

진폭 균일도를 향상시키기 위한 초음파 혼의 설계 Design of Ultrasonic Horn to Enhance Amplitude Uniformity

김선탁¹, #유종근¹, 이재학²

S.-R. Kim¹, #C. D. Yoo(cdyoo@kaist.ac.kr)¹, J. H. Lee²

¹ 한국과학기술원 기계공학과, ² 한국기계연구원

Key words : Ultrasonic horn design, Amplitude uniformity, Spool and bar horn, Groove, Slot

1. 서론

전자 패키징에 사용되는 초음파 접합에서는 혼(horn)의 출력면에서 발생하는 진폭이 균일해야 한다. 초음파 혼의 진폭 균일도를 증가시키기 위하여 Fig. 1 에 보인 바와 같이 실린더 혼의 경우에는 출력면 부근에 홈을 가공한 스폴혼을 사용하고, Fig. 2 의 바혼에서는 그루브(groove)를 가공하거나 슬롯(slot)을 가공한다. 그루브는 구속조건을 완화시킴으로서 진폭 균일도가 증가하고, 슬롯은 혼의 단면을 감소시켜 진폭 균일도가 증가시키는 역할을 한다.

이와 같은 초음파 혼에서 그루브와 혼의 역할은 널리 알려져 있지만, 이에 대한 정량적인 해석은 부족한 실정이다. 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 스폴혼과 바혼의 그루브와 슬롯이 진폭 균일도에 미치는 영향을 유한요소법을 이용하여 해석하였으며, 실험계획법을 이용하여 높은 균일도를 얻을 수 있는 그루브와 슬롯의 치수 결정하였다. 해석 결과를 검증하기 위하여 혼을 가공하고 LDV(Laser Doppler Vibrometer)를 이용하여 혼의 공진과 출력면의 변위를 측정하고 해석결과와 비교하였다.

2. 실험계획법을 이용한 혼의 설계

바혼의 3 차원 모드 해석을 위하여 상용의 유한요소 프로그램인 ANSYS 를 이용하여 혼의 공진 주파수와 응력 및 출력면의 변위를 계산하였으며, 실험계획법을 이용하여 그루브와 슬롯의 인자가 균일도에 미치는 영향을 분석하였다. 모드 해석 결과로부터 진폭 균일도는 혼의 출력면에서 발생하는 최소 변위와 최대 변위의 비율로 나타낸다.

$$U = u_{min}/u_{max} \times 100$$

통계처리를 위하여 MINITAB 을 이용하였고, 균일도에 미치는 영향이 큰 제어 인자와 그루브와 슬롯의 설계 치수를 구하고 이를 이용하여 설계식을 제안하였다.

수치해석 결과를 바탕으로 그루브 바혼과 슬롯 바혼을 가공하였으며(Aluminum 7075), 혼의 공진 주파수와 출력면의 변위를 측정하고 계산 결과와 비교하여 수치해석 결과를 검증하였다. 주파수 분석기를 이용하여 초음파 발전기의 출력 주파수를 측정하였고, LDV 를 이용하여 진동자와 부스터 및 혼의 출력면에서 주파수와 속도를 측정하였다. 출력면의 변위는 LDV 로 측정된 속도를 적분하여 구하였다.

3. 결과 및 고찰

실험계획법의 결과로부터 그루브의 인자인 그루브의 깊이와 폭 및 위치 중에서 진폭 균일도에 가장 큰 영향을 주는 인자는 그루브의 깊이이고, 그루브의 폭은 거의 영향을 미치지 않는다. 슬롯의 경우에는 슬롯의 폭이 가장 큰 영향을 주며, 슬롯의 길이는 큰 영향을 주지 못한다.

이와 같은 해석 결과로부터 구한 그루브와 슬롯의 설계식을 구하였으며, 스폴혼의 그루브 설계식은 다음과 같다.

$$A = D/15, B = L/20, h = L/8$$

바혼의 경우, 그루브와 슬롯의 설계식은 다음과 같다.

$$A = 11/140W, h = 25/104L, B = L/20$$

$$W_s = W/10, L_s = 9/13L$$

Fig. 3 과 4 는 설계식을 이용하여 FEM 으로 계산한 실린더 혼과 바혼의 진폭 균일도를 나타낸다. 설계식을 이용하여 구한 그루브와 슬롯을 이용하는 경우에는 실린더 혼의 직경이나 바혼의 길이가 증가하여도 높은 진폭 균일도를 얻을 수 있다. 실험을 통하여 측정된 초음파 혼의 진폭은 계산 결과와 잘 일치하였으며, 이를 통하여 본 연구에서 제안한 설계식을 이용하여 높은 진폭 균일도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

진폭 균일도가 높은 초음파 혼을 설계하기 위하여 유한요소법과 실험계획법을 이용하여 그루브와 슬롯이 진폭 균일도에 미치는 영향을 분석하고, 그루브와 슬롯의 치수를 결정하는 설계식을 제시하였다. 그루브의 깊이와 슬롯의 폭이 진폭 균일도에 가장 큰 영향을 주며, 해석 결과는 실험 결과와 잘 일치하였다. 본 연구에서 제시한 설계식을 이용하여 균일도가 높은 혼의 설계에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

후기

본 연구는 한국기계연구원의 협동연구과제의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사 드립니다.

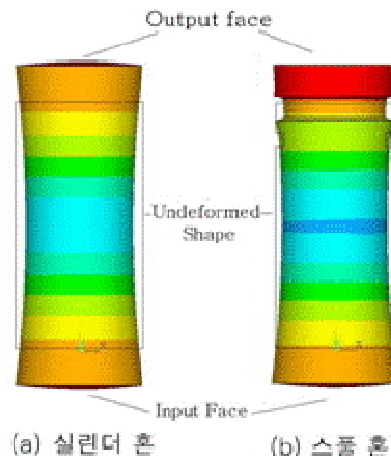


Fig. 1 Vibration mode of cylinder horn and spool horn

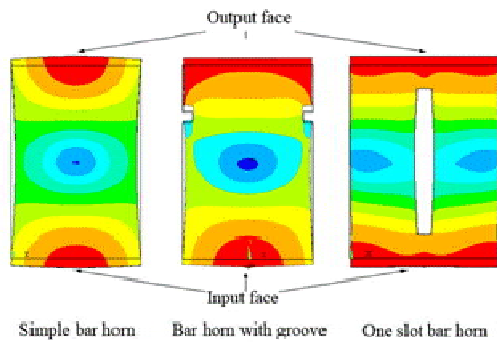


Fig. 2 Vibration mode of bar horn with groove and slot

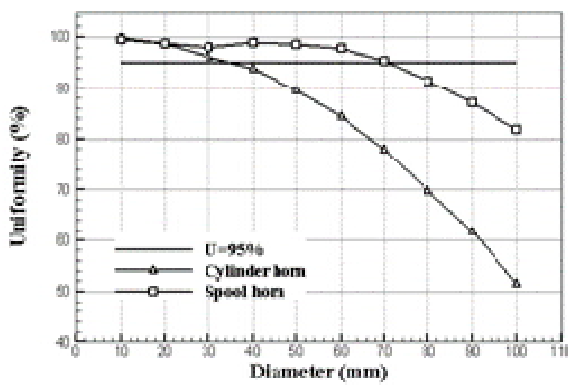


Fig. 3 Comparison on amplitude uniformity between cylinder and spool horn

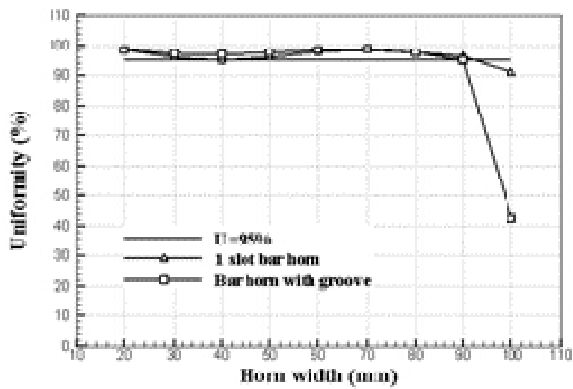


Fig. 4 Effects of groove and slot on amplitude uniformity of bar horn