

충돌 시뮬레이션을 통한 코딩 교육용 드론의 구조적 안정성 연구

김명일¹, 정대용^{1*}, 김수민², 이진규³, 최문현³, 김호윤¹
¹한국과학기술정보연구원, ²(주)디엔디이, ³(주)코리아드론콥터

A Collision Simulation Study on the Structural Stability for a Programmable Drone

Myung-Il Kim¹, Dae-Yong Jung^{1*}, Su-Min Kim², Jin-Kyu Lee³,
Mun-Hyun Choi³, Ho-Yoon Kim¹

¹Korea Institute of Science and Technology Information

²DNDE, INC.

³KoreaDroneCopter, INC

요약 코딩 교육용 드론은 비행의 기초 원리를 체험하는 것뿐 아니라, 주로 아두이노(Arduino) 기반의 프로그래밍을 통해 드론을 제어하고 조종할 수 있도록 개발된 드론이다. 교육용 드론의 특성상 주 사용자는 드론 조종에 미숙한 학생들이기 때문에 드론과 외부 물체와의 충돌이 빈번하게 발생하여 드론 기체의 손상 비율이 높은 문제점이 있다. 본 연구에서는 교육용 드론 기체에 대한 구조 동역학 기반의 충돌 시뮬레이션 방법을 통해 드론의 구조적 안정성을 평가하였다. 약 240,000개의 4면체 요소를 갖는 해석 모델을 사용하여 0°, +15°, -15°의 충돌 각도에 따른 3가지 케이스에 대해 충돌 시뮬레이션을 수행하였다. 3차원 구조물의 동적 거동 시뮬레이션에 탁월한 기능을 제공하는 ANSYS LS-DYNA를 활용하여 드론이 4 m/s의 속도로 벽에 충돌했을 때 주요 관심 부분인 드론 상·하부, 링 조립체에 발생하는 응력 분포 및 변형률을 분석하였다. 주요 관심 부분의 등가 응력에 따른 안전율은 0.72~2.64, 항복 변형률 기준 안전율은 1.72~26.67의 범위로 도출되었다. 이러한 안전율을 기준으로 재료 물성에 따른 항복 변형률과 종국 변형률을 초과하는 응력이 발생하는 부분에 대한 구조 안정성 확보를 위해 설계 보강이 필요한 부분을 제시한다.

Abstract A programmable drone is a drone developed not only to experience the basic principles of flight but also to control drones through Arduino-based programming. Due to the nature of the training drones, the main users are students who are inexperienced in controlling the drones, which often cause frequent collisions with external objects, resulting in high damage to the drones' frame. In this study, the structural stability of the drone was evaluated by means of a structural dynamics based collision simulation for educational drone frame. Collision simulations were performed on three cases according to the impact angle of 0°, +15° and -15°, using an analytical model with approximately 240,000 tetrahedron elements. Using ANSYS LS-DYNA, which provides excellent functions for the simulation of the dynamic behavior of three-dimensional structures, the stress distribution and strain generated on the drone upper, the drone lower, and the ring assembly were analyzed when the drones collided against the wall at a rate of 4 m/s. Safety factors resulting from the equivalent stress and the yield strain were calculated in the range of 0.72 to 2.64 and 1.72 to 26.67, respectively. To ensure structural stability for areas where stress exceeds yield strain and ultimate strain according to material properties, the design reinforcement is presented.

Keywords : Drone, Collision Simulation, Structural Stability, Equivalent Stress, Strain

본 논문은 2019년 한국과학기술정보연구원(KISTI) 주요사업 과제와 산업통상자원부 과제(엔지니어링SW 기술개발 기반구축 3차년도)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Dae-Yong Jung(Korea Institute of Science and Technology Information)

Tel: +82-42-869-0889 email: daeyongjung@kisti.re.kr

Received March 14, 2019

Revised April 26, 2019

Accepted May 3, 2019

Published May 31, 2019

1. 서론

드론(drone)은 조종사 없이 무선전파의 유도에 의해 비행 및 조종이 가능한 비행기나 헬리콥터 모양의 무인 항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)를 의미한다 [1-4]. 개발 초기에는 표적, 정찰, 감시 등 군사용 목적으로 사용되다가 2010년대를 전후하여 화재, 홍수 등 재난 감시, 농약살포, 물류, 방송 등 다양한 민간 분야로 활용 범위가 확대되고 있다[1-2]. 드론은 구동형태에 따라 블레이드(blade)가 기체에 수평으로 붙어있는 고정익형, 헬리콥터와 같이 로터의 회전을 이용하는 회전익형, 회전 블레이드를 기울일 수 있도록 고정익형과 회전익형을 결합한 혼합형으로 나눌 수 있다. 이중 회전익형에는 블레이드의 개수에 따라 바이콥터(2개), 쿼드콥터(4개), 헥사콥터(6개) 등으로 구분된다. 본 논문에서는 코딩 교육용 드론에 주로 활용되는 쿼드콥터 드론[5-6]을 대상으로 한다.

최근 코딩 교육에 대한 관심이 높아지면서 드론을 활용한 코딩 교육이 활성화 되고 있다. 특히 아두이노(Arduino)[7-8]를 기반으로 하는 코딩 드론이 많이 개발되고 있는데, 아두이노는 오픈 소스를 기반으로 하는 단일 보드 마이크로 컨트롤러로 완성된 보드와 관련 개발 도구 및 환경이다. 즉, 사용자가 코딩한 프로그램이 드론의 제어 및 비행에 적용될 수 있도록 하는 것이다.

코딩 교육용 드론의 주요 사용자는 드론 조종에 익숙한 학생들이기 때문에 드론과 외부 물체와의 충돌이 빈번하게 발생한다. 이는 기체 손상뿐 아니라 사용자의 안전 문제로 이어지기 때문에 드론의 안정성 확보가 필수적이다. 따라서 대부분의 코딩 교육용 드론은 일반 드론과 다르게 블레이드를 감싸는 안전가드가 장착되어 있으며, 기체가 거의 일체형으로 제작되어 있다. 그러나 일체형 드론은 기체의 일부분이 파손되더라도 부분 수리가 불가능해서 드론 전체를 교환해야 하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 코딩 드론의 구조적 안정성을 평가하고 설계 변경이 필요한 부분을 파악하기 위해 구조 동역학 기반의 충돌 시뮬레이션을 수행하였다. 전체 드론 바디에 대한 동역학적 하중을 고려한 충돌 시뮬레이션을 통해 기체 파손이 쉽게 발생할 가능성이 있는 부분을 파악하고 해당 부분의 구조적 보강 및 설계 변경의 필요성을 제시한다. 지금까지 드론 블레이드에 대한 유체역학 시뮬레이션 사례[3-4,9-10]는 다수 존재하지만 드론 기체 풀바디 해석에 대한 사례는 거의 없어 모범 사례(best practice)가 될 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문의 2장

에서는 드론 충돌 시뮬레이션을 위한 모델, 시뮬레이션 조건 및 방법, 시뮬레이션 소프트웨어 및 하드웨어 등을 소개한다. 3장에서는 충돌 각도에 따른 3가지 케이스에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하고, 4장에서는 각 케이스별 등가 응력(Von Mises equivalent stress)과 변형률에 대한 종합분석결과를 기술한다. 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구계획에 대해 기술한다.

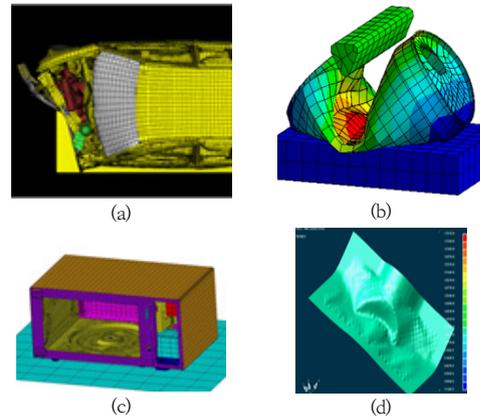


Fig. 1. Simulation examples using LS-DYNA
(a) Car collision (b) Contact and crash
(c) Drop test (d) Molding

2. 시뮬레이션 모델 및 조건

2.1 시뮬레이션 소프트웨어

코딩 교육용 드론의 충돌 시뮬레이션을 위한 소프트웨어(솔버)는 ANSYS & LSTC(Livermore Software Technology Corporation)의 LS-DYNA[11-12]를 활용하였다. LS-DYNA는 3차원 구조물의 비선형 및 동적 거동 시뮬레이션에 탁월한 기능을 제공하며 다양한 종류의 접촉이론과 현실 문제를 모사할 수 있는 소프트웨어이다. LS-DYNA는 전기전자, 자동차, 조선, 가전, 항공 등의 다양한 응용분야에 널리 활용되고 있으며, Fig. 1과 같이 차량 충돌, 접촉, 낙하충격, 성형 시뮬레이션 등에 활용된다. 전처리(pre-processing)는 ANSYS Space Claim을 활용하여 수행되었으며, 후처리(post-processing)는 LS-DYNA 후처리를 활용하였다. 시뮬레이션을 위한 LS-DYNA와 컴퓨팅 장비는 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 서비스하고 있는 CAE(Computer Aided Engineering) 클라우드 플랫폼인 HEMOS-Cloud[13]를 활용하였다.



Fig. 2. Coding training drone E1

2.2 시뮬레이션 모델

충돌 시뮬레이션은 Fig. 2와 같은 K사의 E1 모델을 대상으로 수행되었다. 해당 드론의 제원은 가로 181 mm, 세로 181 mm, 높이 45 mm, 블레이드 길이는 61 mm이다. 시뮬레이션을 위해 비 고려 영역 및 시뮬레이션 결과에 영향을 주지 않는 세부 형상은 단순화하였다. E1 드론은 Fig. 3과 같이 크게 상부, 하부, 링 조립체 및 내부로 구분할 수 있다. 상부는 상단 기체, LED로 구성되며, 하부는 하단 기체로 구성되고, 링 조립체 및 내부는 센서(sensor) 커버, 배터리 커버, 블레이드 LED, 링 등으로 구성된 링 조립체 및 내부로 구분할 수 있다. 또한 드론 충돌시의 등가 응력 값 확인을 위해 임의의 벽을 구성하였다.

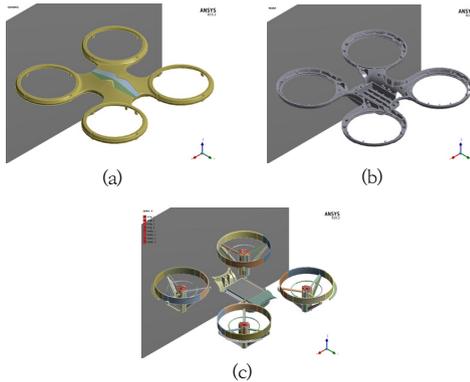


Fig. 3. Three parts of E1 drone
 (a) Upper part (b) Lower part
 (c) Ring assay and internal part

드론 블레이드 및 모터는 점질량(point mass) 방식을 이용하여 질량요소로 표현하였으며, 이때 블레이드는 6.5g, 드론 모터는 5.3g을 적용하였다. 드론의 복잡한 형상을 표현하기 위해 Fig. 4와 같이 약 132,000개의 노드와 약 240,000개의 사면체(tetrahedron) 요소로 구성된 유한요소 모델을 생성하였다. LS-DYNA의 특성상 격자

의 볼륨이 일정한 것이 우선적으로 고려되기 때문에 독립(independent) 옵션을 통해 유한요소 모델의 격자 볼륨이 일정하게 생성되도록 하였다.

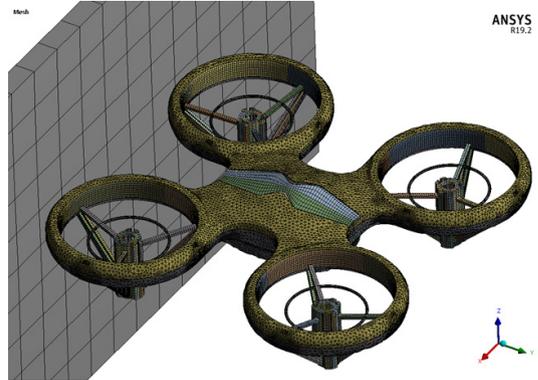


Fig. 4. Finite element model for E1 drone

Table 1. Material properties for E1 drone

Spec.	Upper part	Lower part and ring assembly
Material	ABS J-150	PP GP-35
Elastic modulus	17,500 kgf/cm ² (1,720 MPa)	23,963 kgf/cm ² (2,350 MPa)
Poisson's ratio	0.4	0.35
Density	1.04 g/cm ³	1.1205 g/cm ³
Yield stress	360 kgf/cm ² (35.3 MPa)	458 kgf/cm ² (44.9 MPa)

2.3 시뮬레이션 조건

E1 드론의 모터를 제외한 총 질량은 91g이며, 재료, 탄성계수, 포아송비, 밀도, 항복강도를 포함하는 재료물성은 Table 1과 같다. 드론 하부의 경우, 형상 단순화 과정을 거치면서 부피가 변경되었기 때문에, 질량을 맞추기 위해 밀도 값을 수정하여 사용하였다.

드론의 이동 속도는 일반적인 교육용 드론의 평균 속도인 4 m/s로 설정하였으며, 드론이 벽에 충돌하여 반대 방향으로 진행하는 시점까지 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 교육용 드론의 전진 비행시 후면의 상승각은 약 15° 정도이므로, Fig. 5와 같이 0°, +15°, -15°의 충돌 각도에 따른 3가지 케이스에 대해 충돌 시뮬레이션을 수행하였다. 해석시간은 0.009s이며, 충돌속도는 4 m/s, 자중조건은 9.8066 m/s², 구속조건은 벽 구조물 완전구속, 접촉조건은 접촉된 접촉(bonded contact)을 적용하였다. 링 조립체와 상부 및 하부의 접촉은 접촉된 접촉을

적용하였으며, 상부와 하부 간의 접촉은 Fig. 6과 같이 체결부와 볼트에 의한 영역만을 접촉된 접촉으로 정의하였다. 그 외 나머지 접촉부는 슬라이딩(sliding)과 틈(gap)이 발생 가능한 마찰 없음(frictionless) 조건을 적용하였다.

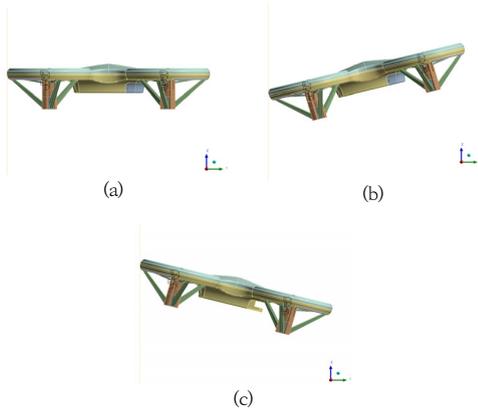


Fig. 5. Three parts of E1 drone
(a) Upper part (b) Lower part
(c) Ring assay and internal part

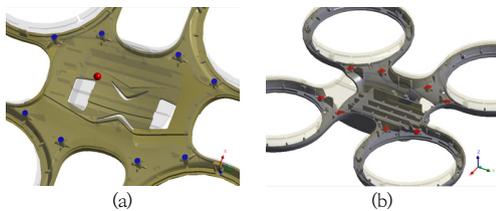


Fig. 5. Contact between upper part and lower part of E1 drone
(a) Upper part (b) Lower part

Table 2. Yield strain and ultimate strain for evaluation

Strain	Upper part	Lower part and ring assembly
Yield strain	3.09%	2.40%
Ultimate strain	15.00%	12.00%

3. 시뮬레이션 결과

3.1 평가 방법

E1 드론의 주요 관심영역은 Fig. 6과 같이 드론 상부

(A), 하부(B), 링 조립체(C)이며, 등가 응력과 변형률(effective plastic strain)을 산출하여 취약부와 파손여부를 판단하는 기준으로 활용한다. 즉, 취약부를 파악하기 위해 등가 응력을 계산하고 이 값이 항복강도를 초과하는지 비교한다. 또한, 본 연구의 시뮬레이션은 소성 영역 물성을 포함하지 않으므로, 접촉 경계 및 불연속부에 대한 파손 여부를 판단하기 위해서는 등가 응력 보다는 변형률을 사용한다. E1 드론에 사용된 재료는 취성이 아닌 연성재료(항복에서 파단까지의 소성영역 5% 이상 거동)이므로 Table 2와 같은 항복 변형률과 종국 변형률(ultimate strain)을 적용한다. 이때 드론의 두 개의 링이 동시에 벽면에 충돌하는 것으로 가정했다.

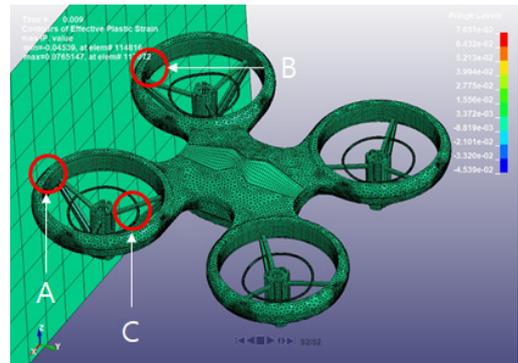


Fig. 6. Area of interest in simulation

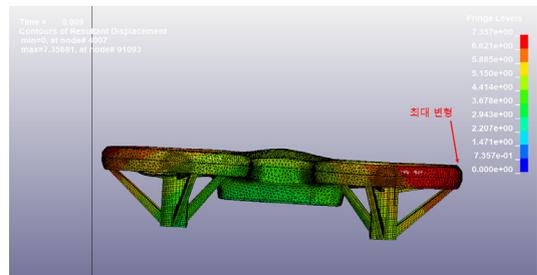


Fig. 7. Resultant displacement of Case 1

3.2 Case1: 수평(0°) 충돌

가상의 벽체에 4 m/s의 속도로 수평 충돌했을 때의 드론의 전체 변위는 Fig. 7과 같다. 이때 최대 변형량과 최종 속도는 각각 7.357 mm와 -1.15 m/s이며, 총 해석 시간은 0.009s이다.

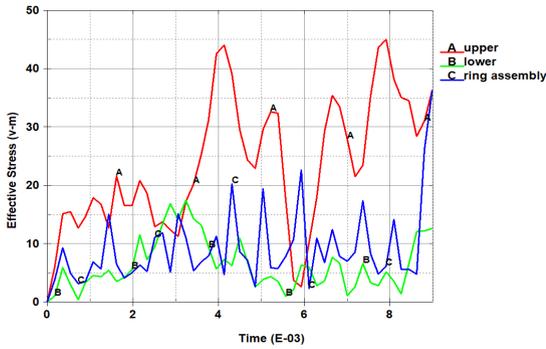


Fig. 8. Equivalent stress of upper, lower and ring assembly for Case1

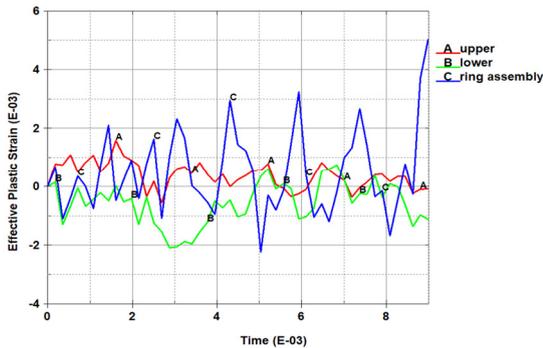


Fig. 9. Effective plastic strain of upper, lower and ring assembly for Case1

Fig. 8과 Fig. 9는 각각 드론 상부, 하부, 링 조립체의 등가 응력 분포와 최대 변형률을 나타낸다. 드론 상부의 충돌부에서의 최대 등가 응력은 45 MPa로 항복강도 (35.3 MPa)를 초과하나, 해당 영역의 최대 변형률 (4.6E-3)은 상대적으로 크지 않은 것으로 분석되었다. 드론 하부의 충돌부에서의 최대 등가 응력은 17 MPa로 항복강도(44.9 MPa)를 초과하지 않으며, 해당 영역의 최대 변형률(-10E-3)은 상부의 변형률보다 비교적 크게 나타났다.

링 조립체의 최대 응력은 36 MPa로 항복강도(44.9)를 초과하지 않으며, 해당 영역의 최대 변형률은 5E-3으로 분석되었다. 특히 Fig. 10과 같은 링 조립체 지지대의 경우, 충격 하중에 의한 굽힘(bending)이 발생하면서 응력이 발생한 것으로 판단된다.

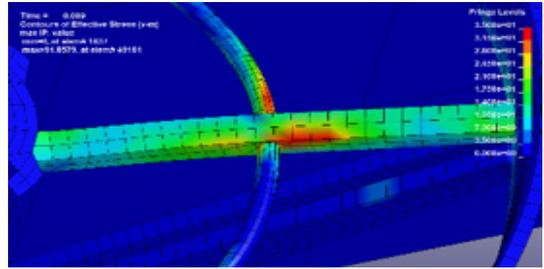


Fig. 10. Maximum equivalent stress of ring assembly for case1

3.3 Case2: +15° 상하 기울임 충돌

가상의 벽체에 4 m/s의 속도로 +15° 상하 기울여 충돌했을 때의 드론의 전체 변위는 Fig. 11과 같다. 이때 최대 변형량과 최종 속도는 각각 6.045 mm와 -1.28 m/s이며, 총 해석 시간은 0.005s이다.

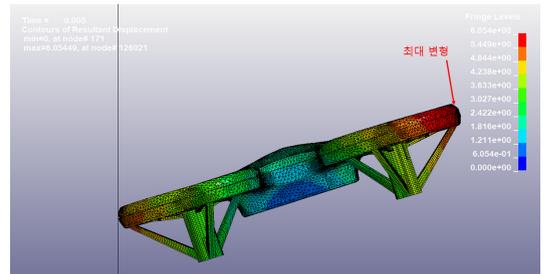


Fig. 11. Resultant displacement of Case2

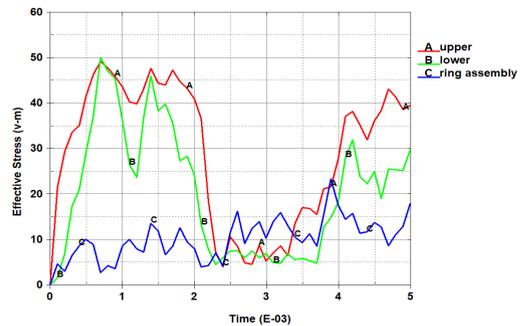


Fig. 12. Equivalent stress of upper, lower and ring assembly for Case2

Fig. 12와 Fig. 13은 각각 드론 상부, 하부, 링 조립체의 등가 응력 분포와 최대 변형률을 나타낸다. 드론 상부의 충돌부에서의 최대 등가 응력은 49 MPa로 항복강도를 초과하나, 해당 영역의 최대 변형률(-10E-3)은 비교적 크게 나타났다. 특히 Fig. 14와 같이 체결부의 후크

연결 부분에서 최대 응력이 발생하였다. 드론 하부의 충돌부에서의 최대 등가 응력은 50 MPa로 항복강도를 초과하나, 해당 영역의 최대 변형률(-3.5E-3)은 상부의 변형률보다 비교적 작게 나타났다. 링 조립체의 최대 응력은 36 MPa로 항복강도를 초과하지 않으며, 해당 영역의 최대 변형률은 5E-3으로 분석되었다.

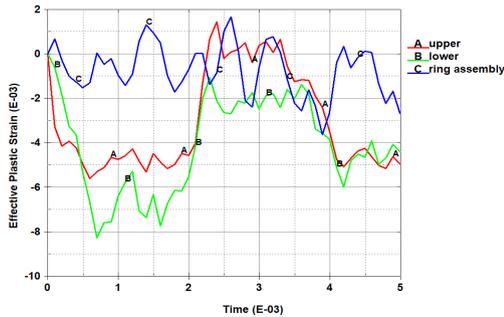


Fig. 13. Effective plastic strain of upper, lower and ring assembly for Case2

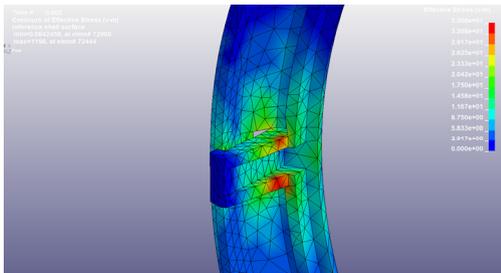


Fig. 14. Maximum equivalent stress of upper part for case2

3.4 Case3: -15° 상하 기울임 충돌

가상의 벽체에 4 m/s의 속도로 수평 충돌했을 때의 드론의 전체 변위는 Fig. 15와 같다. 이때 최대 변형량과 최종 속도는 각각 10.284 mm와 -0.52 m/s이며, 총 해석 시간은 0.005s이다.

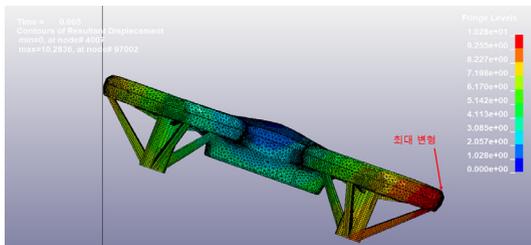


Fig. 15. Resultant displacement of Case1

Fig. 16과 Fig. 17은 각각 드론 상부, 하부, 링 조립체의 등가 응력 분포와 최대 변형률을 나타낸다. 드론 상부의 충돌부에서의 최대 등가 응력은 15 MPa로 항복강도를 초과하지 않으며, 해당 영역의 최대 변형률(4E-3)은 상대적으로 크지 않은 것으로 분석되었다. 드론 하부의 충돌부에서의 최대 등가 응력은 44 MPa로 항복강도를 초과하지 않으며, 해당 영역의 최대 변형률(0.9E-3)은 상부의 변형률보다 비교적 작게 나타났다. 특히 Fig. 18과 같이 체결부의 후크 연결 부분에서 최대 응력이 발생하였다. 링 조립체의 최대 응력은 40 MPa로 항복강도를 초과하지 않으며, 해당 영역의 최대 변형률은 4.5E-3으로 분석되었다.

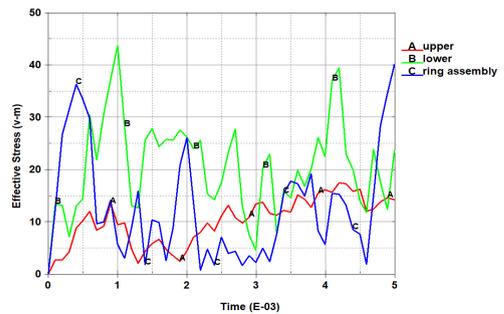


Fig. 16. Equivalent stress of upper, lower and ring assembly for Case1

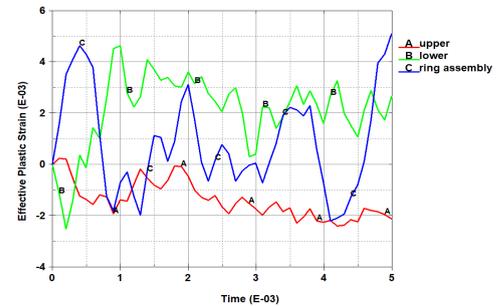


Fig. 17. Effective plastic strain of upper, lower and ring assembly for Case1

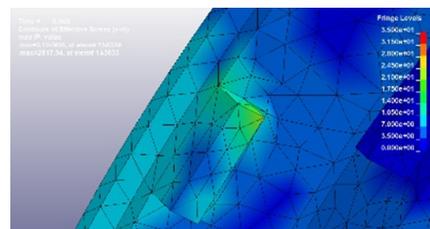


Fig. 18. Maximum equivalent stress of lower part for case3

4. 종합 분석 결과

E1 드론의 충돌 각도에 따른 세 가지 케이스의 주요 관심 부분인 상부, 하부, 링 조립체의 등가 응력과 이에 따른 안전율을 종합 정리 하면 Table 3과 같다. 이때 안전율은 항복 응력을 등가 응력으로 나눈 값으로 정의한다($SF=Y\text{Stress}/E\text{Stress}$). 수평으로 충돌하는 경우에는 상부의 등가 응력이 45 MPa로 항복 강도를 초과하며, +15° 기울여 충돌하는 경우에는 상부와 하부의 등가 응력이 각각 49와 50으로 항복 강도를 초과한다. 즉, 구조적으로는 보강이 필요하나 해당 부분에서 파손이 발생하지 않을 것으로 판단된다. -15° 기울여 충돌하는 경우에는 상부, 하부, 링 조립체 모두 항복 강도를 초과하지 않아 구조적으로 안정된 것으로 판단된다. 종합적으로 볼 때, 최대 응력이 발생한 드론 상부와 하부가 결합되는 체결부와 링과 드론 하부를 지지하는 지지대는 구조적 건전성 확보를 위해 보강이 필요할 것으로 판단된다.

Table 3. Equivalent stress and safety factor by case

Case	Component	Yield stress (MPa)	Equivalent stress (MPa)	Safety factor
1	Upper	35.3	45	0.78
	Lower	44.9	17	2.64
	Ring assembly		36	1.25
2	Upper	35.3	49	0.72
	Lower	44.9	50	0.90
	Ring assembly		27	1.66
3	Upper	35.3	15	2.35
	Lower	44.9	44	1.02
	Ring assembly		40	1.12

Table 4는 세 가지 케이스의 주요 관심 부분에 대한 변형률을 보여준다. 파손이 발생하는지 여부를 판단하기 위해 각 시뮬레이션으로 계산된 변형률 값과 항복 변형률 및 중국 변형률을 비교하여 안전율을 도출하였다. 이때 항복 변형률 기준 안전율과 중국 변형률 기준 안전율은 각각 $Y\text{Strain}/\text{Strain}$ 과 $U\text{Strain}/\text{Strain}$ 과 같은 수식에 의해 계산되었다. 그 결과, 각 케이스별 상부, 하부, 링 조립체의 변형률은 항복 및 중국 변형률을 만족하는 것으로 분석되었다. 즉, E1 드론은 구조적 건전성이 매우 높게 설계되어 있음을 알 수 있다. 오히려 재료 원가나 생산성을 고려했을 때, 구조적으로 응력이 낮게 발생하는 부분의 설계를 최적화할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

Table 4. Strain and safety factor by case

Case	Component	Yield strain (%)	Ultimate strain (%)	strain (%)	Safety factor (Yield)	Safety factor (Ultimate)
1	Upper	3.09	15.00	0.46	6.72	32.61
	Lower	2.40	12.00	-1.00	2.40	12.00
	Ring assembly			0.50	4.80	24.00
2	Upper	3.09	15.00	1.80	1.72	8.33
	Lower	2.40	12.00	-0.35	6.86	34.29
	Ring assembly			0.50	4.80	24.00
3	Upper	3.09	15.00	0.40	7.73	37.50
	Lower	2.40	12.00	0.09	26.67	133.33
	Ring assembly			0.45	5.33	26.67

5. 결론

본 논문에서는 충돌 시뮬레이션을 이용한 코딩 교육용 드론인 E1 드론의 구조적 안정성을 평가에 대해 기술하였다. 충돌 각도에 따른 세 가지 케이스를 대상으로 각각 상부, 하부, 링 조립체의 충돌 시 발생하는 등가 응력과 변형률을 산출하였다. 그 결과를 항복 강도와 항복 변형률 및 중국 변형률과 비교하여 구조적으로 취약한 부분과 파손이 발생할 가능성이 있는 부분을 도출하였다. 결과적으로 등가 응력 분석에서는 드론의 상부 및 하부의 체결부와 같은 일부 영역에서 구조적으로 보강이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 항복 및 중국 변형률의 관점에서는 구조적 건전성이 매우 높은 것으로 나타났다. 이는 최적 설계를 통해 드론의 무게를 줄일 수 있다는 것을 의미한다. 향후에는 드론의 최적 설계를 통해 구조적 안정성을 유지하면서도 재료나 생산성 관점에서 효율이 우수한 드론에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

[1] R. Mathew, F. Francesco, "Micro-drone RCS analysis", *Proceedings of 2015 IEEE Radar Conference*, IEEE, Johannesburg, South Africa, pp.452-456, Oct. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/RadarConf.2015.7411926>

[2] D. David, "Drones for Transmission Infrastructure Inspection and Mapping Improve Efficiency", *Natural Gas and Electricity*, Vol.33, No.12, pp.7-11, June 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/gas.21991>

[3] Z. Wang, D. Yang, K. Yang, L. Guo, J. Tan, "Aerodynamic Characteristics Simulation Analysis of a Certain Type Changed Wing Drone Aircraft Based on CFD", *Applied Mechanics and Materials*, Vol.644-650, pp.746-750, Sept. 2014.
DOI : <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.644-650.746>

[4] C. Ulloa, G. Rey, V. Padrón, J. Núñez, "Use of open source tools and wind tunnel data in UAV propeller modeling for dynamic simulation", *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, IEEE, Dallas, USA, pp.335-339, June. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2018.8453304>

[5] M. Sajid, Y. Yang, G. Kim, K. Choi, "Remote monitoring of environment using multi-sensor wireless node installed on quad-copter drone", *2016 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*, IEEE, Tokyo, Japan, pp.213-216, Dec. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IRIS.2016.8066093>

[6] W. Yang, M. Chun, G. Jang, J. Baek, S. Kim, "A study on smart drone using quadcopter and object tracking techniques", *4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology*, IEEE, Kuta Bali, Indonesia, pp.1-5, March 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/CAIPT.2017.8320658>

[7] S. Kale, S. Khandagale, S. Gaikwad, S. Narve, P. Gangal, "Agriculture drone for spraying fertilizer and pesticides", *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol.5, No.12, pp.804-807, Dec. 2015.

[8] N. Muyunda, M. Ibrahim, "Arduino-based smart garbage monitoring system: Analysis requirement and implementation", *2017 International Conference on Computer and Drone Applications*, IEEE, Kuching, Malaysia, pp.28-32, Nov. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICONDA.2017.8270394>

[9] T. Vogeltanz, "Comparison of open-source CFD software for aerodynamic analysis of mini-UAV", *2015 IEEE/AIAA 34th Digital Avionics Systems Conference*, IEEE, Prague, Czech Republic, pp.5E3-1-5E3-15, Sept. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1109/DASC.2015.7311438>

[10] J. Purvi, "Wing analysis of flapping wing unmanned aerial vehicle using CFD", *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, Vol.2, No.5, pp.216-221, May 2015.

[11] LSTC(Livermore Software Technology Corporation). Products- LS-DYNA, Available From: <http://www.lstc.com/products/ls-dyna> (accessed Oct. 10, 2018)

[12] R. Barauskas, A. Abraitienė, "Computational analysis of impact of a bullet against the multilayer fabrics in LS-DYNA", *International Journal of Impact Engineering*, Vol.34, No.7, pp.1286-1305, July 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2006.06.002>

[13] M. Kim, D. Jung, J. Kim, H. Kim, "A HPC based Modeling and Simulation Cloud Platform for Multi-tenancy Support", *Platform Technology Letters*, Vol.5, No.3, pp.19-22, Sept. 2018.

김 명 일(Myung-Il Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 책임연구원

<관심분야>

Modeling & Simulation, 슈퍼컴퓨팅, 제조혁신, 디지털트윈

정 대 용(Dae-Yong Jung)

[정회원]



- 2015년 2월 : 고려대학교 일반대학원 컴퓨터교육과 (공학박사)
- 2015년 6월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원

<관심분야>

Modeling & Simulation, 슈퍼컴퓨팅, ANSYS, FEA

김 수 민(Su-Min Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 부경대학교 일반대학원 안전공학과 (공학석사)
- 2012년 4월 ~ 현재 : ㈜디엔디이 CAE Engineering Team 과장

<관심분야>

Modeling & Simulation, 슈퍼컴퓨팅, ANSYS, FEA

이 진 규(Jin-Kyu Lee)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국항공대학교 항공기시스템공학 (공학사)
- 2010년 4월 ~ 2015년 11월 : 헬리코리아 품질관리 계장
- 2015년 11월 ~ 현재 : 코리아드론 컴퓨터 대표이사

<관심분야>

항공기, 기술혁신, IoT, 코딩, 소프트웨어,

최 문 현(Mun-Hyun Choi)

[정회원]



- 2005년 2월 : 전북대학교 경영학과 (경영학사)
- 2015년 11월 ~ 현재 : 코리아드론 컴퓨터 이사

<관심분야>

드론, 제조혁신, IoT, 소프트웨어

김 호 윤(Ho-Yoon Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2008년 8월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 가상설계센터

<관심분야>

Modeling and Simulation, 디지털 전환, 적층제조