 위해 과거 10년간 aluminum ingot 가격을 분석한 결과를 그림 2에 나타내었다. Al-coated 강판과 동등한 가격을 나타내었던 96년 5월의 가격이 전체 가격 변동 추이선에서 높은쪽에 위치하여 aluminum 합금판재는 Al-coated 강판에 비해서는 장기적으로 가격 경쟁력이 있음을 알수 있다.

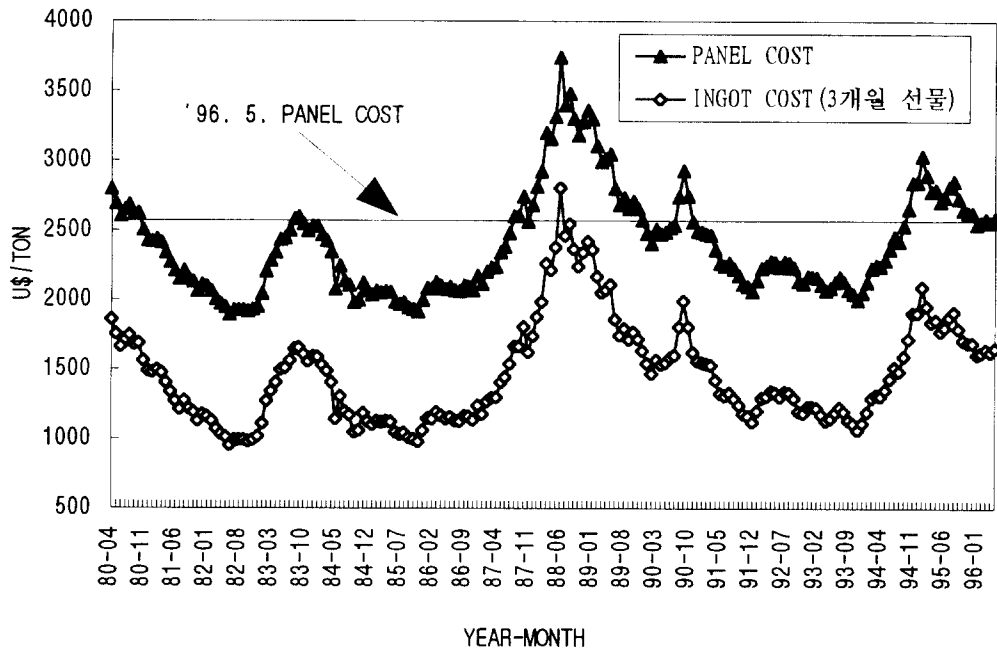


그림 2. Aluminum price trend (Coil(국내가격)/Ingot(LME가격))

#### 4. 결론.

본연구에서는 강판 2종(Zn-coated 강판, Al-coated 강판)과 aluminum 합금판재로 3종(A1100, A3004, A5052)의 성형성, 내부식성, 열차폐성 및 가격 경쟁성 등을 분석하여 적용 가능성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Aluminum 합금판재의 성형성은 A1100이 가장 양호하며, A3004, A5052 순으로 성형이 어렵다. A1100의 경우는 강판용 양산금형을 사용하여 부품양산이 가능하다.
- 2) 내부식성 평가에서는 Zn-coated 강판은 내식성이 가장 열세이어서 북미지역과 같은 부식환경이 열악한 지방에서는 사용이 불가능하며, Al-coated 강판과 aluminum 합금판재는 북미지역에서 기능성 부식을 10년간 보증할 정도의 양호한 내식성을 나타내며 그 중 aluminum 합금판재의 내식성이 가장 우수하다.
- 3) 열차폐성능은 0.5t Al-coated 강판, 0.5t Al-coated 강판 두장을 겹쳐 만든 부품 및 0.5t A1100의 3종에 대해 평가하였으며 동등한 정도의 성능을 나타내었다.
- 4) 0.5t aluminum 합금판재는 0.5t 강판 대비 당사 중형차인 경우 차량당 1.89kg(~65%) 정도의 경량화(2.88→0.99 kg/VEH.)가 가능하다.
- 5) 가격 측면에서는 aluminum 합금판재의 경우 가격안정성이 강판에 비해 불안정하나 가격이 다소 높은 Al-coated 강판과 비교하면 장기적으로 보아 가격 경쟁력이 있는 것으로 평가되며, Zn-coated 강판은 Al-coated 강판과 aluminum 합금판재에 비하여 저렴하다.(65%)
- 6) 강판과 aluminum 합금판재는 금형을 공유하여 부품성형이 가능하며 동등한 열차폐 성능을 나타내므로, 온화한 부식환경을 가진 지역에서는 내부식성은 떨어지나 가격이 저렴한 Zn-coated 강판이 적합하고, 열악한 부식환경을 가진 지역에서는 차량경량화가 가능하고 내식성이 가장 우수한 aluminum 합금판재가 적합하다.