

# 회전익항공기 외부 보조연료탱크용 복합재 컨테이너 조류충돌 수치모사 연구

김현기\*, 김성찬  
한국항공우주연구원

## Study on the numerical simulation of bird strike for composite container of external auxiliary fuel tank for rotorcraft

Hyun-Gi Kim\*, Sungchan Kim  
Korea Aerospace Research Institute

**요약** 일반적으로 항공기용 연료탱크는 정상시에는 연료 보관이 주요 기능이지만, 추락과 같은 긴급한 상황에서는 연료탱크의 건전성은 승무원의 생존 가능 여부와 직결된다. 특히, 항공기의 외부 보조 연료탱크가 조류충돌(bird strike)에 의한 파손으로 누유가 발생하게 되면 승무원의 생존성에 큰 위협이 될 수 있다. 이 때문에 항속거리 확장을 위한 보조연료탱크가 항공기 외부에 설치되는 경우에는 조류충돌에 대한 연료탱크의 건전성 입증에 요구된다. 본 연구에서는 외부 보조연료탱크용 복합재 컨테이너의 조류충돌 상황에 대한 영향성 분석을 위해 충돌해석 전용 소프트웨어를 사용하여 수치해석을 수행하였다. 수치모사를 위해 컨테이너 구조물은 쉘 유한요소를 사용하여 유한요소로 모델링하고 유체와 조류는 입자법을 사용하여 모델링 하였다. 수치해석 결과로 조류충돌에 의한 내부 유체의 거동을 살펴보고 구조물의 최대 변형량과 변형률을 계산하였으며 보조연료탱크 장착용 복합재 컨테이너의 최대응력 수준을 파악하여 외부 보조연료탱크 개발 초기 단계에서 조류충돌 영향성을 반영하기 위한 데이터 확보 가능성을 타진하였다.

**Abstract** In urgent situations such as crashes, the integrity of an aircraft's fuel tank is directly related to the survivability of the crew. Thus, an external auxiliary fuel tank should be robust against bird strikes. In this study, a numerical analysis was carried out using impact analysis software to analyze the influence of bird strike on a composite container for an external auxiliary fuel tank. The structure was modeled as a shell element, and the fluid and bird were modeled by the particle method. The behavior of the internal fluid was also examined. The maximum stress, deformation, and strain of the composite container were also calculated.

**Keywords** : Auxiliary Fuel Tank, Bird Strike, Composite Container, FEM(Finite Element Method), SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)

### 1. 서론

항공기 연료탱크의 주요 기능은 연료를 보관하는 것이지만, 추락 등의 긴급 상황에서는 연료탱크의 건전성은 승무원의 생존여부와 직결된다. 이 때문에 연료탱크

건전성 입증에 위해 요구되는 몇 가지 중요 시험들이 있는데, 충돌충격시험(crash impact test), 슬로싱 시험(sloshing test), 내탄시험(gunfire resistance test) 등이 대표적으로 요구되는 시험들이다. 수십년간 국내외에서 연료탱크 건전성 입증에 위한 시도가 있어 왔는데[1-4], 최

본 연구는 산업통상자원부 항공우주부품기술개발사업(헬기 항속거리 확장용 보조연료탱크 시스템 개발)의 지원을 받아 수행되었습니다.

\*Corresponding Author : Hyun-Gi Kim(Korea Aerospace Research institute)

Tel: +82-42-870-3531 email: shotgun1@kari.re.kr

Received May 10, 2017

Revised June 8, 2017

Accepted July 7, 2017

Published July 31, 2017



Table 1. Material data for composite

Title	Units	Value
Young's Modulus 0°, E1	GPa	63
Young's Modulus 90°, E2	GPa	62
In-plane Shear Modulus, G12	GPa	4.5
Poisson's Ratio, ν12	-	0.053
Ult. Tensile Strength 0°, Xt	MPa	800
Ult. Tensile Strength 90°, Yt	MPa	700
Ult. Comp. Strength 0°, Xc	MPa	700
Ult. Comp. Strength 90°, Yc	MPa	111
Ult. In-plane Shear Strength, S	MPa	111
Density	kg/m <sup>3</sup>	1,650

Table 2. Contact Condition in LS-DYNA

Contact	Applied Part
Single Surface	• Composite container • Metal fitting
Node to Surface	• Composite container ↔ Internal fluid • Metal Fitting ↔ internal fluid • Composite container ↔ impact object

### 3. 수치해석 결과

수치해석은 조류충돌이 복합재 컨테이너의 정면과 모서리 부위에서 발생하는 두 가지 상황을 고려하여 수행하였다.

Fig. 4~5는 조류충돌로 발생하는 구조물의 변형과 내부유체 거동을 보여주고 있다. Fig. 4는 조류충돌이 컨테이너 정면에서 발생했을 때의 결과인데, 충격에 의해 복합재 컨테이너 정면부가 찌그러지는 것을 볼 수 있으며, 최대 변형량은 약 63mm@11ms로 계산되었다. 내부유체는 충격에 의해 컨테이너 상부면으로 튀어올라 충격 하중으로 작용하지만, 상부면의 응력은 50MPa 이하로 복합재료 Strength 값과 큰 차이를 보이므로 구조 건전성에는 영향을 주지 않는다. Fig. 5는 조류충돌이 모서리에서 발생하는 경우의 변형 결과이다. 최대 변형량은 80mm@12ms로 계산되었고 정면충돌과 비교하여 최대 변형량이 약 21% 정도 증가하는 것으로 파악되었다.

Fig. 2에 표시된 각 방향별 변형량을 비교한 데이터가 Table 3에 주어지 있다. 모서리 부위에서 조류충돌이 발생하는 경우가 정면충돌 대비 x방향 변형량은 16%, y방향 변형량은 100% 수준으로 증가함을 알 수 있다.

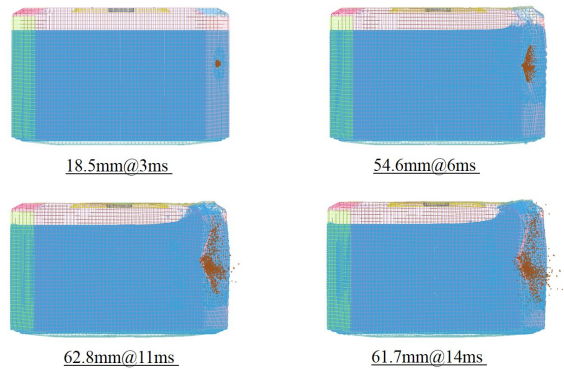


Fig. 4. Deformation of composite container and behavior of internal fluid by bird strike on front area

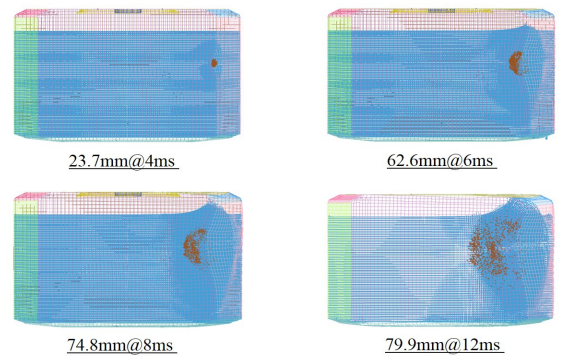


Fig. 5. Deformation of composite container and behavior of internal fluid by bird strike on edge

Table 3. Max. deformation on each axis

		(unit : mm)		
	Direction	x-axis	y-axis	z-axis
Bird strike on Front area	+	22.5	25.2	18.0
	-	59.4	29.7	26.4
Bird strike on edge	+	23.3	37.7	17.1
	-	70.1	60.9	20.3

최대 등가변형률(Max. equivalent strain) 계산 결과는 Fig. 6에 주어지 있다. Fig. 6의 결과에서 최대 등가변형률은 정면충돌의 경우에는 0.477, 모서리 충돌시에는 0.40으로 계산되어 정면충돌했을 때의 변형률이 약 16% 정도 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 구조물의 변형은 모서리 부위 충돌시에 크게 발생하지만, 최대 변형률 결과에서는 정면충돌이 더 크게 나타나는 것으로 파악되었다. 이것은 모서리 부위의 충돌로 발생하는 변형은 강제운동의 영향이 크다는 것을 의미하므로, 조류 충돌이 정면부위에서 발생할 때 더 큰 응력이 발생할 것으로 예측할 수 있다.

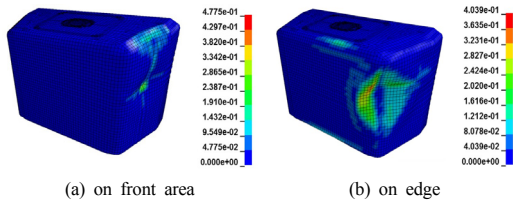


Fig. 6. Max. equivalent strain by bird strike

Fig. 7은 조류충돌이 복합재 컨테이너 정면 부위에서 발생하는 경우, 시간에 따른 응력 계산결과를 나타내고 있다. 최대 면내응력(in-plane stress)은 충돌체가 복합재 컨테이너에 접촉하는 순간에 발생하였고, 이 때의 최대 응력은 649MPa@3ms로 계산되어 Table 1에 주어진 파손강도(800MPa) 대비 0.188의 안전율을 확보하고 있는 것으로 파악된다. Fig. 8은 조류충돌이 컨테이너의 모서리 영역에서 발생하는 경우의 수치해석 결과이다. 최대 면내응력은 514MPa@4ms인데, 앞서 설명한 변형률 계산결과에서 예측된 바와 같이, 조류 충돌이 정면에서 발생하는 경우와 비교하여 응력 수준이 약 20% 정도 낮아지는 것으로 계산되었다.

Fig. 9~10은 최대 등가응력을 살펴본 결과이다. 정면 충돌의 경우에는 최대 등가응력이 705MPa로 계산되었고, 모서리 부위 충돌에 의해서는 최대 등가응력이 607MPa로 계산되어, 면내응력 계산결과와 유사하게 최대 등가응력도 정면충돌의 경우에 약 14% 정도 크게 발생하고 있음을 알 수 있다. 수치해석 결과로부터, 응력 관점에서 조류충돌이 정면에서 발생하는 경우가 구조물에 더 큰 손상을 주는 것으로 파악되었다.

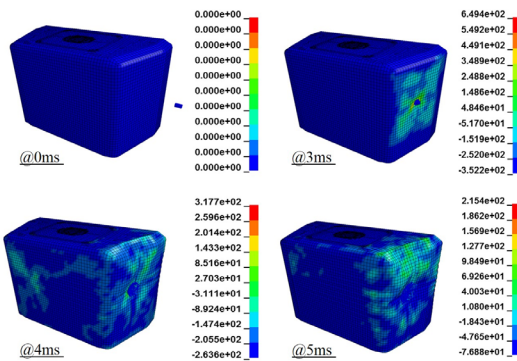


Fig. 7. In-plane stress by bird strike on front area

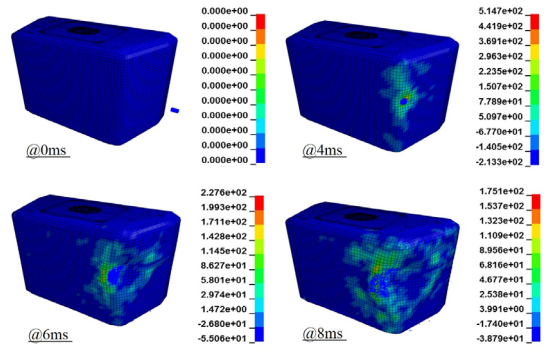


Fig. 8. In-plane stress by bird strike on edge

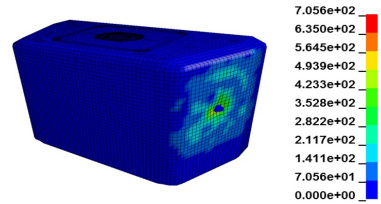


Fig. 9. Max. equivalent stress by bird strike on front area

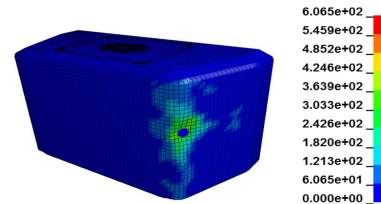


Fig. 10. Max. equivalent stress by bird strike on edge

#### 4. 결론

본 연구에서는 회전익항공기용 외부 보조연료탱크를 보관 및 보호하는 복합재 컨테이너에 대한 조류충돌 수치해석을 수행하였다.

- 1) 수치해석 방법으로 입자법을 기반으로 하는 유체-구조 연성 해석을 적용함.
- 2) 수치해석은 조류충돌이 복합재 컨테이너 정면과 모서리 부위에서 발생하는 경우의 두 가지 상황을 고려함.
- 3) 수치해석 결과를 정리하면,
  - 최대 변형량은 모서리 부위 충돌시에 각 방향별로 정면충돌 대비 16%~100% 까지 크게 발생함.
  - 최대 변형률은 정면충돌하는 경우에 상대적으로 16% 정도 크게 나타남.
  - 응력계산 결과,



- ✓ 조류충돌이 정면부위에서 발생하는 경우는 최대 면내응력은 649MPa, 최대 등가응력은 705MPa로 계산됨.
- ✓ 모서리 충돌시에는 최대 면내응력이 514MPa, 최대 등가응력은 607MPa로 계산되어 조류충돌이 복합재 컨테이너의 정면부위에서 발생할 때 손상이 더 큰 것으로 파악됨.

본 연구의 수치해석은 복합재 컨테이너만을 반영하였기 때문에 조류충돌에 의한 컨테이너의 구조 건전성 파악만이 가능하다. 이 문제를 보완하기 위해 향후에는 컨테이너 내부에 장착되는 연료탱크 및 내부 구성품을 반영하여 현재보다 정밀한 수치 해석 결과를 얻을 수 있도록 개선해 나갈 계획이다.

## References

- [1] Hyun-Gi Kim, Sung Chan Kim, Jong-Won Lee, In-Hee Hwang, Jang Wook Hue, Dong Woo Shin, Pil Sun Jun, Tae Kyung Jung, Byung Kun Ha, "Assessment of crashworthiness performance for fuel tank of rotorcraft", Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, vol. 38, no. 5, pp. 806-812, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2010.38.8.806>
- [2] Mary L. Ugone, John E. Meling, Jack D. Snider, Neal J. Gause, Alice F. Carey, "Acquisition: Fuel Cells of the V-22 Osprey Joint Advanced Vertical Aircraft", D-2003-013, 2002.
- [3] Hyun-Gi Kim, Sung Chan Kim, Jong Won Lee, In Hee Hwang et al., "Slosh & Vibration Qualification Test for Fuel Tank of Rotorcraft", The Korea Institute of Military Science and Technology, vol. 14, no. 1, pp. 62-68, 2011.
- [4] Hyun-Gi Kim, Sung Chan Kim, Jong Won Lee, In Hee Hwang et al., "Assessment of Self-sealing performance of the Fuel Tank of the Rotorcraft against Gunfire Projectiles", The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, vol. 38, no. 5, pp. 477-481, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2010.38.5.477>
- [5] Hyun-Gi Kim, Sung Chan Kim, Jong Won Lee, In Hee Hwang, Kim, Kyung-Soo, "Numerical Simulation of Crash Impact Test for Fuel Tank of Rotorcraft", Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea, vol. 24, no. 5, pp. 521-530, 2011.
- [6] Hyun-Gi Kim, Sung Chan Kim, Jong Won Lee, In Hee Hwang, "A Study on Configuration Optimization for Rotorcraft Fuel Cells Based on Neural Network", Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea, vol. 25, no. 1, pp. 51-56, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.7734/COSEIK.2012.25.1.051>
- [7] Cheng Luo, Hua Liu, Jia-ling Yang, "Simulation and analysis of crashworthiness of fuel tank for helicopters", Chinese journal of aeronautics, vol. 20, no. 3, pp. 230-235, 2007.

DOI: [https://doi.org/10.1016/S1000-9361\(07\)60037-5](https://doi.org/10.1016/S1000-9361(07)60037-5)

- [8] Hyun-Gi Kim, Sung Chan Kim, "Analysis of Crash Load in Crash Impact Test for Fuel Tank of Rotorcraft", Journal of the Korean Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 16, no. 6, pp. 3736-3741, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.3736>

## 김 현 기(Hyun-Gi Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부(학사)
- 2002년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부(석사)
- 2006년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부(박사)
- 2006년 2월 ~ 2007년 12월 : 현대중공업 선임연구원
- 2007년 12월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원

<관심분야>

항공기 구조해석, 구조최적화, 유체-구조 연성해석

## 김 성 찬(Sung chan Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 한국항공대학교 항공기계공학과(학사)
- 1998년 8월 : 한국항공대학교 항공기계공학과(석사)
- 2009년 2월 : 충남대학교 항공우주공학과(박사)
- 1990년 3월 ~ 1994년 12월 : (주) 광림 과장
- 1995년 2월 ~ 2000년 7월 : 대우중공업 선임연구원
- 2000년 9월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 책임연구원

<관심분야>

항공기 구조설계 및 세부계통