대공포 피격에 의한 항공기 날개 손상에 관한 연구

A Study on the Damage of Aircraft Wing Attacked by Anti-Aircraft Artillery

심 상 기* 윤 경 식* 김 근 원* 신 기 수*
Sang-Ki Sim Kyong-Sik Yoon Geun-Won Kim Ki-Su Shin

Abstract

Aircraft battle damage repair(ABDR) is emergency repair method for the damaged aircraft in battle field. The main purpose of the ABDR is to increase the readiness of fighter aircraft during wartime. While many studies have been conducted to develop ABDR method, few efforts have focused on evaluation of damage and determination of the size of hole caused by enemy's anti-aircraft artillery attack.

The aim of this study is essentially to quantify damage of aircraft wing attacked by anti-aircraft artillery. The computer simulations was performed to accomplish this goal. A number of simulations have been carried out to compare size of damages under various attack conditions.

In conclusion, it was revealed that the size of damage varied depending on the type and direction of cannonball. Furthermore, in this paper, the proper path sizes are suggested for different damage conditions.

Keywords : Aircraft Battle Damage Repair(전시 파손항공기 긴급수리), Anti-Aircraft Artillery(대공포), Outer Wing(외부 날개), Finite Element Method(유한요소해석)

1. 서론

전투기는 다양한 항공작전 임무 수행 중 적의 공격으로 인해 손상을 입을 수 있다. 이러한 손상을 신속히 수리하기 위한 방법을 전시 파손항공기 긴급수리(Aircraft Battle Damage Repair, 이하 ABDR)^[1]라 한다. ABDR은 효율적이고 신속한 수리로 짧은 시간안에 전투기를 작전수행 가능 상태로 복귀시켜 항공작전임무에 투입함으로써 전투기 가동률을 향상시키기 위한 목

적으로 수행된다.

ABDR을 효과적으로 수행하기 위해서는 항공기 파손에 대한 다양한 수리경험이 필요하다. 그러나 한국 공군은 6. 25 전쟁 이후 항공기를 실전에 투입한 사례가 없다. 그러므로, 적 대공 무기에 의한 야군 항공기 파손량에 대한 판단 근거가 부족하여 실전적인 ABDR 훈련에 어려움을 겪고 있다. 만약 정비사에게 항공기 파손량을 정량적으로 제공 할 수 있다면 정비사는 ABDR에 필요한 수리자재를 미리 준비할 수 있어 정비의 효율성 및 신속성이 증대될 것이다.

본 연구에서는 유한요소 해석을 이용하여 적 대공 무기에 의한 전투기 날개 파손량을 정량적으로 분석하였다. 그리고 적 대공무기에 의한 항공기 날개 파손

† 2012년 8월 7일 접수~2012년 10월 19일 게재승인

* 국방대학교(KNDU)

책임저자 : 심상기(ski51@naver.com)

량을 데이터화하여 전투기 날개 손상유형에 따른 적정 ABDR 수리패치 크기를 제시하였다.

2. 해석 시나리오

가. 해석모델

북한 대공 무기체계는 소총, 기관총, 대공포, 미사일 등 다양한 무기체계를 보유하고 있다. 이중 소총과 같이 파괴력이 미비한 화기는 연구 대상에서 제외하였다. 또한, 구경 30mm 이상의 화기나 미사일 처럼 파괴력이 커 피탄시 항공기 수리가 불가능 하거나, 격추 당할 수 있는 무기체계도 제외하였다. 위의 조건을 기초로, Fig. 1과 같이 북한이 보유한 12.7mm DSHK 38/46^[2] 방공 기관총과 14.5mm 대공포인 ZPU-4^[3]를 분석대상 위협 무기체계로 선정하였다.

대상 항공기는 현재 한국 공군에서 운용중인 F-0 항공기를 선정하였다. 그리고 분석 부위는 피격을 당했을 경우에도 귀환이 가능한 상황을 고려하여 날개부위 중 연료를 탑재하지 않는 외부날개(outer wing) 부분을 선정하였다.

구 경	12.7mm
	탄두중량	48.3g
	총구초속	840m/s
	유효사거리	1,000m
	최대사거리	2,000m

(a) DSHK 38/46 heavy machine gun

구 경	14.5mm
	탄두중량	63.4g
	총구초속	976m/s
	유효사거리	1,400m
	최대사거리	5,800m

(b) ZPU-4 tow gun

Fig. 1. Type of Anti-Aircraft Artillery

나. 해석수행 조건

1) 탄두 조건

Fig. 2는 탄두 형상과 조건을 나타낸 것이다^[4]. 그림

과 같이 탄두는 재료, 형상, 견고성의 3가지로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 전투기 날개를 관통할 수 있는 탄두조건을 고려하여, 소성 관통(ductile hole growth)^[4]을 유도할 수 있는 금속 재료 중 견고한 강체를 가진 침투형 탄두를 해석 대상으로 하였다.

Fig. 2. Warhead condition

2) 충격경사도

전시 대지공격 수행시에는 표적의 위치, 지형특성, 무기형태, 기상조건 등에 따라 폭격 제원이 결정된다. 일반적으로 대지 공격시 사용하는 폭격 제원^[5]은 Fig. 3과 같이 강하각에 따라 60°, 30° 등이 있다.

(a) 60° dive angle

(b) 30° dive angle

Fig. 3. Air-to-surface attack data

Fig. 3(a)는 고고도 폭격시 사용하는 60° 강하각 폭격 제원으로 표적이 높은 산악지대에 있는 경우에 사용한다. Fig. 3(b)는 대지 공격시 가장 많이 사용 30°

강하각 폭격 제원으로 표적이 평지 혹은 낮은 산악지대에 있는 경우 사용하는 공격전술이다. 이를 기준으로 충격 경사도를 Fig. 4와 같이 정면 충돌(90°)과 경사 충돌로 나누고, 경사 충돌은 다시 60° 및 30° 충돌로 나누어 해석을 수행하였다.

Fig. 4. Impact gradient

3) 충격속도

충격속도는 탄도 운동에 영향을 미치는 요소 중에서 Fig. 5와 같이 지구의 중력만을 적용하였다.

Fig. 5. Trajectory curve^[6]

중력은 y방향으로 작용하므로 뉴턴 운동방정식을 적용하면 식 (1)과 같은 탄도방정식을 얻게 된다.

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 0, \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -g \quad (1)$$

여기서 t는 시간, g는 중력 가속도이다. t=0일 때의 탄자의 속도 및 위치는 식 (2), (3)과 같다.

$$\frac{dx}{dt}\bigg|_{t=0} = V_0 \cos \theta_0, \quad x(0) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dt}\bigg|_{t=0} = V_0 \sin \theta_0, \quad y(0) = 0 \quad (3)$$

식 (2), (3)의 초기조건을 이용하여 해를 구하면 식 (4), (5)와 같다.

$$x = (V_0 \cos \theta_0)t \quad (4)$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 \sin \theta_0)t \quad (5)$$

충격 속도를 산출하기 위해 식 (4), (5)를 시간 t로 미분 하면 식 (6), (7)과 같이 x, y 축에 대한 속도를 구할 수 있다.

$$\frac{dx}{dt} = V_0 \cos \theta \quad (6)$$

$$\frac{dy}{dt} = -gt + V_0 \sin \theta \quad (7)$$

다. 해석 시나리오

본 연구에서는 항공기 폭격 제원 및 탄두 속도에 따른 항공기 날개 파손량을 계산하기 위해 2가지 충돌 조건을 설정하였다. 첫째, 탄두 속도에 따른 파손량을 측정하기 위해 동일한 항공기 공격 제원, 즉 폭격 강하각 및 속도를 고정하고 대공포 탄두의 속도를 변경하였다. 둘째, 항공기 폭격 강하각에 따른 파손량을 측정하기 위해 항공기 폭격 속도 및 탄두 속도를 고정하고 항공기 폭격 강하각을 변경하였다. 이를 바탕으로 Table 1과 같이 해석 시나리오를 작성하였다.

Table 1. Scenario

탄구경	날개각도	항공기 속도	항공기 고도	탄속도
12.7mm	0°	180m/s	150m	838m/s
	0°	180m/s	500m	834m/s
	0°	180m/s	1,000m	828m/s
	30°	111m/s	1,000m	828m/s
	60°	194m/s	1,000m	828m/s
14.5mm	0°	180m/s	150m	974m/s
	0°	180m/s	500m	970m/s
	0°	180m/s	1,000m	965m/s
	30°	111m/s	1,000m	965m/s
	60°	194m/s	1,000m	965m/s

탄두의 충격속도를 계산하기 위해 우선 식 (5)에 폭격 강하각에 따른 이탈고도(y), 총구초속(V_0), 수직발사각(θ_0)을 대입하여 t 값을 구한다. 계산된 t 값을 식 (7)에 대입하여 탄두의 충격속도를 구하였다. 이 값을 기준으로 유한요소해석을 이용하여 탄두별로 탄의 속도 및 충격 경사도에 따른 외부날개 손상범위를 산출하였다.

3. 유한요소 해석

Fig. 6는 F-0 항공기 외부날개의 모델링 형상을 나타낸 것이다. 그림과 같이 본 연구에서는 충돌 해석시 계산의 효율성을 위해 날개 파손 부위를 나타낼 수 있는 최소한의 모델링 범위를 적용하였다. 그리고 결과값의 수렴성 평가를 위해 탄두가 관통하는 최종 부분의 요소 크기를 3mm로 설정하였다. 모델링에 적용된 노드 수는 50,904개, 요소 수는 50,040개이다.

Fig. 6. Outer wing FE modeling

대공포 탄두는 Fig. 7과 같이 실제 탄두의 규격서^[7]에 따라 모델링 하였다. 재질은 해석 수행 조건에 따라 강체(rigid body)를 적용하였고, 12.5mm와 14.5mm 탄두의 노드 및 요소 수는 동일하게 각각 500개, 731개이다.

Table 2는 F-0 항공기 외부날개 부위 구조물의 재질별 물성치를 나타낸 것이다.

Fig. 8은 F-0 항공기 외부날개와 탄두 모델을 조합

한 형상이다. 그림과 같이 탄두는 항공기 외부날개 하단에서 상단 방향으로 관통하도록 설정하였다.

(a) 12.7mm warhead

(b) 14.5mm warhead

Fig. 7. Warhead FE modeling

Table 2. 재질별 물성치

재 질	Density (g/cc)	Poisson Ratio	Elastic Modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)
7075 Aluminum	2.81	0.330	71.7	228
7049 Aluminum	2.84	0.330	71.7	517
7175 Aluminum	2.80	0.330	72.0	590
HY-TUF Steel Forging	7.78	0.330	20.4	1520

Fig. 8. FE modeling combination

Fig. 9. FE results for 12.7mm warhead

Fig. 10. FE results for 14.5mm warhead

4. 유한요소 해석결과

가. 12.7mm 탄두 해석결과

Fig. 9은 12.7mm 탄두의 해석결과로써 Fig. 9(a)는 고도별, Fig. 9(b)는 충격 경사도별로 탄두가 외부날개 상·하단을 관통한 것이다. 파손직경의 측정 범위는 관통 후 외부날개 표면의 항복 강도를 넘어서 변형이 일어난 부분까지 적용하였다.

Fig. 9(a)와 같이 고도별 탄두가 외부날개 상·하단 표면을 관통 후 항복강도를 초과하여 변형이 발생한 범위는 최소 27.8mm~최대 29.6mm 범위이고, 상·하단의 파손 차는 0.5~0.8mm 범위로 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 9(b)와 같이 충격 경사도별 파손 직경은 최소 27.8mm~최대 95.2mm 범위임을 알 수 있다. 충돌 경사각이 저각일 경우는 파손 범위가 작지만, 경사각이 증가할 수 록 파손 범위 역시 증가함을 할 수 있다. 특히 60°에서 급격히 증가하였으며 이는 항공기 60° 하강시 탄두와 외부날개의 접촉시간이 증가하여 파손 직경이 크게 나타났다.

나. 14.5mm 탄두 해석결과

Fig. 10는 14.5mm 탄두의 해석결과를 나타낸 것이다. Fig. 10(a)는 고도별 관통 해석 결과로써 탄두가 외부날개 상·하단 표면을 관통 후 항복강도를 초과하여 변형이 발생한 범위는 최소 30.6mm~최대 33.4mm이다. 12.7mm 대공포 손상 직경과 비교시 약 3mm 증가하였으며, 이는 대공포 탄두 속도가 매우 빨라 유효 사거리 내에서는 고도에 따른 탄두 속도 차이가 크지 않아 파손 범위에 큰 영향을 미치지 못하기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 10(b)는 충격 경사도별 관통 해석 결과로써 파손 직경은 30.6mm~98.5mm임을 알 수 있다. 그림과 같이 충돌 경사각이 저각일 경우는 파손 범위가 작지만, 경사각이 증가할 수 록 파손 범위가 증가하며, 60°에서 급격히 증가하였다.

다. 결과분석

Table 3은 외부날개 파손범위를 종합하여 나타낸 것이다.

유한요소 해석결과 첫째, 대공포 유효 사거리 내에서 항공기 고도 및 탄 속도에 따른 외부날개 파손 범위는 30mm 내외로 차이를 거의 보이지 않았다. 이는 고도에 따라 탄 속도 차이가 작아 파손 범위에 큰 영향을 미치지 못했기 때문이다. 둘째, 대공포 탄두 속

도 및 항공기 고도를 고정하고, 항공기 자세에 따른 외부날개 손상량을 분석한 결과, 30°도 이하 하강시에는 손상 범위가 작지만, 60°인 경우 손상 범위가 2~3배 증가하였다.

Table 3. Summary the damage range of outer wing

탄구경	날개 각도	항공기 속도	항공기 고도	탄속도	파손직경 (패치크기)
12.7mm	0°	180m/s	150m	838m/s	28.2mm
	0°	180m/s	500m	834m/s	29.0mm
	0°	180m/s	1,000m	828m/s	29.3mm
	30°	111m/s	1,000m	828m/s	32.7mm
	60°	194m/s	1,000m	828m/s	87.7mm
14.5mm	0°	180m/s	150m	974m/s	31.8mm
	0°	180m/s	500m	970m/s	31.8mm
	0°	180m/s	1,000m	965m/s	32.0mm
	30°	111m/s	1,000m	965m/s	38.8mm
	60°	194m/s	1,000m	965m/s	91.2mm

이는 60° 하강시 탄두와 날개의 충돌면이 증가하였기 때문이다. 마지막으로 대공포 탄두가 외부날개 관통 후 탄두 에너지에 의해 소성변형이 일어난 날개 부위는 관통 주변 2mm~3mm로, 이는 탄두 속도가 매우 높아 순간적으로 날개를 관통했기 때문이다.

종합하면 12.7mm와 14.5mm 대공포의 파손결과는 각각 28.2mm~87.7mm와 30.6mm~98.5mm 범위이다. 따라서 12.7mm~14.5mm 대공포 탄두에 의해 아군 항공기의 피격이 예상된 경우에는 신속한 수리를 위해 최소 제시된 부위 이상을 절단하고, 절단 크기에 맞게 수리자재를 선택 적용하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 적 대공무기에 의한 항공기 외부날개 파손량을 유한요소 해석을 통해 알아보았다. 그리고 적 대공무기별 항공기 외부날개 파손량을 데이터화 하여 전투기 날개 손상에 따른 ABDR 수리패치 크기를 제시하였다. 해석결과 12.7mm~14.5mm 대공포 탄두에 의한 피격이 예상된 경우에는 각각 28.2mm~

87.7mm, 30.6mm~98.5mm 범위의 항공기 날개 파손에 따른 ABDR 수리패치 크기가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구결과를 활용시 정비사들은 실제로 근접한 항공기 파손 데이터를 갖고 실전적인 ABDR 훈련을 실시하여 ABDR 효율성을 높일 수 있을 것이다. 또한 파손 데이터를 통해 전시에 ABDR 수리 패치 사이즈를 미리 준비하여 항공기 수리시간 단축이 가능하다. 그러나 본 연구에서는 항공기 피해효과 중 탄두의 운동에너지에 의한 효과만을 알아보았다. 보다 실제에 가까운 피해를 얻기 위해서는 탄두의 세열파편에 의한 피해, 소이무기 등 화염에 의한 피해, 항공기 주요 계통에 대한 피해범위까지 확대하는 것이 필요하다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-H0301-12-2008).

References

- [1] DARWLL H. HOLCOMB, "Aircraft Battle Damage Repair for the 90s and Beyond", Air University Press, pp. 1~2, 1994.
- [2] <http://blog.naver.com/PostView.nhn>(2011.3.28.).
- [3] 야전교범 36-6, "20밀리 대공포", 육군본부, p. 부 10-8, 2010.
- [4] 이종우, "장갑관의 관입형 관통 현상 해석", 화랑대연구소, pp. 6~19, 2000.
- [5] 육군본부, "야교36-1 방공운용", 육군인쇄창, 200), pp. 부4-11~12.
- [6] 이흥주, "총과 탄도학", 청문각, p. 157, 1996.
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/50_BMG(2011.9.20.).