

Sliding cover의 고속 운동 특성 평가

강재훈*, 송준엽, 박화영, 이승우, 황주호, 이현용, 이찬홍, 이후상 (한국기계연구원)

Motion Characteristic Evaluation of Sliding Cover for High Speed Type Machine

J.H.Kang*, J.Y.Song, H.Y.Park, S.W.Lee, J.H.Hwang, H.Y.Lee, C.H.Lee, H.S.Lee (KIMM)

ABSTRACT

Recently, advanced manufacturing systems with high speed and intelligent have been developed for the betterment of machining ability. In this case, reliability prediction work with motion characteristic evaluation of sliding cover has also important roll from design procedure to manufacturing and assembly process. Accordingly in this study, H/W test-bed system for reliability evaluation of sliding cover has been developed to obtain proper reference data for design of new model, and also prevention trouble, quality and life cycle improvement extremely for advanced mother machinery.

Key Words : Sliding cover(슬딩부 보호대), High speed(고속), Reliability(신뢰성), Evaluation(평가)

1. 서론

최대 약 70,000 rpm급의 초고속 주축 회전 속도와 약 120m/min급의 급속 이송 속도 적용을 최종 목표로 설정하여 전세계적으로 현재 실용화 단계에 들어서는 모델에 준하거나 상회할 수 있는 수준의 고속 가공 시스템을 개발하고자 함에 있어서, 다량으로 강하게 공급되는 절삭유와 다량으로 배출되어 비산되는 칩 등으로부터 슬딩부를 보호하기 위하여 Sliding cover에 대한 고려가 세심하게 요구되며, 이러한 가혹한 운용 조건과 사용 환경 분위기 하에서 신뢰성 높게 적용할 수 있는 모델의 채택이 필요하다.

일반적으로 Sliding cover의 종류로는 냉간 압연 강판 및 SUS 등 소재의 C plate, PVC, PE, 테프론 등 소재의 Bellows cover, Multi-cover, Roller cover, 표면처리강, 아노다이징 처리한 알루미늄 등 소재의 Apron cover 등을 들 수 있으며, 급속 이송 및 고속 가공 속도의 운용 조건과 밀접한 관련이 있는 것으로는 X축으로의 C plate와 Z축으로의 Bellows cover 및 Multi-cover 등을 들 수 있다.

Sliding cover는 반복 운동성, 진동 충격, 과속, 과부하, 과열, 내환경성, 절삭유 오염 등의 운용 분위기 하에서 성능 저하, 소음, 진동, 마모, 파단, 부식 등의 고장 모드가 발생될 수 있다.

각 운용 분위기의 인자들에 의하여 복잡하게 다양한 고장 모드가 발생될 수 있으나 반복 운동에 의한 성능 저하와 마모, 진동 충격에 의한 진동과 파단, 과속에 의한 성능 저하와 소음, 과부하에 의한 파단, 내환경성에 의한 부식 등을 중요한 상호 연관 관계라고 유추할 수 있다.

일반적으로 이러한 내구성 측면에서의 신뢰성은 소음과 진동 요소를 대상으로 하여 주로 평가할 수 있게 된다. 현재 사용되는 Sliding cover의 수명에 대한 정량적인 판단 기준은 없으며, 생산 현장 작업자들의 정성적인 노후성 감지 경험 사례를 주로 기준으로 하여 보통 8시간/일 작업 시간으로 약 12~18 개월 정도 사용한 후에 주기적으로 교체하고 있는 실정이다.

현재 상용화되고 있는 고속 머시닝 센터의 급속 이송 속도는 일반적으로 최대 약 40~60m/min 정도로써, 약 120m/min에 달하는 급속 이송 속도의 운용 조건하에서는 당연히 Sliding cover의 내구성이 문제시될 것이다.

따라서 아직 개발된 바 없는 전용 신뢰성 평가 장치를 설계, 제작하여 이와 같은 기존 모델의 Sliding cover에 대한 가속 시험을 수행함으로써, 고속 운용 조건하에서의 이송 운동 특성과 이상 상태를 파악하여 수명 측면에서의 정량적인 판단 기준을 설정하는 한편, 결과 데이터들을 활용하여 높은 신뢰성을 부여할 수 있는 적절한 새로운 모델의 최적 설계를 위한 자료로서 활용하고자 한다.

2. 신뢰성 평가용 H/W Test-bed의 구축

공압 실린더를 이용하여 급속 이송 운동을 반복적으로 수행할 수 있도록 하며 양 끝단에서의 진동 충격을 흡수하기 위하여 스프링 쿠션에 의한 댐퍼를 적용하였다.

공압 실린더에 의한 작용력의 불균형에 의한 문제점을 차단하고 효율적인 부가 하중의 균형을 고려하여 더블 바 형태의 가이드를 채택하는 한편, 다양한 사양의 Sliding cover에 대한 적용 실험을

위하여 Flexible guide를 구성함으로써 행정 길이의 변화가 가능할 수 있도록 하였다.

구조물의 경량화와 컴팩트화를 위하여 형강재를 사용하는 한편, 작용력에 대한 적절한 강성을 위하여 보강 판재를 적용하고 이동성을 고려하여 바퀴를 부착하였으나, 예비 실험의 결과 다소 부족한 강성이 도출되어 스틸 베드에 고정 장착하였다.

컨트롤러는 X, Z축에 대한 각각의 독립된 운동을 고려하여 Twin type을 적용하며 이송 속도를 가변할 수 있도록 하는 한편, 동작수의 누적이 식별되도록 설계하였다.

Test-bed의 X, Z축의 길이는 개발중인 가공 시스템 모델의 제원과 실험실 내의 구축 공간 등을 종합적으로 고려하여 초기에 650× 500, 550× 500mm로 설정하였다.

그림 1에는 공압 실린더의 운동을 위한 회로 구성도를 나타내었다. 이송 속도의 조절을 위한 원활한 Air flow 제어를 위하여 Double action 방식의 솔레노이드 밸브를 적용하였다.

그림 2에는 제작 구성 조립한 H/W Test-bed를 나타내었으며, AE 센서와 Sound level tester를 사용하여 소음을, Accelerometer를 사용하여 진동을 각각 In-situ 방식으로 측정하는 신뢰성 평가 시험을 지속적으로 수행하고 있다.

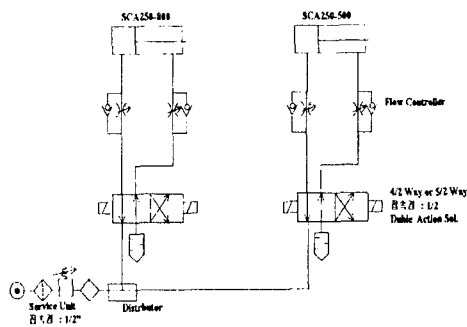


그림 1. 공압 실린더의 운동을 위한 회로 구성도

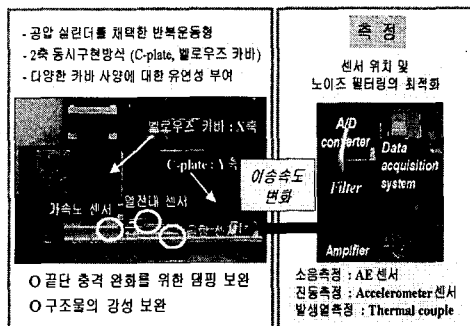


그림 2. 제작, 구성한 H/W Test-bed 및 측정 시스템

3. 가속시험에 있어서의 이송운동 특성평가

예비 실험의 결과를 활용하여 Sliding cover 구조물의 적절한 위치를 선정하여 소음과 진동을 측정하기 위한 센서들을 부착하였으며, 연속적인 반복 운동에 의하여 발생하는 마찰에 따른 열을 측정하기 위하여 열전대 센서를 부착하여 연속적인 측정을 실시한다.

즉, 반복 운동의 누적에 따른 마모의 진전 정도와 과속 운동에 의한 발생 열의 과급 등이 소음과 진동의 원인이 되어 작동성(성능)을 저하하여 고장의 주요한 원인이 되기 때문이다.

센서로부터 측정된 미세한 신호 출력치는 증폭기를 통하여 충분히 증폭한 후, 필터링을 거쳐 전류 전환기에 의하여 변환되고 PC 기본 구조의 데이터 분석 장치에 전달됨으로써 실험 중에 연속 방식으로 용이하게 파악할 수 있다.

그림 3,4에는 H/W Test-bed와 데이터 분석 장치로 구성된 Sliding cover의 신뢰성 평가 시스템과 PC 모니터 상에 나타난 측정 예의 사진을 각각 나타냈다.

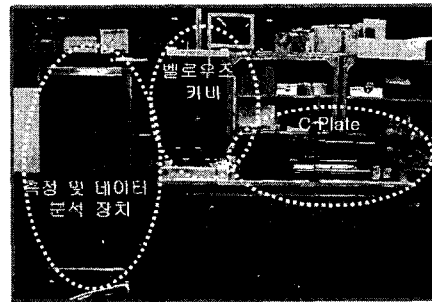


그림 3. Sliding cover의 신뢰성 평가 시스템

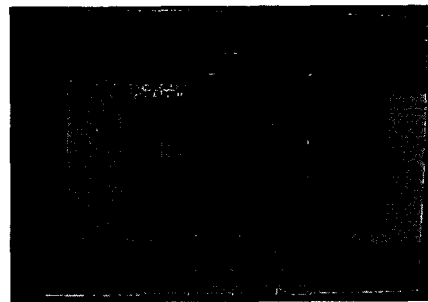


그림 4. 연속 측정 분석의 예

4. 시험 결과 및 고찰

그림 5에는 X축의 C Plate에 대한 진동 특성을 파악하여 나타내었다. 초기 지점에서 스프링 댐퍼

가 있는 끝단까지의 급속 전진 이송 시간과 끝단에서 초기 지점까지의 급속 귀환 이송 시간은 각각 약 0.5초 정도이며, 이 과정의 중간 정지 시간은 2초 정도이다. 이 때 각 이송 거리는 1m이므로 급속 이송 속도는 약 120m/min에 해당되며, 단위 작동 주기 시간은 약 5초 정도이다.

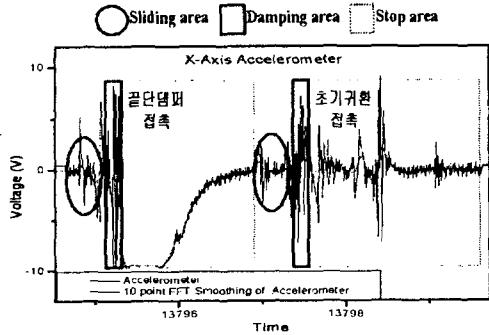


그림 5. X축의 C Plate에 대한 진동 특성

그림 6에는 Y축의 Bellows cover에 대한 진동 특성을 파악하여 나타내었다. 초기 지점에서 스프링 덤퍼가 있는 끝단까지의 급속 전진 이송 시간과 끝단에서 초기 지점까지의 급속 귀환 이송 시간은 각각 약 0.35초 정도이며, 이 과정의 중간 정지 시간은 1.7초 정도이다. 이 때 각 이송 거리는 0.6m이므로 급속 이송 속도는 약 120m/min에 해당되며, 단위 작동 주기 시간은 약 4초 정도이다.

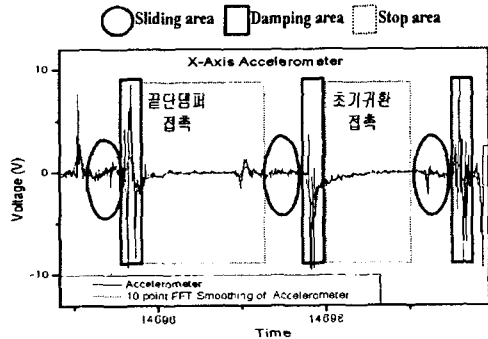


그림 6. Y축의 Bellows cover에 대한 진동 특성

그림 7에는 Y축의 Bellows cover 경우에 대하여 총 168 시간의 시험을 수행하며, 진동과 음향 신호를 측정하여 비교한 결과를 나타내었다.

일반적인 작업 현장에 대한 조사 결과에 의하면 머시닝 센터의 운영시에 비가공 급속 이송 시간을 전체 작업 시간의 약 10% 정도에 해당되므로, 총 168 시간의 연속 시험 기간은 약 7시간/일 기준의 작업 시간 기준으로 약 10개월 정도의 작업 기간 경과 후로 유추할 수 있다.

참고로 작업 현장의 경우에 약 12~18 개월을 Sliding cover의 수명 주기로 설정하고 있으므로 약 2/3 정도의 수명에 도달한 시점으로 설정할 수 있다.

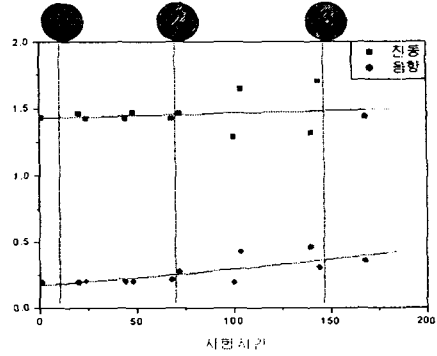


그림 7. 시험 시간의 누적에 따른 Bellows cover의 진동과 음향 신호 변화 비교

그림 7로부터 진동과 음향 성분이 모두 시험 시간의 누적에 따라 증가하는 경향을 확인할 수 있으며, Bellows cover의 소재는 가벼운 부직포로 이뤄지고 중량도 작은 관계로 관성이 작아서 진동보다는 소음 발생 측면에서 상대적으로 노후되는 경향이 뚜렷하게 나타난다는 것도 추정할 수 있다.

따라서 Bellows cover의 음향 신호 성분 변화를 기준으로 추정할 경우에 소음이 초기 시점에 비하여 약 30% 이상이 증가되었으므로, 상당한 소음이 발생되어 노후가 이뤄진 것으로 추정되지만 표준 편차의 크기나 급증하는 임계 시점이 명확하게 나타나지 않는 점을 고려할 때 지속적인 시험을 수행하여 결과를 분석할 필요가 있다고 사료된다.

그림 8,9에는 X축의 C Plate 경우에 대하여 총 56 시간의 시험을 수행하며, 진동 및 음향 성분의 신호를 측정하여 각각 비교한 결과를 나타내었다.

일반적인 작업 현장에 대한 조사 결과에 의하면 머시닝 센터의 운영시에 비가공 급속 이송 시간을 전체 작업 시간의 약 10% 정도에 해당되므로, 총 56 시간의 연속 시험 기간은 약 7시간/일 기준의 작업 시간 기준으로 약 3.5개월 정도의 작업 기간 경과 후로 유추할 수 있다.

참고로 작업 현장의 경우에 약 12~18 개월을 Sliding cover의 수명 주기로 설정하고 있으므로 약 1/4 정도의 제수명에 도달한 시점으로 설정할 수 있다.

그림 8,9로부터 진동과 음향 성분이 모두 시험 시간의 누적에 따라 증가하는 경향을 확인할 수 있으며, C Plate cover의 소재는 냉간 압연 강판으로 이뤄지고 중량도 상대적으로 큰 관계로 인하여 고속 이송 속도의 조건 하에서 관성이 커지므로 소음 측면보다 진동 발생 측면에서 상대적으로 노후되는 경향이 뚜렷하게 나타난다는 것도 추정할 수 있다.

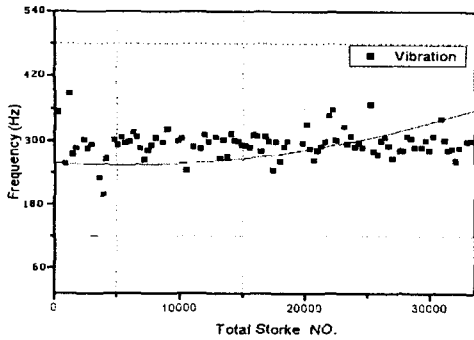


그림 8. 시험 시간의 누적에 따른 C Plate cover의 진동 신호 변화 비교

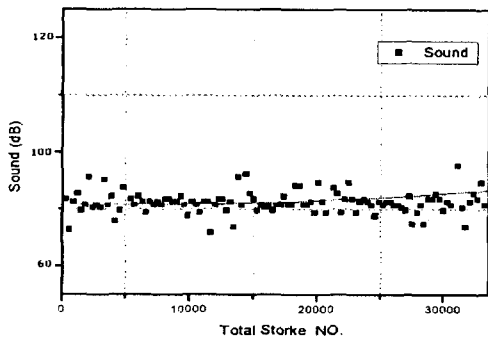


그림 9. 시험 시간의 누적에 따른 C Plate cover의 음향 신호 변화 비교

5. 이상 상태의 유형과 검증을 위한 해석

싱글 차바라 링크 구조에 의하여 접혀지는 4개의 판재 형태인 C Plate가 공압 실린더에 의하여 최종적으로 도달하는 끝단에 있어서 그림 10에 나타낸 바와 같이 리브 형상의 구속용 핀 부위에 파단이 발생되었다.

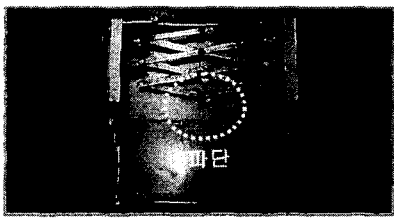


그림 10. 파단 이상 상태의 발생 예

본 C Plate의 신뢰성 평가 시험에서는 허용 한도 값의 약 2배에 이르는 최대 120m/min의 급속 이송 속도인 가속 조건하에서 운용하였으며, 따라서 성능 저하 현상이 빠르게 야기될 수 있다는 예측을 할 수는 있으나 일반적인 교체 주기의 불과 약 1/4

시점이 경과된 후에 구조물의 핀 부위에서 파단 현상이 초래되었다는 것은 해석을 통한 검증에 의하여 재고찰할 필요가 있다.

해석을 위하여 C Plate의 구조를 Solidworks P/G으로 3차원화 모델링하였으며, FEM을 이용하여 핀 부위에 대한 절점수 9,156개, 요소수 7,215개를 생성하였다. 경계 조건은 양단을 고정하고, 충격 하중이 작용하는 핀 삽입 위치의 절점들에 대하여 충격 하중을 분산시켜 작용시켰다. LS-DYNA S/W를 사용하여 해석하였고, 재료는 등방성 탄소성 모델을 적용하였으며, 충격 하중은 Define Curve를 이용하여 1초 동안 작용시켜 해석하였다.

그림 11에 해석한 결과를 나타냈으며, 시험 평가 과정에서 발생되었던 파단 지점에 있어서의 항복 응력이 소재의 고유 물성치보다 2배 이상으로 높게 (약 500 MPa) 부여받는다라는 것을 확인할 수 있다. 따라서 시험 평가 과정에서 발생되었던 파단 이상 상태를 해석적으로 검증할 수 있었으며, 최종적으로 파단 원인은 반복 피로-충격 하중의 영향에 의한 것으로 판단된다.

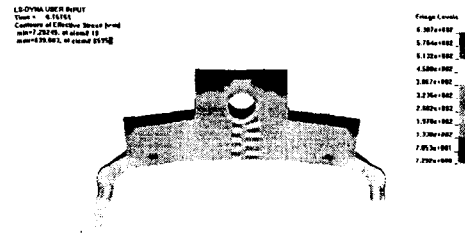


그림 2.1.20 C Plate 핀 부위의 응력 해석

이러한 해석 결과를 활용하여 본 연구 사업에서 최종 목표로 설정하고 있는 초고속 운용 조건하에서 효율적으로 적용할 수 있는 Sliding cover의 C Plate에 대한 구조물의 보완 재설계를 수행할 수 있다. 즉, C Plate 구조물의 판재를 구속하는 핀에 있어서 항복 응력이 가장 취약한 부위의 강성을 보강할 수 있는 형상과 치수를 설정하여 최적 설계함으로써, 반복 운동의 과정에서 발생할 수 있는 파단 이상 상태를 억제하여 수명 향상 측면에서의 높은 신뢰성을 부여할 수 있다.

6. 결 언

고속의 가속 운용 조건하에서 Sliding cover에 대한 이송 운동 특성 시험을 현재까지 수행한 결과에 의하면, C Plate의 경우에는 진동성분, Bellows cover의 경우에는 음향성분이 상대적으로 각각 주요한 노후성 파악인자가 될 수 있다는 것과 조기의 구조물 부위에 대한 파단 이상 형태의 발생을 확인할 수 있었다. 해석의 검증에 따라 반복-충격 하중 작용에 따른 항복응력의 취약 부위를 재고찰할 수 있었으며, 초고속 이송조건을 수용할 수 있는 신모델의 보완 설계용 지침을 설정할 수 있었다.