

표면처리된 Al 5083-H131 합금의 고속 충격 거동에 관한 연구

손세원(건국대 기계항공우주공학부), 김희재(육사 무기공학과), 홍성희*, 황도연*(건국대 대학원 기계설계학과),

A Study on the fracture behavior of surface treated Al 5083-H131 alloy under the high velocity impact

Se-Won Sohn(Mech. Eng. Dept., Kon-Kuk Univ.), Hee-Jae Kim(Ordinance Eng. Dept., KMA), Sung-Hee Hong, Do-Yeon Hwang(Mech. Design. Dept., Kon-Kuk Univ.)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of surface treatment(Anodizing) and rolling in Al 5083-H131 alloy, ballistic testing was conducted. Ballistic resistance of these materials was measured by protection ballistic limit(V_{50}), a statical velocity with 50% probability for incomplete penetration.

Fracture behaviors and ballistic tolerance, described by penetration modes, are observed respectfully, resulting from V_{50} test and Projectile Through Plates (PTP) test at velocities greater than V_{50} .

PTP tests were conducted with 0° obliquity at room temperature using 5.56mm ball projectile. V_{50} tests with 0° obliquity at room temperature were also conducted with projectiles that were able to achieve near or complete penetration during PTP tests.

Resistance to penetration, and penetration modes of Al 5052-H34 alloy, compared to those of Al 5083-H131 alloy.

1. 서론

알루미늄 합금은 다른 금속에 비해 경량이면서 중량비에 대한 높은 강도를 갖으며, 내식성이 우수하여 여러 가지 산업분야에 다방면으로 활용되고 있을 뿐만 아니라 장갑 재료로의 군사적 이용도도 날로 증가하고 있다.¹⁾

선진국에서는 장갑재료로 기존의 Al 5083, Al 7039 합금 보다 더욱 방탄성이 우수한 알루미늄인 Al 2519나 Al 7017 합금을 방탄재료로 개발하여 대체하는 단계이지만 선진국의 기술 보호로 연구가 쉽지 않은 실정이다.²⁾

국력에 따른 군사 장비 충격에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 상태이다. 실제 소수경 화기 등에 의한 고속충격에 대한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 알루미늄 합금의 고속충격에 대한 저항성을 높이기 위한 연구가 필요하다.

손 등³⁾은 양극산화 피막 처리한 알루미늄 5052-H34 합금 적층재의 고속충격거동시의 파괴거동과 저항성에 대하여 연구한 결과 알루미늄 합금의 표면경도가 증가하였을 때, 탄자의 충격시 에너지 흡수효과와 탄두의 형상을 무디게하는 효과가 증가한다고 보고하였다. 또한

우수한 방탄성능을 갖기 위해서는 높은 인성과 더불어 고경도를 갖는 재료를 사용해야 한다.

본 연구는 알루미늄 5052-H34 합금과 장갑재료로 사용중인 알루미늄 5083-H131 합금을 냉간압연하여 표면경도를 증가시킨 후 고속충격에 대한 관통저항성과 방호한계를 결정하고, 또한 냉간 압연 후 양극산화 피막 처리를 실시하여 양극산화 피막의 두께에 따른 표면경도의 변화와 이에 따른 고속 충격에 대한 관통저항성과 파괴거동을 결정하는데 그 목적을 두었다.

여기서 사용한 알루미늄 5052-H34 합금과 장갑재료로 사용중인 알루미늄 5083-H131 합금 양극산화피막 처리한 알루미늄 합금을 MIL-STD-662E⁴⁾에 의한 탄도한계(V_{50}) 측정 방법에 의하여 방호 한계인 V_{50} 를 측정하고, 관통저항성을 결정하였다. 파괴거동은 V_{50} 측정과 V_{50} 보다 더 빠른 속도의 PTP (Projectile through plates) 테스트⁵⁾를 통하여 관찰하였다.

2. 이론적 배경

2.1 충격속도(Impact Velocity) 및 관통모드 (Penetration Mode)

탄자의 운동에너지를 이용하여 장갑으로 보호된 표적을 관통하거나 또는 표적에 충격을 가하는 운동에너지탄의 표적충돌속도는 사용한 추진제(Propellant) 및 강내탄도 특성에 따라 결정되나 일반적으로 소구경 화기의 비행속도 범위인 300~1000m/s 범위를 운동 에너지탄의 충격조건으로 삼고 있다.

미국의 경우, 시험탄두는 MIL-P-46593A의 Caliber. 22, Type 2, 17.0 Grain FSP(구경 5.58mm, 1.1g 모의 파편탄)로 규제하고 있다. 이와 같은 이유는 실제 직격탄에 의한 사상자 보다 파편에 의한 사상율이 59%로 높았기 때문이며, 문헌에 따라 차이가 있어 치명 부상자의 75~80%, 일반 부상자의 85% 정도로 전투시 파편에 의한 사상자가 많은 것을 알 수 있다. Table 1은 파편속도에 따른 사상율을 나타낸 것이다.

Table 1 Rate of casualties by fragment velocity

Fragment velocity		Rate of casualty(누적%)
(m/s)	(ft/sec)	
50~380	164~1,247	50%
50~450	164~1,476	75%
50~530	164~1,739	90%
50~620	164~2,034	92%
50~760	164~2,493	95%
50~무한	164~무한	100%

운동에너지탄의 최종탄도학적 효과는 충격탄에 의한 표적의 관통현상을 분석함으로써 공격 및 방호에 대한 효과를 동시에 분석할 수 있다. 충격탄이 표적재료를 충격할 때 탄이 관통되는 현상은, 완전관통은 되지 않고 표적재료에 소성변형만 일으킨 경우(PP, Partial Penetration), 완전관통이 된 경우(CP, Complete Penetration), 불완전관통이지만 표적재료가 파괴된 경우의 3가지로 구분할 수 있다.⁶⁾

2.2 방호탄도한계(V_{50}) 측정방법

장갑의 방호능이란 탄자의 관통에 저항하는 장갑 능력이며, 이 성능은 탄의 종류, 충격속도 및 탄두의 형상과 장갑재료의 성질, 규격 및 지지점의 위치 등에 따라 결정된다.

V_{50} 은 Fig. 1과 같이 "Velocity 50%"의 약자로 방탄재가 "관통될 확률이 50%인 속도"를 말하며 이는 방탄재에 사격을 가해 "동일수의 가장 높은 부분관통(PP)속도와 가장 낮은 완전 관통(CP)속도의 평균"으로 구한다.

이때의 완전 및 부분관통의 속도분포(Velocity Spread)가 38 m/s 이내에 들어야 정상적인 V_{50} 시험 수치로 인정한다. 이때의 V_{50} 을 방호탄도한계(Protection Ballistic Limit)라고 정의한다.⁷⁾

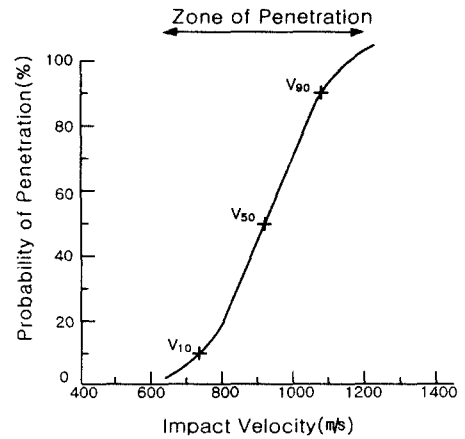


Fig. 1 Definition of Protection Ballistic Limits(V_{50})

* V_0 : 모든 탄두가 완전 관통이 일어나지 않을 최대 속도

V_{100} : 탄두가 모두 완전 관통될 최소 속도

3. 실험 방법

3.1 시편의 제작

본 연구에 사용된 시편은 Al 5052-H34 합금과 Al 5083-H131 합금으로써 그 화학적 조성은 Table 2와 같고, 기계적 물성치는 Table 3과 같다.

Table 4와 같이 두께가 다른 알루미늄 합금, 냉간 압연한 알루미늄 합금, 냉간압연후 양극 산화 피막 처리한 알루미늄 합금을 사용하여 적층하여 시편을 제작하였다. 여기서 No. 1부터 No. 3까지는 0.5mm 두께의 표준 시편이고, No. 4부터 No. 6까지는 0.5mm 두께의 일반 시편이고, No. 7부터 No. 12까지는 1mm 두께를 0.5mm로 냉간 압연한 시편이고, No. 13부터 No. 18까지는 4mm 두께를 0.5mm로 냉간 압연한 시편이고, No. 19부터 No. 24까지는 4mm 두께를 1.0mm로 냉간 압연한 시편이다.

Table 2 Chemical composition of Al 5052-H34 alloy & Al 5083-H131 alloy

Composition	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Al 5052-H34 w%	0.25	0.40	0.10	0.10	2.80	0.35	0.10		bal.
Al 5083-H131 w%	0.4	0.40	0.10	0.4 -1.0	4 -4.9	0.05 -0.25	0.25	0.15	bal.

Table 3 Mechanical property of Al 5052-H34 alloy & Al 5083-H131 alloy

Material (Alloy)	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Elongation (%)
Al 5052-H34	260	180	69.58	10
Al 5083-H131	300	190	70.3	16

Table 4 Test Specimen

No.	Material	Thickness (mm/1ply)	Ply	Total thickness (mm)
1	Al 5052-H34	Al alloy	15	7.5
2			20	10.0
3			25	12.5
4		Anodized Al alloy	15	7.5
5			20	10.0
6			25	12.5
7		Rolled Al alloy	15	7.5
8			20	10.0
9			25	12.5
10	Al 5083-H131	Anodized Al alloy after cold-rolling	15	7.5
11			20	10.0
12			25	12.5
13		Rolled Al alloy	15	7.5
14			20	10.0
15			25	12.5
16	Al 5083-H131	Anodized Al alloy after cold-rolling	15	7.5
17			20	10.0
18			25	12.5
19		Rolled Al alloy	7	7
20			10	10.0
21			13	13.0
22			Anodized Al alloy after cold-rolling	7
23	10	10.0		
24		13	13.0	

3.2 고속 충격 시험

본 연구에서는 알루미늄 합금과 양극산화피막처리에 의한 알루미늄 합금의 고속충격에 대한 방호성능을 측정하기 위하여 Fig. 2와 같은 실험 장치를 사용하여 시편의 방호성능과 파괴거동을 측정하였다.

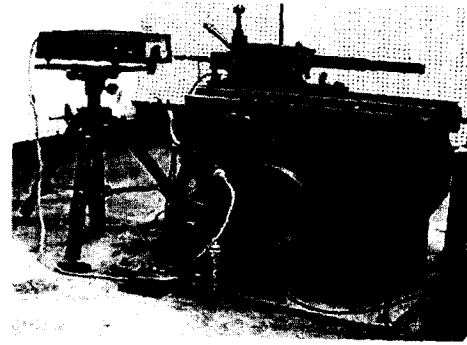


Fig. 2 Experimental Setup for High Velocity Impact Test

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 고속충격시험

5.56mm ball 탄의 WC870 type 추진제(Propellant)양에 따른 탄자의 속도는 Fig. 3과 같으며, 추진제 양을 변화시켜서 요구하는 탄자 속도를 결정하여 충격 시험을 실시하였다.

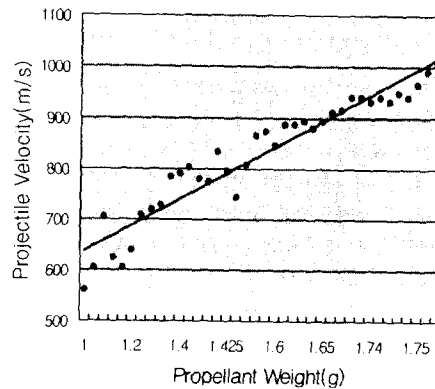


Fig. 3. Projectile Velocity(%) Vs. Propellant Weight(g)

Table 5와 Table 6은 충격 후 Al 5052-H34와 Al 5083-H131의 V_{50} 의 테스트 결과이다.

Al 5052-H34의 두께 0.5mm(25Ply)일 때 일반 시편의 경우 V_{50} 은 481.5m/s이고, 냉간 압연한 경우 V_{50} 은 529.8m/s이고, 양극산화 피막처리한 경우 V_{50} 은 571.8 m/s이고, 냉간 압연후 양극산화 피막처리한 경우 V_{50} 은 545.6m/s이었고, 이를 Fig. 4와 Fig. 5에 도시하였다.

동일 두께일 때 V_{50} 은 일반 시편의 경우에 비해 냉간 압연한 시편은 평균 48.3m/s(10.39%) 증가하였고, 양극산화 피막처리한 시편은 일반 시편에 비해 평균 38.9m/s(7.91%) 증가하였다.

여기서, 알 수 있는 것은 표준시편에 비하여 재료의 경도가 3.7% 증가한 경우 또, 표면 경도가 5배 증가한 경우 모두 고속 충격에 대한 저항력 V_{50} 이 10.3%, 12.9% 증가함을 알 수 있었다.

Table. 5 Ballistic Test Results of Al 5052-H34 alloy (Protection Criteria).

No.	Material (Condition)	Total Ply (0.5mm/Ply)	V_{50} (m/s)
1	Al alloy (Rx, Ax)	15	388.8
		20	466.7
		25	481.5
2	Rolled Al alloy (Ro, Ax)	15	448.8
		20	511.1
		25	529.8
3	Anodized Al alloy (Rx, Ao)	15	444.6
		20	520.6
		25	571.8
4	Anodized Al alloy after cold-rolling (Ro, Ao)	15	436.2
		20	472.1
		25	545.6

*. Rx, Ax : No rolled, No anodized
 Ro, Ax : Rolled, No anodized
 Rx, Ao : No rolled, Anodized
 Ro, Ao : Rolled, Anodized

Table. 6 Ballistic Test Results of Al 5083-H131 alloy (Protection Criteria).

No.	Material (Condition)	Total Ply (0.5mm/Ply)	V_{50} (m/s)	Total Ply (1.0mm/Ply)	V_{50} (m/s)
1	Rolled Al alloy (Ro, Ax)	15	384.1	7	405.1
		20	486.0	10	487.2
		25	501.4	13	550.2
2	Anodized Al alloy after cold-rolling (Ro, Ao)	15	448.0	7	461.5
		20	508.7	10	539.3
		25	578.5	13	624.5

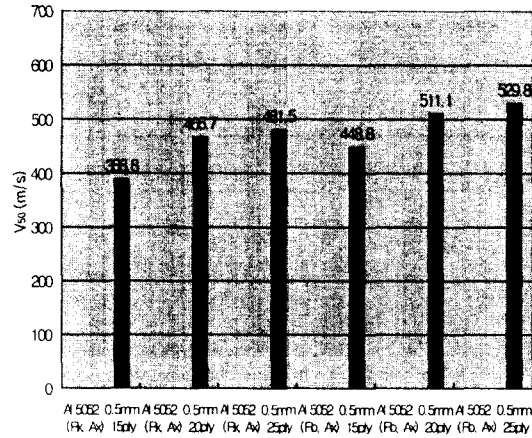


Fig. 4 Protection Ballistic Limits(V_{50}) of Al 5052-H34(0.5mm/Ply)

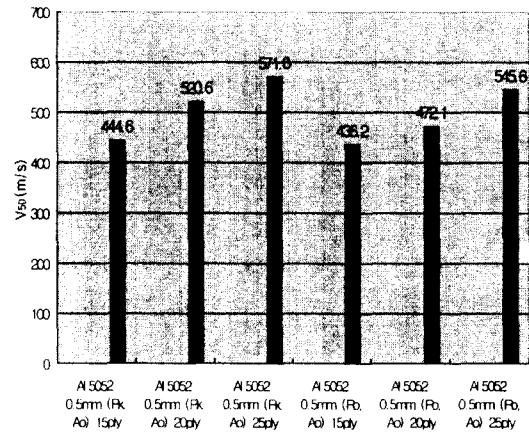


Fig. 5 Protection Ballistic Limits(V_{50}) of Al 5052-H34(0.5mm/Ply)

Fig. 6은 Al 5083-H131 두께 0.5mm(25Ply)일 때의 고속충격시험 결과이고, 냉간 압연한 경우 V_{50} 은 501.4m/s이고, 냉간 압연후 양극산화 피막처리한 경우 V_{50} 은 578.5m/s 이었다. 동일 두께일 때 V_{50} 은 냉간 압연한 시편에 비해 양극산화 피막처리한 시편은 평균 77.1m/s(13.3%) 증가하였다.

Fig. 7은 Al 5083-H131 두께 1.0mm(13Ply)일 때, 냉간 압연한 경우 V_{50} 은 550.2m/s이고, 냉간 압연후 양극산화 피막처리한 경우 V_{50} 은 624.5m/s이었다. 동일 두께일 때 V_{50} 은 냉간 압연한 시편에 비해 양극산화 피막처리한 시편은 61.87m/s(7.4%) 증가하였다.

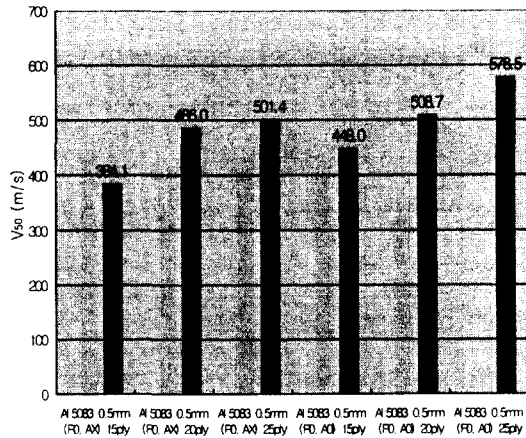


Fig. 6 Protection Ballistic Limits(V_{50}) of Al 5083-H131(0.5mm/Ply)

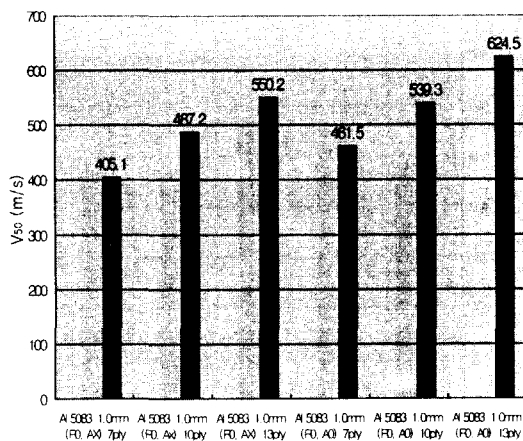


Fig. 7 Protection Ballistic Limits(V_{50}) of Al 5083-H131(1.0mm/Ply)

5. 결 론

각각 표면 처리한 Al 5052-H34 합금과 Al 5083-H131 합금에 5.56mm ball탄의 고속충격시험 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Al 5052-H34의 경우 일반 시편과 비교하여 냉간 압연한 알루미늄 합금 적층재는 평균 48.3m/s(10.39%), 양극산화 피막처리한 알루미늄 합금 적층재는 평균 38.9m/s(7.91%) 우수한 고속충격 저항 특성을 보였다.

(2) Al 5083-H131의 경우 0.5mm 일 때와 1.0mm 일때의 냉간 압연한 알루미늄 합금 적층재에 비해 냉간 압연 후 양극산화 피막처리한 알루미늄 적층재의 경우는

평균 77.1m/s(13.3%)정도 우수한 고속충격 저항 특성을 보였다.

(3) Al 5052-H34와 Al 5083-H131 합금의 냉간 압연후의 V_{50} 값은 Al 5083-H131 합금의 경우가 평균 12%가 증가하였고, 냉간 압연후 양극산화 피막처리한 경우, Al 5082-H131 합금은 평균 6% 증가를 보였다. 이는 표면 경도의 증가가 방탄효과를 증대 시킴을 보여준다.

후기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-2-30400-014-3)지원으로 수행되었음.

참고문헌

- (1) 손세원, 이두성, 홍성희, 김동훈, "고속충격에 의한 아라미드 섬유강화 금속적층재의 방탄성능 및 동적파손거동에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.527-532, 2000.
- (2) U.S. Army Research Laboratory, "Military Specification MIL-A-12560G, Armor Plate, Steel, Wrought, Homogeneous," Dept. of the Navy, Defense Printing Service, Philadelphia, PA, 1984.
- (3) 손세원, 김희재, 홍성희, 박영의, "5052-H34 합금 적층재의 방탄 성능과 파괴모드에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.507-512, 2000.
- (4) U.S. Army Research Laboratory, "Military Standard, V50 Ballistic Test for Armor, MIL-STD-662E," Dept. of the Navy, Defense Printing Service, Philadelphia, PA, 1984.
- (5) U.S. Army Test Evaluation Command, "U.S. Army Test Eval. comd. Test Operations Procedure 2-2-710 Ballistic Test for Armor," A137973, U.S. Army Test Evaluation Command, Aberdeen Proving Ground, MD 21005.
- (6) 손세원, 이두성, 장정원, 홍성희, "ARALL재의 개발과 이의 파괴거동에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 908-912, 1996.
- (7) 허영택, "헬멧의 방탄이론 고찰," 국방 품질, Vol. 8, pp 139-149, 1998.
- (8) Jang-J. Park-R, Yun-Y, Park-J and Kim-H, "Failure of Ceramic/Fibre-Reinforced Plastic Composites Under Hypervelocity Impact Loading," Journal of Materials Science, Vol. 32, No. 1, pp. 23-33, 1997.