

F-16 항공기 브레이크 디스크 국산화 개발

*감문갑¹, 김정훈², 김원일², 신현규³, 조대현³

¹ 국방기술품질원, ²경남대학교, ³(주)테크

Development of Carbon-Carbon Brake Disc for F-16 Fighter

*M. G. Kam¹, J. H. Kam², W. I. Kim², H. K. Shin³, D. H. Cho³

¹ Defense Agency for Technology and Quality, ² Dept. of Mech. Eng. Kyungnam Univ., ³DACC Co.,Ltd

Key words : Carbon-Carbon Composite, Carbon Brake Disk, Coefficient of Friction, Dynamometer Test.

1. 서 론

항공기의 브레이크 시스템은 고가의 항공기와 조종사의 안전에 직결되는 품목이며 그중 제동디스크는 소모성이 큰 핵심부품이다. 브레이크 시스템은 움직이는 물체를 정지시키는 역할을 하며, 대부분의 브레이크 시스템은 디스크와 같은 마찰기구에 의해서 물체의 운동에너지를 마찰저항과 열에너지로 바꾸며 이 열을 흡수함으로써 물체를 제동하게 된다.

특히 최근에 개발되는 항공기는 기체의 대형화 및 고속화에 따라 고속 활주 시 제동에 따른 브레이크의 운동에너지 흡수능력이 비약적으로 증대 되었으며, 이와 같은 높은 운동에너지를 흡수하는데 요구되는 항공기용 브레이크를 다관식 디스크로 채용함으로써 요구 성능 충족이 가능하다.

Fig. 1에서 보여주는 것과 같이 항공기system 장치의 분석은 물론 제품 요구 성능 규격을 만족시키도록 설계 개발하여야 하며, 항공기의 속도, 하중, 제동거리, 마찰계의 단위질량당 에너지 흡수량 등에 의해 결정되고 관성동력계 (Inertia dynamometer)에 의한 제동시험에 의하여 성능입증을 함으로서 개발을 완료하게 된다.¹⁻³

따라서 본 연구에서는 F-16 탄소 브레이크 디스크의 제조에 적용된 탄소-탄소 복합재료를 국산화하고 그 제동 특성을 실험하여 항공기 시스템 운용에 적합토록 개발하고자 한다

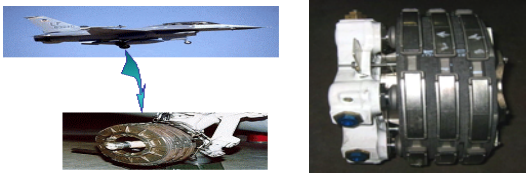


Fig. 1 F-16 PB32 Brake Disk Assembly

2. 실험결과 및 고찰

2.1 탄소 브레이크 디스크 시험품 제조

F-16 탄소 브레이크 디스크의 제조에 적용된 탄소-탄소 복합재료는 주원재료인 밀도 0.40g/cc, 탄소섬유비가 25%인 탄소계 프리폼을 사용한다. 탄소 프리폼은 Oxi-PAN 및 PAN계 탄소 섬유를 이용하여, 열구배 화학증착로를 이용하여 밀도화를 수행하여 밀도 1.70~1.80 g/cc의 고밀도 탄소 복합체로 제조된다. 공정중 화학증착법은 제품을 온도 및 압력의 구배에 따라 등온화학증착법, 열구배화학증착법, 압력구배화학증착법 등으로 구분된다. 본 시제품 제작에 적용된 화학증착법은 열구배화학증착법으로서 탄소 프리폼을 발열체에 장입한 후 발열체를 승온시켜 프리폼 내부와 외부의 열구배를 발생시킨 후 프로판(CH₃CH₂CH₃)가스를 약 950 °C 열분해 시켜 이중 탄소성분을 탄소 프리폼의 미소 기공에 증착시키는 방법이다. 공정 후 미세 구조를 안정한 흑연 구조로 바꾸기 위하여 2,000 °C 이상에서 고온 열처리를 수행하여 작 한다. 최종 브레이크 디스크 형상으로 가공하여 디스크 키슬롯(Key slot)에 금속클립(Metal clip)을 조립하는 공정을 거쳐 완제품으로 제작된다. 최종 개발품 브레이크 디스크 기본 물성은 Table 1과 같다.

Table 1 Mechanical Properties of Carbon-Carbon Brake Disk

Specific weight(g/cc)	Comp. Strength (MPa)	Bend. Strength (MPa)	ILSS (MPa)	Ther-Conductivity (W/m·K)
~1.71~1.78	150	100~140	10	25~30(∥) 80~90(⊥)

2.2 탄소 브레이크 디스크의 마찰시험 장치

(1)개요

본 시험은 마찰과 마모거동이 직접적으로 제동성능과 관련되기 때문에 중요한 시험항목이다. 브레이크의 성능예측과 품질관리를 위해서는 원칙적으로 실물크기의 시체를 항공기 제작사에서 규정한 시험조건에 따라 관성동력계(Inertia dynamometer)에 의한 제동성능시험이 필요하지만 많은 비용과 시간이 소요되므로 이 시험에 앞서 소형시편에 의한 관성동력계 시험을 통하여 실물크기 제품의 마찰성능을 예측, 이를 기준으로 물성 등을 재 설계하는데 이용되고 있다.

(2)시험방법 및 조건

마찰성능시험 방법과 장비는 여러 가지가 제안되고 있으나 일반적으로 모터에 의해 관성중량(Inertia equivalent)과 연결된 회전판(Rotating disk) 시편을 회전시킨 후 제동 요구속도에서 모터를 끄고 상대 마찰재를 회전판 시편에 일정 하중으로 밀착시켜 마찰성능시험을 하도록 되어있다. 본 시험에서는 실제 항공기의 제동이 동적제동 이므로 이에 준하는 소형 마찰시험기(IM58 friction tester)는 Fig.2와 같다. 시험방법은 실제 F-16 전투기 정상 제동시와 동일한 선속도 및 디스크 단면당 압력과 디스크 단위 질량당 흡수되는 제동에너지 조건을 고려하여 시험하였다. 제동시 단위 질량당 제동에너지 흡수는 1,000 kJ/kg이다.

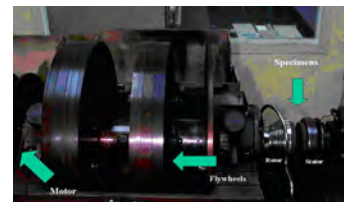


Fig.2 Friction tester(IM58)

(3)시험결과

총 25회의 제동시험 결과로부터 Table 2 와 같이 마찰계수가 0.41, 선형마모율(Linear wear rate) 1.3 μm/stop/face으로 측정되었고, 제동력은 Fig 3과 같이 제동초기와 제동말기에 안정한 제동토크를 보였다.

Table 2 Results of friction braking test

Result of Friction and Wear test			.Test conditions -Inertia Moment = 0.6517 kg.m2 -Rotation Velocity.=5500 rpm .Specimen -ID 53mm x OD 75mm x T 14mm
No. of Braking	Friction modulus	Wear ratio μm/face/stop	
25	0.41	1.3	



Fig. 3 Friction braking torque

2.3 제동성능 시험장치 및 설계

(1)개요

군용 항공기의 브레이크 제동성능시험은 실제 항공기의 랜딩 기어(Landing gear)에 연결되는 브레이크와 브레이크 디스크, 휠 (Wheel) 그리고 타이어 (Tire)를 결합하여 실제 항공기의 각종 착륙상황을 재현할 수 있는 관성동력계(Inertia dynamometer)를 이용하여 동적 토크 시험을 하도록 MIL-W-5013에서 규정하고 있고, F-16 B32 탄소 브레이크에 대한 시험조건과 규격은 항공기 설계/제작회사인 GD(General Dynamics)사의 GD16ZL001B에 규정되어 있다.⁴⁻⁶⁾

(2)시험방법 및 조건

제동시 토크 이론은 식 (1)로 나타낼수 있다.

제동 토크(Braking Torque : T, in-lbs)

$$T = (IE/G) * A_{Decel} * R_{Rolling} \dots\dots\dots (1)$$

Rolling : Tire Dynamic load radius(in)

G : Acceleration of gravity = 32.174 f/ sec²

IE : 관성중량(lbs)

A_{Decel} : 감속도(ft/sec²)

R_{Rolling} : 플라이 휠의 회전반경(feet)

2.4 제동 시험결과 및 고찰

F-16 Block 32 탄소 브레이크로서 성능을 인증 받기위해서는 전문화된 제동성능시험 장비인 관성동력계에서 시험조건으로 총 51회의 제동성능시험(A,B,C)과 수명판단시험(D, E) 500회를 실시하여 요구되는 제동거리 또는 제동시간을 만족하여야 한다 여기서 비행시험은 생략하였다, 시험결과는 Table 4와 같으며, Fig.4와 Fig.5는 실제 시험기에서 출력된 데이터이다

Table 4 Results of braking test

Sepc.	A		B	
	Standard	Development	Standard	Development
Break Pressure(psi)	2,300	1,058	2,300	1,560
Reduction speed(ft/sec ²)	8.6	8.7	8.5	8.7
Breaking distance(ft)	2,238	2,192	3108	3,002
Disk Temperature(°C)	-	600-700	-	800-900
Sepc.	D		E	
	Standard	Development	Standard	Development
Break Pressure(psi)	2,300	994	2,300	713
Reduction speed(ft/sec ²)	8.6	9.2	6.4	7.0
Breaking distance(ft)	2,238	2,117	2,238	2,022
Disk Temperature(°C)	-	600-700	-	500-600

Fig.3은 관성동력계(Inertia dynamometer)를 이용한 실제 항공기 타이어에 조립된 브레이크를 시험하는 장면이며, Over load 시험에서 브레이크 디스크가 가열되어 적 색깔로 변해있는 상태를 보여주고 있다.



Fig.3 braking test at Inertia dynamometer

Fig.4는 정상착륙 상태의 제동시험에서 일정 토크를 유지하기 위해선 디스크에 가압되는 유압력이 변화한다. 타이어의 하중(항공기 중량)은 일정하며, 속도는 선형적으로 감소하여 22.5초 이내에 정지하게된다

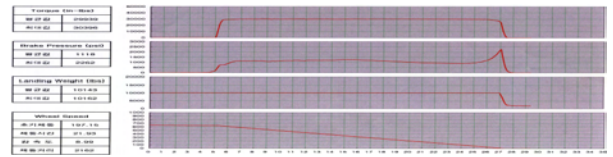


Fig.4 Results of braking test(Normal Load)

Fig.5는 최대중량 상태의 제동시험에서 일정 토크를 유지하기 위해선 디스크에 가압되는 유압력이 이에 상응하게 변화하게된다. 타이어의 하중(항공기 중량)은 일정하며, 속도는 선형적으로 감소하여 27초 이내에 정지하게 된다. 따라서 착륙 활주로의 거리는 감속시간에 따라 정해진다.

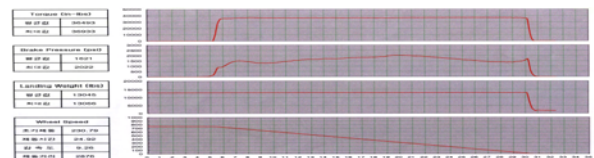


Fig.5 Results of braking test(Over Load)

3. 결 론

F-16 전투기 탄소 브레이크 디스크 국산화 개발에 따른 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 고도의 안전성이 요구되는 F-16 항공기 브레이크 시스템을 실험실에서 실제 항공기와 상응한 성능시험을 관성동력계를 구축하므로써 마찰특성과 제동성능을 입증할수 있었다.
- 2) 디스크 마찰열은 정상착륙 조건에서 600-700°C, 최대착륙 조건에서는 800-900°C 로 나타났으며, 이상마멸이나 소부현상은 발생하지 않았다.
- 3) 고온도에서도 마찰력에 대한 변화가 거의 없었으며, 마찰 실험에서 1.3µm/face/stop로 마멸 될때 마찰계수는 0.41로 나타났으며, 실제 관성동력계 수명시험시에는 0.2 이내로 나타났으며 착륙거리와 제동력은 규격기준에 벗어나지 않았다.
- 4)최대하중착륙 조건일때는 정상착륙보다 토크는 10,000 in-lbs, 무게 약 300 lbs, 시간은 4초, 착륙거리는 약 800 ft가 더 증가 했으며, 항공기 제동 기준에는 벗어나지 않았다.
- 5)개발된 탄소 디스크는 F-16 B32 전투기의 탄소 브레이크의 성능시험 기술을 확보하므로써 향후 F-15K, KTX-II 고등훈련기 및 민간 중형항공기의 탄소 브레이크 국산화 개발의 시발점으로 기대된다.

참고 문헌

1. American Carbon Society, "The Effect of Carbon Fiber Heatreatment on the Frictional Properties of C-C Composites, 1995.7
2. ASME, "Realistic Evaluation of Airplane Brake Vibration by Laboratory Test and Analysis", 1995
3. General Dynamics Specification 16ZL001B, "Wheel and Brake Assembly: Aircraft Main Landing Gear 25.5 x 8-14 Tubeless"
4. MIL-W-5013, "General Specification for Aircraft Wheel and Brake Assemblies", 1982
5. ARP 1493, "Wheel & Brake Design and Test Requirements for Military Aircraft", 1979
6. AIR 1064A, "Brake dynamics", 1979