

## Al합금과 Ti합금의 방탄특성에 관한 실험적 연구

손 세 원\*

건국대학교 기계항공공학부

### An Experimental Study on the Characters of Bullet Proof for Al and Ti Alloy

Se Won Sohn\*

Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Kon-Kuk University, Seoul 143-701, Korea  
(Received 2 December 2004 / Accepted 6 April 2005)

**Abstract :** In order to investigate the characteristics of penetration and the effect of surface treatment in Al5052-H34, Al5082-H131 and titanium alloy laminates which were treated by anodizing and PVD(Physical Vapor Deposition) method, ballistic tests were conducted. Thickness of surface membrane in Al5052-H34, Al5082-H131, were  $25\mu\text{m}$  and that of titanium  $0.9\mu\text{m}$  respectively. Surface hardness test was conducted using micro Vicker's hardness tester. Resistance to penetration is determined by the protection ballistic limit(V50), a statistical velocity with 50% probability for complete penetration. Fracture behaviors and ballistic tolerance, described by penetration modes, are observed from the results of V50 test and Projectile Through Plate(PTP) test at velocities greater than protection ballistic limit, respectively. Present experimental results derived from this research help to optimize laminate impact behavior by varying the laminate thickness and surface treated materials.

**Key words :** Anodizing(양극 산화), PVD(Physical Vapor Deposition, 물리적 진공증착), Ballistic limit(탄도한계), Protection ballistic limit(방호한계)

#### 1. 서론

인류가 사회생활을 시작하면서 부터 이웃 부족간의 다툼, 분쟁 등으로 인한 전쟁이나 외부의 어떠한 위협에 대한 방어로써 장갑재가 이용되기 시작하였다. 공격무기가 발달되지 않았던 고대에는 동물 가죽, 나무, 털로 짠 두꺼운 천으로 화살 등을 막았고, 나폴레옹 시대에는 화포가 등장하였으나, 그 위력이 다소 떨어져 두께 60mm 정도의 참나무 판으로도 탄을 막을 수 있었다. 그 후 주철 장갑재, 연철의 장갑재가 등장하고, 강철에 니켈, 크롬 등을 합금한 특

수강 등 다양한 종류의 장갑이 개발되어 왔다. 최근에 들어 이러한 철류 장갑의 무게에 의한 기능성의 문제가 대두되어, 비철합금이 등장하였다. 비철합금으로는 Al합금, Ti합금 등이 이용되며, 최근에는 세라믹재료, 섬유강화 플라스틱 등의 복합재료가 장갑재로 쓰이고 있다. 이러한 장갑재료는 그 용도에 따라 경장갑(Light Armor)과 중장갑(Heavy Armor)으로 구분이 된다.<sup>1)</sup> 경장갑은 소구경 화기나 권총 등에 의한 방호를 목적으로, 중장갑은 소구경 이상의 화기에 대응하는 재료이다.

본 연구에서는 소구경 화기에 대응하는 경방탄재료 개발을 목적으로 Al합금과 Ti합금에 관한 충격 메카니즘(Impact Mechanism)<sup>2)</sup>에 대해 연구하였다.

\*To whom correspondence should be addressed.  
sohn@konkuk.ac.kr

Al합금에 양극 산화 피막처리한복합재료와 Ti합금에 TiCN피막처리한 복합재료, Al합금과 Ti합금을 혼합하여 Al합금을 전면재료 또 Ti합금을 전면재료 사용하여 관통실험을 행하였다. 아울러 방탄능력을 측정하기 위하여 방호한계(Protection Ballistic Limit)를 구하여 관통메카니즘(Penetration Mechanism)<sup>3,4)</sup>을 규명하고자 한다.

## 2. 배경이론

### 2.1 a 양극 산화 피막법(Anodizing)

양극 산화 피막법은 전해액의 종류에 따라 옥살산법, 황산법, 크롬산법 등이 있다. 일반적으로 황산을 전해액으로 사용하며 본 연구에서도 이 방법을 선택하였다. 이 방법은 Al합금이 전해액 속에서 양극화 하고 전기를 통하여 양극에 발생하는 산소에 의해 Al합금이 산화막을 생성하게 된다. 이 산화막은 산화의 정도에 따라 색깔이 변화하며 채색이 잘 된다. 산화막의 두께는 그 한계를 가지며 실제로 보통 150 $\mu$ m까지의 산화막을 얻을 수 있다.<sup>5)</sup> 산화막의 정도는 사파이어 수준까지의 정도를 가진다.

### 2.1 b 질화경화법(Nitriding)

대표적인 표면경화 처리법은 침탄경화법(Carburizing), 질화경화법(Nitriding), 침탄 질화경화법, 고주파퀀칭경화법(Induction Hardening), 화염경화법(Flame Hardening)이 있으며, 이는 표면 경도를 증가시키고 내부의 인성을 증가시킨다. 금속의 질화경화법은 진공 증착을 통한 화학적증착법(CVD, Chemical Vapor Deposition)과 물리증착법(PVD, Physical Vapor Deposition)이 있다. 물리증착법은 이온플레이팅(Ion Plating), 증발법(Evaporation), 스퍼터링(Sputtering) 등의 3가지가 있다. 이 방법은 원자 대 원자(Atom by Atom)양상으로 이용되어 증착된다. 화학증착법은 증착물의 구조나 특성, 증착속도 등을 독립적으로 조절이 쉽지 않으며, 반응가스에 의한 오염과 600 $^{\circ}$ C 이상의 고온처리에 따른 모재변형의 단점이 있어 이를 보완한 물리증착법 중 이온 플레이팅이 본 실험에 이용되었다.

## 2.2 충격속도(Impact Velocity)와 관통모드(Penetrating Mode)

충격속도는 보통 초저속(Very low, 0~25%)은 느린 속도로 타격물체의 자유낙하에 의해 얻어지고, 저속(Low, 25~500%)의 범위는 압축공기 등에 의해 얻어진다. 탄도속도(Ballistic, 500~1300%)는 보통의 총기로 얻을 수 있다. 고속도(High Velocity, 1300~3000%)는 미사일 탄두의 폭발 등을 말하며, 초고속(Hyper Velocity, 3000% 이상)은 매우 높은 속도로 성형작약(Propellant)이나 가스총(Gas Gun)등으로 얻을 수 있다. 보통 탄자의 운동에너지를 이용하여 표면에 충격을 가하는 충격속도는 사용된 추진제(Propellant) 및 강내 탄도특성에 따라 결정된다. 일반적으로 사거리가 25m내인 권총탄은 비행속도가 200~300% 범위이며, 소구경화기는 비행속도가 1000%내외의 운동속도를 탄의 충격조건으로 한다.

탄자의 최종 탄도학적 효과는 충격탄에 의한 표적의 관통현상을 분석함으로써 공격 및 방호에 대한 효과를 동시에 분석할 수 있다. 충격 탄이 표적재료를 충격할 때 탄이 관통되는 현상을 분류하면 완전 관통되지 않고 표적재료에 소성변형만 일으킨 경우(PP, Partial Penetration), 완전 관통이 된 경우(CP, Complete Penetration), 불완전 관통이지만 표적재가 파괴된 경우의 3가지로 구분할 수 있다. Fig. 1은 미육군(a)과 해군(b)과 방호장갑설계시(c)의 기준이다.

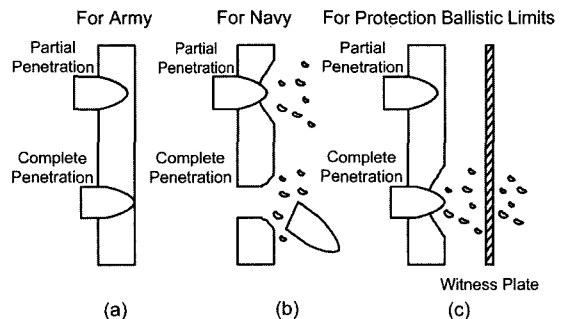


Fig. 1 Penetration mode by criteria of the army, navy and protection ballistic limits

## 2.3 방호한계(V50, Ballistic Test)

측정방법으로서 운동에너지탄이 장갑재를 완전

관통할 확률이 50%, 관통하지 않을 경우의 확률이 50%일 때, 즉 50% 완전 관통할 수 있는 충격속도를 방호탄도 한계(Protection Ballistic Limit), V50이라고 정의한다. 충격탄이 장갑을 완전 관통하거나 부분 관통할 확률을 나타내는 방호한계는 Fig. 2에서와 같이 V10은 10%의 관통확률과 90%의 미관통확률을 가진 것이며, V90은 90%의 관통확률과 10%의 미관통확률을 나타낸다. 이 한계는 일정한 표적장갑의 두께와 피탄각에 대하여 추진제의 양을 조절하여 충격속도를 조정함으로써 얻는다. 이 때 충분한 횡수의 탄도실험을 행하여 완전 및부분관통이 섞여서 일어나는 속도범위인 혼합속도 범위(ZMR : Zone of Mixed Results), 즉 완전관통이 일어나는 최저속도와 부분관통이 일어나는 최고속도로 차이를 구하여야 한다. 혼합속도범위를 구하는 실험방법은 다양하나 일반적으로 높낮이(Up and Down) 방법이 행해지고 있다.

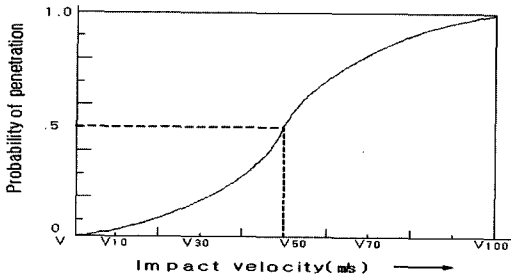


Fig. 2 Definition of protection ballistic limits(V50)

2.4 파괴현상(Fracture Mode)

표적판의 두께가 얇거나 중간두께가 완전 관통될 때, 재료의 물성치, 충격자의 형상 및 타격속도에 따라서 파괴의 양상이 변화한다. Fig. 3에 파괴시의 양상을 도시하였다. 장갑재의 극한 압축응력보다 큰 응력파가 발생하였을 때 주로 압축파괴(Compression Fracture)가 발생하며, 인장강도보다 훨씬 큰 압축강도를 가진 세라믹 계통의 표적판은 주로 방사형 파괴(Radial Fracture)가 생긴다. 후면파쇄(Spal)는 탄자가 표면에서 폭발되는 경우, 초기의 압축파가 표적 후면 경계면에서 반사되어 압축파가 인장파로 바뀌면서 응력파의 중첩으로 인장파괴 모드(Tensile Failure Mode)가 되어 발생한다. 관입(Plugging)은 관통자의 지름과 거의 같은 지름의 원통 표

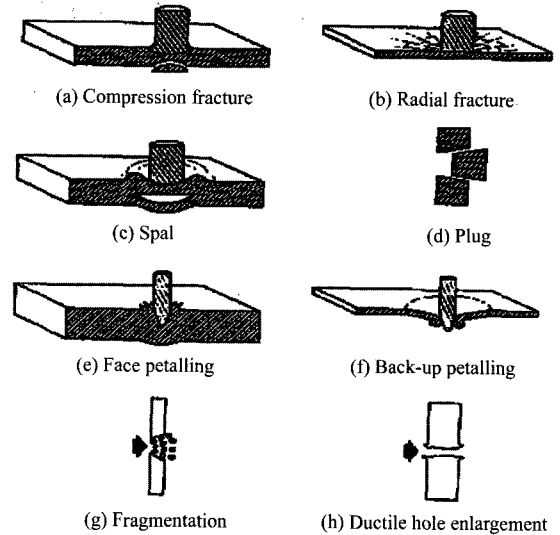


Fig. 3 Typical failure(Penetration) modes of impacted plates

적요소가 전단변형(Shear Deformation)으로 인하여 분리되는 것을 말한다. 이외에도 표적판의 전면과 후면에서의 파열(Petalling), 연성 구멍확장(Ductile Hole Enlargement) 및 취성재료에서 주로 발생하는 세열파편(Fragmentation)도 함께 발생한다.<sup>6)</sup>

3. 실험

3.1 시편의 제작

본 연구에 사용된 시편은 Al5052-H34와 Al5083-H131과 Ti(Gr2)로써 그 화학적 조성 및 기계적 특성은 Table 1, Table 2, Table 3과 같다.

여기서 사용한 시편의 두께는 냉간압연공정을 거쳐 1mm에서 0.5mm, 0.5mm에서 0.25mm로 어닐링 공정과 함께 순차적으로 행하였다.

Table 1 Chemical composition of Al5025-H34 and Al5083-H131

| Composition wt% | Si   | Fe  | Cu  | Mn      | Mg    | Cr        | Zn   | Al  |
|-----------------|------|-----|-----|---------|-------|-----------|------|-----|
| Al5052-H34      | 0.25 | 0.4 | 0.1 | 0.1     | 2.8   | 0.35      | 0.1  | Bal |
| Al5083-H131     | 0.4  | 0.4 | 0.1 | 0.1-0.4 | 4-4.9 | 0.05-0.25 | 0.25 | Bal |

Table 2 Chemical composition of Ti(Gr2)

| Composition Wt(%) | N    | C    | H     | Fe  | O    | Ti  |
|-------------------|------|------|-------|-----|------|-----|
|                   | 0.03 | 0.10 | 0.015 | 0.3 | 0.25 | Bal |

Table 3 Mechanical properties of Al5052-H34, Al5083-H131 and Ti(Gr2)

| Materials   | Tensile strength (MPa) | Yield strength (MPa) | Young's modulus (GPa) | Elongation (%) |
|-------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------|
| Al5052-H34  | 260                    | 180                  | 69.6                  | 10             |
| Al5083-H131 | 300                    | 190                  | 70.3                  | 16             |
| Ti(Gr2)     | 345                    | 300                  | 110                   | 10             |

3.2 표면처리에 따르는 경도 및 피막두께

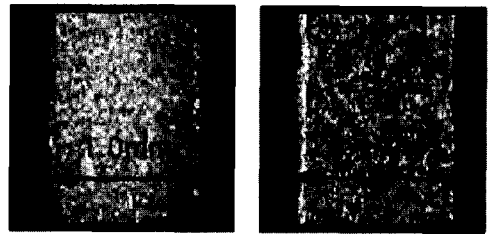
Al합금의 압연공정에 따라 경도의 변화를 측정하였다. 양극 산화 피막의 두께에 따라 경도가 변화하므로 이때의 결과를 Table 4에 나타내 보였으며, Al합금의 산화피막 및 Ti합금의 산화피막을 Fig. 4에 보였다. 이때 경도측정은 마이크로 비커스 경도계(M-type, Micro Vicker's Hardness Test, Shimadzu)를 사용하였고, 피막의 두께는 비디오 마이크로 스코프(Video Microscope, Sometech Co.)를 사용하였다. Al합금의 평균산화피막 두께는 25 $\mu$ m와 50 $\mu$ m이었으며, Ti합금의 TiCN피막의 평균은 0.9 $\mu$ m이다.

고속충격 시험의 재료는 Al5052-H34와 Al5083-H131이고, 이를 냉간압연한 재료와 양극 산화처리한 Al합금, 냉간압연 후 양극 산화 피막 처리한 Al합금과 Ti합금, 물리증착처리한 Ti합금을 사용하였다.

고속충격에 대한 방호성능을 측정하기 위하여 Fig. 5에서와 같은 실험장치로 재료의 방호성능과

Table 4 Surface hardness numbers of materials

| Materials  | Micro Vicker's No. (Hv) |
|--|-------------------------|
| Al1052 (t=0.5mm)   | 46 (50g)                |
| Al5052-H34 (t=0.5mm)                                       | 91.36(50g)              |
| Anodized Al5052-H34 (t=0.5mm 50 $\mu$ m)                   | 440(50g)                |
| Anodized Al5052-H34 (t=0.25,25 $\mu$ m)                    | 260(50g)                |
| Anodized Al5052-H34 (t=0.25 50 $\mu$ m) after Cold Rolling | 437(50g)                |
| Al5083-H131 (t=0.5mm)                                      | 92(1000g)               |
| Al5083-H131 (t=1.0mm) after cold Rolling                   | 180(1000g)              |
| Anodized Al5083-H131 after Cold Rolling (t=1.0mm)          | 456(1000g)              |
| Ti (t=0.5mm)   | 141(1000g)              |
| Nitrified Ti (t=0.5mm)                                     | 453(1000g)              |



(a) Anodized Al5083-H131 (b) Nitrified Ti  
Fig. 4 Microphotograph of surface hardened specimens using vidio microscope

파괴거동을 측정하였다.

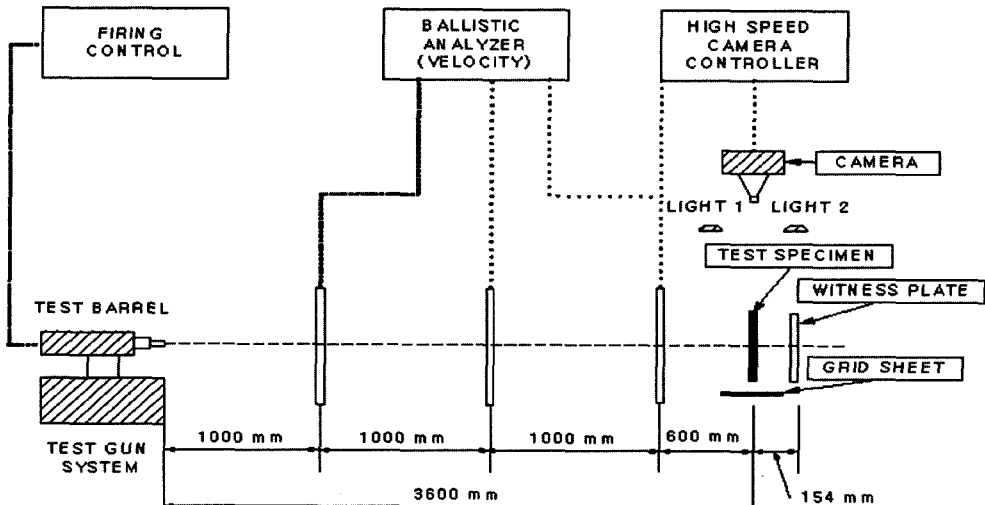


Fig. 5 Schematic diagram of ballistic impact apparatus for material test

3.3 고속충격시험(High Velocity Impact Test)

이때 사용된 탄자의 구경은 5.56mm ball탄이며 발사장치는 오스트리아 AVL사의 Model 292를 사용하였다. 충격속도의 측정은 미국 MV Ordnance사의 Model 401OP를 사용하였다.

4. 시험결과 및 고찰

Al5052-H34와 Al5083-H131과 이의 양극 산화 피막처리 후, 또 Ti(Gr2)의 표면처리 후의 MIL-STD-662E의 기준에<sup>7)</sup> 의한 시험결과는 Table 5에 나타나었다.

4.1 두께가 관통력에 미치는 효과

다음의 Fig. 6은 Table 5에서 No.1~No.5번까지의 시편에 대한 V50값을 도시한 것이다. 여기서 모두 동일두께이며, 이때 같은 조건에서 Al1052보다 강도가 큰 Al5052-H34가 관통저항력이 큰 것을 알 수 있으며, 또 No.2, No.3, No.4에서 볼 때 같은 두께라고 하더라도 겹치는 장수에 역비례하여 관통저항력이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 일반적으로 같은 두께에서 겹침의 장수가 많아지면 저항이 증가될 것이라는 저속충격에서의 이론을 벗어나 고속충격 시에는 겹치는 장수가 적어질수록 관통저항력이 증가하는 것을 알 수 있다.

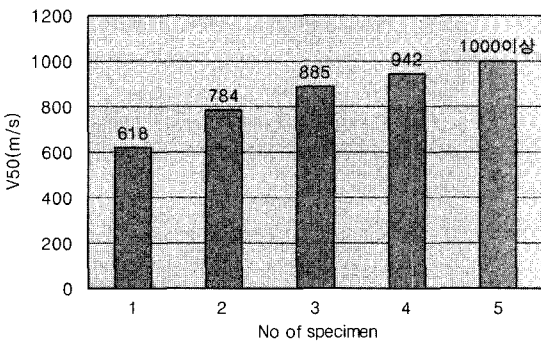


Fig. 6 Effect of bullet penetration at same thickness

마지막 No.5 시편은 5.56mm ball탄에 추진제의 양을 최대한도로 장진하여 1050m/s 이상의 속도에서도 관통되지 않는 결과를 얻었다. 이 재료는 각 낱장의 재료 양쪽 모두에 양극 산화 피막을 형성하여 즉사

Table 5 Test specimem and results

| No | Materials                            | Thick ness /EA | Ply | Total | V50(m/s) |
|----|--------------------------------------|----------------|-----|-------|----------|
| 1  | Al1052                               | 0.5            | 50  | 25    | 618      |
| 2  | Al5052-H34                           | 0.5            | 50  | 25    | 784      |
| 3  | Al5052-H34                           | 1.0            | 25  | 25    | 885      |
| 4  | Al5052-H34                           | 25             | 1   | 25    | 942      |
| 5  | Ano.Al5052-H34                       | 0.5            | 50  | 25    | 1000이상   |
| 6  | Al5052-H34                           | 0.5            | 15  | 7.5   | 389      |
| 7  | Al5052-H34                           | 0.5            | 20  | 10.0  | 467      |
| 8  | Al5052-H34                           | 0.5            | 25  | 12.5  | 481      |
| 9  | Al5052-H34 After CR                  | 0.5            | 15  | 7.5   | 458      |
| 10 | Al5052-H34 After CR                  | 0.5            | 20  | 10.0  | 521      |
| 11 | Al5052-H34 After CR                  | 0.5            | 25  | 12.5  | 554      |
| 12 | Ano. Al5052-H34 (50 $\mu$ m)         | 0.5            | 15  | 7.5   | 454      |
| 13 | Ano. Al5052-H34 (50 $\mu$ m)         | 0.5            | 20  | 10.0  | 532      |
| 14 | Ano. Al5052-H34 (50 $\mu$ m)         | 0.5            | 25  | 12.5  | 584      |
| 15 | Ano. Al5052-H34 After CR(25 $\mu$ m) | 0.25           | 30  | 7.5   | 300      |
| 16 | Ano. Al5052-H34 After CR(25 $\mu$ m) | 0.25           | 40  | 10.0  | 422      |
| 17 | Ano. Al5052-H34 After CR(25 $\mu$ m) | 0.25           | 50  | 12.5  | 532      |
| 18 | Ano. Al5052-H34 After CR(50 $\mu$ m) | 0.25           | 30  | 7.5   | 358      |
| 19 | Ano. Al5052-H34 After CR(50 $\mu$ m) | 0.25           | 40  | 10.0  | 459      |
| 20 | Ano. Al5052-H34 After CR(50 $\mu$ m) | 0.25           | 50  | 12.5  | 559      |
| 21 | Ano. Al5083-H131 After CR            | 0.5            | 15  | 7.5   | 448      |
| 22 | Ano. Al5083-H131 After CR            | 0.5            | 20  | 10.0  | 509      |
| 23 | Ano. Al5083-H131 After CR            | 0.5            | 25  | 12.5  | 579      |
| 24 | Ti(Gr2)                              | 0.5            | 9   | 4.5   | 528      |
| 25 | Ti(Gr2)                              | 0.5            | 12  | 6.0   | 566      |
| 26 | Ti(Gr2)                              | 0.5            | 15  | 7.5   | 663      |
| 27 | Nitrified Ti(Gr2)                    | 0.5            | 9   | 4.5   | 538      |
| 28 | Nitrified Ti(Gr2)                    | 0.5            | 12  | 6.0   | 611      |
| 29 | Nitrified Ti(Gr2)                    | 0.5            | 15  | 7.5   | 693      |
| 30 | Ti(8Ply)/A no. Al5083-H131(7Ply)     | 0.5            | 15  | 7.5   | 519      |
| 31 | Ano. Al5083-H131 (7Ply)/Ti(8Ply)     | 0.5            | 15  | 7.5   | 615      |

\*Ano = Anodizing, CR = Cold Rolling

파이어의 주성분인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 막이 형성되어 경도가 대단히 높은 세라믹막이 100여개 형성된 복합재료가 되어 5.56mm의 ball탄에도 관통되지 않은 것으로 해석된다.

### 4.2 Al합금 재료의 표면처리에 따른 관통력의 효과

다음의 Fig. 7에서는 같은 날장의 두께 0.5mm 일 때 접침의 장수에 따르는 관통저항력을 나타낸 것으로 세 경우 모두 장수의 증가에 따르는 관통저항력은 증가하나 비례하지 않음을 보여주고 있다.

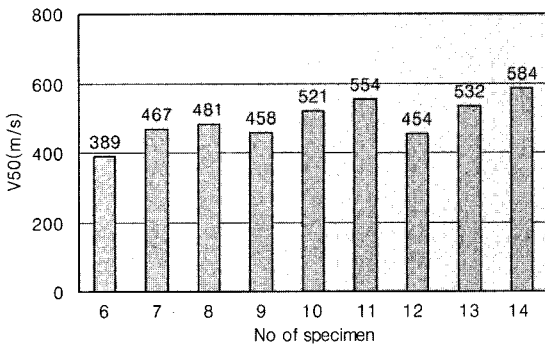


Fig. 7 Effects of surface treatment of Al5052-H34

무처리한 재료에 비해서 냉간 압연처리한 재료의 V50 평균증가율은 14.8% 이었으며, 양극 산화 피막 처리한 재료도 17.5%의 증가율을 보였다. 종합적으로 고찰해 볼때 압연한 재료보다도 양극 산화 피막 처리한 Al합금이 관통저항에 가장 우수함을 보였다. 관통모드는 양극 산화 피막처리된 Al합금은 전면에서는 파열이 발생하고 후면에서는 방사형 크랙이 발생하였다.

### 4.3 압연과 양극 산화 피막이 관통력에 미치는 효과

Fig. 8은 모재의 두께와 양극 산화 피막처리한 시편에 대한 관통저항력을 도시하고 있다. 시편 No.15~No.20까지는 냉간압연 두께 0.25mm를 기준으로, 양극 산화 피막 두께 25 $\mu$ m와 50 $\mu$ m의 결과이며, 이때 양극 산화 피막의 두께가 두꺼울수록 관통저항력이 큰 결과가 됨을 보인다.

시편 No.12, No.13, No.14는 양극 산화 피막처리

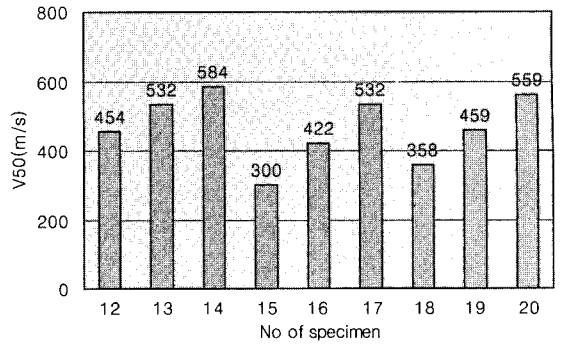


Fig. 8 Effects of bullet proof according to rolling and anodizing

한 것이고, 시편 No.18, No.19, No.20은 압연 후 양극 산화 피막처리한 것의 비교이다. 여기서 시편 No.18~No.20까지의 시편이 No.12~No.13까지의 시편보다 관통저항력이 다소 감소하는 경향을 보여주고 있다.

이는 No.18~No.20까지의 시편이 압연공정으로 인하여 양극 산화 피막 뒤에서 관통을 저지하는 인성이 적기 때문이다. 즉 표면에서 큰 취성은 관통자의 형상을 변형시켜 찌그러진 관통자가 표면뒤의 Al합금의 인성이 에너지를 흡수해야 하나 에너지 흡수층이 No.12~No.14까지에 비해 적으므로 관통저항력이 감소된다고 사료된다. 즉 양극 산화 피막이 두껍다고 해서 꼭 좋은 결과를 갖는 것이 아님을 알 수 있다.

### 4.4 Al합금과 Ti합금의 관통저항력

Fig. 9의 No.21~No.23의 시편은 원재료 25mm 두께를 압연공정과 더불어 어닐링(Annealing) 처리하여 최종적으로 0.5mm로 가공한 후의 관통실험 결과이다. No.24~No.26까지는 Ti(Gr2)의 V50 값이며, No.27~No.29까지는 Ti합금에 물리증착법 중 이온 플레이팅 방법을 이용하였으며, 이때 TiCN층의 두께는 0.85~0.96 $\mu$ m가 되었다. 이 결과에서 보면 양극 산화 피막처리한 Al합금보다 Ti합금의 관통저항성이 우수함을 알 수 있으나 면밀도의 측면 즉 Al합금의 밀도( $\rho=2.7$ )와 Ti합금의 밀도( $\rho=4.5$ )를 고려한다면 Al합금이 우수함을 보인다. No.24~No.26까지의 Ti합금과 TiCN층을 가진 No.27~No.29까지 비교해 보면 TiCN층을 가진 시편의 관통저항성이 우수함

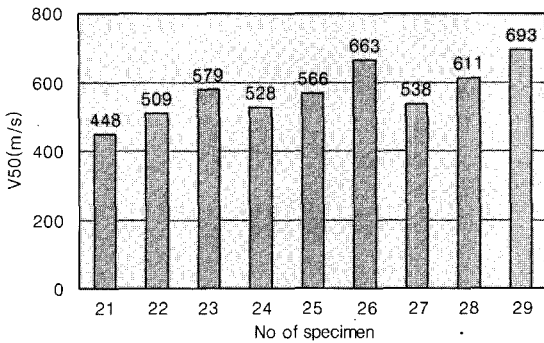


Fig. 9 V50 versus Al and Ti alloy

을 보이고 있으나 생산비를 고려하지 않을 수 없다.

#### 4.5 관통방향에 따른 관통저항력

Fig. 10은 Ti합금 판재 8장과 양극 산화 피막처리된 Al5083-H131 7장을 겹쳐 관통시험한 결과로서 No.30은 전면재가 Ti합금, No.31은 전면재가 양극 산화 피막처리된 Al5083-H131이다 같은 두께라도 전면재에 따라 V50값이 거의 20%정도 차이가 남을 알 수 있다. 이는 Fig. 11에서 보인 바와 같이 5.56mm ball탄이 경도가 큰 물체에 충돌시, 큰 형상의 변화

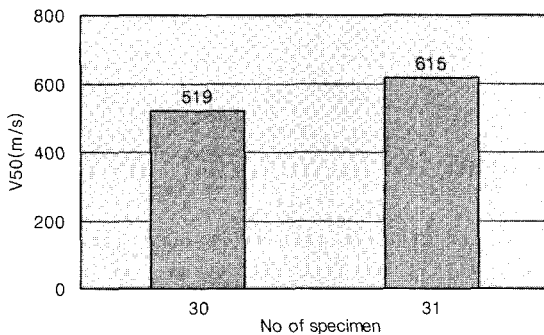


Fig. 10 Effects front material at equal thickness



Fig. 11 Deformation of bullet

를 가져옴으로 인하여 보다 많은 저항을 초래한다. 이상과 같은 방탄메카니즘을 이용하여 방탄설계를 한다면 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 사료되는 바이다.

## 5. 결론

본 연구를 통하여 Al합금과 Ti합금과 이에 표면 처리를 행하여 관통시험을 한 결과는 다음과 같다.

- 1) 관통저항력 측면에서 일정 두께에서 장수가 많아질수록 관통저항력은 저하한다. Al합금의 경우에는 표면경화처리를 병행하면 관통저항력은 증가한다.
- 2) V50값은 Al합금 표면경화의 정도에 따라 영향을 받는다. 압연재의 경우 평균 14.8% 증가하며, 양극 산화 피막처리된 재료는 평균 17.5%의 V50 증가를 보였다.
- 3) 두께 0.25mm에 50 $\mu$ m두께의 양극 산화 피막을 형성한 경우와 0.5mm에 50 $\mu$ m의 양극 산화 피막을 형성한 경우, 같은 두께에서 0.5mm 양극 산화 피막이 형성된 경우의 저항력이 더 우수함을 보였다.
- 4) Al합금과 Ti합금의 관통저항력은 같은 두께에서는 Ti합금이 우수하나 면밀도 측면에서는 양극 산화 피막 처리한 Al합금이 더 우수하다.
- 5) 설계시 같은 두께에서 경도가 큰 금속을 전면재로 사용해야 하며, 이는 관통자의 형상을 보다 많이 변형시키므로 더 우수한 관통 저지력을 야기한다.

## 후 기

본 연구는 2004년 건국대학교의 연구년 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- 1) S. W. Sohn and S. H. Hong, "Research Trends on the Ballistic Protection Materials and Development of Bullet-proof Helmet," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.19, No.7, pp.7-19, 2003.

- 2) B. J. Kim and S. J. Ha, "Crashworthiness Design Concepts for the Improved Energy Absorbing Performance of an Aluminum Lightweight Vehicle Body," Transactions of KSAE, Vol.11, No.3, pp.155-162, 2003.
- 3) M. E. Backman and W. Goldsmith, "The Mechanics of Penetration of Projectiles into Target," International Journals of Engineering Science, Vol.16, pp.1-99, 1978.
- 4) J. A. Zukas, T. A. T. Nicolas, H. F. Swift, L. B. Greszczuk and DR. Curran, Penetration and Perforation of Solid, Impact Dynamics, John Wiley and Sons, New York, pp.155-183, 1982.
- 5) S. W. Sohn, H. T. Kim, D. S. Lee, S. H. Hong and M. J. Yoo, "An Effect of Surface Treatment on a Protection Ballistic Limits in Armor Material," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.20, No.12, 2003.
- 6) U.S Army Research Laboratory, "Military Specification MIL-A-12560G, Armor Plate, Steel Wrought, Homogeneous," Dept. of the Navy, Defence Printing Service, Philadelphia, PA. 1984.
- 7) U.S Army Research Laboratory, "Military Standard, V50 Ballistic Test for Armor, MIL-STD-662E," Dept. of the Navy, Defence Printing Service, Philadelphia, PA. 1984.