

# 냉방기용 송풍 블레이드의 피로특성 평가

## Fatigue Characteristic Evaluation of a Ventilating Blade in the Air-conditioner

\*최정훈<sup>1</sup>, #석창성<sup>2</sup>, 김형익<sup>3</sup>, 구재민<sup>4</sup>, 유승훈<sup>5</sup>

\*J. H. Choi<sup>1</sup>, #C. S. Seok(seok@skku.edu)<sup>2</sup>, H. I. Kim<sup>3</sup>, J. M. Koo<sup>4</sup>, S. H. Yu<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup> 성균관대학교 일반대학원 기계공학과, <sup>2,4</sup> 성균관대학교 기계공학부, <sup>5</sup> 삼성전자

Key words : ABS, HIPS, Fatigue, Mechanical Properties

### 1. 서 론

일반적으로 기계 구조물은 응력 진폭이나 평균응력이 변하는 변동하중을 받는 경우가 많으므로, 이러한 응력 하에서의 피로강도(fatigue strength) 및 피로수명(fatigue life) 예측은 실제 설계에 있어서 대단히 중요한 요인이 된다.<sup>1</sup> 이는 항공기나 자동차 또는 각종 발전설비 및 플랜트를 비롯하여 우리의 실생활에서 흔히 사용하고 있는 사무기기나 가전제품 등에 이르기까지 피로파괴가 차지하는 비율이 점차 늘어나고 있는 데에서 잘 알 수 있다.

이러한 피로에 의한 파손사례를 보이는 예로 에어컨의 경우를 들 수 있다. 에어컨은 실내의 쾌적한 공기조화를 목적으로 냉방, 공기순환 및 정화 등의 기능을 하는 가전기기로써 최근 국내의 생활수준이 향상되고 도시기능의 고도화에 따른 온난화의 영향으로 그 수요가 급격히 증가하고 있다. 이 가운데 에어컨을 구성하는 구조물인 블레이드는 에어컨의 작동 정지 시 완전히 닫히게 되는데, 이때 원래의 회전토크보다 더 큰 오버토크(over torque)가 발생됨으로써 블레이드의 힌지부에 비틀림 하중이 가해지게 된다. 또한 이러한 개폐과정이 반복됨에 따라 비틀림 반복응력으로 인해 힌지부 내에서의 소성 영역이 발생하게 되어 결국 피로파괴가 발생된다.

따라서 본 연구에서는 블레이드 재료의 물성평가를 수행하여 재질에 따른 파괴거동을 관찰하고, 이를 통해 블레이드 실 구조물의 피로시험을 수행함으로써 정량화하였다. 또한 이와 함께 블레이드 형상 모델에 대한 FEM해석을 수행하여 최대응력 집중부 및 취약부에 대한 응력분포를 확인하였고, 그 결과를 비교·분석하여 에어컨 블레이드의 응력(S)-수명(N)선도 및 그에 따른 상관관계식을 유도함으로써 블레이드의 피로 특성 평가를 수행하였다.

### 2. 시험 및 해석

#### 2.1 시험편 및 시험장비

본 시험에 사용된 블레이드 시험편의 재료는 ABS수지와 HIPS수지로서, Table 1에 총 4가지 재질로 구성된 시험편을 분류하였다.

우선, ABS수지는 Acrylonitrile, Butadiene, Styrene의 3성분으로 되어 있는 일종의 내충격 열가소성 수지의 총칭으로 종합 Engineering Plastics이라고도 한다. ABS수지에 있어서 A/B/S의 조성은 이론적으로 무한히 변화시켜 생산가능하나 통상 A/B/S=20-30/5-40/-70%의 범위 내에서 실용적으로 필요한 성질을 갖도록 하고 있다. 한편, HIPS(High Impact Polystyrene)는 스티렌에 고무를 5~10% 첨가하여 제작한다. HIPS의 재료물성치는 고무상의 입자 크기와 함량, 고무와 기질(matrix)의 접합 강도, 균질성에 크게 의존한다. 이들 ABS 및 HIPS재료는 재질에 따른 차이는 있으나 공통적으로 우수한 기계적 성질과 가공성, 주조성을 갖고 있으며, 또한 매우 우수한 충격강도와 내열성을 갖고 있다. 또한 이들 재료의 가공품은 일반적으로 가전 제품의 부품이나 하우징(housing), 사무용 기기 등에 쓰인다. 시험 장비로는 시마즈(Shimadzu)사의 25ton 용량의 전기모터식 시험기(model AG-25TG)를사용하였고, 표준 시험편의 피로시험에 사용된 시험기는 인스트론(Instron)사의 25ton용량의 전기 유압식 재료시험기(Instron model 1332)를 사용하였다. 또한 블레이드 구조물에 대한 비틀림 파괴시험 및 피로시험을 수행하기 위하여 0.1ton 용량의 전기유압식 재료시험기(Instron model 8841)를 사용하였다. 비틀림 시험장치 및 설치된 지그의 형상과 시험에 사용된

Table 1 Classification of specimens

Resin	ABS		HIPS	
	Balde	ABS-HG	ABS-HF	HIPS-HG

블레이드 구조물의 형상은 Fig. 1에 나타내었다.

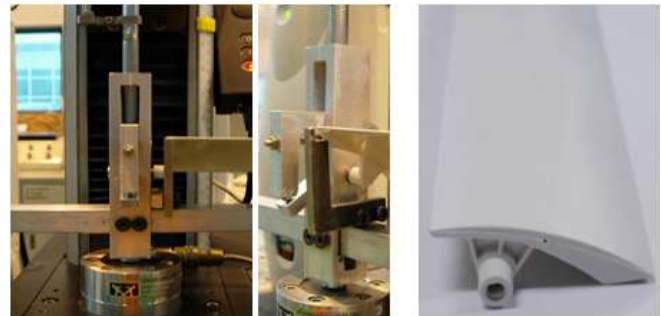


Fig. 1 Experimental set up for fatigue test and appearance of an blade

#### 2.2 표준시험편의 인장과 피로시험

본 연구에서는 ASTM E8<sup>2</sup>과 ASTM D638<sup>3</sup>의 기준을 만족하도록 인장시험을 수행하였다. 3mm/min의 시험 속도로 상온에서 시험을 수행하였으며, 본 시험편의 재료가 압축과 굽힘에 민감하므로 시험기와 시험편의 축 정렬과 하중제어에 주의하였다. ASTM D638에 의거하여 피로시험을 실시하였으며, 시험조건으로는 탄성구간에서 하중비 R=0.1에 주파수 8Hz의 피로시험 조건을 적용하여 1,000,000 cycle에서 미파단 시험이 발생할 때까지 하중을 변화시켜가며 시험을 수행하였다.<sup>4</sup>

#### 2.3 실 구조물 비틀림 피로시험

에어컨 블레이드는 stepping motor에 부착된 shaft를 블레이드 힌지에 삽입 후 적정 토크를 가함으로써 풍향을 조절하는 구조물로 시험에 앞서 이와 동일한 구속조건을 구현할 필요가 있다.

이에 본 연구에서 대상으로 하고 있는 에어컨 블레이드의 구동조건을 분석하여 시험 지그를 제작하였다. 우선 힌지부에 shaft를 삽입 후 chuck과 link를 볼트로 체결하였고, 블레이드 힌지부가 비틀림 모멘트를 받는 환경을 모사하기 위하여 stopper를 지그 몸체에 연결시켜 비틀림 모멘트를 발생시켰으며, 베어링을 이용하여 하중 재하에 따른 편심을 방지하였다. 피로시험은 ABS 및 HIPS의 각 대표재질(ABS-HG, HIPS-HG)을 선정하여 시험을 수행하였으며, 하중비 R=0.1, 3Hz로 1,000,000 cycle 미파단 시험이 발생할 때까지 하중을 변화시켜가며 비틀림 피로시험을 수행하였다.

#### 2.4 FEM을 이용한 힌지부의 비틀림 해석

에어컨 블레이드의 FEA모델을 구성한 후 정하중 시험과 동일한 경계조건을 부여하여 유한요소 해석을 수행하였다. 상용 모델링 프로그램인 I-DEAS ver. 11을 이용하여 모델 및 유한요소망을 구성하였으며, ABSQUS ver. 5.8을 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. 한편, Fig 2(a)와 같이 주요 관심부인 블레이드의 힌지부를 포함하여 해석모델을 단순화하였다. 4절점 솔리드 요소(C3D4 Element)를 적용하였으며, 80,667개의 요소에 절점수는 18,887개이다. 해석에는 OO 모직사의 STAREX 물성표를 참고하여 각 재질에 대한 물성치로 사용하였다. 본 해석에는 구조물 비틀림 피로시험에 사용된 비틀림 모멘트를 블레이드 의 해석 모델에 대해 동일하게 부과하였고, 최대응력을 정량적으로 평가

하기 위해 탄소성해석을 수행하였다. Fig. 2(a)는 단순화된 블레이드 힌지부의 경계조건 및 요소망 구성형태를 나타낸 것으로서 실제 비틀림에 의한 시험조건과 동일하게 블레이드의 뒷면에 대해 x축 방향으로 변위를 구속하였으며, y축 및 z축을 회전방향에 대해 구속하였다. 또한 블레이드와 stopper가 맞닿는 곳에는 y축 방향으로 변위를 고정하였다. 한편 shaft와 블레이드 힌지의 접촉면간에는 서로 상대운동이 존재한다고 가정하는 일반적인 contact조건을 적용하였으며, shaft의 원둘레에 크기가 같고 방향이 반대인 우력을 부가함으로써 비틀림 모멘트를 생성하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 인장시험 및 피로시험 결과 고찰

상온 인장시험에서 얻은 하중-변위 선도로부터 공칭응력-공칭변형률 선도를 구하였다. Fig. 2(c)에 ABS 및 HIPS에 대한 블레이드 4종재질의 선도를 나타내었다. 시험결과, ABS계열이 HIPS계열에 비해 약 1.5~2배가량 높은 인장강도를 나타내었으며, 그 중 ABS-HF가 가장 강도가 높은 것으로 평가되었다. 변형률 또한 HIPS계열에 비해 ABS계열에서 높은 거동을 보였으며, 약 1.6~3배 가량의 차이를 보였다. 표준 시험편 피로시험의 경우 Fig. 2(d)에서 보는바와 같이 총 4가지 재질별로 각각 6~9개의 시험편을 이용하여 피로시험을 수행하였다. S-N선도의 기울기에 의한 ABS계열 및 HIPS계열의 10<sup>6</sup>cycle 피로한도는 ABS계열이 HIPS계열에 비해 높은 것으로 나타났다. 또한 각 계열별 구성 성분(HF-HG and HG-HR)에 의한 영향은 미미하여 피로수명에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.

#### 3.3 구조물 비틀림 피로시험

시험 결과, Fig. 2(f, g)와 같이 비틀림 피로시험에 따른 비틀림 모멘트(T)-수명(N) 선도를 얻었다. 각 선도의 기울기는 대체적으로 유사하며 HIPS계열에 비해 ABS계열의 T-N선도가 보다 높게 나타났다. 파손의 형태는 각 형상별로 (가)~(다)군으로 나뉘어지는데, 균열개시와 진전으로 인한 파손의 양상은 대부분이 힌지부 우측 하단부에서 균열의 발생 및 진전으로 인해 파손됨을 확인하였다.

#### 3.4 유한요소 해석 결과

Fig. 2(b)는 유한요소해석 결과로써 von-Mises응력 상태를 나타낸 것이다. 이를 통해 힌지 내부의 우측 하단부에 위치한 shaft 끝단과 맞닿는 지점에서 최대응력이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 블레이드 비틀림 피로파괴시험의 파손양상과도 일치한다.

Fig. 2(g)에 블레이드의 표준시험편과 실 구조물의 S-N선도를 비교하여 나타내었다. 각 선도는 시험편의 형상(구조물시험편 대 표준시험편)과는 상관없이 ABS재질로 구성된 시험편이 HIPS에 비해 피로한도가 높게 나타났다. 또한 그에 따른 기울기는 두 형상별로 각기 다른 경향을 보였는데, 이는 표준시험편과는 달리 구조물 시험편의 경우 형상에 의한 영향으로 판단된다.

각 계열의 경사부 회귀식은 ABS계열이

$$\sigma = 10^{1.678} \times N^{-0.057} \dots\dots\dots (3.1)$$

이며, HIPS 계열이

$$\sigma = 10^{1.583} \times N^{-0.073} \dots\dots\dots (3.2)$$

로써, ABS계열이 HIPS계열의 선도보다 높게 나타났다. 이에 따른 10<sup>6</sup> cycle 피로한도는 HIPS에 비해 ABS 계열이 1.6배 가량 높은 것으로 평가되었으며, 두 재질에 대해 동일 응력 대비 수명을 분석한 결과, 전체적으로 표준시험편이 구조물 시험편에 비해 보수적인 것으로 나타났다.

### 4. 결 론

(1) 블레이드 재질에 대한 인장시험 결과, ABS계열이 HIPS계열에 비해 약 1.5~2배 가량 인장강도가 높은 것으로 평가되었다.

(2) 표준시험편의 피로시험 결과 각 계열별 구성 성분(HF, HG와 HG, HR)에 의한 영향은 미미하여 피로수명에 큰 영향을 끼치지 않았다.

(3) 블레이드 구조물의 비틀림 해석 결과, 최대응력은 힌지 내부의 우측 하단부에 위치한 shaft 끝단과 맞닿는 지점에서 발생하였으며, 이는 피로시험의 파괴양상과도 일치하였다.

(4) S-N선도는 시험편의 형상(구조물시험편 대 표준시험편)과는 상관없이 ABS재질로 구성된 시험편이 HIPS에 비해 피로한도가 높게 나왔다. 또한 전체적으로 표준시험편이 구조물시험편에 비해 보수적인 것으로 나타났다.

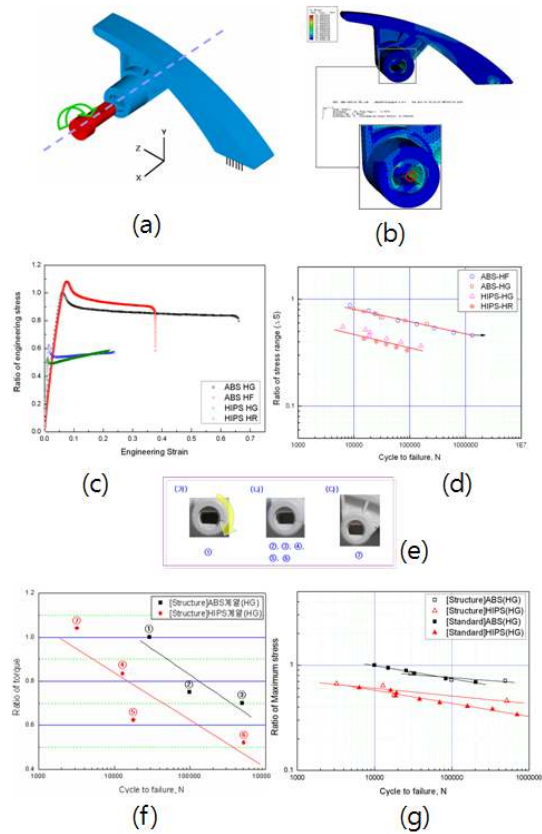


Fig. 2 Test and analysis results

### 후기

본 논문은 삼성전자(주)와 성균관대학교 미래가전 연구센터의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 이용복, 정진성, 조남익, "SS330 용접재에서 재분포 잔류응력 및 균열 닫힘 영향을 고려한 피로거동에 관한 연구", 대한기계학회논문집(A), 제20권, 제7호, pp. 2234~2235, 1996
2. ASTM Standard E8, "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials", Annual Book of ASTM Standards, ASTM Philadelphia
3. ASTM Standard D638, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics", Annual Book of ASTM Standards, ASTM Philadelphia
4. John M. Barsom and Stanley T. Rolfe, "Fracture and Fatigue Control in Structures", ASTM Philadelphia, pp. 163~172, 1999
5. R.C. Hibbeler, "Mechanics of Materials" volume No. 4, pp. 94~95