

헬기 낙하 충격시 헬기 승무원의 거동해석과 구속 안전장치의 설계 Helicopter's Crew Analysis with Multi Point Restraint System for Crashworthiness under Drop Impact

*이중현¹, #이영신¹

*J. H. Lee¹, #Y. S. Lee(leeyes@cnu.ac.kr)¹

¹충남대학교 기계설계공학과

Key words : Drop Impact Analysis, Crashworthiness, Crew Seat, Restraint System

1. 서론

군용 고정익 항공기에는 승무원의 생존성 증대를 위하여, 탈출 좌석과 탈출순서를 제어하는 제어장치로 구성되는 비상탈출 시스템의 장착이 일반적이다. 반면 헬기의 경우 피탄이나 계통의 고장으로 인한 불시착, 충돌 등의 사고 발생시 탑승자의 생명을 보호 할 수 있는 전용장비가 없는 상태이며 착륙장치, 내 충격 구조설계 및 충격흡수좌석 등이 주로 사용되고 있다. 최근 구조물과 탑승자의 머리가 충돌하여 발생하는 상해를 방지하기 위하여 에어백 시스템이 일부 헬기에 사용되고 있으나 아직 초기단계로, 장착을 위한 공간 제약 등 설계의 어려움이 있으며, 이의 실효성이 검증되지 않은 상태이다.

교통수단으로 사용되는 구조물에서 충돌 내구성 향상을 위해 고려되어야 할 주요항목으로, 첫째 충돌이 발생하는 동안 탑승자의 공간을 유지하는 것이며, 둘째는 탑승자를 계속적으로 좌석에 구속하여 구조물과의 충돌을 예방하고, 마지막으로 탑승자가 받게 되는 충격하중의 크기를 상해발생 이하로 감소시키는 것이다. 항공기 충돌발생 환경과 충돌시 발생하는 하중 및 이에 의한 인체가 받는 영향 등에 관한 정확한 이해는, 불필요하게 발생하는 인체 상해를 방지 또는 최소화하기 위하여 필수적으로 요구되는 사항이다. 과거의 사고에 대한 고찰 및 해석을 통하여 많은 개선이 이루어졌으며, 이러한 결과는 새로운 항공기 설계에 적용되고 있다.[1, 2]

본 연구의 목적은 시뮬레이션 기법을 이용하여 군용 헬기의 조종사 좌석 벨트의 종류에 따른 인체의 영향성을 파악하고, 다자유도 인체모델을 이용하여 상해발생 가능성을 고찰하는 것이다.

2. 군용 헬기좌석 및 인체특성 조건

2.1 좌석 설계 요구조건

군용 헬기좌석의 성능요구조건은 JSSG-2010-7[3]에 명시되어 있으며, 크게 정적하중과 동적하중 시험으로 구분되어 있다. 아래 Fig. 1에 좌석 정적 시험시 요구되는 하중 대 변위관계를 나타내었다. 그림에 표현된 인장 및 압축력은 이상의 하중을 지지할 수 있도록 요구 된다.

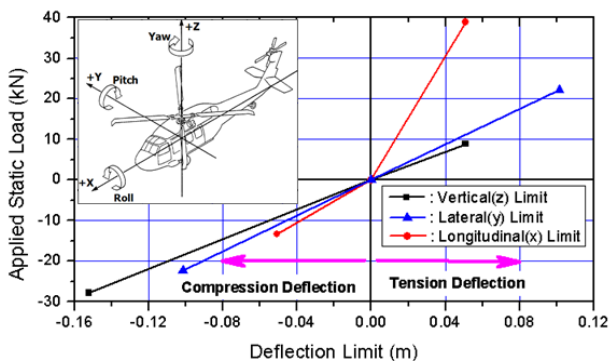


Fig. 1 Cockpit seat design and static load test[3]

Table 1은 동적 시험의 조건을 나타내고 있다. 시험의 종류는

두 가지로 첫 번째 시험(Test 1)은 수직방향에 대해서 가속도가 감소하는지에 대한 검증을 위한 시험이고, 두 번째 시험(Test 2)은 전방 및 측방의 방향에 대하여 가속도가 감소하는지에 대한 검증을 위한 시험이다.[3] 50 %tile 남성 탑승자를 고려하는 경우 인체의 질량은 77.3 kg, 옷 1.4 kg, 헬멧 1.5 kg, 신발 1.9 kg으로 총 질량을 81.1 kg으로 고려한다.

Table 1. Dynamic test parameters for military-wing aircraft (MIL-S-58095)[3]

Test	Configuration	Parameter	limits
1		t1 sec	0.043
		t2 sec	0.061
		G Min.	46
		G Max.	51
2		t1 sec	0.066
		t2 sec	0.100
		G Min.	28
		G Max.	33

2.2 인체 상해기준

2.2.1 두부 상해기준(Head Injury Criterion, HIC)

두부상해기준의 크기는 미연방 자동차 안전규격을 적용하였으며, 이때 고려한 두부 상해기준은 15 ms 보다 짧은 두 시간($t_1 < t_2$)사이 머리의 무게중심에 발생하는 가속도의 적분 값으로, 식 (1)과 같이 표현되며 5%tile 여성의 경우 1113, 50%tile 남성인 경우 1000, 95%tile 남성의 경우 957보다 작은 값을 요구한다.

$$HIC_{15} = \max \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

2.2.2 목 상해기준(Neck Injury Limit Value, NILV)

구속되어 있는 더미인체를 대상으로 IARV(Injury Assessment Reference Values)가 연구되었으며[3], 목에 작용하는 하중의 한계치가 시간이력 하중크기로 정의되어있다. 축 방향 압축력의 경우 1.1 kN 이하의 하중에서는 오랜 시간 받아도 중대한 손상이 발생하지 않는 것으로 표현되어있다. 4.0 kN에서 1.1 kN까지 0.03 초 사이에 직선적으로 변하고 있으며 직선의 아래에 해당하는 크기의 하중을 받게 되는 경우는 중대한 손상이 발생하지 않는 것을 의미한다.

2.2.3 척추 작용하중 한계(Lumbar Load Criterion, LLC)

골반과 Lumbar 사이의 압축력에 관하여 FAA(Federal Aviation Administration)가 규정을 하고 있으며 이들의 크기는 탑승자의 크기에 따라 5 %tile 여성의 경우 5.7 kN, 50 %tile 남성인 경우 9.2 kN, 95 %tile 남성의 경우 11.3 kN보다 작은 값을 요구한다.[3]

3. 헬기용 좌석 및 탑승자 모델링

3.1 헬기용 좌석의 모델링

본 연구에서는 Fig. 1에 도시되어 있는 스프링 상수를 3축의 에너지 흡수를 위한 초기 값으로 이용하였다. 또한 모델링된 좌석은 등받이, 좌석 바닥 및 헤드 레스트의 쿠션을 고려하여 6절점 강체 모델로 구성하였다.

3.2 탑승자 및 구속장치 모델링

좌석의 탑승자는 상용프로그램인 ADAMS/LifeMOD[9]를 이용하여 LifeMOD의 기본 체질인 19개로 구성되어 있으나 목 부위의 거동을 세부적으로 관찰하기 위하여 하나의 목뼈로 구성되어 있는 모델을 수정하여 7개의 목뼈 체질로 변형하여 인체를 Fig. 3과 같이 총 25개의 체질과 24 절점으로 구성하였다.

시뮬레이션은 50 %tile 성인(175 cm, 77.3 kg) hybrid III에 헬멧의 질량을 머리부분에 집중질량으로 추가하였으며, 기본 근력을 이용하여 인체더미를 구성하였다.

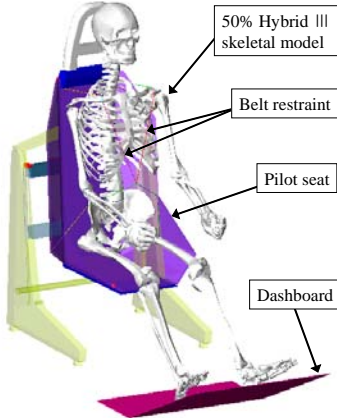


Fig. 2 Analytical model with seat, human body and restraint system

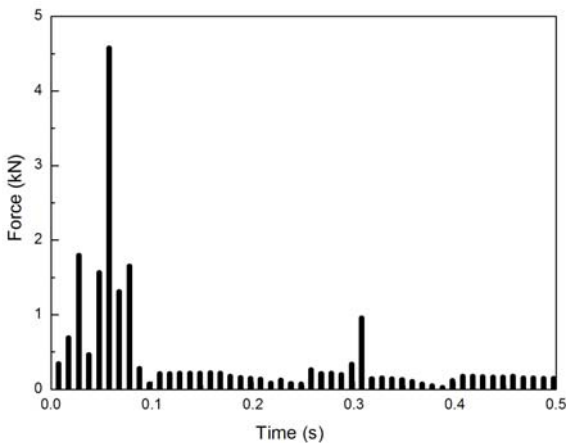


Fig. 3 Joint force of the cervical vertebra 7 on the test 1

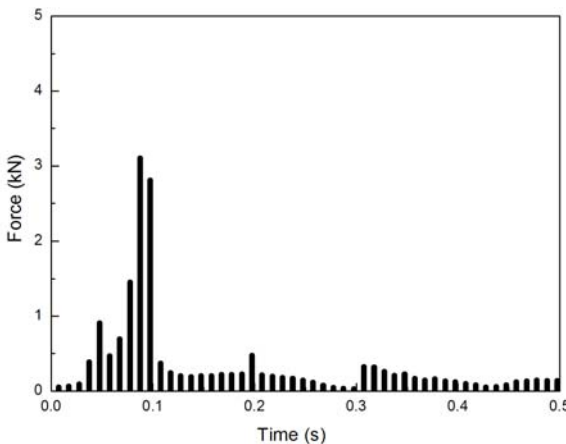


Fig. 4 Joint force of the cervical vertebra 7 on the test 2

4. 연구결과

본 연구에서 살펴본 목 상해기준에 대한 상해치를 검토해 보면, 수직방향 가속도에 대한 시험인 Test 1의 경우 목의 전단하중은 0.057 초에서 최대 4.57 kN 이 작용하고, 0.078 초에 1.65 kN 으로 줄면서 0.087 초에 약 0.27 kN 으로 하중이 유지되는

것을 볼 수 있다. 또한 전방 및 측방 가속도에 대한 시험인 Test 2의 경우 목의 전단하중은 0.086 초에서 최대 3.09 kN 이 작용하고, 0.097 초에 2.81 kN 으로 줄면서 0.107 초에 약 0.38 kN 으로 하중이 유지된다.

따라서 목 상해기준(NILV)에 대한 평가는 Test 2 는 손상이 발생하지 않지만, Test 1인 수직방향 가속도에 대해서는 목이 받는 충격력이 전방 및 측방 가속도 보다는 약 1.5배 정도 큰 하중으로 목이 견딜수 있는 전단하중의 한계치를 3.1 kN 으로 봤을때 약 47 % 정도로 초과하는 것을 알 수 있다.

5. 결론

‘헬기 낙하 충격시 헬기 승무원의 거동해석과 구속 안전장치의 설계’의 연구결과는 다음과 같다.

1) 헬기 낙하 충격시 헬기 승무원의 거동을 수치적으로 계산할 수 있는 승무원 해석 모델을 개발하였다.

2) 미국 국방부의 충돌 보호 편람(Crash protection handbook)에 제시된 인체 더미 실험에 따른 목 상해기준과 비교하여 해석의 비교, 검증은 하였다.

3) 개발된 승무원 해석 모델을 근거로 5점 좌석 벨트에 대한 낙하 충격시 충격특성에 대하여 연구하였다.

향후에는 국내에서도 군용헬기뿐만 아니라 민간용헬기의 탑승자 및 조종사들을 위한 안전성 검증 및 보완이 이루어지기를 기대한다. 더불어, 기존의 5점 좌석 벨트시스템 외에도 다양한 형태의 좌석 벨트시스템에서의 인체 거동해석도 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Bolukbasi, A. O. and Laananen, D. H., Lee, K. and Kwon, B. W., "Efficient Modeling Method of Sheet Objects", Proc. ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco, CA, Vol. 1, pp. 437-446, August 2-3, 1992
2. Wittlin, G., "Analysis of Aircraft Dynamic Behavior in a Crash Environment", AIAA-1989-694
3. Edwin, K. E., Fasanella, L. and Boitnott, R., "Occupant Response in a Full-Scale Crash Test of the Sikorsky ACAP Helicopter", NASA/TM-2002-211733
4. Department of Defense Joint Service Specification Guide, "Crew Systems Crash Protection Handbook", Oct. 1998
5. Laananen, D. H., "Aircraft Crash Survival Design Guide", USArmyResearchandTechnologyLaboratoriesReportNo.USAR TL-79-22B,1980
6. Carper, C. H. and Burrows, L. T., "Evolving Crashworthiness Design Criteria", GARD-CP-443 (Energy Absorption of Aircraft Structures as an Aspect of Crashworthiness), May, pp. 301-308, 1988
7. Air Standardization Coordination Committee, "Six-degree of Freedom Impact Evaluation Method", Advisory Publication 61/66A, October, 1993
8. Wu, X., Rakheja, S. and Boileau, P. E., "Study of Human-Seat Interactions for Dynamic Seating Comfort Analysis", SAE Technical Report, 1999-01-1303, March, 1999
9. Lee, Y. S., Lee, K. D. and Lim, H. K., "The Safety Assessment of Wheelchair Occupants in Road Passenger Vehicles in a Frontal Crash: A Computer Simulation", Key Engineering Materials, Vol. 353-358, pp. 2569-2572, 2007
10. Chandler, R. F., "Occupant Crash Protection in Military Air Transport", AGARD-AG-306 (Advisory Group for Aerospace Research & Development), August, pp. 81-90, 1990