

안정성 해석과 진동 측정을 이용한 타발 품질 예측에 관한 연구

The Study on the Diecut Quality Estimation by the Stability Analysis and Vibration Measurement

*한창우¹, 손재환², 이상룡³, #이춘영³

*C. W. Han¹, J. H. Son², S. R. Lee³, #C. Y. Lee(cylee@knu.ac.kr)³

¹ 영남이공대학 자동차과, ² 대구기계부품연구원, ³ 경북대학교 기계공학부

Key words : Stability, Diecutter, Finite Element Analysis, Overall Vibration, Natural Frequency

1. 서론

타발 공정은 포장지를 정확한 형태로 가공하기 위해 마닐라지와 골판지와 같은 시트(sheet)를 250 ton 이상의 큰 압력으로 누르면서 절단(cutting)과 주름선 재단(creasing)이 동시에 수행되는 공정이다. 고급 포장지의 형상이 대형, 복잡하게 됨에 따라 타발 공정 시 더욱 정밀한 목형칼날, 타발압 제어가 요구되게 되었다. 전형용 등^[1]은 전동차 차체 설계 시 유한요소법에 의한 구조해석을 통해 응력 거동특성과 취약부분을 예측하여 최적설계 방향을 제시하였고, 정일호 등^[2]은 위성본체에 장착되는 PCB를 유한요소해석을 함으로서 동적 안정성을 평가하였다. 김정석 등^[3]은 유한요소해석과 고유진동수 측정시험을 통하여 철도차량 차체의 동적 특성을 분석하였다.

본 연구에서는 250 ton 타발압이 작용하는 타발 공정의 품질을 예측하기 위해 유한요소 해석을 통한 안정성 해석을 수행하였다. 정적 안정성을 평가하기 위해 최대 응력 및 변형량을 구하였으며, 동적 안정성을 평가하기 위해 고유진동수 해석 및 진동 시험을 시행하였다. 그리고 타발 공정이 일어나는 이송 테이블(moving table) 주위로 가속도계를 설치한 후 각 조건별 진동 측정시험을 시행하여 타발 불량률 제대를 예측하는지를 검증하였다.

2. 타발기

타발 공정이 일어나는 타발기(diecutter)의 메커니즘은 Fig. 1과 같다. AC모터는 V벨트를 통하여 플라이휠(fly wheel)을 구동하며, 웜 기어(worm gear), 웜 휠(worm wheel)을 통해 크랭크 축(crank shaft)를 회전시킨다. 토글(toggle)에 의해 회전운동은 이송 테이블(moving table)의 직선 상하운동으로 변화된다. 시트는 이송 테이블에서 상 테이블(top table) 하부의 타발칼날(chase diecutter) 쪽으로 가해지는 타발압에 의해 정확한 형상으로 타발된다. 따라서 시트에 타발압이 충분히 전달되었는지를 알기 위해서는 구조 안정성(structural stability)에 대한 연구가 선행되어야 한다.

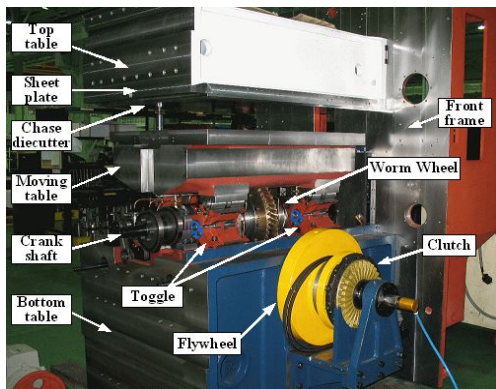


Fig. 1 Diecutter

3. 유한요소모델

유한요소 생성은 Hypermesh를 이용하였으며, 유한요소 Tatra4를 활용하였다. 그리고 정밀한 해석을 위해 한 변의 길이를 기본 35 mm로 설정하였고 운동으로 인한 응력 집중이 예상되는 토글의 요소는 한 변의 길이를 20 mm로 하여

Mesh 작업을 수행하였다. 경계조건으로는 볼트 및 키홈에 의해 조립되는 부품 부분의 질점을 일치시켰으며, 바닥면은 3자유도로 구속하였다. 해석에 사용된 재질은 SB41, FC250, FCD450 세 종류이며 기계적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 The physical properties of parts

Parts	Material	Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield stress (MPa)
Frame(Rear, Front) Top table	SB41	205	0.28	250
Moving, Bottom table	FC250	92	0.2	200
Toggle	FCD450	220	0.275	280

4. 진동 시험

정지 상태에서 임팩터 해머로 이송 테이블과 후면 프레임(rear frame)의 측면을 수평방향으로 각각 가진하여 고유진동수를 측정하였으며, 진동 스캔트럼 분석을 통하여 타발 시 그 주파수에서 진동이 중첩되는지를 확인하였다. Fig. 2처럼 진동 가속도계 4507B를 이송 테이블의 4면에 다수 설치하여 구조물의 진동을 측정하였고 B&K 다채널 프린트엔드 3560D와 주파수 분석기를 통하여 데이터를 획득하여 분석하였다. 또한 타발과 비타발 진동 데이터를 비교 분석하여 타발 진동의 기준이 되는 편차를 도출하였다. 그리고 9등분된 타발 영역에서 불량률 각각 발생시켜 가속도계에서 편차가 감지되는지 검증하였다. 타발 공정은 짧은 시간에 충격이 가해지는 특성을 가지므로 특정 주파수보다는 광대역 주파수 분석법인 오버올(overall) 진동 분석을 하였고 식(1)과 같다. 여기서 \bar{a}_i 는 특정 주파수에서의 RMS값이며, a_0 는 기준값($10^{-6} m/s^2$)이다.

$$OA = 10 \text{ Log} \left[\sum_{i=1}^n \bar{a}_i^2 / a_0^2 \right] \quad (1)$$

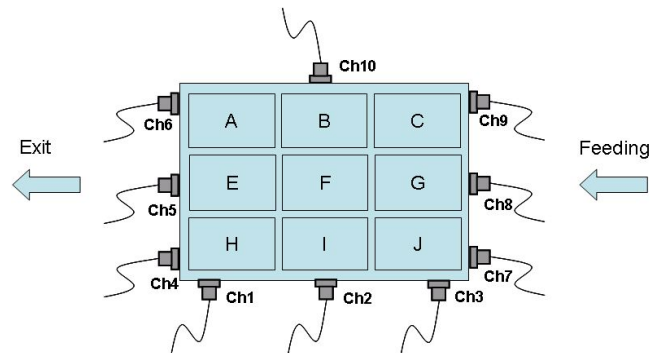


Fig. 2 Accelerometer positions and bad diecutting patterns

5. 안정성 평가

5.1 정적 안정성 평가

하중조건으로 이송 테이블과 상 테이블에 타발압 250 ton을 부여하여 유한요소해석을 수행하였다. Fig. 3(a)에서와 같이 최대 변형량은 0.464 mm로 상 테이블에서 발생되었다. 그리고 Fig. 3(b)에서처럼 최대 응력은 138 MPa로 토글에서 발생하였던 토글의

항복 응력값은 280 MPa이므로 구조적으로 안정되었다고 판단된다.

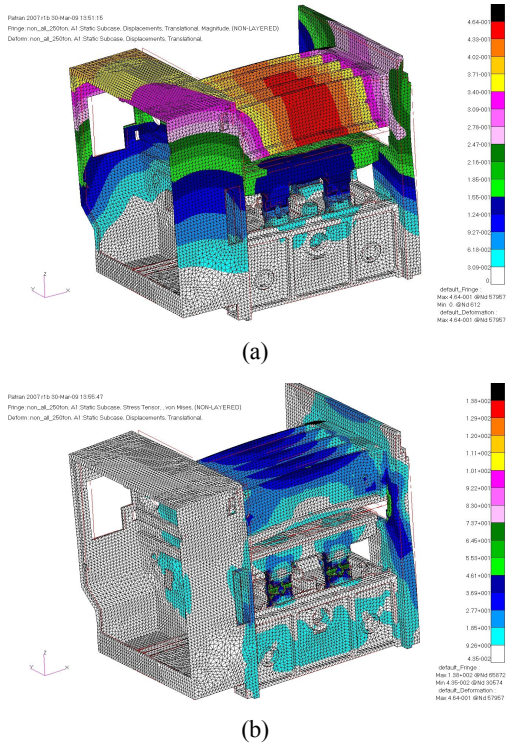


Fig. 3(a) Deformation (b) von-Mises stress of diecutter

5.2 동적 안정성 평가

타발기의 동적 안정성을 평가하기 위해 1~5차 모드에서의 고유진동수를 유한요소해석하였다. 1, 4, 5차 모드에서는 고유진동수가 41, 115, 134 Hz로 후면 프레임 상부에서, 2, 3차 모드에서는 고유진동수가 102, 108 Hz로 후면 프레임 전면부에서 최대 진동이 관찰되었다. Modal 시험 결과 이송 테이블을 가진할 때는 1104 Hz, 후면 프레임을 가진할 때는 74, 100, 136 Hz로 고유 진동수가 측정되었다. 따라서 유한요소 해석으로 예측된 값들과 거의 일치하므로 예측된 고유진동수는 신뢰성이 있다고 판단된다. Fig. 4의 주파수 스펙트럼 분석으로 타발 공정의 광대역 주파수 특성을 고찰한 결과 5500 Hz 이상의 고주파 영역에서 진동이 중첩됨을 알 수 있다. 따라서 발생한 진동은 유한요소 해석과 modal 시험의 고유 진동수에서 발생하지 않으므로 동적으로 안정되었다고 판단된다.

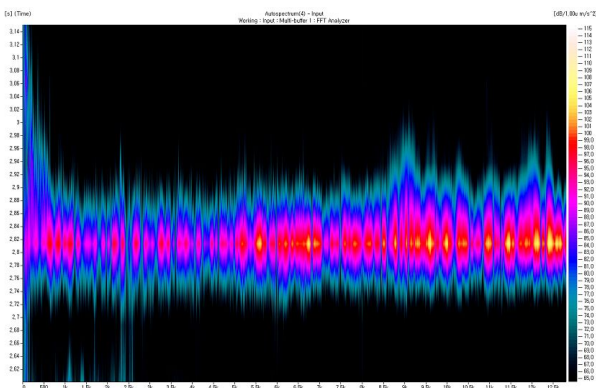


Fig. 4 Frequency spectrum analysis in diecutting sheet

6. 조건별 진동 측정 시험

Table 2 The average of vibration peak from accelerometers

Position	Ch 1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8	Ch9	Ch10
Peak [dB]	125	122	127	130	134	128	132	133	133	125

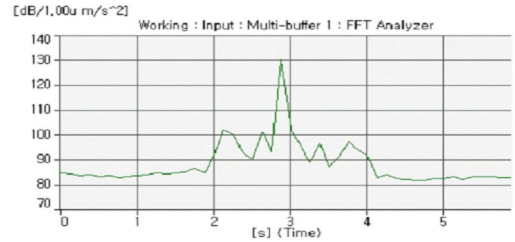


Fig. 5 Vibration characteristics in diecutting sheet

시트가 비타발되는 아이들링 상태와 비교 분석한 결과 타발 시의 오버올(overall) 진동 특성은 Fig. 5처럼 진동 피크가 중앙의 위치에서 비타발 대비 평균 6 dB 크다. 이 편차는 타발 시 타발칼날, 시트, 이송 테이블 간의 충돌에 기인하며 진동 충격의 기준이 됨을 알 수 있다. 그리고 타발 공정을 5회 반복 측정한 결과 Table 2에서와 같이 Ch4~9번 가속도계가 다른 가속도계보다 더 민감하게 나타났다. 이는 해당 위치가 다른 위치보다 더 큰 공간이 확보되어 다른 부위로의 진동전파가 적으므로 가속도계의 감도(sensitivity)가 높아지기 때문이라 판단된다.

-6 dB의 편차 발생 시 가속도계에서 불량 위치를 검출되는지를 5회 반복 측정하였다. Table 3에서와 같이, 1개 영역 씩 불량을 발생시켰을 경우 A, B, E, F를 제외한 전 구역에서, 3개 영역씩 동시에 불량을 발생시켰을 경우 B-F-I를 제외한 전 구역에서 불량이 검출되었다. 따라서 타발 공정 시 이송 테이블의 좌측 상단 부위에 타발압이 효과적으로 전달되지 않음을 알 수 있었다.

Table 3 The selection results of bad diecutting for several areas

Bad Area	A	B	C	E	F	G	H	I	J
Select No.	0	0	4	0	2	4	3	5	5
Bad Area	A-B-C			E-F-G			H-I-J		
Select No.	5			3			5		
Bad Area	A-E-H				B-F-I			C-G-J	
Select No.	5				2			5	

7. 결론

본 연구에서는 시트를 정확한 형태로 가공하기 위해 250 ton 큰 타발압이 가해지는 타발 공정에서 안정성 해석과 진동 측정을 이용하여 품질을 예측하는 방법을 제안하였다. 우선 유한요소해석을 통하여 각각 상 테이블, 토글에서 0.464 mm, 138 MPa의 최대 변형량과 응력이 발생되어 정적으로 안정된 구조를 가지고 있다고 판단된다. 그리고 유한요소해석과 modal 시험을 통해 관측된 고유진동수는 41~136, 1104 Hz이었고 타발 공정의 진동을 주파수 스펙트럼 분석한 결과 5500 Hz 이상의 고주파 영역에서 중첩되어 동적으로 안정되었다고 판단된다. 타발 영역 중 1, 3개 영역씩 불량을 발생시켰을 때 설치된 가속도계로부터 대부분 타발 품질을 검출함을 알 수 있었다.

참고문헌

- Jung, H. Y. and Sung, S. H., "A Study on the Structural Analysis and Test of an Electric Car-Body," J. of the KSPE, Vol. 15, No. 12, pp. 28-36, 1998.
- Jung, I. H., Park, T. W., and Kim, S. H., Structural Vibration Analysis of Electronic Equipment for Satellite under Launch Environments," J. of the KSPE, Vol. 21, No. 8, pp. 120-128, 2004.
- Kim, J. S., Jeong, J. C., Cho S. H., and Seo, S. I., "Analytical and Experimental Studies on the Natural Frequency of a Composite Train Carbody," J. of KSME, Vol. 30, No. 4, pp. 473-480, 2006.