

## 論文

## 두부 손상 보호를 위한 승객용 헬멧 개발 연구

임정구\*, 권기선\*\*, Robin E. Dodge\*\*\*

The Research on the Development of Passenger Helmet  
to Prevent Head Trauma

Jeongku Lim\*, and Ghisun Kweon\*\*, Robin E Dodge\*\*\*

## ABSTRACT

Introduction : Head trauma is the main cause of death in aircraft crash. In a Michigan study of structurally survivable, fatal accidents, 80% of the fatally injured had received head trauma. We tried to develop a new helmet for passengers, and perform its efficiency test.

Methods : An aircraft helmet requires an excellent protection against head trauma, lightness, and small volumes. In addition, it must be wearable, fire resistant, and non toxic when it is burning. We developed two new helmets made from silicone foam which met all these requirements. One was thin (2.5cm), and the other was thick (6.3cm). These looked like a motorcycle helmet and had only a soft silicone as liner material without an outer hard shell. Therefore we can carry them easily inside aircrafts. The standard test for helmet is Snell's drop test. It measures the impact acceleration of head shaped metal wearing helmet during we drop it at certain heights. Impact sites were total 5 sites (front, back, right, left and top) for each helmet. All these sites were impacted twice.

Results : The thickness of impact sites varied from 2.5cm to 6.3cm. The impact acceleration of 2.5cm thickness site when it was dropped from 1.0 meter was 379g. But, that of 6.3cm thickness site when it was dropped from 1.5 meter was only 163g. Unfortunately, both helmets didn't meet the Snell Standard for motorcycle helmets.

Discussion : If we add suitable outer hard shell, and change its thickness and design, the efficiency will be increased. A study indicated that helmet could reduce the risk of head trauma up to 85%. We made helmet for passengers in aircraft crash for the first time. If we improve its weak points, it will decrease the frequency of head trauma in aircraft craft.

**Key Words** : helmet(헬멧), passenger(승객), aircraft crash(항공기사고), silicone foam(실리콘폼)

## 1. 서 론

세계 2차 대전 이후 항공분야는 민간 항공분야의 발달로 이어지며 항공 산업 분야는 비약적인

발전을 이루고 있다.

NTSB (National Transportation Safety Board)의 보고에 의하면 1983년부터 1983년부터 2002년까지 비행기 탑승 승객은 2배로 늘어났다(NTSB Safety Report, 2001). 항공기의 성능은 지속적으로 향상되고 탑승 인원은 증가 추세를 보이고 있지만 항공기 사고는 꾸준히 발생하고 있다. 그리고 지난 20년간 항공기 사고율은 다각적인 노력에도 불구하고 큰 변화가 없었다. 상업용 항공기는 점차 대형화 추세에 있고, 단 한번의 사고는

2010년 3월 8일 접수 ~ 2010년 3월 27일 심사완료

\* 항공우주의료원

\*\* 정진 실리콘 연구소

\*\*\* Wright State University

연락처자, E-mail : amekorea@gmail.com

충북 청원군 남일면 쌍수리 사서함 21호

대형 참사로 이어 질 수 있어 사고율을 줄이고 사망률을 감소시키기 위한 특별한 조치가 필요할 시점이다.

USAARL(United States Army Aeromedical Research Laboratory) 보고에 의하면 모든 형태의 항공기 사고에서 가장 흔한 사망 원인은 두부 외상이었다 (Crowley JS, 1992). 또한 Michigan의 연구에 의하면 생존 가능했던 사고에서 사망자와 사상자의 약 80%가 두부외상을 보였다(Snyder RG, 1978). Guohua L 등의 연구에 의하면 미 항공사고의 즉각적 사망원인 44%는 복합 손상, 22%는 두부손상, 12%의 내무장기 손상, 4%화상, 그리고 3%의 익사 순으로 나타났다(Guohua L, 1997). 특히 아이들에게서 두부 손상은 가장 흔하게 발생했다. 그러나 현재까지 승객들에게 안전벨트 외에 두부외상을 효과적으로 줄일 수 있는 방법은 없다.

헬멧의 사용은 오래 전부터 두부외상을 줄이기 위하여 여러 분야에서 사용해 왔다. 고속 항공기인 전투기에서는 조종사 및 항공 승무원이 헬멧을 사용하고 있지만 상업용 항공기에서는 사용하지 않고 있다. 헬멧을 사용하지 않는 이유는 착용의 불편감, 사고 시 낮은 생존 가능성, 무게 및 부피의 문제 등 여러 가지들을 생각 할 수 있다. 하지만 ETSC(European Transport Safety Council)의 보고에 의하면 약 90%의 항공기 사고가 생존 가능했던 사고였다(ETSC review, 1996). 따라서 좀 더 적극적으로 사망자나 사상자를 줄일 수 있는 방법을 찾을 필요가 있다.

연구자들은 승객의 두부를 효과적으로 보호하기 위한 새로운 항공기 승객용 헬멧을 개발하고자 하였다. 또한 개발한 헬멧의 충격 능력을 실험하여 충격 흡수 능력이 어느 정도 인지 확인하고자 했다.

## 2. 본 론

### 2.1 방법

#### 2.1.1. 실리콘 헬멧 (Silicone Helmet)

승객용 헬멧을 개발하기 위하여 충격 흡수 물질로 실리콘을 사용하였다. 실리콘의 여러 형태 중 충격을 효과적으로 흡수하기 위하여 폼(foam)의 형태를 사용하였다. 실리콘 폼은 충격 흡수 능력이 우수하여 이미 헬멧 내피 재료로 사용되어 왔고 화재에 저항하며 연소 시 독성 가스를

유발하지 않고, 피부 접촉 시 알레르기 반응이 없다.

일반적인 헬멧은 충격을 고르게 분산시켜주는 외피와 충격을 흡수해주는 내피로 구성되어 있다. 그리고 내피는 충격 흡수식과 현가 장치(suspension)식의 두 가지 방식이 있다(J. M. Rayne, 1969). 연구자들이 고안한 헬멧은 무게를 줄이고 보관을 편하게 하기 위하여 딱딱한 외피 없이 부드러운 실리콘 폼으로만 제작 하였다.

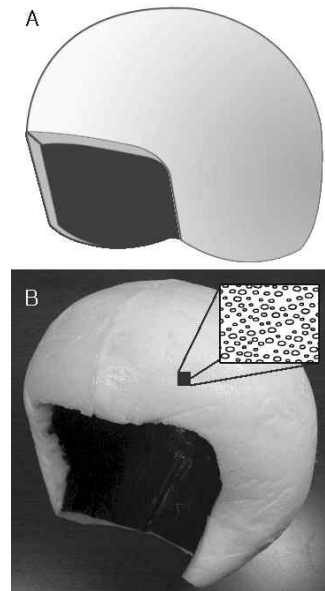


Fig 1. 실리콘 헬멧의 기본 디자인(A)와 실제 모습 및 단면 도식(B)

연구자들은 Fig1. A와 같은 디자인을 바탕으로 헬멧 틀을 제작하였다. 크기는 폭×높이×앞뒤가 각각 26×22×26 cm 였다. 이 틀에 HRS Silicone 제품의 HR-40FOAM A 와 B를 상온에서 틀에 부어 혼합하였다. 폼 형성이 효과적으로 진행하도록 2시간 반응 시킨 후 틀에서 헬멧을 꺼내었다. 만들어진 헬멧의 모양은 Fig 1. B와 같으며 헬멧의 단면을 절단하였을 때 폼의 형태를 관찰할 수 있었다. 실리콘 헬멧의 밀도는 임의로 세 곳에서 측정하였을 때 각각 0.17gm/cm<sup>3</sup>, 0.19gm/cm<sup>3</sup>, 0.24gm/cm<sup>3</sup> 이었고 평균 0.2 gm/cm<sup>3</sup>이었다.

연구자들은 두 개의 헬멧을 제작하였는데 한 개는 얇고 다른 하나는 상대적으로 두꺼운 것이었다. 이는 어느 정도의 두께가 두부외상을 줄이

는데 효과적이지 알 수 없었기 때문이었다. 미육군의 연구에서 두부 외상 시 측면 외상이 치명적이라는 보고가 있었다(Shanahan DF, 1983). 연구자들도 측면을 두껍게 제작하였는데 제작 공정이 정밀하지 못하여 부위별로 불규칙한 두께를 가진 헬멧을 제작하였다. 실리콘 헬멧의 각 부위별 두께는 Table 1. 과 같다. 충격 흡수를 측정하기 위한 헬멧의 부위는 총 5곳으로 전면, 좌측, 우측, 후면, 그리고 상부였다. 얇은 헬멧의 무게는 163g 이었으며, 두꺼운 헬멧의 무게는 379g 이었다.

Table 1. 두 헬멧의 부위별 두께비교

구분	얇은 헬멧 (cm)	두꺼운 헬멧 (cm)
전면	2.6	5.5
우측	2.9	6.0
좌측	3.8	6.0
후면	2.5	4.0
상부	3.9	6.3

### 2.1.2. 헬멧 충격능 검사 (Helmet Impact Management Test)

표준화된 헬멧의 충격 검사 기준은 Snell기준과 NOCSAE가 대표적이다. Snell 기준은 주로 오토바이 등을 포함하는 강한 충돌용 헬멧 검사에 주로 적용되고 NOCSAE 기준은 상대적으로 약하지만 반복적인 충격이 가해지는 스포츠 헬멧의 검사에 주로 적용된다. 하지만 현재까지 항공기 승객 헬멧용 표준화된 안전 기준은 없으며 전투기 조종사들이 착용하는 헬멧의 검사법은 Snell 기준(300G 이하)을 적용하고 있다. 연구자들은 Snell의 헬멧 검사 방법 중 헬멧 충격능 검사(Impact management test) 법을 이용하여 신규 제작한 헬멧의 충격 예방 효과를 측정하였다.

Snell 헬멧 낙하 검사는 검사하고자하는 헬멧을 모형 머리 모양에 씌우고 일정한 높이에서 자유 낙하 시켜 아래에 고정되어 있는 모루(anvil)에 떨어뜨리는 검사 방법이다. 이때 충격 검사를 원하는 부위를 가장 아래로 향하게 위치시킨 후 줄에 매달려 있는 머리 모형을 낙하시킨다. 이때 모형 머리 모양에 전달되는 충격 순간 가속도는 컴퓨터에 연결되어 있는 센서로 자동 기록되며 시간에 따른 가속도의 변화를 그래프로 그려준다.

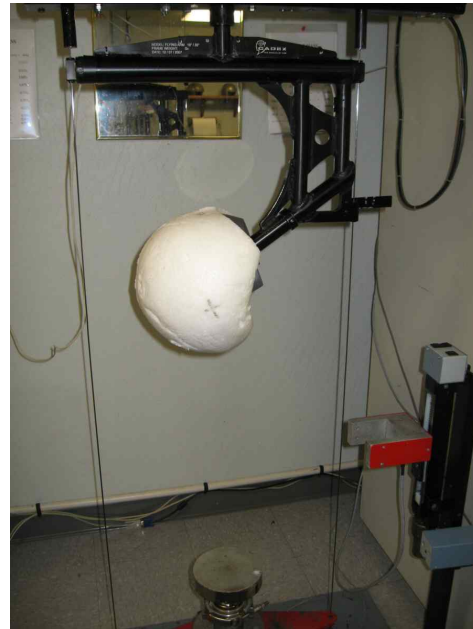


Fig 2. Snell 헬멧 낙하 실험 장면

연구자들은 신규 제작한 두 개의 헬멧을 Snell사로 보내서 헬멧 낙하 실험을 의뢰하였다. Fig 2.는 신규 제작한 실리콘 헬멧을 Snell사에서 직접 검사하는 모습을 보여주고 있다.

실험은 Snell 표준 중 B-90A 평가로 진행되었으며, 사용된 headform 은 ISO J 였다. 22.2℃의 온도 30%의 습도 하에서 이루어 졌으며, 각 부위별 두 번씩 낙하시켜 총 10회 낙하하였다. 헬멧을 착용 시킨 두부 모형의 무게는 5.055kg 이었다. 높이는 0.2 m부터 시작하여 3.0m 까지 변화시켰으며, 각 부위별 두께에 따라 Snell 헬멧 검사 기준인 가속도가 300G 를 초과하지 않는 최대 높이에서 진행하였다. 실험 동안 편평 모루(flat anvil)을 이용하였으며, 표준 검사에 속하는 자세 안정 검사(positional stability test), dynamic test of retention system, chin bar test, 그리고 외피 관통 실험(shell penetration test) 등은 시행하지 않았다.

## 2.2 결과

### 2.2.1. 얇은 헬멧 (Thin Helmet)

얇은 헬멧을 가지고 실험한 결과는 Table 2.에 요약되어 있다.

Table 2. 얇은 헬멧의 낙하높이 및 최대가속도

구분	부위	낙하 높이 (m)	두께 (cm)	최대 가속도 G's
1	전면	0.3	2.6	167
2	전면	0.4	2.6	259
3	우측	0.5	2.9	116
4	우측	1.0	2.9	322
5	좌측	1.0	3.8	362
6	좌측	1.0	3.8	401
7	후면	1.0	2.5	379
8	후면	1.0	2.5	425
9	상부	1.0	3.9	242
10	상부	1.0	3.9	262

얇은 헬멧의 두께는 최소 2.5cm에서 최대 3.9cm였고 각 두께별 최대가속도는 116G에서 425G까지로 나타났다. 낙하 높이는 두께별 최대 가속도를 고려하여 0.3m에서 1.0m 까지 변화를 주었다.

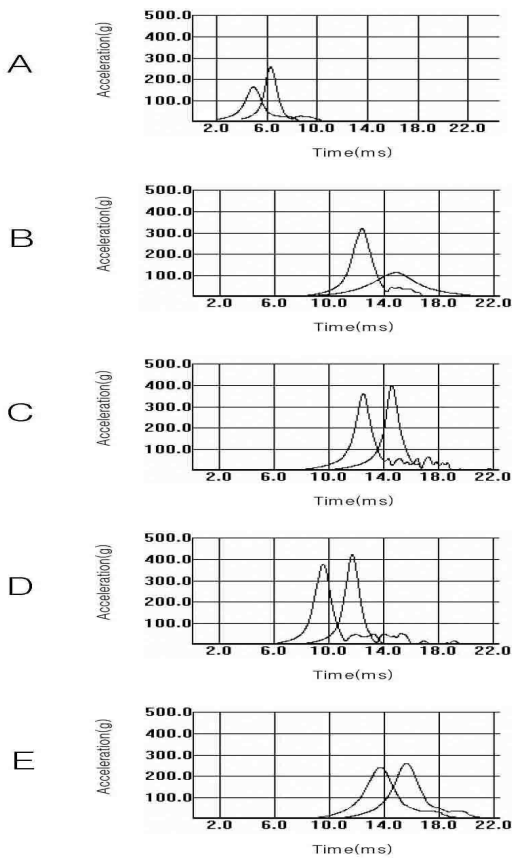


Fig 3. 얇은 헬멧의 충격실험결과, A(전면), B(우측), C(좌측), D(후면), E(상부)

Fig 3.는 헬멧이 모루에 충돌 시 헬멧 안의 두부 모형에 전해지는 가속도의 변화를 시간의 흐름에 따라 보여 주고 있다. 각 위치마다 2회의 낙하 실험을 진행하였다.

2.2.2. 두꺼운 헬멧 (Thick Helmet)

두꺼운 헬멧을 가지고 실험한 결과는 Table 3.에 요약되어 있다. 두꺼운 헬멧의 두께는 최소 4.0cm 에서 최대 6.3cm 였고 각 두께별 최대 가속도는 237G 에서 431G까지로 나타났다.

Table 3. 두꺼운 헬멧의 낙하높이/최대 가속도

구분	부위	낙하 높이 (m)	두께 (cm)	최대 가속도 G's
1	전면	1.5	5.5	290
2	전면	1.5	5.5	340
3	우측	1.5	6.0	237
4	우측	1.5	6.0	291
5	좌측	1.5	6.0	308
6	좌측	1.5	6.0	351
7	후면	1.5	4.0	375
8	후면	1.5	4.0	366
9	상부	2.2	6.3	265
10	상부	3.0	6.3	431

낙하 높이는 두께별 최대 가속도를 고려하여 1.5m에서 3.0m 까지 변화를 주었다.

Fig 4. 에서는 헬멧이 모루에 충격 시에 헬멧 안의 두부 모형에 전해지는 가속도의 변화를 시간의 흐름에 따라 보여 주고 있다. 각 부위마다 두 번의 낙하 실험을 진행하였다. 두꺼운 헬멧과 얇은 헬멧 모두 낙하 실험 후 육안적으로 헬멧의 모양을 유지하고 있었다. 두꺼운 외피가 없기 때문에 헬멧이 파손되거나 찢어지지 않았다.

2.3 고찰

항공사에서는 항공기 사고 시 두부 외상을 최소화하기 위한 다각적인 노력을 해오고 있다. 여기에는 항공기 내부 디자인 변경, 안전벨트 사용, 그리고 외부로의 신속한 탈출 등이 있다 (NASA, 1996). Brownson P 등은 변형된 사고손상 최소화 자세(modified crash brace position)로 두부 및 하지의 손상을 줄여 줄 수 있다고 보고 하였지만 이러한 방법 등으로 두부 외상을 감소 시키기에는 한계가 있다(Brownson P, 1998). 헬기 조종사를 대상으로 1957년부터 1960년에 걸쳐 조사한 바에 의하면 헬멧을 사용하지 않은 조종

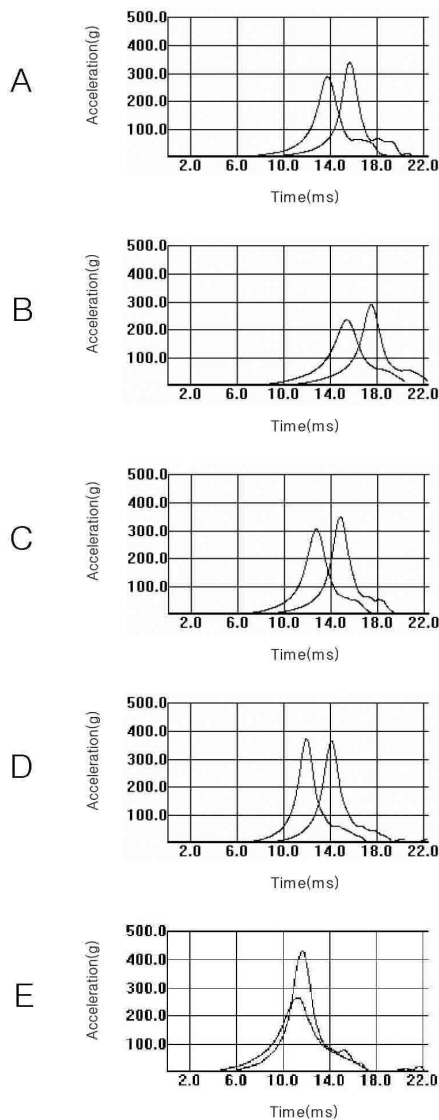


Fig 4. 두꺼운 헬멧의 충격 실험 결과, A(전면), B(우측), C(좌측), D(후면), E(상부)

사가 2.4배 치명적 두부외상을 보인바 있다 (Crowley JS, 1992). 그러므로 승객의 경우에도 응급 상황 시에 헬멧을 착용한다면 사망률을 감소시킬 수 있을 것이다.

항공기 승객용 헬멧 기준은 세계적으로 없으나, 헬멧 제작에 따른 두부 충격 보호능력에 대한 세계적 기준은 Snell 표준을 사용하고 있다. 오토바이의 경우 3m의 높이에서 헬멧을 씌운 두부 모형을 낙하시키는 경우 모형에 전해지는 최

대 가속도가 300G를 넘어서는 안된다. 또한 자전거의 경우는 2.2 미터에서 낙하시켜 최대 가속도가 역시 300G를 넘어서는 안된다(William C. Chilcott, 2005). Snell 오토바이 헬멧 기준을 만족시키기 위해서 헬멧의 한 부위라도 3.0m에서 낙하시 300G를 초과하지 않아야 한다. 그러나 얇은 헬멧의 충격능은 이미 1.0m 미터에서 낙하시 대부분 300G를 초과하였으므로 추가로 3.0m 높이에서 다시 검사하지 않았으며 Snell 기준을 적용하면 오토바이 헬멧 기준에 현저히 미달함을 알 수 있었다.

A McIntosh 등에 의하면 헤드기어의 내피 두께가 두꺼울수록 두부에 전해지는 충격 가속도는 비례적으로 감소함을 보고하였다(A McIntosh, 2004). 얇은 헬멧으로 실험한 Table 2.에서는 두께별로 낙하 높이가 달라 비교하기가 쉽지 않지만 예상과 달리 두께가 두껍다고 최대 가속도가 낮아지지는 않았다. 이는 연구자들이 제작한 실리콘 폼의 밀도가 부분적으로 다른 것에 기인한 것으로 생각된다. 폼의 경한 정도와 두께에 따라 가속도에 영향을 받기 때문이다 (Slobounov, 2006). 실제로 임의로 세 곳에서 측정한 헬멧의 밀도는 0.17 gm/cm<sup>3</sup>, 0.19gm/cm<sup>3</sup>그리고 0.24 gm/cm<sup>3</sup>로 일정하지 못했다. 그러나 Fig 3.에서 우측면을 제외하고 동일한 부위의 첫 번째 충격 흡수 능력은 두 번째 보다 좋았다. 이는 같은 부위에 반복해서 낙하 실험을 하는 경우 이전의 충격에 의하여 실리콘 밀도가 변하면서 초래된 결과이다. 연구자들이 고안한 헬멧은 반복적 사용이 아닌 항공기 응급 상황 시 일회용으로 사용할 목적이므로 두 번째 충격능의 감소는 중요하지 않다.

두꺼운 헬멧으로 실험한 Table 3.에서는 얇은 헬멧 보다 높은 1.5m에서 낙하시 우측 부위만 제외하고 모든 부위에서 300G를 초과하여 3.0m에서의 추가 낙하 실험을 시행하지 않았다. 결국 연구자들이 개발한 실리콘 헬멧의 두께로는 오토바이 헬멧 기준을 충족할 수 없음을 알 수 있었다. 두께가 6.3cm인 헬멧 부위가 유일하게 자전거 헬멧의 안전 기준에 합당한 최대 265G(기준 : 2.2 m에서 낙하시 300G 이하)를 보였다. 그리고 3미터 이상에서 낙하해도 300G를 넘지 않기 위해서는 6.3cm 보다 훨씬 더 두꺼워야 함을 알 수 있다. Fig 4. 에서도 후면을 제외하고 각 부위의 두 번째 충격 실험에서 전달되는 최대가속도가 더 높게 나타났다. 얇은 헬멧에서는 그 양상이 불확실 하였지만 두꺼운 헬멧에서 실리콘 헬멧의 두께를 증가 시킬수록 두부에 전해지는

충격 가속도는 낮게 나타나서 실리콘 헬멧의 두께를 효과적으로 변화 한다면 두부 외상 보호 효과가 있을 것으로 기대된다. 이번 연구에서는 향후 대량 헬멧 제작을 위한 사전 연구로 두 개의 헬멧만 제작하였다. 두께를 달리하면서 총 10곳의 낙하 시험을 하여 낙하 높이에 따른 두께별 충격 예방능을 다양하게 비교하지 못하였다. 이러한 평가를 위해서는 더 많은 수의 헬멧을 제작하여 더 많은 두께와 높이에 따른 변수를 줌으로써 더욱 정교한 자료를 얻을 수 있을 것이다.

이 연구를 통하여 항공기 승객을 위한 헬멧 제작의 필요성을 처음으로 제기하였는데 치명적 사고의 80%가 두부외상과 관련 있다는 사실을 고려한다면 승객들에게 헬멧은 도움이 될 것이다. 헬멧 제작에 사용된 재질이 충격 흡수능과 함께 무게, 부피 등이 적고 휴대가 간편하며 화재에 타지 않는 등의 성질을 가진 실리콘 재료를 사용한 점도 의의가 있다. 하지만 실리콘이 고가이기 때문에 상용화하기 위해서는 비슷한 성능의 더욱 저렴한 신소재를 개발할 필요도 있겠다.

### 3. 결 론

실리콘 재료를 사용하여 처음으로 외피 없는 헬멧을 제작하였다. 얇은 헬멧의 경우 기술적인 문제로 헬멧 내부의 밀도가 고르지 않았고, 충격에 대한 흡수 능력도 충분하지 않았다. 두꺼운 헬멧의 경우에도 충격 흡수 능력이 만족스럽지는 않았지만, 일부분에서는 자전거 헬멧과 유사한 정도의 충격 흡수 능력을 보였다. 따라서 다음 연구에서 좀 더 폼의 특성과 두께를 조절하여 충격 흡수 능력을 개선한다면 실용적인 헬멧의 개발도 가능하리라 생각한다.

항공기 사고는 생존 가능성이 낮다는 일반적인 상식에 반하여 실제로 생존 가능성이 매우 높다. 그럼에도 불구하고 생존 가능성을 올리려는 노력은 한계를 보이고 있다. 자전거 사고와 관련된 연구이지만 헬멧을 사용하면 85% 두부 외상을 줄일 수 있고 대뇌 손상은 88%까지 줄일 수 있다는 보고도 있다(Rivera FP, 1997). 이 연구에서 제안한 응급 시 승객용 헬멧의 사용은 대형화 일반화 되어가는 항공 운송 사업의 안전에 커다란 변화를 주고 두부 외상을 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

[1] Carol J. Mody, "Survivability of Accidents Involving Part 121 U.S. Air Carrier Operations,

1983 Through 2000", National Transportation Safety Board (NTSB), NTSB Safety Report NTSB/SR-01/01, 2001, p. 1.

[2] Crowley JS, Licina JR, Bruckart JE. "Flight helmets: how they work and why you should wear one." J Air Med Transp, 1992, p. 1.

[3] Snyder RG. "General Aviation Crash Survivability". Warrendale: Society of Automotive Engineers, Tech paper series #7800, 1978, p. 3-12

[4] Guohua L, Susan PB. "Injury Patterns in Aviation-related Fatalities. Implications for Preventive Strategies." Am J Forensic Med Pathol, 1997, p. 265-270.

[5] Herman De Croo, "Increasing The Survival Rate in Aircraft Accidents," European Transport Safety Council, 1996, p. 9.

[6] J. M. Rayne, K. R. Masren, "Factors in Design of Protective Helmet", Aerospace Medicine, 1969, p. 631-637.

[7] Shanahan DF. "Basilar skull fracture in U.S. Army aircraft accidents", Aviat Space Environ Med, 1983, p. 628-631.

[8] National Aeronautics and Space Administration. "Human Survival in Aircraft Emergency". NASA CR-1262, 1996, p. 12-13.

[9] Brownson P, Wallace WA, Anton DJ, "A Modified crash brace position for aircraft passengers," Aviat Space Environ Med, 1998, p. 975-978.

[10] Crowley JS, Licina JR, Bruckart JE, "Flight helmets: how they work and why you should wear one," J Air Med Transp, 1992, p. 19-23.

[11] William C. Chilcott, "2005 Standard for Protective Headgear," Snell Memorial Foundation, 2005, p. 28.

[12]. A McIntosh, P McCrory, C F Finch, "Performance enhanced headgear: a scientific approach to the development of protective headgear," Br J Sports Med, 2004, p. 46-49.

[13] Slovounov, Semyon, "Foundation of Sport-Related Brain Injuries," 1st ed, Springer, 2006, p. 402.

[14] Rivera FP, Grossman DC, Cummings P, "Injury Prevention: First of Two Parts," N Engl J Med, 1997, p. 543-8.