

반복충격에 의한 섬유강화 복합재료의 피로수명 특성 평가

최정훈*, 김형익, 허용(성균관대 기계설계학과)

석창성(성균관대학교 기계공학부)

장필수, 이창희(삼성전자)

Evaluation of Fatigue Life Characteristic of a Fiber-Reinforced Composites under the Repeated Impact Loading

J. H. Choi, H. I. Kim, Y. Huh(Mech. Eng. Dept. graduate school, SKKU)

C. S. Seok(Mech. Eng. Dept., SKKU)

P. S. Chang, C. H. Lee(SEC)

ABSTRACT

Generally, fiber-reinforced composites have the highest possibilities of impact damages with external object collisions. Also, resulting in fatigue fracture considering the continued impact load. For the reasons mentioned above, the accurate understanding of interactions between the impact of composites and the fatigue load will be essential to understand the safety level of material structures. Furthermore, the composite materials and structures, due to the geometrical effect, vary the life in connection with the impact-fatigue. Therefore, I have reached the point that a focus of this study will be to evaluate fatigue fracture characteristics by the impacts-fatigue load of fiber-reinforced composites. Thus, in this paper, I have tried to work on impacts-fatigue load causing aspects and impact characteristics through impact-fatigue test on HTV-5H1 Black 9250 material made- structure, along with to evaluate the expected life of real structures, the FEM analysis was carried out.

Key Words : (Repeated impact load)반복충격하중, (Fiber-reinforced composites)섬유강화 복합재료, (Impact fatigue test)충격 피로시험, (Impact wave form)충격파형

1. 서론

충격문제의 중요성이 인식되면서 각종 재료나 기계구조물의 부재가 충격을 받을 때 생기는 변형의 문제, 충격강도의 평가문제, 충격파괴현상의 규명이나 재료의 응력과 해석 등의 문제해결이 중요시 되고 있다.[1]

특히 섬유강화 복합재료는 외부물체충돌로 인한 충격손상의 발생 가능성이 높으며 이러한 충격하중이 지속적으로 가해져 피로파손이 일어나는 경우가 많다. 그러나 복합재료의 경우 주로 구조재료로서 정적으로 사용되어 왔으며, 충격하중에 대한 고려를 하지 않고서 구조설계를 해왔다. 이것은 복합재료가 충격을 받을 때의 거동이 복잡하여 충격을 받는 구조재의 기초 데이터가 빈약했기 때문이다. 따라서 복합재료의 충격 및 피로하중간의 상호작용에 대한 정확한 이해는 기계구조물의 안전성에 있어서 매우

중요하다고 사료된다. 또한 복합재료의 소재와 구조물은 기하학적 형상에 따른 효과로 인해 충격 피로하중에 의한 수명이 매우 다르게 나타난다. [2]

본 연구에서는 섬유강화 복합재료의 충격 및 피로하중에 의한 피로수명 특성을 평가하기 위하여 HTV-5H1 소재의 복합재료를 대상으로 기계적 물성을 획득하였다. 충격파는 파형에 따라 복합재료의 내부에서 응력과 전달이 다르게 나타나므로 충격파형에 대한 복합재료의 충격 피로수명 변화가 예상되어 다양한 충격파형에 대하여 피로시험을 수행하였다. 또한 형상의 변화로 인한 복합재료의 충격-피로수명 특성을 평가하기 위해 HTV-5H1을 소재로 한 구조물의 충격 피로시험을 통해 충격하중-수명 선도를 얻었으며 FEM 해석을 병행하여 충격하중에 대한 S-N선도를 도출하였다. 이를 바탕으로 형상변화에 대한 복합재료의 충격 피로수명 특성과 그 상관관계식을 평가 하고자 한다.

2. 재료시험

2.1 인장시험

본 연구에 사용된 재료는 HTV-5H1 계열의 복합 재료로서 사출을 통한 일방향 단섬유강화 복합재료이다. 이에 사용된 복합재료의 인장 특성을 ASTM D 638[3]의 규정에 의거하여 인장시험을 실시하여 획득하였다. 시험편의 규격 및 형상은 Fig. 1과 같은 시험편으로서 시험 전 표면의 돌기를 연마지로 마무리하였다.

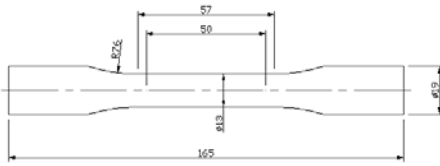


Fig. 1 Tensile test specimen (unit : mm)

2.1.1 시험결과

상온에서 복합재료의 항복강도는 193 MPa, 인장강도는 230 MPa로 평가 되었다. Table. 1에 인장시험 결과를 나타내었다.

Table 1 Result of Tensile test

Specimen No.	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)
1	188	228
2	198	231
Average	193	230

2.2 피로시험

일반적인 피로하중 파형인 사인파로 ASTM D 638[3]의 규정에 의거하여 피로시험을 수행하였다. 시험조건은 탄성구간에서 하중비 $R=0.1$ 에 주파수 10Hz의 피로 시험조건을 적용하였으며, 1,000,000 cycle까지 미파단 시편이 발생할 때까지 하중을 변화 시키가며 시험을 수행하였다. 시험편의 규격 및 형상은 Fig. 1과 동일하다.

2.2.1 시험결과

총 12개의 피로 시험편을 이용하여 피로 시험을 수행하였으며, S-N선도의 기울기에 의한 1,000,000 cycle 피로한도는 약 80MPa로 나타났다. 피로시험 결과와 직선에 의한 내삽 결과, 피로 시험 결과와 직선 내삽에 의한 산포는 거의 없고 잘 일치하는 것으

로 나타나 재료의 균일성이 뛰어난 것으로 판단된다. Fig. 2에 피로 시험 결과인 S-N선도를 나타내었다.

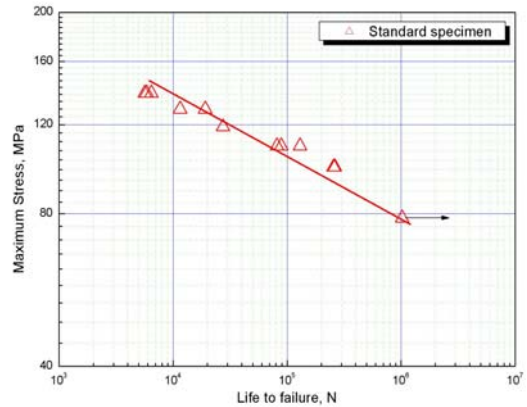


Fig. 2 S-N diagram of standard specimen

3. 충격파형에 따른 충격 피로강도 평가

충격파형에 따른 복합재료의 거동은 정하중을 받는 경우의 거동과는 현저하게 다르다.[4] 이러한 다양한 충격과 하중은 재질내 응력파로 되어서 고체 속을 전파하는데, 이때 응력파에 의한 응력장은 대체로 충격파의 형태에 따라 달라진다.[5] 그러므로 이러한 반복 충격하중에 의해 본 복합재료의 피로수명이 달라질 것으로 예상되는바 삼각파, 사각파 등의 다양한 충격파형에 따라 피로강도 특성 변화를 알아보았다.

3.1 실험방법

다양한 충격파형을 구현하기 위하여 인스트론(Instron)사의 25ton 용량의 전기 유압식 재료시험기가 사용되었다. 삼각파, 사각파 등의 다양한 하중형태를 정확히 구현하기 위하여 높은 진동수에서의 시험은 제한되므로 주파수 3 Hz에 하중비 $R=0.1$ 로 시험을 수행 하였다. 시험 장치 및 설치된 지그의 형상을 Fig. 3에 나타내었다.

3.1.1 시험결과

3 type의 충격하중 형태에 따른 시험편 피로시험에서 사각파 충격 피로시험의 피로한도는 약 70 MPa로 나타났으며, 삼각파 충격피로시험의 피로한도는 85 MPa로 나타났다. 삼각파 충격하중의 경우 피로한도가 사인파 충격피로 시험의 결과와 거의 유사하게 나타났다. 이는 두 하중의 형태가 3type중 가장 유사하기 때문으로 사료된다. Fig. 4에 3 type 하중파형에 대한 S-N 비교선도를 나타내었다.



Fig. 3 Configuration of Jig and Fatigue Tester

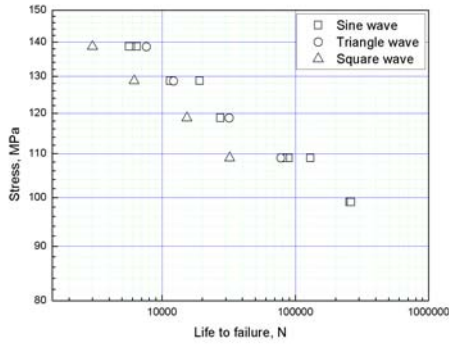


Fig. 4 Comparison of S-N diagram

3. 형상변화에 따른 충격 피로수명 평가

복합재료의 소재와 구조물은 기하학적 형상에 따른 효과로 인해 충격 피로하중간의 수명이 매우 다르게 나타난다.[6] 따라서 본 절에서는 형상변화로 인한 섬유강화 복합재료의 충격 피로하중에 의한 피로수명 특성을 평가하고자 한다.

3.1 실험방법 및 결과

충격 피로 시험을 수행하기 위하여 인스트론(Instron)사의 25ton 용량의 전기 모터식 재료시험기(Instron model 8802)가 사용되었다. 제작된 시험 지그를 Fig. 5에 나타내었다. 시험은 하중 Control 상태로 상온에서 수행되었다. 시험조건은 탄성구간에서 하중비 R=0, 3Hz의 사각파형의 피로 시험조건을 적용하였으며, 1,000,000 cycle까지 미파단 시험이 발생할 때까지 하중을 변화시켜가며 시험을 수행하였다. 100kgf ~ 300kgf 범위 내의 하중에서 각각의 수명을 기록하였으며, Fig. 6에 충격하중-수명선도를 Plotting 하여 나타내었다.

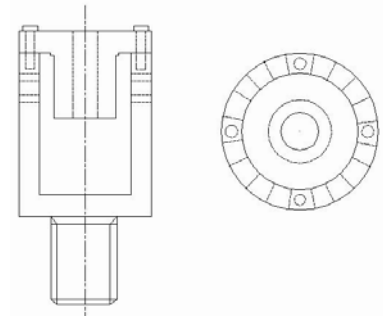


Fig. 5 Configuration of Jig

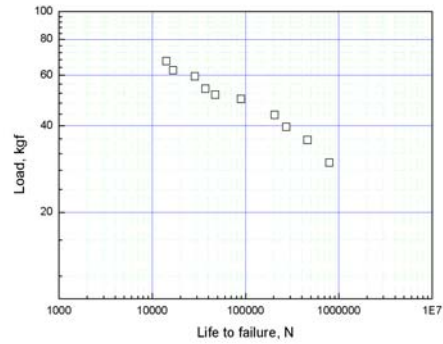


Fig. 6 Load-life diagram under the impact load

4. FEM을 이용한 변위충격 해석

4.1 하중 조건

HTV-5H1 계열의 복합재료를 소재로 하는 구조물에 충격 피로 시험의 조건과 동일하게 하중비 R=0, 3Hz인 0.34초 동안 변위 파형을 인가하였다. 하중형태는 짧은 시간동안 일정 진폭의 변위를 순간적으로 가하는 방식으로서 충격해석을 시간의 변위에 대해 최대한 가깝게 시뮬레이션화 하였다.

4.2 해석시 시간증분 결정

변위충격 해석에 있어 유한요소 크기와 시간증분은 해석에 중요한 인자이다.[7] 시간증분이 작은 경우 해석시 충격파로 인한 내부 응력파가 전달되지 못하고 진동현상이 나타나게 되므로 유한요소의 크기(h)와 시간증분(Δt)의 관계는

$$\Delta t \leq \frac{h}{v_p} = \sigma_c$$

을 만족해야한다. 여기서 v_p 는 종파의 속도이고, σ_c 는 특성시간이다. 또한 특성길이(Characteristic

length) h 는

$$h \leq \eta\lambda = \eta \frac{v_s}{f_{max}}$$

의 조건을 만족해야한다. 본 해석에서는 시간증분 $\Delta t=0.006985$ 초로 계산되어 수행되었다.

4.3 충격해석 결과

해석 결과 최대하중은 450kgf로 이때의 최대응력은 약 185MPa로 나타났으며 구조물의 최대응력 집중부와 충격 피로시험에서의 파손 현상과 유사한 결과를 나타내었다. 해석을 통한 하중-응력 선도는 변위충격이 가해진 면의 반력(Reaction Force)과 이때의 응력값을 비교하여 유도하였다. 이를 바탕으로 충격 피로시험과 충격해석의 결과를 비교 분석하여 최종적으로 구조물의 충격 피로하중에 대한 수명선도를 도출하였으며 Fig. 8에 S-N 비교선도를 나타내었다.

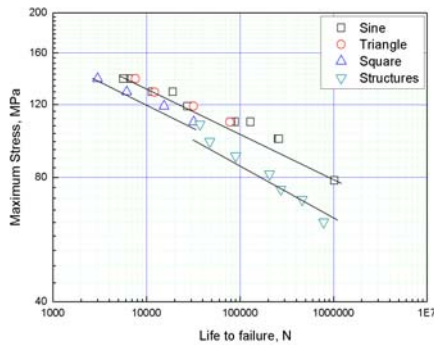


Fig. 7 Comparison of S-N diagram

S-N선도의 경사부 회귀식을 사용하여 상관관계식을 유도하였다. 경사부 회귀식에 의해 표준 시험편의 회귀식은

$$\sigma = 10^{2.631} \times N^{-0.123}$$

이며 구조물의 S-N 선도 회귀식은

$$\sigma = 10^{2.565} \times N^{-0.127}$$

이다. 각 선도의 기울기는 유사하며, 구조물 S-N 선도는 시험편 보다 피로한도가 낮게 나타났다.

5. 결론

HTV-5H1 계열의 섬유강화 복합재료를 소재로 다양한 충격파에 대한 충격 피로특성과 본 구조물의 기하학적 형상변화로 인한 효과를 알아보았다.

1. HTV-5H1 계열의 섬유강화 복합재료의 인장

시험 결과, 취성재료이며 약 230MPa의 인장강도를 나타내었다. 또한 피로 시험을 수행한 결과, 피로 한도는 약 80MPa로 나타났다.

2. 충격파의 형태에 따른 복합재료의 충격 피로 강도 특성은 사각파의 경우는 약 70 MPa로서 사인파로 수행되는 일반 피로시험의 85% 정도로 나타났다. 또한 삼각파의 경우는 사인파의 경우와 충격 피로한도가 큰 차이를 보이지 않는 것으로 판단되는바 충격 피로특성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

3. 섬유강화 복합재료의 기하학적 형상의 변경으로 인한 충격 피로한도는 약 60 MPa로서 그 효과는 약 1.4배로 나타났다. 또한 S-N 선도의 경사부 회귀식을 유도하여 섬유강화 복합재료의 예상수명을 예측하였다.

후기

본 연구는 두뇌한국 21 (BK21) 사업과 미래가전 연구센터(SFARC)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 양인영, 양동욱, 이철민 충격공학, 원창출판사, pp. 145~157, 1992.
2. 이준현, “충격하중에 의한 피로파괴 해석 기법”, 전산구조공학, 제10권, 제3호 1997.
3. ASTM D638 "Standard Test Methods for Tensile Properties of Metallic Plastic", 2002.
4. J. M. Barsom and S. T. Rolfe, Fracture and Fatigue Control in Structures, ASTM Philadelphia, pp. 163~172, 1999.
5. 강기원, 김정규, “Epoxy 복합재료의 충격하중 평가” 대한기계학회 1988년도 추계학술대회 논문집 A, pp. 79~84
6. J. A. Bannantine, J. J. Comer and J. L. Handrock, Fundamentals of Metal Fatigue Analysis, Prentice Hall, pp. 1~10, 1990.
7. J. D. Colton and G. Herrman ; Dynamic Fracture Process in Beam, J Appl. Mech, 42 (1975), 435.