

C-Plate 커버의 구조해석 및 취약부 규명

김옥구*, 송준엽, 강재훈, 박화영(한국기계연구원 지능형정밀기계연구부)

A Study on Characteristic Analysis of C-Plate Cover and Examination of Weak Parts

O. K. Kim, J. Y. Song, J. H. Kang and H. Y. Park (Intelligence & Precision Machine Dept., KIMM)

ABSTRACT

Recently, advanced manufacturing systems with high speed and intelligence have been developed for the betterment of machining ability. In this case, reliability prediction work with motion characteristic evaluation of sliding cover(C-plate, Bellows, etc) has also important role 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, prevention trouble (failure mode), and improvement of quality and life cycle extremely for advanced mother machinery.

Key Words : Sliding cover(슬딩부 보호대), C-Plate(C-플레이트), Failure mode(고장모드), Weak parts(취약부), Reliability test(신뢰성 시험), Link- structure(링크구조)

1. 서 론

공작기계와 같은 가공 시스템은 다수의 부품과 유니트들로 구성되며, 이들이 지니는 각 고유기능이 전체 시스템의 성능에 영향을 줄 수 있으므로 설계단계에서부터 신뢰성 측면이 매우 중요하게 요구된다.

상용화되고 있는 기존의 고속가공기와 차별성 있는 차세대형 초고속가공시스템의 개발에 대응하기 위해서는 약 120m/min의 최대 급속 이송 속도가 요구되므로, 이와 같은 가혹한 사용환경 조건 하에서의 이송부에 대한 노후성 측면의 신뢰성 검토가 필요하다. 이송부에 적용되는 슬라이딩 커버의 일종인 C-Plate에 대해서도 기존의 고속가공기용 모델로는 쉽게 고장 모드가 발생될 것으로 예측되지만, 이에 대한 실제 적용상의 정량적이고 객관적인 데이터가 미흡하여 명확히 규명되지 않은 실정이다.

본 연구에서는 기존의 일반 고속 가공기에 채택되고 있는 싱글 링크형 모델을 대상으로 하여 급속 이송 조건 하에서의 반복 누적 실험을 수행하는 과정에서 발생된 구조물의 파단 부위를 시뮬레이션 해석하여 검증을 하였다. 또한, 강성과 운동 평형성

등을 고려하여 보완 제작된 더블 링크형 모델을 대상으로 하여 동일한 조건의 실험을 수행함으로써 내구성에 대한 신뢰성을 검토하는 한편, 취약부를 재규명 하고자 하였다.

따라서 본 연구에서는 초고속 가공 시스템에 적용할 C-Plate의 적절한 모델을 구현함에 있어서 기초적인 지침을 제시하고, 최종적으로는 급속 이송 속도 하에서도 신뢰성과 안정성을 높게 발휘 할 수 있는 초고속 가공 시스템의 개발에 일익이 되도록 하였다.

2. 신뢰성 평가용 Test-bed 구축

급속 이송속도의 반복 운동에 따른 내구성 측면의 신뢰성 실험을 위한 실험 장치를 Fig. 1에 나타내었다. 공압 실린더를 이용하여 급속 이송 운동을 반복적으로 수행 할 수 있도록 하며 양 끝 단에서의 충격 하중을 흡수하기 위하여 스프링 쿠션에 의한 댐퍼를 적용하는 한편, 공압 실린더에 의한 작용력의 불균형에 의한 문제점을 차단하고 효율적인 밸런싱을 추구하기 위하여 더블 바 형태의 가이드를 채택하였다. 또한, 다양한 재원의 Sliding Cover에 대한 적용 실험을 위하여 Flexible guide를 구성

함으로써 행정 길이의 변화가 가능할 수 있도록 하였다. 센서로부터 측정된 미세한 주파수 신호 출력치는 증폭기를 통하여 충분히 증폭한 후 필터링을 거쳐 전류 변환기에 의하여 변환되고, Lab view를 이용하여 데이터를 수집, 분석하였다.

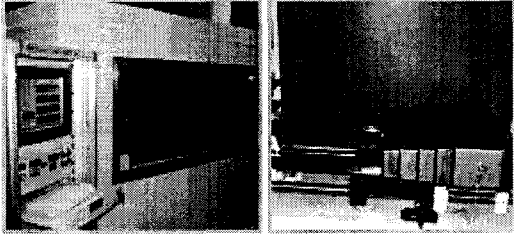


Fig. 1 Experimental equipment of sliding cover

3. C-plate의 특성분석 실험

3.1 실험 방법 및 조건

본 연구에 사용된 C-plate는 4개와 5개의 판재로 각각 구성된 싱글 및 더블 링크형의 자바라식 구조물이다. Fig. 2에는 이와 같은 일반 압연 강판재(SCPI) 재질의 C-plate 2 종류를 나타내었다.

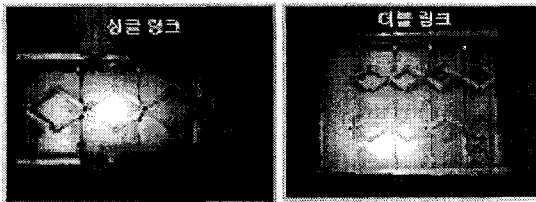


Fig. 2 C-plate covers of single & double type

제작 구성 조립한 H/W Test-bed에 싱글과 더블 자바라 구조의 C-Plate를 각각 장착하고, 공압 실린더에 의하여 급속 전진과 귀환을 하며 왕복 이송 운동의 반복 실험을 수행하였다. C-Plate 구조물의 끝단 판재 상단에 가속도계 센서(Accelerometer)를 부착한 후 양 끝단에 진동 충격을 흡수하기 위하여 설치된 스프링 쿠션에 의한 댐퍼에 슬라이딩 하며 충격이 가해질 때 따른 신호를 얻는 방식으로 실험을 하였다.

3.2 싱글 링크구조의 실험결과

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

5 초 정도이다. Fig. 3에는 싱글 링크구조의 C-plate에 대한 진동특성을 파악하여 나타내었다.

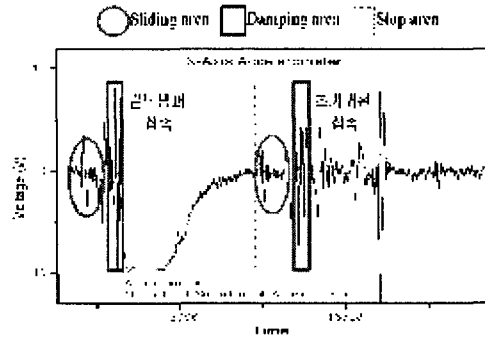


Fig. 3 Vibration characteristic of C-plate in single link

일반적인 작업 현장에 대한 조사 결과에 의하면 머시닝센터의 운영 시에 비가공 급속 이송시간을 전체 작업 시간의 약 10% 정도에 해당되므로, 총 56시간의 연속 시험 기간은 약 7시간/일 기준의 작업 시간 기준으로 약 3.5개월 정도의 작업 기간 경과 후로 유추할 수 있다. 또한, 작업 현장에서는 약 12~18개월을 Sliding cover의 수명 주기로 설정하고 있으므로 약 1/4 정도의 제 수명에 도달한 시점으로 설정할 수 있다. 진동성분의 신호를 측정된 결과, Fig. 4에 제시된 것처럼 시간경과에 따라 특성치가 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.

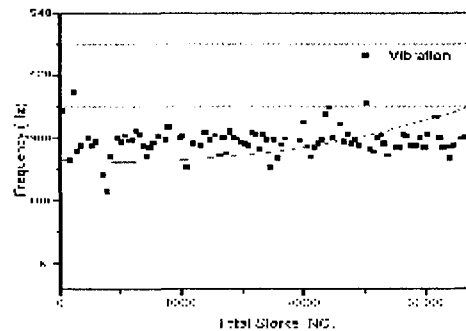


Fig. 4 Transformation of vibration signal in time domain

C-plate의 소재는 냉간 압연 강판으로 이뤄지고 중량도 상대적으로 큰 관계로 인하여 고속 이송 속도의 조건 하에서 관성이 커지므로 시간의 경과에 따라서 진동 발생 측면에서 상대적으로 노화되는 경향이 뚜렷하게 나타난다는 것도 확인할 수 있었으며, 임계시점이 명확한건 아니지만, 예측되는 수명도달 시점에서 C-plate가 공압 실린더에 의하여 최종적으로 도달하는 끝단에 있어서 Fig. 5에 나타난 바와 같이 링크결합을 위한 브리지(bridge)부위에서 파단 현상이 발생하였다.

이와 같은 현상은 기계식 스프링 댐퍼에 의한 충격 하중이 가장 크게 전파되는 부위에서 발생되었고, 사용한 C-plate 의 제시하는 허용 고속 이송 속도 최대치가 약 60 m/min 인 점을 감안할 때 공압 댐핑 혹은 링크 구동식의 운동 기구를 도입하거나 후판의 더블 자바라 링크 및 리브구조로 개선하는 것이 바람직하다고 추정된다.

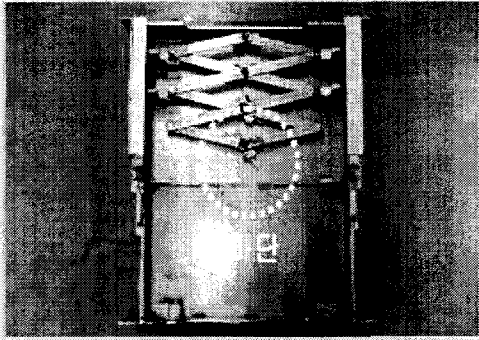


Fig. 5 Breakage of single link type C-plate

3.3 더블 링크구조의 실험결과

보완 개선된 더블 자바라 구조의 C-Plate 에 대해서도 동일한 급속이송 운동실험을 수행 하였다.

현재까지 총 100 시간 정도의 누적 운동시간이 이뤄진 시점에서는 특별한 파단 형상이 발견되지 않았지만, 가속도센서에서 검출된 진동신호 특성치는 Fig. 6 의 (a), (b), (c)에 제시된 것처럼 진동 파형이 초기대비 약 10%정도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 비가공 급속 이송시간을 전체 작업 시간의 약 10% 정도에 해당하는 총 100 시간의 연속 시험 기간은 7 시간/일 기준 작업시간 기준으로 약 6.5 개월 정도 작업 시간 경과 후로 유추해 볼 수 있다. 따라서, 보완 개선된 더블 자바라 구조는 수명 주기를 12~18 개월을 수명 주기로 설정하고 있으므로, 진행 결과는 구조물의 고유수명에서 약 1/3 정도 도달한 시점으로 설정할 수 있다.

4. 구조해석 및 취약부의 규명

4.1 싱글 자바라 구조의 해석

본 C-Plate 의 신뢰성 평가 시험에서는 허용 한도 값의 약 2 배에 이르는 최대 120 m/min 의 급속 이송 속도인 가속 조건하에서 운용하였으며, 따라서 성능 저하 현상이 빠르게 야기 될 수 있다는 예측을 할 수는 있으나 일반적인 교체 주기의 불과 약 1/4 시점이 경과된 후에 구조물의 브리지 부위에서 파단 현상이 초래되었다는 것은 해석을 통한 검증에 의하여 재 고찰할 필요가 있다.

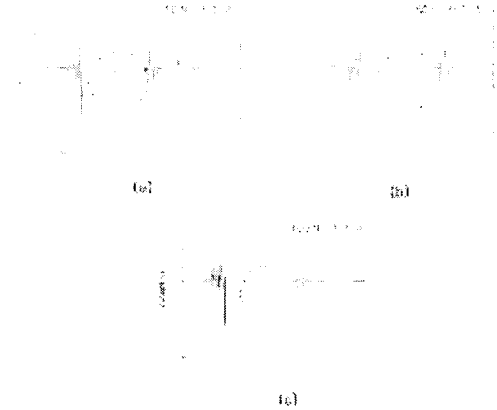


Fig. 6 Vibration signal comparison on specialized time

4.1.1 해석모델 및 조건

본 연구에 사용된 싱글 자바라 구조는 왕복 운동시 실제 충격 하중이 집중되고, 응력 집중과 변형이 예상되는 곳을 이산화하여 국부적인 모델링 및 FE 모델을 완성하였다. Fig. 7 에 나타낸 것과 같이 해석모델에 사용한 Element 는 약 7,200 개, Node 는 약 9,000 개이다. 경계조건은 양단을 고정하고, 충격 하중이 작용하는 핀 삽입 위치의 절점들에 대하여 충격 하중을 분산시켜 작용시켰다.

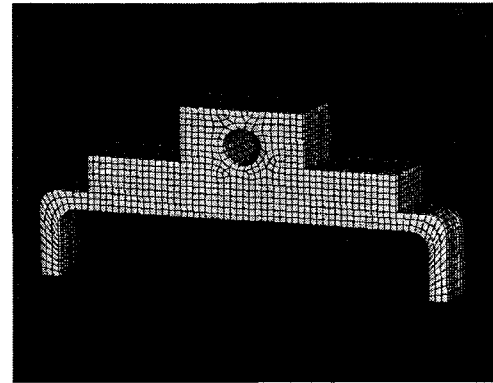


Fig. 7 FEM model of single link type C-plate

Table 1 에는 해석에 사용된 Element Type 과 Material properties 를 나타내었고, 해석을 위해서 운동방향으로 초기 기준이 되는 판재 수직면에 가속도계를 부착하여 실제의 운용 조건에서 발생하는 충격 하중을 측정하였다. 이때 측정 결과에 의하면 Fig. 8 에 나타난 바와 같이 최대 충격가속도 90 m/min 이 발생하는데, 실제 운동하는 판재의 질량의 합인 9.5kg 이 충격가속도에 대한 충격하중(860 kgf)이 된다.

Table 1. Material properties of SCP1

Element type	탄소성 재료 요소
포아송비	0.29
밀도	7,870kg/m ³
전단계수	80 GPa
탄성계수	205 GPa
체적 탄성계수	140 GPa
항복강도	206 MPa

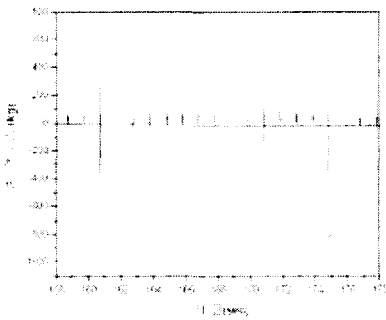


Fig. 8 Impact load working at pin part

4.1.2 해석결과 및 고찰

구조 해석은 비선형 충돌 해석 코드인 LS-Dyna를 사용하였고, 핀 부위에 작용하는 충격하중은 판재가 슬라이딩 되며 접촉저 실제 충격의 효과를 내는 Define Curve를 이용하여 충격 지속 시간인 1초 동안 작용시켜 해석을 수행하였다.

시험 평가 과정에서 발생되었던 파단 지점에 있어서 Fig.9 에 해석 결과를 나타낸 바와 같이 최대 응력이 소재의 고유 항복 응력보다 2 배 이상 높게 (약 500MPa) 발생하는 것을 알 수 있었으며, 시험 평가 과정에서 발생되었던 파단 이상 상태를 해석적으로 검증 할 수 있었다. 최종적으로 파단 원인은 반복 피로-충격 하중의 영향에 의한 것으로 판단되었고, 취약부의 강성을 보강한 형상과 치수를 설정한 구조물의 재설계가 이루어져야 한다.

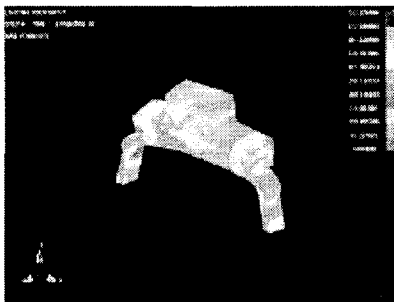


Fig. 9 Structural analysis of single link type C-plate

4.2 더블 자바라 구조의 해석

더블 자바라 링크 및 리브구조로 개선한 모델은 교체 주기의 약 1/3 시점이 경과된 지점까지는 실험을 통해 구조적으로 별다른 파단 현상은 발생되지 않았지만, 보완된 모델의 해석을 수행하여 취약한 부위의 예측을 할 필요가 있다.

4.2.1 해석모델 및 조건

Fig. 10 에 제시된 것처럼 보완된 더블 자바라구조의 해석모델에는 Element 약 16,000 개, Node 약 24,000 개를 이용하여 FEM 모델을 완성하였다. 경계조건은 양단의 bridge 부분이 고정되므로 브리지와 연결되어 있는 판재를 고정 시키고, 판재의 슬라이딩으로 작용하는 충격 하중을 두 곳의 핀 삽입 위치의 절점에 적용하였다.

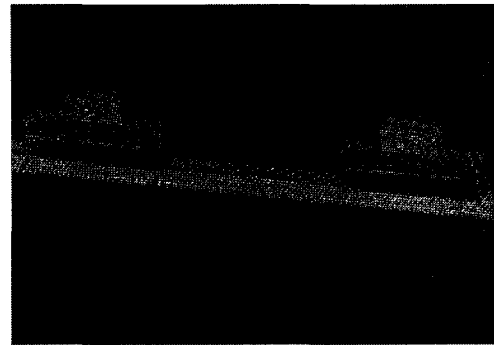


Fig. 10 FEM model of double link type C-plate

해석에 사용된 Element type 과 Material properties 는 Table 1. 에 나타나 있는 물성치를 사용하였다. 측정된 충격하중의 결과에 의하면 Fig. 11 에 나타난 모습과 같이 최대 충격 가속도 90 m/min 가 발생하는데, 실제 운동하는 판재의 질량의 합인 19kg 이 충격가속도에 대한 충격하중(1700 kgf)이 된다.

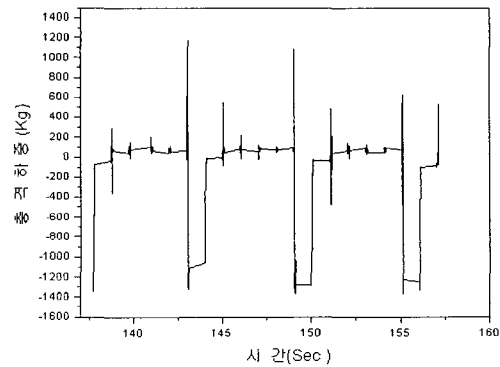


Fig. 11 Impact load working at pin part

4.2.2 해석결과 및 고찰

핀 부위에 작용하는 충격하중은 싱글 링크구조의 경우에 있어서 판재의 운동 시 구속을 담당하는 자바라가 하나이어서 핀 부위에 충격량이 집중하지만, 보완 설계된 더블 링크 구조는 두개의 자바라로 구성되어 있어 작용하는 충격량을 두 부분에서 양분하는 효과를 기대할 수 있다는 측면에서 해석을 수행하였다.

Fig. 12 에는 더블 링크 구조를 가진 C-plate 의 구조 해석 결과를 나타내었고, 시험 평가 과정은 진행 중이지만, 반복 피로-충격 하중의 영향으로 발생되었던 파단 지점에 있어서 취약부의 강성과 리브를 보강한 더블 구조의 모델은 최대 응력이 소재의 고유의 항복강도, 206 MPa 범위 내에(약 203MPa) 분포한다는 것을 구조해석 결과에 의해서 확인할 수 있었다.



Fig. 12 Structural analysis of double link type C-plate

5. 결론

본 연구에서는 초 고속가공에 대응할 수 있도록 약 120m/min 의 급속 이송 속도를 부여하는 운동 조건 하에서 신뢰성 평가 시험과 해석검증을 수행하였다.

싱글 링크구조의 C-plate 는 슬라이딩 될 때 충격에 의한 진동성분이 주요한 노후성 파악인자가 될 수 있다는 것과 조기에 구조물의 취약한 부위에 대한 파단 이상형태의 발생이 해석을 통해 반복-충격 하중작용에 의한 취약부의 파단에 있어서 최대 응력이 항복응력의 2~3 배 정도 분포하고 있어 취약 부위를 검증 할 수 있었다.

한편 보완 개선된 더블 링크구조의 C-plate 는 이송운동 특성시험을 100 시간까지 수행한 결과에 의하면 시간 경과에 따른 신호는 약 10% 정도 증가함을 보이지만, 특별한 파단의 진행여부는 현재 까지 예측되지 않았고, 구조해석을 통해 검증한 결과에 의하면 싱글 구조에 비하여 상대적으로 안정적인 것이 확인되었다.

참고문헌

1. 강제훈, 송준엽 외, "Sliding cover 의 고속운동 특성평가," 한국공작기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 446-449, 2002. 10.
2. 강제훈, 송준엽 외, "고속 운용화를 위한 Sliding cover 의 이송운동 특성평가," 제 3 회 고속지능형 가공시스템 기술 Workshop 논문집, pp. 61-65, 2002. 8.
3. 송준엽, 이승우 외, "공작기계 핵심부품의 QFD 기술," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 59-62, 2001. 5.
4. 박화영, 송준엽 외, 고속지능형 가공시스템의 신뢰성 평가기술 연구보고서, 산업자원부/한국기계연구원, 2002. 9.
5. Yiqiang Wang, Smith, Yazhou Jia, "Failure Probabilistic Model of CNC Lathes," Reliability Engineering and System Safety, Vol. 65, 1999.