

## 技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 41(9), 740-746(2013)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.9.740

## 추락과정에서의 인체 허용한도 중요성 연구

황정선\*, 이상목

## A Study on the Emphasis of Human Tolerance in the Crash Event

Jungsun Hwang\* and Sangmok Lee

Rotary Wing Systems Division, Agency for Defense Development

## ABSTRACT

Design with crashworthiness concept has been emphasized for almost aircraft and motor vehicles. However, crashes accompanied serious injury and death have been continuously occurred, and will be occurred subsequently. What was worse, it is a well-known fact that there were a good many crashes classified as survivable accidents in which fatal injuries were reported. But we cannot say that fatal injuries were inevitable consequences of those crashes. If crashworthy design for seat, restraint systems, and cabin strength were adequate or right, survivability in a crash event could be maximized greatly. To substantiate the right crashworthiness, we must thoroughly understand the characteristics of human tolerance under abrupt acceleration change, and the cabin design should be combined with proper use of energy absorbing technologies that reduce accelerations experienced by the occupants. In this paper, the emphasis on the human tolerance under abrupt accelerations as well as the necessity of change in design requirements for crash environment will be stressed to widen the belt of consensus for the right crashworthy design.

## 초 록

항공기, 자동차를 포함하는 모든 수송수단 설계에 있어서 내추락성 설계가 강조되고 있으나, 심각한 부상 또는 사망으로 이어지는 사고는 지속적으로 발생해 왔고, 앞으로도 발생할 것이다. 심지어 생존 가능으로 분류되는 사고에서조차도 상당한 수준의 인명사고가 있어 왔음은 주지의 사실이다. 그러나 이러한 사고들이 반드시 불가피하다고만 할 수는 없다. 만약 좌석, 구속장치, 탑승공간 강도조건 등 탑승자 보호계통이 적절히 또는 바르게 설계된다면 추락상황에서의 생존성은 획기적으로 증대될 수 있다. 이를 위해서는 급격한 가속도 변화환경에서의 인체 허용한도 특성을 충분히 이해해야 하며, 이를 바탕으로 인체 허용한도 제한치 이내에서 하중조건이 유지되도록 탑승공간을 설계하여야 한다. 본 논문에서는 급격한 가속도 변화환경에서의 인체 허용한도의 중요성과 예측되는 추락환경 변화에 따른 설계요구도 변화 필요성을 강조함으로써 내추락성 설계에 대한 공감대를 넓히고자 한다.

**Key Words** : Crashworthiness(내추락성), Human Tolerance Limit(인체 허용한도 제한치), Survivable Accident(생존 가능 사고), Eiband Curve(인체 허용한도 곡선), Sea State(해면 등급), Water Impact(수면 충돌)

† Received: May 6, 2013 Accepted: August 22, 2013

\* Corresponding author, E-mail : jshwang@add.re.kr

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

## I. 서 론

항공기, 자동차 추락 및 충돌사고는 이를 막으려는 수많은 노력에도 불구하고 계속적으로 발생할 것이다. 그러나 과거 헬기 추락사고에서 발생했던 심각한 부상이나 사망사례들이 불가피했던 것만은 아니다. 모든 항공기 추락사고의 약 85%에서는 탑승자들의 심각한 부상 없이 잠재적으로 생존 가능(potentially survivable)했던 것으로 평가되었는데[1], 이는 분석대상인 추락사고의 85%가 다음의 두 기본범주에 들었기 때문이다. 첫째는 추락과정에서 확인된 하중결과가 급격한 가속도 변화환경에서의 인체 허용한도 제한치(human tolerance limit) 이내에 있었다는 것이며, 둘째로는 탑승자와 인접한 구조요소들이 추락과정에서 요구되는 생존공간을 제공하면서 그 기능을 유지했다는 것이다[2]. 달리 말하면 일반적인 견해와는 달리 대부분의 항공기 추락사고는 엄밀한 의미에서 “사고”가 아니었다는 것이다[1]. 여기서 “생존 가능한 사고(survivable accident)”는 좌석 및 구속장치를 통해 탑승자에게 전달되는 하중이 급격한 가속도 변화상황에서 인체 허용한도를 초과하지 않거나 추락과정에서 탑승자에게 필요한 생존공간을 제공할 수 있도록 탑승자 주변의 구조요소가 제 기능을 유지한 것으로 평가된 사고 즉, 이론적으로는 심각한 부상 또는 사망사고 발생이 예상되지 않는 사고조건을 말한다[2].

그럼에도 불구하고 많은 사망 및 심각한 부상 사례가 사고조사 전문가들이 생존 가능 사고로 분류한 사고에서 발생하였다. 이는 탑승공간 강도, 좌석, 구속장치 등 항공기가 보유한 탑승자 보호체계가 부적절하게 설계되었기 때문이다. 이렇게 된 근본원인을 추락사고에서의 생존성(survivability) 정의로부터 찾을 수 있는데, 이러한 생존성 정의가 항공기 및 충돌관련 인자들(impact related factors)만을 근거로 했을 뿐 탑승자에게 나타나는 현상에 대한 세밀한 분석을 등한시했다는 것이다. 이와 같이 생존성을 거론하면서 정작 중요한 탑승자의 인체 반응을 소홀히 다루므로 인해 탑승자 보호체계 설계과정에서의 부적절성이 유발되었다는 것이다[1].

또한 생존성을 결정짓는 두 개의 중요한 요소 즉, 탑승자를 향하는 하중전달체계와 추락과정에서 유지되어야 할 구조건전성의 수준이 대부분 항공기 설계단계에서 결정된다는 사실을 기억할 필요가 있다. 추락과정에서 어떤 수준으로 탑승자를 보호할 것인가를 결정하는 과정은 설계단계에서의 일련의 “절충(trade-off)” 과정으로 설명될

수 있다. 내추락성(crashworthiness)을 향상시키기 위해 최신 보호체계를 도입하게 되면 최종설계 기준으로 비용 및 성능이 공히 증가하게 되며, 따라서 체계 관점에서의 여유(margin) 뿐만 아니라 항공기 성능 측면에서도 손해를 보게 된다. “절충”과정의 목표는 예상되는 추락환경에서 비용 혹은 성능 측면에서도 큰 손실 없이 올바른 수준의 보호체계를 확보하는 것이다. 여기서 “올바른(right)” 절충을 이끌어내는 문제는 설계단계에서 뿐만 아니라 전체 수명주기 동안 자주 논란 거리를 제공한다. 절충과정을 마무리하면서 저지르는 대표적인 실수로는 의사결정권자의 인체 허용한도 및 탑승자 보호체계에 대한 이해 부족뿐만 아니라 추락환경에 대한 부적절한 판단을 들 수 있다.

내추락성을 결정하는 또 다른 인자로는 정부 설계요구도가 있다. 이 요구도는 기술적인 요소 보다는 정책적이고 경제적인 요인이 더 많이 작용된 상당한 타협의 결과이다. 즉, 연방 설계기준 또는 미 국방부 설계기준이 최소 요구도일뿐 탑승자 보호를 위한 최신기술을 반영하지는 않았다는 주장을 반박할 충분한 근거를 갖지 못했다는 것이다[1].

내추락성과 관련되는 현안들을 충분히 이해하기 위해서는 특정한 항공기가 겪게 될 추락환경에 대한 명확한 이해뿐만 아니라 가속도 변화에 대한 인체 허용한도 및 탑승자 보호체계 기본원리에 대한 이해가 함께 전제되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 가속도 변화환경에서의 인체 허용한도의 중요성뿐만 아니라 추락환경 변화에 따른 설계요구도 변화 필요성을 강조하기 위해 관련 연구결과들을 체계적으로 정리하고, 나아가서 이를 통해 내추락성 설계에 대한 공감대를 넓히고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1 급격한 가속도 변화환경에서의 인체 허용한도 일반

적절한 내추락성 또는 탑승자 보호체계 설계 기준을 수립하기 위해서는 급격한 가속도 변화환경에서의 인체 허용한도 이해가 필수적이다. 만약 특정한 항공기가 겪게 될 추락환경과 가속도 변화에 따른 인체 허용한도 제한치를 안다면 예측 가능한 추락조건에서 이에 적합한 내추락성 설계요구도를 합리적으로 도출할 수 있다.

일반적으로 가속도 변화에 따른 인체 허용한도는 다음의 다섯 가지 외적(extrinsic) 요인에 의

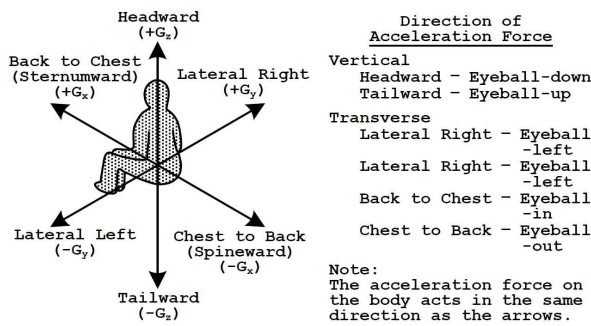


Fig. 1. Human Coordinate System

해 영향을 받으며, 충돌함수(crash pulse) 특성, 그리고 좌석 및 구속장치 설계수준과 연관되어 있다[3]. 적용되는 인체 좌표계와 관련하여, Fig. 1에서는 통상적으로 사용되는 좌석에 앉은 탑승자에 대한 좌표계를 보여주고 있는데, 안구(eyeball) 운동을 통해 적용 가속도에 대한 인체 관성 반응을 이해할 수 있다[2].

- (1) 가속도 크기  
 명백하게도 가속도가 크면 클수록 부상 가능성은 높아진다.
- (2) 가속도 방향  
 인체는 특정한 가속도 방향에 대해 상대적으로 나온 저항력을 보인다. 뒤에서 자세

히 설명되겠지만 1959년 미국 NASA 연구원 Anthony Martin Eiband(1918~2010)가 여러 시험결과들을 정리하여 작성한 인체 허용한도 곡선 즉, Eiband Curves에 따르면[4], 가속도 변화에 대한 인체 저항력이 가장 뛰어난 방향은 전방충돌을 모사한  $+G_x$  방향이다. 또한 가장 취약한 방향은 상방 및 하방충돌을 나타내는  $\pm G_z$  방향이다. 횡방향( $G_y$ )도 마찬가지로 취약한 것으로 나타났으나 Indiana-polis 자동차 경주에서 발생했던 충돌사고를 분석한 연구결과에 따르면 횡방향은 훨씬 덜 취약한 것으로 나타났다[5].

- (3) 가속도 지속시간(Duration)  
 얼마나 길게 가속도 영향을 받는지가 인체 허용한도를 결정짓는 한 요인이다. 일반적으로 동일한 가속도 조건에서 가속도 적용 시간이 짧을수록 인체 허용한도가 증가한다(Fig. 2, 3)[4]. 인체의 가속도 반응은 두 부류 즉, 급격한(abrupt) 가속도 변화와 완만한(sustained) 가속도 변화로 구분하여 설명되는데, 이는 이 두 가속도 변화패턴에 대해 인체 반응이 확연히 다르게 나타나기 때문이다. 대부분의 충돌은 250 milliseconds 또는 1/4초 이내에 발생하

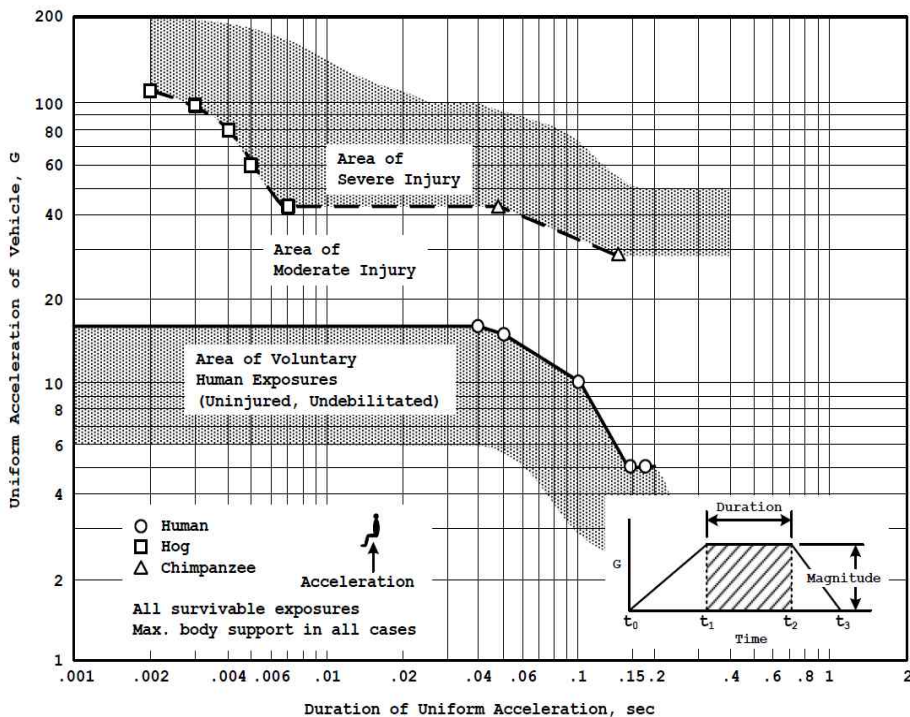


Fig. 2. Duration and magnitude of headward acceleration endured by various subjects (Eiband Curve for  $+G_z$ )[4]. (Reproduced for clarity)

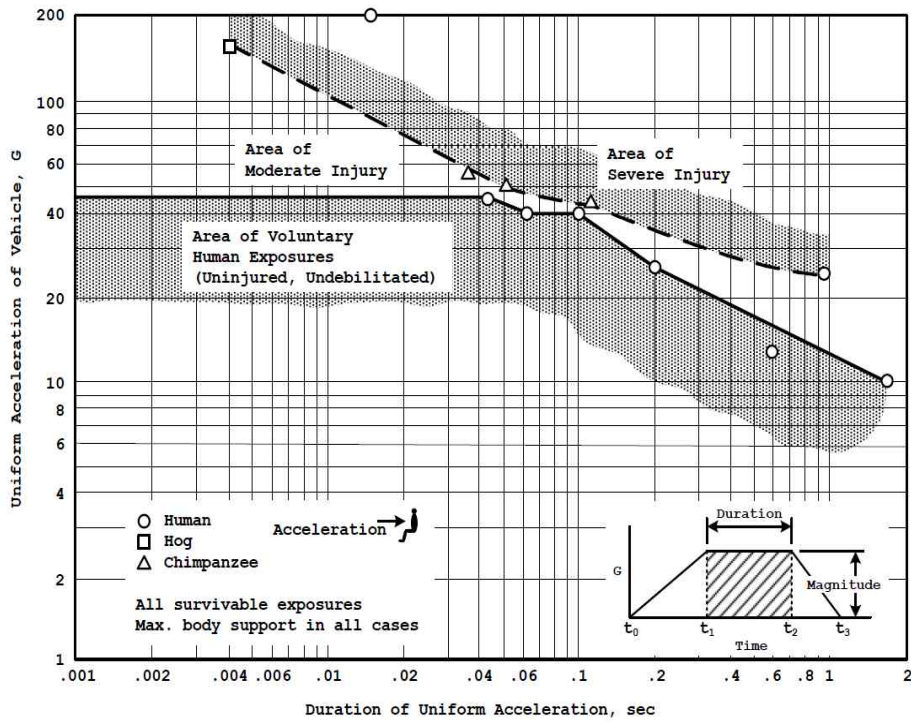


Fig. 3. Duration and magnitude of spineward acceleration endured by various subjects (Eiband Curve for  $-G_x$ )[4]. (Reproduced for clarity)

로 이것이 급격한 가속도 변화의 기준이다. 일반 조종사나 우주비행사가 주로 겪는 완만한 가속도 변화와 비교할 때 인체 조직 및 혈관계통은 매우 다른 반응패턴을 보인다. 예를 들어, 10G 선회 또는 “pull-up” 기동조건에서 조종사는 의식을 잃을 수 있으며, 따라서 추락사고로 연결될 가능성이 높지만 헬리콥터나 자동차 사고에서 겪게 되는 10G의 급격한 가속도 변화는 인체에 별로 큰 영향을 미치지 않는다. 이는 가속도 작용시간이 앞서 설명한 바와 같이 매우 짧기 때문이다.

(4) 가속도 변화율

가속도 변화율은 충돌과정에서 얼마나 빠르게 가속도가 변화하는지를 의미한다. 동일한 가속도 지속시간 조건에서 변화율이 크면 클수록 인체 저항력은 떨어진다.

(5) 위치, 구속장치 및 지지부 조건

상기 인자들은 인체 허용한도를 결정짓는 매우 중요한 요인으로, 탑승자가 좌석 및 구속장치에 의해 얼마나 잘 속박되어 있는지와 추락과정에서 겪게 되는 하중이 인체 표면에 어느 수준으로 분포되는지를 나타낸다. 추락 후 화재(post-crash fire) 상황을 배제한다면 생존 가능한 사고상황에서 생

존성을 떨어뜨릴 수 있는 가장 중요한 요인으로 인식되고 있다.

앞에서 설명했던 외적 요인들 이외에도 탑승자 신체상태와 직결되는 내적(intrinsic) 요인들이 급격한 가속도 변화환경에서의 인체 허용한도에 영향을 미친다. 대표적인 내적 요인들은 다음과 같은데, 외적 요인들과는 무관하게 작용하며, 대부분 생물학적 다양성(biological variability)으로 설명될 수 있다.

- (1) 나이
- (2) 건강상태 (Health of subject)
- (3) 성별
- (4) 신체조건 (Physical conditioning)

2.2 Eiband Curves 고찰

앞서 잠깐 언급된 Eiband Curves는 1959년을 기준으로 그 이전에 수행되었던 인체 및 인체 대용으로서의 동물들 대상의 가속도 시험결과들을 체계적으로 정리한 NASA 보고서[4]에 포함된 주요내용으로, 현재까지도 내추락성 연구분야에 빈번하게 인용되고 있는 매우 중요한 연구성과물이다. 이러한 가속도 시험은 주로 자원자를 대상으로 이루어졌지만 경우에 따라서는 연구책임자가 피시험자로 직접 시험에 참여하기도 하였다. 그 대표적인 인물이 미 공군대령이었던 John P.

Stapp(1920~1999)이다. 그가 추락상황에서의 인체반응 연구를 시작했던 1947년 시점에 항공우주 학계에서는 인간이 사망에 이르지 않고 생존할 수 있는 최대 가속도가 18G라고 알려져 있었는데, 그는 로켓추진 썰매를 이용한 전방(+G<sub>x</sub>) 활주시험에 피시험자로 참여하여 최대값 46.2G를 기록하였으며, 이 기록은 현재까지도 유효하다. Eiband는 Stapp뿐만 아니라 다른 시험결과들을 체계적으로 정리함으로써 이후 수행된 수많은 내추락성 연구에 지대한 기여를 하였다.

Eiband가 작성한 보고서에는 횡방향( $\pm G_y$ )을 제외한 Spineward(+G<sub>x</sub>), Sternumward(-G<sub>x</sub>), Headward(+G<sub>z</sub>) 및 Tailward(-G<sub>z</sub>)(Fig. 1) 연구결과들이 수록되어 있으며, 각 방향에 대한 구속장치 변화, 가속도 변화율(onset rate) 및 최고 가속도 지속시간(duration) 영향성 분석결과가 함께 포함되어 있다.

Figure 2에서는 +G<sub>z</sub> 방향에 대한 Eiband Curve를 보여주고 있는데, 이 방향은 고정익 항공기에서의 사출좌석 작동이나 헬기 수직추락 상황을 모사한다. 이 곡선에서는 세 가지 부상영역을 분류하고 있는데 그 기준은 다음과 같으며, 다른 방향에서도 동일하게 적용된다. 경미한(mode-rate) 부상에는 가벼운 사지(extremities) 부상, 순간적인 의식상실, 탈구(dislocation), 단순 척추골절 등이 포함된다. 심각한(severe) 부상에는 상당한 출혈, 척추부상, 복부 및 흉부부상, 복합골절, 뇌진탕, 장기적인 의식상실 등 생명을 위협하게 하는 부상이 포함된다. 이러한 경미한 또는 심각한 부상범주에 속하지 않는 즉, 상대적으로 가벼운 부상상태를 비손상(uninjured or undebilitated) 범주로 분류하며, 이를 기준으로 인체 허용한도 제한치를 설정한다. +G<sub>z</sub> 방향에서 피시험자가 0.04초 동안 최대 16G까지 뚜렷한 부상 없이 견딜 수 있었는데, 후속 관련연구들을 통해 이 방향에서의 인체 허용한도는 20~25G인 것으로 정리되었다. 동물 시험결과와 관련하여 흥미로운 것은 돼지의 경우 0.002초 동안 최대 110G까지 큰 부상 없이 견뎌냈다는 것이며, 침팬지의 경우는 0.04초 동안 최대 42G까지 견뎌냈다.

Figure 3에서는 -G<sub>x</sub> 방향에 대한 Eiband Curve를 보여주고 있는데, 이 방향은 특히 고정익 항공기뿐만 아니라 다른 수송수단에서 가장 빈번하게 접할 수 있는 전/후방충돌 상황을 모사한다. -G<sub>x</sub> 방향에서 피시험자가 0.044초 동안 최대 45G까지 뚜렷한 부상 없이 견딜 수 있었으므로, 이것이 이 방향에서의 인체 허용한도 제한

Table 1. Human Tolerance Limits

Direction of Accelerative Force		Occupant's Inertial Response	Tolerance Level
Headward	(+G <sub>z</sub> )	Eyeballs Down	20~25G
Tailward	(-G <sub>z</sub> )	Eyeballs Up	15G
Lateral Right	(+G <sub>y</sub> )	Eyeballs Left	20G
Lateral Left	(-G <sub>y</sub> )	Eyeballs Right	20G
Back to Chest	(+G <sub>x</sub> )	Eyeballs Out	45G
Chest to Back	(-G <sub>x</sub> )	Eyeballs In	45G

치로 정해졌다. 또한 가속도 지속시간이 증가하게 되면, 예를 들어 0.1초 동안에는 40G, 0.2초 동안에는 25G로 최대값이 감소하는 것을 알 수 있다.

+G<sub>z</sub>, -G<sub>x</sub> 방향을 포함하여 모든 방향에서의 인체 허용한도 제한치는 Table 1과 같다[2].

### 2.3 경주용 자동차 사고 분석사례

General Motors 주관으로 1993년부터 1998년 사이에 Indianapolis Race Car에 발생했던 사고 사례를 분석했는데[5], 인체 허용한도 관점에서 요약 정리하면 다음과 같다.

262개 데이터가 수집되었으며, 대부분의 경우에 치명적인 부상은 없었던 것으로 나타났다. 여기서는 20G 이상을 기록한 202개 사례를 분석하였으며, 센서는 드라이버 무릎 바로 밑의 바닥에 견고하게 장착함으로써 차대(chassis)에서의 가속도 변화가 측정되게 하였다. 참고로 충돌방향 기준으로 전방, 측방, 후방 각각 13, 143, 46개 자료가 수집되었다.

최대 가속도(peak acceleration) 기준으로 60G를 초과한 사례가 62개였는데, 이중 최대값은 좌측면 충돌조건에서의 127.3G였다. Fig. 4에서는 좌측면 충돌조건에서의 시험결과를 보여주고 있는데, 이때 최대 가속도는 127.0G, 충돌속도는 24.1 m/s이었다. 그림에서와 같은 불균일한 시험결과 특성에 의해 충돌속도, 충돌시간(duration) 등의 분석에 오류가 있을 수 있으므로 생체역학적으로 가장 중요한 구간을 선택하여 평균가속도를 구했다. 평균가속도를 구하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 최대 가속도의 1/2에 해당되는 구간을 선택한다.
- (2) 가속도 영역을 적분하여 구간 충돌속도를 구한다.
- (3) 충돌속도를 해당구간(시간)으로 나누어 평균가속도를 구한다.

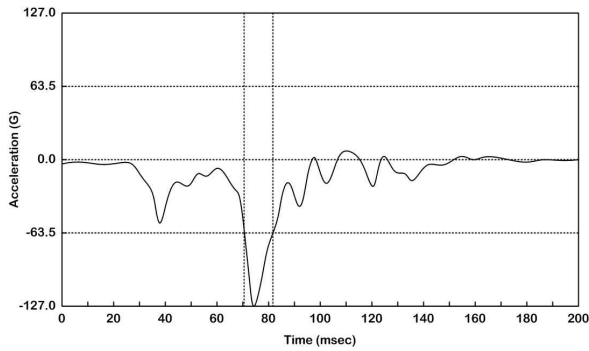


Fig. 4. Determination of Average Acceleration with Half-Peak Velocity Change[5]. (Reproduced for clarity)

평균 가속도 기준으로 60G를 초과한 경우를 보면 전방, 후방, 측방 각각 1, 20, 7개 등 총 28개였다. Table 1에서와 같이 내추락성 설계기준의 인체 허용한도 제한치 최대값이 전/후방 45G이고, 앞서 설명한 대로 Stapp 미 공군대령이 로켓추진 썰매에 의해 기록한 최대값이 46.2G인 점을 감안한다면 인체 허용한도 제한치 설정과 관련하여 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

여기서 주목해야 할 점은 상기 결과들이 차대와 드라이버가 견고하게 결속되어 있다는 전제 하에 획득한 자료라는 것이다. 즉, 하중제한(force-limiting) 안전벨트나 유사 시 의도적으로 찌그러지는 내부구조가 적용되지 않은 결과임을 감안할 때 실제로 인체가 겪게 되는 가속도 변화는 더 클 수 있다는 것이다.

## 2.4 추락환경에 따른 내추락성 요구도 변화 필요성

내추락성 설계개념을 적용한 탑승자 보호계통이 예측되는 모든 운용환경에서 유사 시 탑승자 모두를 보호할 수는 없으므로 설계요구도를 개발하는 과정에 적절한 절충(trade-off)이 이루어져야 한다. 이때 고려해야 하는 여러 인자들이 있으나 추락속도 다음으로 중요하게 인식되는 것이 추락 표면 조건이므로 여기서는 이에 대해 논의하고자 한다.

예측되는 추락표면에는 개활지를 포함하는 야전지형, 수면, 활주로 등이 포함된다. 이러한 지면조건은 다시 토양 압축도(soil compressibility)나 해면 등급(sea state)에 의해 세분화될 수 있다. 여기서 해면 등급이란 풍속 및 파고를 기준으로 특정지역 및 시점에서 수면조건을 정의하기 위한 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization) 규약으로, 주로 파고를 기준으로

0(Calm, glassy)부터 9(Phenomenal, 파고 14m 이상)까지 분류하고 있다. 여기서는 수면충돌(water impact)을 예로 들어 추락환경에 따른 내추락성 요구도 변화 필요성을 설명하려고 한다.

수직방향의 수면충돌 조건에서 에너지 흡수기능을 갖는 고정식 착륙장치는 실제로 내추락성 구현에 별다른 도움을 주지 못한다. 또한 수면충돌 과정에서 직접 접촉하는 기체 하부구조에 순간적인 충격력이 전달되어 동체표면 파열 가능성이 높으며, 따라서 기대했던 기체 하부구조의 에너지 흡수능력도 떨어지게 된다. 이와 같이 추락환경 변화에 따라 기체 하부구조의 거동이 영향을 받게 됨으로써 탑승자 부상 정도를 예측하는 것이 쉽지 않다.

실제 사례에 대한 분석결과는 수면충돌에 의한 효과가 또 다른 나쁜 가능성을 갖는다는 것을 보여주고 있다[6]. 상당한 비율의 추락사고에서 헬기는 전복되거나 가라앉는 것으로 나타났으며, 이렇게 되는 시점도 충돌 직후인 것으로 확인되었다. 탑승자가 탈출하기에 충분한 만큼의 시간 동안 헬기가 직립자세를 유지할 때 생존 기회는 최대가 되며, 헬기가 물위에 떠 있기만 한다면 어느 정도 기온 상태에서도 생존 기회를 보장할 수 있다. 헬기가 물속으로 파고드는(ditching) 자세를 갖는다면 해면 등급이 증가할수록 전복 가능성은 높아진다. 현행 민간용 헬기 인증기준에서는 헬기가 물속을 파고드는 경우의 안정성 기준을 해면 등급 5로 정하고 있다. 해면 등급 5는 파고 2.5~4.0m인 Rough 조건인데, 근해(off-shore) 작업이 이루어지는 대부분의 지역에서는 이 해면 등급 5를 초과하는 기간이 길기 때문에 헬기 전복을 방지하는 수단의 실효성 여부가 탑승자 생존성을 결정짓는 주요 인자가 된다. 즉, 해양 생존성을 고려한 민간용 헬기 인증기준 조차도 수면충돌과 관련해서는 효용성이 떨어진다는 사실이다.

UH-60 헬기 사례에서 볼 수 있듯이 내추락성 설계개념을 본격적으로 도입한 결과, 다른 기종에 비해 생존성이 향상된 것은 사실이나[7], 그 이유가 반드시 내추락성 설계개념 도입 여부에 의한 것만은 아니라는 주장에 주목할 필요가 있다. 특히 지상이 아닌 해상에서 주로 운용되는 헬기나 바퀴를 갖는 고정식 착륙장치가 없는 헬기의 경우에는 내추락 특성에서도 기본적인 차이가 불가피하다. 따라서 새로운 항공기를 개발할 때에는 개념연구 단계에서부터 예상되는 추락과정, 특히 추락표면 특성에 대한 면밀한 연구가 선행되어야 할 것이다.



### III. 결 론

적절한 구속장치가 제공되고 구조요소나 장착물에 의한 충격을 방지할 수 있다면 인체는 상당한 수준의 가속도 변화를 견딜 수 있다. 포괄적인 의미에서의 수송수단(vehicle) 설계자들은 충돌에너지를 적절히 제어하고 탑승자와 인접한 공간을 강화하는 등의 최신 내추락성 설계를 통해 생존 가능한 영역을 확장시켜 왔다. 내추락성 설계에 의해 생존률을 향상시킨 예는 이러한 개념이 최초로 본격적으로 도입된 UH-60 Black Hawk 및 AH-64 Apache 개발 및 사고사례 분석에서 찾을 수 있다. 이러한 내추락성 개념이 Indianapolis 및 NASCAR 경주용 자동차 설계에 적용되어 앞서 제시되었던 헬기 분석결과를 훨씬 능가하는 인체 허용한도 능력을 보여주었다.

헬기 개발을 위한 내추락성 설계기술의 상당부분이 자동차 설계에 이미 적용되고 있으며, 이에 비해 수준은 좀 떨어지지만 민간용 항공기에도 내추락성 기술이 적용되고 있다. 그러나 모든 수송수단을 보다 안전하게, 그리고 추락상황에서 생존성을 향상시킬 수 있는 여지는 여전히 남아 있다. 문제는 일반 대중, 생산자, 정부 관계자 또는 정책 입안자 공히 이 분야에 대한 인식이 미흡하다는 것이다. 단순히 안전을 위한 투자라는 인식을 벗어나 인명 보호를 위한 투자라는 인식 전환이 필요하다고 생각한다. 자동차나 항공기 안전분야에서의 개선 가능성은 무한하다고 생각하며, 이를 위해서는 무엇보다도 교육을 통한 인식 전환 그리고 공공의 이해를 증진시키기 위한 노력들이 수반되어야 할 것이다.

### References

- 1) Shanahan D.F., "Human Tolerance and Crash Survivability," RTO HFM Lecture Series on "Pathological Aspects and Associated Biodynamics in Aircraft Accident Investigation," Madrid, Spain, Oct. 2004.
- 2) USAAVSCOM TR 89-D-22, "Aircraft Crash Survival Design Guide," Volumes 1-5, Dec. 1989.
- 3) Shanahan D.F., "Basic Principles of Helicopter Crashworthiness", Report No. 93-15, Fort Rucker, Alabama : U.S. Army Aeromedical Research Laboratory, 1993.
- 4) Eiband, A.M., "Human Tolerance to Rapidly Applied Accelerations : A Summary of the Literature," *NASA Memorandum*, Memo 5-19-59E, June 1959.
- 5) Melvin, J.W., Baron, K.J., Little, W.C., Gideon, T.W., and Pierce, J., "Biomechanical Analysis of Indy Race Car Crashes," *42<sup>nd</sup> Stapp Car Crash Conference*, Tempe, Arizona, Nov. 1998.
- 6) Coleshaw SRK, "Surviving a Helicopter Crash in Water - The Way Forward?," *Journal of Ocean Technology*, Vol.5, No.4, 2010.
- 7) JSSG-2010-7, "Crew Systems: Crash Protection Handbook," U.S. Department of Defense, Oct. 1998.