

# 띠톱기계의 정밀 절삭을 위한 서보 제어시스템

이성재, 송주훈, 김문식, 김민호, 김용찬, 손영득  
 한국기술교육대학교 기계설비제어공학과

e-mail: kistsun1, song\_juh01, yub9231, bbsky76, sarkill2, ydson@koreatech.ac.kr

## Servo Control System for Precision Cutting in Band Sawing Machine

Sung-Jae LEE, Ju-Hoon Song, Moon-Sik Kim, Min-Ho Kim, Yong-Chan Kim, Yung-Deug Son  
 Dept. of Mechanical Facility Control Engineering, KOREATECH

### 요약

띠톱기계는 기존 철강, 기계, 자동차, 조선, 석유, 광산, 항공 우주 등 다양한 절삭 분야에서 활용 되고 있다. 그러나 기존의 띠톱기계들은 톱대를 기어드 모터로 회전하여 실린더를 제어하여 절삭하는 방식이다. 이때 대부분의 기계는 유온의 영향을 받아 겨울에는 유온이 낮아 느리고 여름에는 유온이 높아 빠르고 제어가 용이하지 않다. 유온의 영향은 톱질 동작 상태에서 낮은 정밀도 및 저효율 등의 문제를 야기 시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 일부 선진국에서는 서보 모터를 장착하여 정밀 절삭을 하고 있지만 고비용 등으로 인한 국내 업계에 적용하기가 어려운 실정이다. 이로 인해 본 논문에서는 유압 서보밸브 시스템을 이용하여 유체의 온도에 영향을 받지 않고 띠톱기계의 절삭성과 효율이 크게 향상되는 방법을 제시하고 확인한다.

### 1. 서론

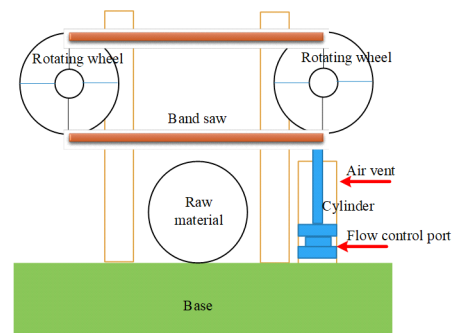
띠톱기계, 원형톱 기계 등과 같은 절삭 장치나, 굴삭기, 지게차, 크레인, 특장차 등과 같은 중장비에는 다양한 유압장치들이 있다. 이러한 유압장치가 적용된 유압기계의 하나로, 띠톱기계는 양쪽에 원형휠에 띠 모양의 톱을 감속기에 의해 회전시켜 상·하 이송실린더에 의해서 소재를 절단하는 공작 기계로 현대 제조업에서는 매우 광범위 하게 사용되고 있다. 띠톱기계를 살펴보면 띠톱을 회전시켜주는 톱대와, 톱대를 상하로 내려주는 상승실린더, 소재를 공급시켜주는 소재 이송장치로 구성되어 있고 톱질의 정밀도 및 효율, 띠톱기계의 수명 및 제조 원가에 지극히 중요한 영향을 미친다[1]. 통상적으로 톱절단 시 단면적이 일정한 사각형의 재료보다는 반경 방향으로 절단이 되면서 단면적의 변화가 발생하는 원형의 재료가 많이 절단되며 사각형보다 원형이 단면적 변화가 많아 톱대의 부하가 많아지며 톱대의 떨림이 발생한다[2]. 또한 절단 시 상부로 내려오는 실린더는 자중과 유량 제어에 의해 위치가 제어가 되며 유량의 온도 변화 및 자중에 의해 실린더의 위치 오차가 발생된다. 이는 톱날의 수명에 영향을 미치며 절단이 제대로 되지 않는 경우도 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 유압 서보 컨트롤 밸브를 이용하여 온도 변화에 의한 유량을 미세 조절함으로써 유압장치

가 유압의 점도차에 관계없이 항상 일정한 속도로 절삭 될 수 있도록 시스템에 개발에 목적이 있다.

### 2. 본론

#### 2.1 띠톱기계의 절삭제어 방법

그림 1은 띠톱기계의 절삭시스템 구성도를 나타내었다. 톱대 상부에 실린더 축과 연결되고 실린더 공기출입포트(Air vent)에 의한 압력에 의해 아래의 유량 조절 포터의 유량이 제어된다. 유량 조절 포터(Flow control port)의 유량조절밸브는 유압 펌프와 탱크를 연결 시켜주는 매뉴폴더 블럭이 연결되어 있다. 톱 기계의 상부의 자중에 의해 로드를 눌러 아래로 하강 시 하강속도는 유량조절 밸브로 제어된다.



[그림 1] 띠톱기계의 절삭 시스템 구성도

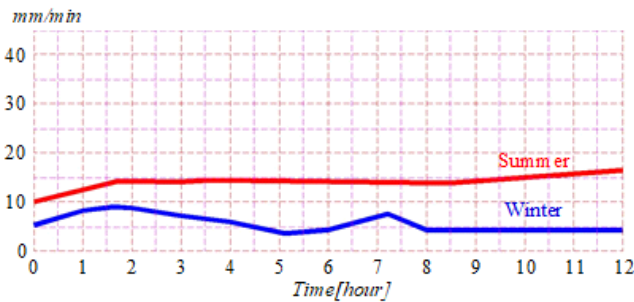
일정한 하강 속도는 유량의 밀도, 속도, 열에 의해 결정되며 식 (1)의 질량 유량 방정식과 같이 유속은 관의면적, 유량의 밀도, 등으로 유속을 표현할 수 있다.

$$\dot{m} = \rho AU = \rho Q, \quad \rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

여기서  $\dot{m}$  는 질량유량 ( $kg/s$ ),  $\rho$  는 유체의 밀도 ( $kg/m^3$ ),  $A$  는 단면적( $m^2$ ),  $U$  는 평균유속 ( $m/s$ ),  $Q$  는 유량 ( $m^3/s$ ),  $m$  은 질량 ( $kg$ ),  $V$  는 부피( $m^3$ ) 이다.  $\rho$  는 작동유의 점성, 유면의 온도에 따라 유량의 값에 따라 변동한다. 이는 부피의 변화에 따라 온도가 높을 경우 의해 열팽창이 발생하고 온도가 낮을 경우 수축된다.  $A$ 와  $m$  이 변화가 없는 조건하에서  $\dot{m}$  을 일정하게 유지하기 식 (2)과 같은 나타낼 수 있다. 이는 외부 환경에 의해  $V$ 가 변화하는 것을  $U$ 에 의한 제어로 질량유량을 일정하게 유지 할 수 있는 것을 알 수 있다.

$$\dot{m} = \frac{m}{V} AU, \quad \dot{m} \propto \frac{1}{V} \cdot U \quad (2)$$

그림 2와 같이 Volume 1 ( $10 \text{ mm/min}$ )의 경우 여름과 겨울 온도에 따라 유속은 변화의 차를 나타내었다. 여름의 경우 온도 변화가 많아 유량의 크게 변하는 반면에 겨울은 온도가 올라가지 못하여 오히려 속도가 늦어지는 현상이 일어난다. 이러한 문제를 해결하고자  $\rho$  가 변화여도  $U$  를 가변하여  $\dot{m}$  을 일정하게 만들어주는 방법을 제안한다.

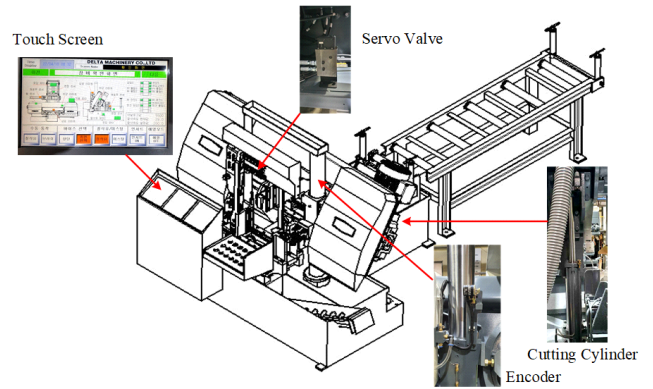


[그림 2] 온도 변화에 따른 유속 변화

## 2.2 락기계의 절삭제어 시스템 구성

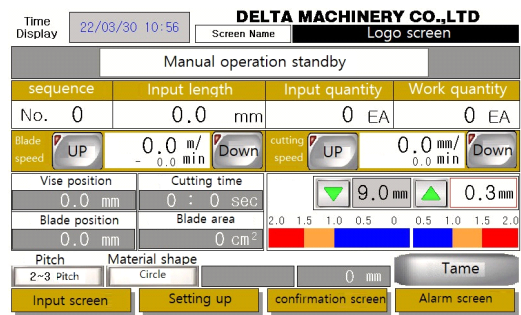
절단시스템의 유효성을 검증하기 위해 기존에 사용하는 유량제어 카운터 밸브 방식과 유량제어 절단시스템 서보제어 방식을 비교·실험 하였다. 그림 3은 좌측부터 터치화면 상부에 엔코더 그 뒤에는 상승실린더(절삭실린더) 카운터 밸브이며 유량제어 카운터 밸브 방식의 실험방법에 카운터 밸브를 대신 유량제어 서보밸브를 추가하여 실험을 하였다. 실험조건을 보면 유량의 변화가 가장 심한 여름 겨울 평균온도  $30^{\circ}\text{C}$  와  $2^{\circ}\text{C}$  환경에서 실험을 하였다. 실험장치 구성은 완성된 락기계, 기본컨트롤 장치(터치스크린), 락기계 상부에 엔코더와 랙 피니언 기어, 온도측정기, PLC로 구성하였다. 그 외 유압유는 사계절용 46번, 베인펌프의 유량은 20L, 압력은 40kg/Cm, 톱날의 장력은 250bar로 카운터 밸브에 의한 방식

및 서보제어 절단방식 같은 환경에서 실험을 실시하였다.



[그림 3] 유량 서보제어 락기계 절삭 시스템

그림 4는 HMI 메인화면이고 절삭을 하기 위해 소재 톱날피치 크기를 입력하여 절삭조건을 설정하였다. 절삭조건은 환봉  $\Phi 200$  기준으로 Volume 1~7 ( $10\sim70 \text{ mm/min}$ )까지 이용하여 실험을 하였다.



[그림 4] 락기계 절삭 시스템의 HMI 화면

## 2.3 락기계의 절삭제어 시스템 실험 결과

유압시스템의 순서는 우선 베인펌프에서 유압을 공급하여 1차로 솔레노이드밸브에 공급하여 밸브가 작동하면 절삭실린더에 유압을 공급을 하며 절삭실린더에는 카운터 밸브 또는 유압서보 밸브가 장착되어 절삭을 하는 시스템이다. 유압 메인 압력은  $50 \text{ kg/cm}^2$  셋팅하며 절삭압은 별도로 셋팅값을 설정 ( $1\sim10 \text{ kgf/cm}^2$ )한다. 여기서 락기계는 모델이 다양하기 때문에 상부의 무게가 기종마다 다르기 때문에 절삭압이 매우 중요하다. 기본적으로 테스트장비의 기종은 450기종으로  $\Phi 450$ 까지 절단하는 모델로 절삭압은  $5 \text{ kgf/cm}^2$ 로 설정하였다.

그림 5의 절단을 살펴보면 S45C 환봉  $\Phi 200$ 에 절삭속도는  $40 \text{ mm/min}$ , 톱날회전속도는  $120 \text{ m/min}$ 로 절삭시간은 약 5분 정도로 소재 좌측부터 카운터 밸브에 의한 절삭을 실시하였다. 가로줄 간격이 일정하지 않고 절삭면이 매우 거칠며 절삭간격이 일정하지 않는 것을 알 수 있다. 우측소재는 서보밸브에 의한 절삭방법으로 가로줄 간격이 일정하며 절단면이 매우 우수하고 절삭 간격이 일정한 것을 알 수 있다.

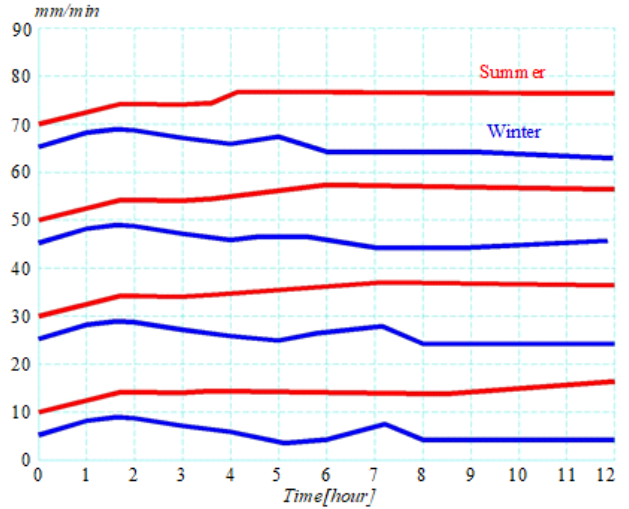


[그림 5] 카운터 밸브와 유압서브 밸브 방식의 시험·비교

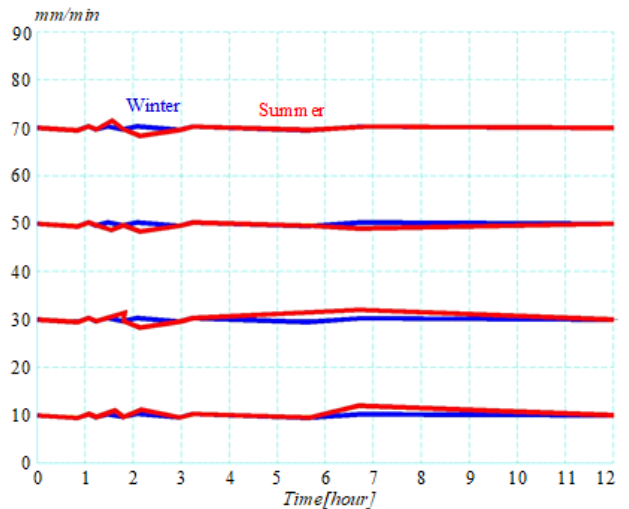
여름 평균온도 30℃, 겨울 평균온도 2℃에서 유량값을 측정하였다. 각 Volume 구간 별로 나누어 측정하였으며 그림 4는 카운터 밸브를 설치하여 측정한 값으로 각 Volume 구간별로 유량이 일정하지 않으며 여름은 높게 겨울은 낮게 유량이 불규칙함을 알 수 있다. 서보밸브를 설치하여 측정한 값으로 결과를 보면 초기에는 다소 불안정한 면이 있지만 시간이 갈수록 안정된 유량값을 확인 할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문은 락기계의 절단시스템의 정밀 절삭을 위해 유온의 영향을 받지 않고 소재를 일정하게 절단하는 제어하는 방법을 검증하였다. 기본적으로 락기계에서 절삭을 제어하는 방식으로는 유온에 의한 영향이 유량의 속도 차가 크다는 것을 확인하였고 서보밸브 절단 방식은 초기에 약간의 불안정성을 보이지만 시간이 지남에 따라 온도에 따라 유량의 차이가 미비하게 됨을 확인하였다. 또한, 절단소재를 통해 카운터 밸브보다 서보 제어밸브를 통한 유량제어의 경우 월등하게 절단면의 차이가 보였으며 성능을 검증하고 유효성을 확인하였다.



[그림 4] 카운터 밸브에 의한 유량 변화



[그림 5] 유압서브 밸브에 의한 유량 변화

#### 참고문헌

- [1] 라로평, “ 락기계 톱대의 역학적 모델링 및 설계”, 산학 기술학회논문지, 제 20권 12호, pp. 390-397, 12월, 2019년.
- [2] 정훈, “ 락기계에서 절삭력예측을 위한 역학모델”, 한국정밀공학학회지, 제 15권 5호, pp. 145-152, 5월, 1998년.
- [3] 라로평, “ 락기계의 스파트 톱 절삭 시스템의 특성에 관한 연구”, 산학기술학회논문지, 제 21권 2호, pp. 195-204, 2월, 2020년.
- [4] 김동욱, “원형톱 기계의 동특성 해석”, 대한기계학회 춘계 학술대회, pp. 2253~2257, 11월, 2012년.