

케블러防彈材料

유 병 두 譯

듀퐁(De Pont de Nemours International)은 지난 12년동안 케블러라고 하는 소위 B-纖維, 즉 아라미드纖維를 판매해 왔다.

이纖維는 1965년에 듀퐁연구원들에 의해發明되어서 처음에는 라디알 타이어 케스팅이나 컨베이어 벨트를 補強하기 위하여 쓰여졌으나 얼마안돼서 이材料가 다른 특이한性質을 갖고 있어서 다른分野; 다시 말해서 民需分野 뿐 아니라 軍需分野 쪽으로도 적용가능성이 있다는 것이 밝혀졌다. 그중의 하나가 防彈分野로서 케블러가 다른纖維나 그외 다른材料에 비해 우수함이 입증되었다.

케블러에는 케블러 29(K29)와 케블러 49(K49)의 두가지纖維가 널리 쓰이고 있는데 이들은 많은 일반적 特性을 갖고있다.

密度는 1.44g/cm^3 인데 反하여 強度는 $2,760\text{N/mm}^2$ (190 CN/tex)로 아주 높으며纖維가 破斷될때까지 늘어나는 정도는 K29가 4%, K49가 2.5%로 아주 낮다. 또한 -70°C 에서 $+180^\circ\text{C}$ 까지의 溫度범위에서 심각한 性能底下없이 사용가능하다.

케블러는 腐蝕 저항이 대단히 높고 대부분의 化學物質에 민감하게 반응하지 않으며, 불에 타지 않는다. 500°C 근처에서 녹지않고 대신 숯(Char)을 形成한다.

마지막으로 얘기하고자 하는 또 한가지 特性은 이材料가 電氣를 통하지 않는 非傳導體라는 점이다.

케블러 49는 케블러 29보다 높은 炭性계수(Young's Modulus)를 갖고 있다(케블러 49; 124 GPa, 케블러 29; 59 GPa). 또 케블러 49

의 높은 剛性(Rigidity)은 海上, 空中, 宇宙分野에서도 적용하기에 아주 理想的인 材料가 되게끔 하였다.

纖維質 防彈製品 제조업자들은 보통 케블러 29를 사용하는데 이것은 케블러 29가 유연하고 銃彈阻止體로서의 역할을 더잘 해내기 때문이다. 이와같은 目的을 위해서 많이 쓰이는 것으로 특히 "964 Type"이 있는데 이것은 1100 Dtex, 즉 10,000m의 필라멘트當 1100g에 상당한 666개의 필라멘트의 다발로 만들어지는 실을 사용해서 만들어진 것이다.

나일론, 폴리에스터, 유리等 다른 종류의纖維에 비해 케블러는 비싸다. 그러나 그런 종류의纖維의 수도 안되는 무게를 가지고 거의 같은 防彈效果를 준다. 다시말해서 케블러는 다른纖維에 비해 2배내지는 3배의 효과가 있고 鋼鐵(Steel)보다는 5배의 효과를 낼수 있는 것이다.

케블러는 老化되지 않으나 紫外線의 영향을 받으므로 紫外線源에 직접 노출되지 않도록 注意하여야 한다. 또 물에 젖으면 다른纖維質 防彈材料와 마찬가지로 防彈特性的 손상을 받으나 乾燥되면 다시 원상으로 회복된다.

이와같은 이유로해서 防水容器내에 싸여져서 사용되기도 하는데 그보다 더 좋은 方法은 제작 과정에서 防水處理를 해서 사용하는 것이다.

1. 個人裝甲

케블러는 여러가지 형태의 防彈조끼나 헬멧을 만드는데 사용된다. 듀퐁은 自社製품을 펠프,纖維뭉치(Flock) 혹은 실形態의 原資材販賣에만

局限하고 있다.

衣服形態製品(방탄복)의防禦도는 그것이 만들어진 방법에 달려있다. 즉 織物은 Woven Thread 를 사용하는데 이 織造物의 織造組織은防禦에 關係되는 主因子로서 연속되는 層의 수와 層을 이루는 位置에 차이가 있기 때문이다.

織造物이 미세하고 종종할수록 더 많은 層이 사용될 수 있으므로 주어진 무게에 대해 더 좋은 防禦效果를 줄수 있는 것이다.

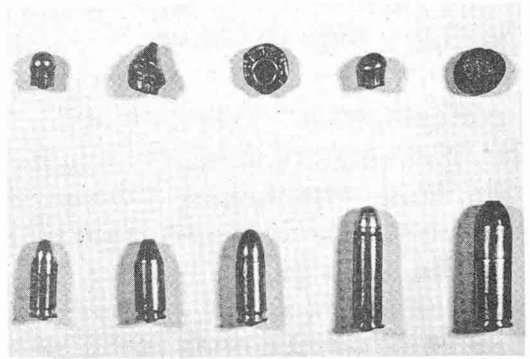
여러가지로 多樣한 재료의 防禦도를 평가하고 비교하는 데는 두가지 基準이 사용되는데 다음과 같은 것들이다. 첫째 주어진 危險을 阻止시키는데 필요한 單位面積當의 무게(MPUA ; Kg/m²), 둘째 彈丸의 50%가 防禦材料를 貫通하기에 충분한 殘餘에너지를 가질때의 速度를 나타내는 V_{50%}가 바로 그것이다.

가. 防彈조끼

銃彈 및 榴散彈 防禦조끼를 설계하기 전에 危險의 형태와 정도가 定義되어야 한다. 그래야만 積層數를 결정할 수 있게되고 따라서 防彈服의 무게가 결정되며 그것은 곧 입기에 얼마나 편안할 것인가, 着用者の 행동의 自由스러움이 어느 정도인가를 알수 있게 되는 것이다.

警察은 그들 자신을 拳銃에서 發射되는 彈丸으로부터 보호할 수 있어야 하는데 “Jacketless 口徑 38 Special”, “Jacketed 9×19mm Parabellum” 또는 “AP 357 Magnum Round”같은 危險에는 더 높은 水準의 防禦가 필수적이라는 것이 명백하다.

防彈服을 설계할 때는 彈丸의 형태, 銃口速度,



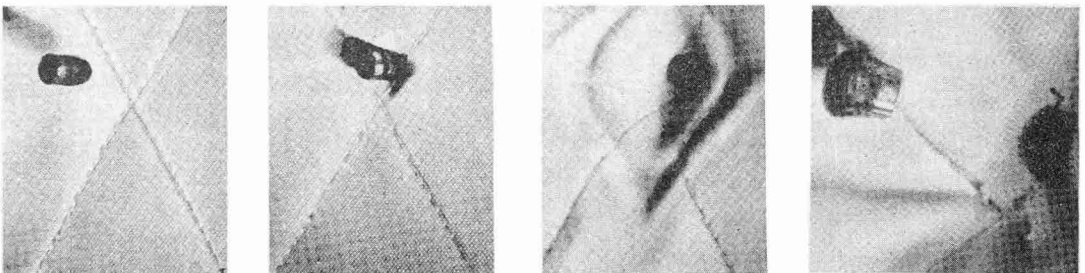
〈그림 1〉 케블러 防彈材料에 發射되기전과 發射 후 彈丸의 모습을 나타내는 사진, (오른쪽에서 부터 Colt 45, 口徑 38 Special, 9mm Parabellum, 9mm Police Geco, Gevelot 7.65)

그리고 彈子の 경도를 감안하여야 한다. 通常的인 衣服으로서의 조끼, 그리고 着用여부를 가름하기 힘들 정도로 눈에 띄지 않게 設計되어진 조끼는 制服위에 입는 것과 같은 정도의 防禦效果를 주지는 못한다.

美國 NIJ(American National Institute of Justice)는 다섯가지 防禦水準을 定義하였는데 이것이 製造業者나 使用者의 일반적인 基準으로 널리 사용되고 있다. 어떤 경우에는 나일론이나 유리纖維를 케블러로 대체하면 防禦服의 무게를 50% 이상 감소시킬 수 있다.

다시말해서 같은 單位面積當 무게를 가지고 최소한 두배의 防禦效果를 얻을 수 있는 것이다. 實際사용에 있어 가벼운 조끼는 추가로 裝甲板을 裝着할 수 있을 만큼 유연하다.

이 裝甲板은 시래믹材料(Ceramic Materials)로 만들거나 積層케블러板으로 만들어 지는데 普通조끼의 바깥쪽에 달린 주머니에 삽입시켜서



〈그림 2〉 口徑 38 Special 이 여섯층상으로 된 케블러 防彈材料에 충격을 가하는 모습을 高速撮映機로 연속적으로 찍은 사진. 이때 사용된 케블러 각각의 層은 280g/m²의 單位面積當 質量을 가진 것이다. 彈丸이 맞은 뒤 케블러는 伸張되어 에너지를 흡수하고 그것을 纖維方向을 따라 옆으로, 그리고 연속적으로 積層된 방향을 통해 소멸시킨다. 이렇게해서 이 彈丸은 점차 속도가 떨어져서 신체에 맞기 전에 멈추게 된다.

가슴을 保護하거나 보다 더 強力한 彈丸으로부터 등(背)을 保護하는데 사용된다.

軍에서의 요구는 多少 다르다. 실제전투에서는 破片이나 榴散彈이 主威脅으로서 이것에 의한 死傷損失은 25%가 銃彈에 의한 부상인데 反하여 75%를 차지한다. 이와같은 양상은 美軍 外科綜合病院 事務局을 포함하여 많은 美國機關들에 의해 조사되었고 第2次世界大戰, 베트남 戰爭을 망라한 조사결과에 근거를 두고있다.

무게문제때문에 모든 形態의 위협을 防禦할 수 있는 조끼를 兵士들에게 着用시킨다는 것은 불가능하다.

따라서 榴散彈으로 인한 부상손실을 줄이는 것에 최우선목적을 두기로 결정하였다. 몇몇 軍隊들은 이미 이 方針에 따른 조치를 받고 있으며 防彈잠바가 여러 多樣한 用途로 착용되어지고 있다.

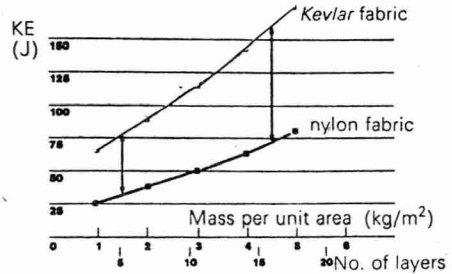
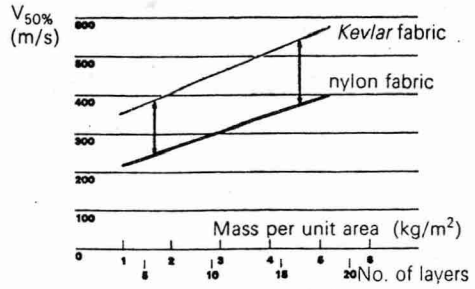
대부분의 이 잠바들은 지금 케블러를 使用하고 있다. 이것을 놀라울 程度로 많이 着用하도록 하고 있는 나라가 美國인데 美國은 地上軍 個人裝甲體系(PASGT; Personal Armour System for Ground Troops)를 위해 케블러 防彈잠바나 防彈헬멧으로 이루어진 120만개의 PASGT 셀트를 확보하기로 결정하였다.

헬멧과 잠바는 戰鬥에서 接하게 되는 榴散彈 破片을 阻止시키는데 75%, 輕步兵武器로부터 發사되는 彈丸을 저지시키는데 25% 기여할 수 있도록 고안되었다.

美國標準破片은 防彈잠바의 防禦度を 평가하는데 이용된다. 이것은 양쪽끝에 쪼개진틈(Cleft)를 가진 17-Grain(1.1 gram)짜리 圓筒形의 물체이다.

무게 2.2kg의 케블러 잠바는 495m/s의 $V_{50\%}$ 가 要求되는데 비해 베트남戰爭에서 사용되었던 나일론 B-STANDARD 잠바는 4.5kg의 무게가 나갈뿐 아니라 400m/s의 $V_{50\%}$ 가 필요하게 된다.

그러므로 PASGT 잠바가 더 좋은 防禦를 할 수 있으며(물론 $V_{50\%}$ 에 해당하는 에너지 函數가 線形인 관계를 갖고 있지는 않지만) 무게를 半으로 줄일 수 있으므로 더 많은 活動性과 편안함을 줄수 있다.



〈그림 3〉 이 두가지 그림은 나일론과 케블러로 만들어진 個人裝甲의 榴散彈에 대한 防禦度を 單位面積當 무게의 函數로 나타낸 것이다. 이 防禦度を 그림상에서는 $V_{50\%}$ 값으로 나타내었고 그림하에서는 KE(충격후 탄환의 殘餘에너지)값으로 나타내었다. 이때 사용된 標準破片은 US 17-Grain(1.1g)이다.

警察用 조끼같이 防彈잠바는 약 60%에 달하는 殘餘에너지를 케블러 層에서 흡수하기 전에 彈丸을 뒤틀리게 하거나 破裂시킬 수 있도록 考案된 시래믹板을 첨가하여 사용할 수 있게끔 되어있다.

그럼에도 불구하고 人間의 身體는 아직도 충격을 받는 人體部位에 따라 충격점에서의 外傷에 의한 損傷을 심하게 받고 있다.

防彈層의 실제변형이 순간적이라 할지라도 간장, 비장, 혹은 척추같은 部位에 損傷을 주므로 이와같은 部位는 몸과 조끼사이의 外傷防止帶를 사용하여야만 더욱더 나은 防禦效果를 얻을 수 있다.

나. 헬멧

케블러의 무게에 비한 防禦效率이 좋아서 여러 종류의 헬멧製作에 케블러가 널리 쓰이고 있다. 警察用으로는 400m/s 이상으로 發射되는 銃擊(9×19mm Parabellum Round)을 막아 낼

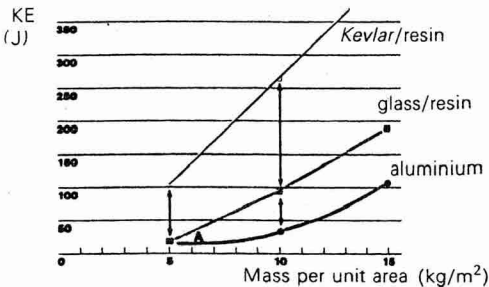
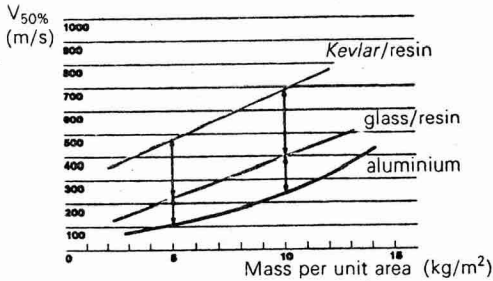
수 있는 헬멧을 만들 수가 있다.

裝甲車의 승무원들은 충격방지와 榴散彈防禦 헬멧이 필요하고 航空機나 헬리콥터操縱士들은 榴散彈破片이나 小型武器彈丸에 대한 방어가 필요하게 된다.

PASGT 헬멧이 개발되는 동안 美軍은 많은 材料를 연구하였다. Hadfield 鋼, 티타늄(Titanium), 나일론, 유리, 혹은 케블러 纖維強化積層板등이 바로 그것인데 여러가지 중에서도 熱硬化樹脂를 사용한 케블러 複合材料가 유리纖維複合材料보다 훨씬 더 좋은 것으로 여러 研究結果는 보여주고 있다.

內衝擊성과 反復衝擊에 대한 抵抗性도 25~70%정도 좋을 뿐아니라 龜裂전파저항성, 振動감쇠능도 더 좋다. 82% 케블러에 18% 樹脂性分을 가진것이 선택되었는데 樹脂는 헬멧의 形狀을 갖추기 위한 構造的 剛性을 주기위한 것이다.

PASGT 헬멧은 1.45kg의 무게를 갖고 있는데 이것은 以前의 M1-鋼 헬멧보다 90gram이



《그림 4》 이 두가지 그림은 榴散彈에 대한 케블러/樹脂複合材料, 유리纖維/樹脂複合材料, 알루미늄板의 방어도를 나타낸 것이다. 그림상에서는 V₅₀값으로, 그림하에서는 KE(충격후 탄환의 殘餘에너지)값으로 防禦度를 나타내었다. 이때 사용된 破片은 US 17 Grain(1.1g)이다.

무거우나 M1-鋼보다 2.7배나 더 많은 에너지를 흡수한다(17-Grain 파편에 대한 V₅₀는 M1-鋼의 379m/s에 비해 605m/s로 더 높다).

또한 이 材料는 M1-鋼보다 造型이 쉬워서 머리에 잘 맞고 따라서 그에따른 着用感이 좋다.

케블러는 衝擊吸收力이 좋고 헬멧 그 자체의 찢어짐으로 인한 鋼鐵破片에 의한 부상을 防止할 수 있다. 헬멧內部는 어떤 형태의 뒤틀림에도 견디게 되어있다.

PASGT 조끼와 헬멧은 着用者의 위치에 따라 신체의 必須部位의 60~75%를 保護할 수 있으며 이 정도의 防禦로 3分の 1까지 死傷者를 줄일 수 있고, PASGT의 사용으로 베트남戰爭에 약 15,600명의 生命을 구할수도 있었을 것으로 평가되고 있다.

일반적으로 너무 무거웠던 처음의 防彈服과는 달리 현재의 케블러 조끼는 着用거부감을 빨리 극복할 수 있음으로 해서 兵士들에게 쉽게 받아들여지고 있는 것으로 보여진다. 訓練方法들도 바뀌어져서 헬멧이나 個人武器처럼 防彈服도 오래 착용되고 있다.

가장 最近에 나온 조끼들 역시 가벼울 뿐만 아니라 몸에 꼭 맞아서 行動의 自由에 영향을 주거나 機動性을 저해하지 않는 여러가지 多様な 치수의 것이 가능하다. 또 防彈장바를 착용한 兵士들은 더욱더 安全感을 느껴 心理적으로 큰 효과를 주고 있는 것으로 나타났다.

2. 剛體裝甲

層狀 케블러는 어떤경우 鋼, 알루미늄 및 유리纖維裝甲材의 대체재로 사용될 수 있는 많은 형태의 裝甲材로 사용된다. 다시 되풀이 되지만 이때도 主因子는 무게減少인데 특히 裝甲車의 경우 이것은 항상 主 관심사가 되어왔다.

車輛을 보호하기 위해 너무 많은 무게가 所要되면 이것은 곧 機動性에 害가 되며 엔진, 차대, 그리고 懸重裝置와 관련된 設計를 결정짓는데 영향을 주게될 것이다.

層狀 케블러 複合材는 또한 反復충격에 대단히 잘 견디는 잇점을 갖고 있으며 層狀유리纖維

材보다 훨씬 좋은 성능을 갖고 있다. 각각의 케블러층은 폴리에스터, 비닐 및 웨놀 등의 樹脂를 함침(Impregnation)시켜서 Add-on Armour 나 構造用 裝甲材로 쓰인다. 後者의 경우 樹脂含量이 30% 이상이나 이것이 케블러 本來의 性質에 크게 영향을 미치지 않는다.

層狀케블러 複合材는 미사일發射臺, 魚雷發射管, 甲板에 설치된 레이돔(Radome)이나 배의 특별구조물의 防彈구조용재로인 유리強化플라스틱(GRP)이나 알루미늄의 代替材料로 사용할 수 있다.

Add-on Armour 로 쓰이는 層狀케블러 板들은 9%에서 20%의 樹脂를 포함한다. 이 板들은 기존의 鋼鐵 및 알루미늄 防彈板材의 뒤에 놓여지게 된다. 같은 수준의 防護를 하는데 있어 케블러/알루미늄은 鋼鐵이나 GRP 의 약 半程度의 무게면 되고 같은 무게에 대해 케블러/알루미늄은 알루미늄 單獨으로 쓰인 경우의 두배의 방호효과를 준다.

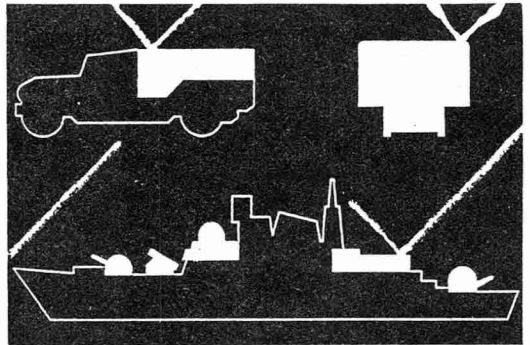
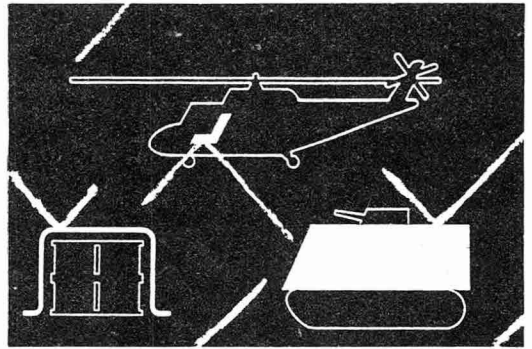
케블러/鋼鐵의 組合도 수많은 적용분야가 發見되었는데 예를들면 船舶의 경우 이것을 사용하여 回轉하기 쉬운 좀더 가벼운 砲塔을 제작할 수 있었다.

또 輕機動車輛(예를들면 美國의 Hummer Vehicle 같은 것)의 엔진과 乘務員의 보호에도 사용된다. M1 Abram 과 Leopard 2 戰車에 그리고 약간의 IFV 등에도 쓰여져 戰車乘務員의 生存확률을 증대시키는데 사용된다.

實驗에 의하면 이 材料는 Spall Fragment 의 入斜角을 60%까지 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이것은 곧 成形裝藥彈에 맞은 結構내부의 壓力加重效果를 감소시킨다.

케블러는 移動방공호의 裝甲내벽용으로 쓰이는 것을 볼 수 있다. 그러므로 移動방공호들은 어느정도 機動性을 가지면서 榴散彈이나 爆發을 잘 방호할 수 있으며,酷暑에 보다더 잘 견딜 수 있게 되는 것이다.

헬리콥터 乘務員室이나 乘務員의자에 쓰이는 케블러는 가볍고 단단하며 酸化알루미늄(Alumina)보다 더 많이 쓰이는 보론카바이드(B₄C)와 같은 시래믹材料와 結合된 형태로 쓰인다. 이런 형태의 材料는 標準 64-Grain(4.15g) 破片이나



〈그림 5〉 케블러의 주요요점은 무게에 대한 強度比이다. 民需분야외에 이 材料가 처음으로 쓰인것은 나일론으로 된 防彈조끼나 防彈갑바를 대체하는 데였다.

베트남 戰爭에 케블러 조끼가 사용되었더라면 15,600명의 兵士의 生命을 구할 수도 있었을 것으로 평가되고 있다.

7.62mm 와 5.56mm AP 彈丸을 저지시킬 수 있다.

現在 이재로는 警察車輛이나 安全護送車輛, 貴賓車輛등 民間분야용으로 설계된 새로운 형태의 裝甲材料로 쓰이고 있는데 GRP 나 鋼鐵보다 50% 정도의 무게절감이 된다.

예를들어 鋼鐵裝甲材는 5.56mm AP 彈을 阻止시키는데 82kg/m²의 MPUA(단위면적당 질량)이 필요한데 비해 케블러는 32kg/m²의 MPUA(단위면적당 질량)를 가지고도 같은 효과를 낼 수 있는 것이다.

참고문헌

(Kevlar and Ballistic Protection, International Defense Review, 6/84)