

띠톱기계의 스마트 톱 절삭 시스템의 특성에 관한연구

라로핑¹, 정택임², 정협생², 강평², 팬리², 샤오레이화², 반백송¹, 안보영³, 엄윤설⁴, 한창수^{5*}

¹저장공업대학교 기계공학과, ²저장신용 기계투유한주식회사, ³한양대학교 메카트로닉스공학과,

⁴한양대학교 융합시스템과, ⁵한양대학교 로봇공학과

A study on the characteristics of intelligent sawing system for band saw

LUO luPing¹, DING zelin², DING shengxia², JIANG Ping², FAN li², XIAO leihua²,
PAN bosong¹, Boyoung An³, Younseal Eum⁴, Changsoo Han^{5*}

¹College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology

²Zhejiang Chenlong Sawing Machine Co.,Ltd

³Mechatronics Engineering, Hanyang University

⁴Interdisciplinary Engineering Systems, Hanyang University

⁵Robot Engineering, Hanyang University

요약 본 연구에서는 띠톱기계의 서로 다른 톱 절삭 상태에서, 최적의 톱 절삭력 및 최적의 컨트롤러 파라미터가 어떻게 설정 되는지에 대한 문제를 해결하기 위한 연구를 진행하였다. 이를 위해 띠톱 기계의 톱 절삭 시스템의 수학적 모형을 수립하고, 전통적인 PID 제어 방법과 톱 절삭력의 폐회로(closed-loop)제어에 대하여 병행하여 깊게 연구함으로써, 주 모터의 동력, 띠톱기계의 동적특성 및 톱날 강도 등의 컨트롤러 파라미터 및 톱 절삭 부하가 제어 성능에 대한 규칙을 발견하여, 톱 절삭 너비와 컨트롤러 파라미터(비례계수 K_p)의 관계, 톱 절삭력의 설정값의 관계를 얻어, 일종의 띠톱 기계의 스마트 톱 절삭 제어를 갖는 시스템 방안을 제기하였다. 연구 결과에 따르면 홈 절단면의 절삭 재료를 톱 절삭 시 스마트 톱 절삭 시스템의 톱 절삭 효율이 기존 톱 절삭 시스템보다 $18.1 \text{ cm}^2/\text{min}$ (48%) 향상 되었으며, 이 방안이 뛰어난 제어 효과를 가지고 있음을 보여 주었다.

Abstract To help solve the problems of how to set the optimal sawing force and the optimal controller parameters for different sawing conditions, a mathematical model of a proposed sawing system was established according to the principle of sawing force control. The conventional PID control method was then used for further research of the closed-loop control of the sawing force. Finally, through simulation and experimental research, the influence rule of the controller parameters and sawing load on the control performance and the relationships between the sawing width and controller parameters (proportion coefficient) and the sawing force setting value were obtained, from which a system scheme for intelligent sawing control of a band sawing machine was proposed. The research shows that the sawing efficiency of the intelligent sawing system was 18.1 (48%) higher than that of the original sawing system when sawing a grooved section sawing material, which verifies the good control effect of the proposed scheme.

Keywords : Band Sawing Machine, Intelligent Sawing System, Sawing Force Control, Sawing Efficiency, Control Effect

*Corresponding Author : Changsoo Han(Hanyang Univ.)

email: cshan@hanyang.ac.kr

Received August 23, 2019

Accepted February 7, 2020

Revised December 2, 2019

Published February 29, 2020

1. 서론

현대 제조공업은 고효율과 고 정밀도, 경제성으로 발전하고 있고 띠톱 기계도 전자동, 고효율, 고 정밀도 톱 절삭의 방향으로 발전하고 있다. 최근 몇 년 동안 많은 학자들은 띠톱 기계의 톱 절삭 효율을 높이는 방법에 대해 일련의 연구를 실시하였다. T. J. Ko 와 H. S. Kim[1]는 절삭 실험을 통해 특정 절삭력을 얻었고, 나아가 톱니의 기하학적 형상 분석을 통해 절삭력을 예측하고 절삭력 모형을 수립함으로써 공급 속도의 적응제어(adaptive control)실험을 하였다. Y. C. Pei 등[2]은 이론 공식을 이용하여 비선형 대변형을 가진 얇은 내경 톱날의 해석 인발 모형을 구현하고 나아가 장력 변위가 세 가지 강도와 고유 주파수의 개선에 대한 연구를 하였다. T. Thaler 등[3]은 소리를 기반으로한 온라인 플루팅 검측 방법을 제기하고 페스트 퓨리에 변환법(fast fourier transform)을 이용하여 소리 신호 전처리를 진행하여 최적의 역치로 주파수 공간에서의 특징을 추출하고 2차 판별 분석을 응용하여 플루팅 검측을 한다. İlhan Asiltürk등[4]은 퍼지 신경망(fuzzy nerve network)을 기반으로 재료를 이용하여 식별할 수 있는 적응(adaptive) 톱 절삭력 모형을 수립하고 이를 바탕으로 띠톱 기계의 퍼지 제어 시스템을 구축하였다. 그러나 위의 문헌에서는 띠톱 기계의 톱절삭 시스템에 대한 심층적인 연구가 이루어지지 않았으며, 톱절삭 시스템에 대한 종래의 PID 제어방법 응용의 전반적인 연구도 이루어지지 않았다.

퍼지 제어 방법은 점점 더 복잡한 폐회로 기계 시스템에 적용되고 있지만 제어 과정이 복잡하고 난이도가 높으며 퍼지 규칙의 수립에는 실제 경험이 매우 많이 필요하다[5-7]. 실제 폐쇄 톱 절삭에서 톱 절삭력이 일정한 상태에 도달할 때 여러 가지 이유로 인해 톱 절삭력은 일정 한 범위에서 진동하게 된다. 톱 절삭력으로 산출되는 퍼지 시스템의 제어 양은 이의 안정성과 제어 정확도가 보장되지 않는다.

본 논문에서는 서로 다른 톱 절삭 조건에서 최적의 절삭력 및 최적의 컨트롤러 파라미터가 어떻게 설정되는지에 대한 문제에 대하여 띠톱 기계의 톱 절삭 시스템의 수학적 모형을 수립하고 전통적인 PID 제어 방법을 사용하여 톱 절삭력의 폐회로 제어에 대하여 깊게 연구함으로써 일종의 띠톱 기계의 스마트 톱 절삭 제어를 갖는 시스템 방안을 제시하였다.

2. 본론

2.1 띠톱 기계의 톱 절삭 시스템의 제어 원리

2.1.1 띠톱기계의 기본톱 절삭원리

톱 절삭 과정에서 기계적 전동, 열량 소모 등의 파워 손실을 무시하고 톱날의 톱 절삭 파워는 Eq. (1)에 표시된 바와 같다;

$$P = \frac{F_x \nu_s + F_z \nu_a \times 10^{-3}}{60} \quad (1)$$

(where, P is the main motor power, W ; ν_s is the sawing speed, m/min ; F_x is the sawing force, N ; ν_a is the feed speed, mm/min ; F_z is the feed force, N .)

톱 절삭력 F_x 는 재료 공급력 F_z 와 동일한 수량 레벨에 있고 공급 속도 ν_a 는 톱 절삭 속도 ν_s 와 비교했을 때 양자는 3개의 order 레벨 차이가 있기 때문에 기계톱의 톱 절삭 공률파워는 Eq. (2)와 같이 간소화 할 수 있다.

$$P = \frac{F_x \nu_s}{60} \quad (2)$$

톱 절삭 속도가 일정한 경우 톱 절삭력은 재료 공급 속도와 정비례되고 관계식은 다음과 같이 간소화하여 표시 될 수 있다.

$$F_x = \phi(\nu_a) \quad (3)$$

띠톱 기계의 톱 절삭 효율 η 는 단위 시간 내에 톱 절삭 면적의 크기, cm^2/min 을 말한다. 직사각형 절단면인 경우 톱 절삭 효율 η 와 공급 속도 ν_a 의 관계는 다음과 같다:

$$\eta = \frac{A \nu_a}{h} \quad (4)$$

(where, A is the sawing area, cm^2 ; h is the sawing height, mm .)

Eq. (2)-(4)와 Fig. 1에 따르면 톱 절삭력과 톱 절삭 속도가 항상 최적치로 설정되어 있을 때 메인 전기의 파워가 충분히 활용 될 수 있으며 띠톱 기계의 톱 절삭 효율은 최대에 이른다. 띠톱 기계가 정상 작업 시 톱 절삭력이 바뀔 때의 영향 요소(톱 절삭 속도 ν_s , 재료 공급 속

도 ν_a , 톱 절삭 너비 W)는 톱 절삭 항력이 증가함에 따라 띠톱 날과 주류이 헛돌거나 헛돌지 않게 되는 상태에 처하게 하는데, 이런 상태를 임계 작업 상태라고 한다. 이 상태에서 띠톱 날이 받는 톱 절삭 항력을 임계 톱 절삭력 F_{xc} 라고 한다.

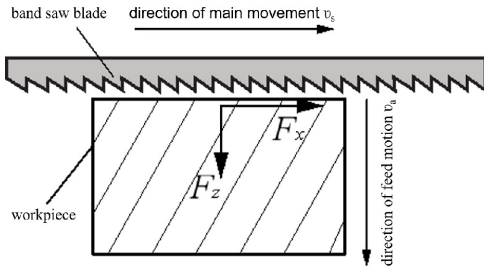


Fig. 1. Schematic diagram of band saw blade

2.1.2 톱 절삭력의 제어 원리

톱 절삭 과정에서 띠톱 날 여러 개가 절삭 상태에 있기에 톱 절삭력 F_x 와 단일 띠톱 날 톱 절삭력의 관계는 Eq. (5)에 표시된 바와 같다[8]:

$$F_x = n_z b f_x \quad (5)$$

(where, n_z is the total number of teeth involved in sawing, $n_z = \frac{W}{p}$; W is the sawing width, mm ; p is the equivalent pitch, mm ; b is the tooth thickness, mm ; f_x is the wire sawing force of a single equivalent tooth, N .)

톱 절삭 효율과 톱 절삭 정밀도를 높이기 위해서는 합리적인 톱 절삭력에 대한 제어가 지극히 중요하다. 톱 절삭력에 대한 제어의 난이도는 불가피한 톱 절삭력의 파동(Fig. 2에서와 같이 3/4 변치의 더블 금속 띠톱날이 톱 절삭의 과정에 동시에 참여한 톱니 수량의 변화의 영향에 톱 절삭력의 파동, 기계톱 운행 과정에서의 진동으로 인한 띠톱 날 양측의 마찰력의 파동)으로 인해 생긴 교란이다. Eq. (3)에서 볼 수 있듯이 재료 공급 속도 ν_a 를 조절하여 톱 절삭력을 일정하게 유지하고 알고리즘(필터 알고리즘과 비슷함)을 제어함으로써 간섭을 저항하는 능력을 향상시킬 수 있다. Fig. 3는 톱 절삭력 제어 개략도이다.

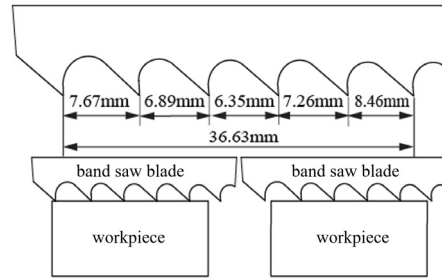


Fig. 2. Schematic diagram of 3/4 variable tooth band saw blade

2.2 기존 띠톱기계 톱 절삭 시스템의 문제점

2.2.1 임계 톱 절삭력 F_x

임계 톱 절삭력 F_{xc} 는 톱 절삭 시스템의 톱 절삭력 설정과 관련되는데 주로 메인 전기 파워와 관련된 정격 톱 절삭력 F_{x0} , 장력 기름 실린더의 장력의 힘 F_p 및 띠톱날의 피로 관련 한계 이론 톱 절삭력 F_{x1} , 재료 공급력 최대일 때 임계 톱 절삭력 F_{x2} 의 세 요소에 의해 종합적으로 결정된다.

정격 톱 절삭력 F_{x0} 과 유효 톱 절삭 공률파워 P 의 관계식은 다음과 같다:

$$F_{x0} = \frac{60P}{\nu_s} \quad (6)$$

(where, $P = \frac{P_d - P_\eta}{r}$, W ; P_d is the rated power of the main motor, W ; P_η is the main motor loss power, W , that is, the power consumed by the motor at no load; r is defined as the sawing characteristic parameter, that is, the sawing force fluctuation curve under the rated working state. The ratio of the maximum value to the mean value.)

띠톱 날의 한도 이론 톱 절삭력 F_{x1} 과 장력 기름 실린더의 장력 F_p 의 관계는 Eq. (7)에 표시한 바와 같다. Eq. (8)을 사용하여 띠톱 날 피로 강도 $n_{\sigma r}$ 검산을 진행하여 이론 톱 절삭 F_{x1} 로 하여금 Eq. (7)과 (8)을 동시에 만족시키게 한다.

$$F_{x1} = \frac{F_p(L_0 + \pi R)(e^{f'\pi} - 1)}{L_0(1.5 + 0.5e^{f'\pi}) + R\left(\pi + \frac{e^{f'\pi} - 1}{f'}\right)} \quad (7)$$

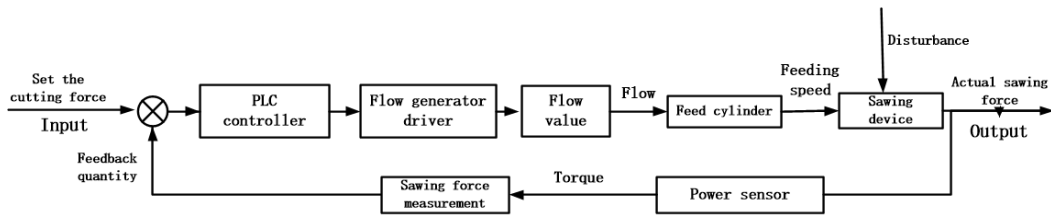


Fig. 3. Control principle of cutting force of band sawing machine

(where, L_0 is the center distance of the main and driven wheel, mm ; R is the radius of the main and driven wheel, mm ; $f' = \frac{f}{n_x}$, f is the static friction coefficient of the band saw blade and the main and driven wheels; n_x is the tension margin factor.)

$$n_{\sigma\tau} = \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}} \quad (8)$$

(where, $n_f (\geq 1)$ is the fatigue safety factor, usually they are taken as $n_f = 1.1$;

$$n_{\sigma} = \frac{0.28\sigma_b}{1.2\sigma_a + 0.3\sigma_m}, \quad n_{\tau} = \frac{0.23\sigma_b}{1.2\tau_a + 0.25\tau_m}; \quad \sigma_b$$

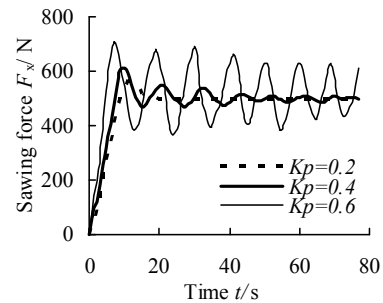
is the tensile strength of the band saw blade, MPa ; σ_m is the average normal stress of the dangerous point in the working cycle of the band saw blade, MPa ; σ_a is the normal stress of the dangerous point in the working cycle of the band saw blade Amplitude, MPa ; τ_m is the average shear stress of the dangerous point in the working cycle of the band saw blade, MPa ; τ_a is the shear stress amplitude of the dangerous point in the working cycle of the band saw blade, MPa ;))

재료 공급력 최대일 때 임계 톱 절삭력 F_{x2} 는 다음과 같다:

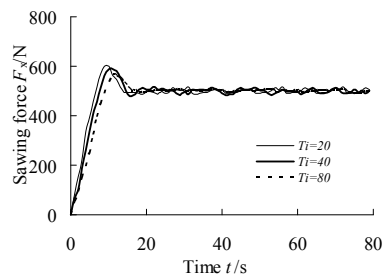
$$F_{x2} = K_f F_{zmax} \quad (9)$$

(where, K_f is the feed force and sawing force ratio coefficient associated with sawing materials.)

톱 절삭력 F_{xc} 는 위의 정격 톱 절삭력 F_{x0} , 이론 톱 절삭력 F_{x1} 및 대략적 톱 절삭력 F_{x2} 의 최소치로, $F_{xc} = \min\{F_{x0}, F_{x1}, F_{x2}\}$ 이다.



(a) Different scale factors



(b) Different integral time constant

Fig. 4. Sawing force response curve under different controller parameters

Table 1. Influence of proportional coefficient on control performance

Scale factor K_p	Integral time constant T_i	Overshoot (N)	Adjust time (s)
0.2	40	69	17
0.4	40	110	50
0.6	40	206	80

Table 2. Influence of integral time constant on control performance

Scale factor K_p	Integral time constant T_i	Overshoot (N)	Adjust time (s)
0.2	20	73	16
0.2	40	69	17
0.2	80	61	16

2.2.2 컨트롤러 파라미터의 최적치

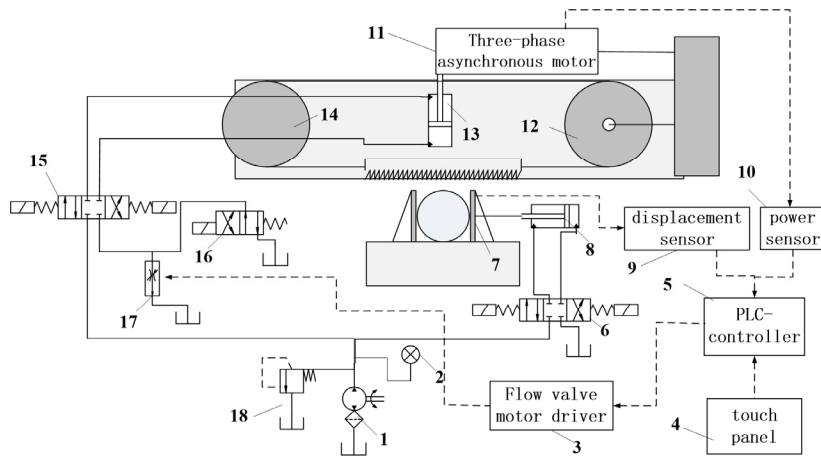
실제 적용에서 톱 절삭 시스템이 안정된 상태일 때 톱 절삭력은 어느 한 범위에서 진동되며 미분 작용 D 는 톱 절삭력의 미세한 파동에 의해 폐쇄 시스템에 간섭을 생성 할 수 있고 톱 절삭 시스템이 큰 관성 부분이 없기에 제어 계산을 간소화하기 위해 본문 실험의 일반적인 PID 제어는 PI 제어 부분만 적용한다[9]. 톱 절삭 속도 v_s 가 $70m/min$ 이고 $500N$ 인 톱 절삭력의 설정값에 $240mm$ 직경의 45번 원형 강을 사용하여, 띠톱 기계 기반 컨트롤러 파라미터가 톱 절삭 시스템의 제어 성능에 미치는 영향에 대해 실험하고 연구한다. Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)의 실험 조건은 각각 다른 비례 계수인 K_p 이며 적분 시간 상수 T_i 는 40이고 비례 계수 K_p 는 0.2이며 적분 계수는 서로 다르다. Fig.4, Table 1, Table 2를 종합하면 비례 계수 K_p 가 톱 절삭 시스템의 제어 효과에 큰 영향을 미치는 반면 적분 시간 상수 T_i 는 제어 효과에 영향을 덜 준다는 것을 알 수 있다. 톱 절삭 너비 및 톱 절삭력의 설정값이 폐회로 제어 성능에 미치는 영향을 분석하기

위해 한 모델의 띠톱 기계 절단 속도 v_s 를 $70m/min$ 으로 설정하고, 비례 계수 K_p 는 0.2로 적분 시간 상수 T_i 는 40으로 설정함으로써, 서로 다른 톱 절삭 너비와 같은 톱 절삭력, 같은 절삭너비와 다른 절삭력 설정값을 선택하여 실험과 연구를 진행한다.

띠톱 기계의 톱 절삭 효율, 톱날의 수명과 기계톱의 최적 작동상태 등을 고려하여 톱 절삭 시스템의 지능화를 실현함에 있어서 직면하는 주요 문제점은 톱 절삭 너비가 다른 경우에 대응한 톱 절삭력의 설정값과 컨트롤러 파라미터(비례 계수 K_p)의 최적치가 서로 다르다는 것이다.

2.3 띠톱 기계의 스마트 톱 절삭 시스템

기존의 띠톱 기계의 톱 절삭 시스템에 존재한 문제점에 대해 톱 절삭력 제어 원리를 결합한 일종의 띠톱 기계의 스마트 톱 절삭 시스템 방안을 제기하였다. Fig. 5에 나타난 것처럼 띠톱 기계의 스마트 톱 절삭 시스템의 구조의 원리는 다음과 같다: PLC 컨트롤러 5는 우선 변위 센서 9에 의해 검출된 절삭재료 홈 부분의 너비에 따라 최적 톱 절삭력과 최적 컨트롤러 파라미터를 자동으로 설정한다. 톱 절삭이 시작된 후 PLC 컨트롤러 5는 공률 센서 10에서 삼상 비동기 11의 파워 값을 감지하여 변환된 톱 절삭력의 실제 값과 톱 절삭력의 설정값 사이의 편차를 PID 알고리즘에 의해 대응된 유량 밸브 전기 컨트롤러로 신호를 제어하여 유량 밸브를 구동함으로써 공급 기름 실린더의 공급 속도를 변경하여 기계톱 절삭력의 일정한 제어를 구현한다.



1.oil pump 2.oil pressure gauge 3.flow valve motor driver 4.touch panel 5.PLC-controller 6.clamping reversing valve 7.clamping device 8.clamping cylinder 9.displacement sensor 10.power sensor 11.three-phase asynchronous motor 12.active saw wheel 13.feed cylinder 14.driven saw wheel 15.feed reversing valve 16. fast forward reversing valve 17.flow valve 18.overflow valve
Fig. 5. Band sawing machine intelligent sawing system structure

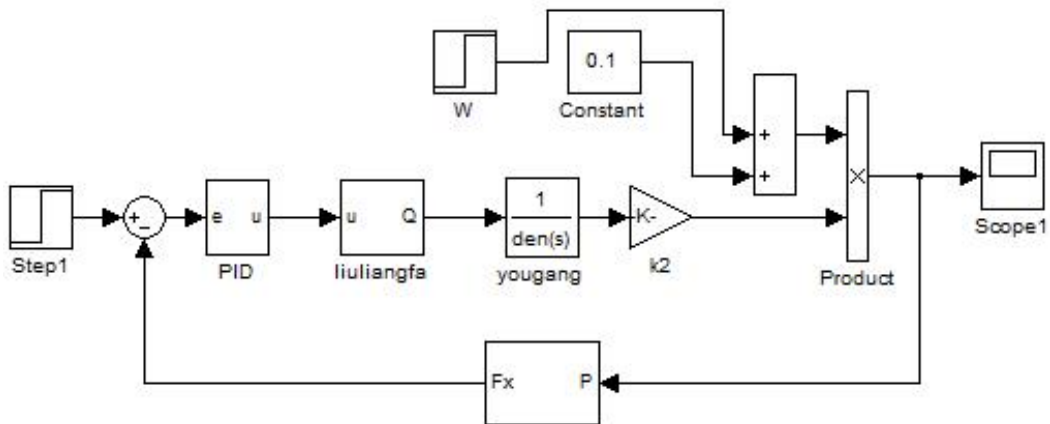


Fig. 6. Band sawing machine sawing system simulation model

2.4 시뮬레이션 및 실험 연구

2.4.1 시스템 컨트롤러

톱 절삭 시스템 시뮬레이션 모델은 Fig. 6과 같다.

2.4.2 컨트롤러 파라미터의 법칙에 관한 연구

컨트롤러 파라미터에서의 비례 계수 K_p 가 톱 절삭 시스템의 제어효과에 큰 영향을 미치기 때문에 본 논문에서는 비례 계수 K_p 에 대해 연구한다. Fig. 7은 서로 다른 톱 절삭 너비와 서로 다른 톱 절삭력의 설정값에 대응하는 최적 비례 계수 K_p 실험값의 곡면 도형이다. 톱 절삭력의 설정값에 비해 톱 절삭 너비는 비례 계수 K_p 값의 주한 영향 요소인 것을 Fig. 7에서 볼 수 있다. 서로 다른 톱 절삭 너비에 대해 최적의 톱 절삭력 설정값 하의 최적 비례 계수 K_p 에 대하여 분석한다. Fig. 8, Fig. 9에 보여준 것처럼 톱 절삭 너비 $W \leq$ 임계 너비 W_c 인 경우 톱 절삭 설정값 및 비례 계수 K_p 의 최적값과 톱 절삭 너비 W 의 관계 표현식은 다음과 같다:

$$F_x = 4.1226W + 5.7102 \quad (10)$$

$$K_p = -0.004W + 0.9303 \quad (11)$$

톱 절삭 너비 $W >$ 임계 너비 W_c 인 경우 톱 절삭 설정값 및 비례 계수 K_p 의 최적 값과 톱 절삭 너비 W 의 관계 표현식은 다음 Eq. (12)-(13)과 같다:

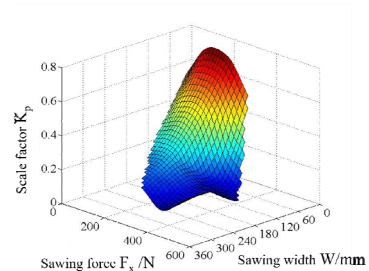


Fig. 7. The optimal scale factor K_p experimental value under different sawing loads

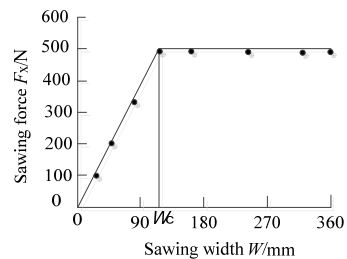


Fig. 8. Sawing width and sawing force setting

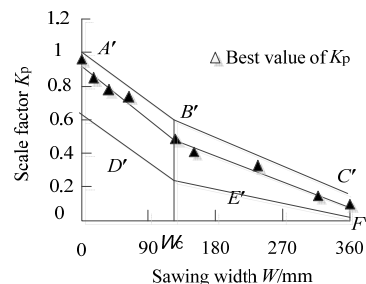


Fig. 9. The relationship between the sawing width and the optimal scale factor K_p

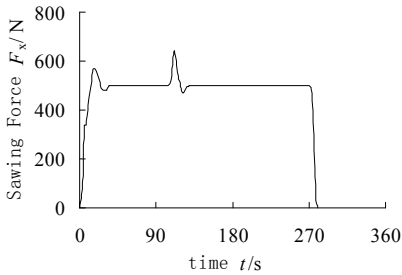
$$F_x = 500N \quad (12)$$

$$K_p = -0.0015 W + 0.6183 \quad (13)$$

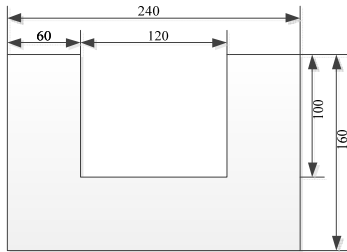
2.4.3 띠톱기계의 스마트 톱 절삭 시스템에 관한 실험 연구

폭의 비례계수와 톱 절삭력 설정값(Eq. (10)-(13))의 사이의 관계식은 띠톱기계의 스마트 톱 절삭 시스템에 적용하였다. 그림 Fig. 13-(b)는 톱의 홈부 절단면을 보여준다. 적분 시정수 T_i 가 40인 조건하에서 시뮬레이션 연구를 시행하였으며, Fig. 13-(a)는 톱 절삭력 응답곡선이다. 최대 변화량을 의미하는 절삭력 톱 절삭력의 오버슈트 최대값은 140N이고, 두 오버슈트의 총 조정시간은 40초로 제어효과가 좋다고 볼 수 있다. 한걸음 나아가 스마트 톱 절삭 시스템의 제어 효과를 검증하기 위하여 본 논문에서는 각각 기계톱의 원톱 절삭 시스템, 기존의 띠톱 절삭 시스템인 폐회로 톱 절삭 시스템, 스마트 띠톱 절삭 시스템에 대하여 톱 절삭 홈 모양의 절단면 실험을 실시하였으며 실험 결과는 Fig. 11과 Table 3과 같다.

Fig. 10(b)은 톱 절삭홈 재료에 대한 결과이고, Fig. 11(a)-(c)은 톱 절삭홈 모양에 대한 실험 결과이다. Fig. 11에 따르면 기계 톱이 톱질 재료의 상단부분(240mm)을 절삭할 때, 원톱 절삭 시스템의 절삭력이



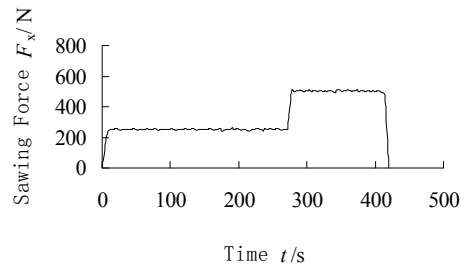
(a) Sawing force response curve



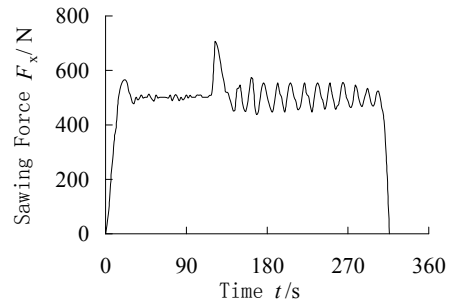
(b) Grooved section saw

Fig. 10. Simulation study on sawing groove section

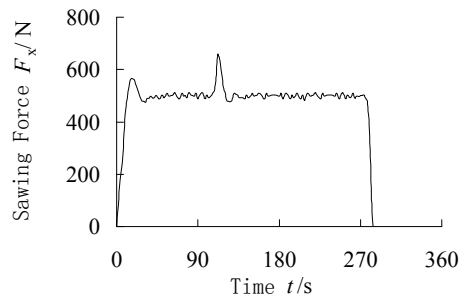
2500N에 도달하는 반면(Fig. 11-(a)) 기존의 띠톱 절삭 시스템과 스마트 절삭 시스템은 500N에서 절삭력을 안정화 시킬 수 있었다(Fig.11-(b),(c)). 톱날의 폭이 240mm인 경우, 원톱 절삭 시스템의 절삭력은 500N에서 안정적이다(Fig. 11-(a)). Fig.11-(b),(c)에 따르면 기존의 띠톱 절삭시스템에서 최대 205N 오버슈팅 되며 스마트 띠톱 절삭 시스템에서는 156N 오버슈팅 되며, 오버슈팅 되었을 때 조정 시간은 20초이다.



(a) Sawing machine original sawing system



(b) Conventional closed loop sawing system



(c) Intelligent sawing system

Fig. 11. Different sawing system sawing force response experimental curve

Table 3. Comparison of sawing efficiency of different sawing systems

Sawing method of Band sawing machine	Sawing speed (m/min)	Initial feeding speed (mm/min)	Sawing area (cm ²)	Cut off time (s)	Sawing efficiency (cm ² /min)
Original sawing system	70	22	264	420	37.7
Conventional closed loop sawing system	70	22	264	322	49.2
Intelligent sawing system	70	22	264	284	55.8

Table 3에 따르면 원톱 시스템의 비하여 전통적인 폐회로 톱 절삭 시스템의 절삭 효율은 11.5cm²/min(30.5%) 향상되었고 스마트 톱 절삭 시스템의 톱 절삭 효율은 18.1cm²/min(48%) 향상 되었다. 또한 전통적인 폐회로 톱 절삭 시스템에서 오버슈팅 후 시스템에서는 안정화되어 일정한 절삭력을 유지할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 기존의 띠톱 시스템의 적용되는 PID 제어 방법을 고찰함으로써 톱절삭 시스템의 효율을 높이고자 하였다. 1) 톱 절삭 시스템 응용된 전통적인 PID 제어 방법을 연구한 결과 비례 작용이 고정된 톱 절삭력의 제어 효과보다 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 또한 톱 절삭 시스템이 지능화됨에 따라 직면하는 주요 문제는 톱 절삭력의 설정값과 최적 컨트롤러 파라미터 값(비례 계수 K_p)이 모두 톱 절삭 너비의 변화에 따라 변화되는 것을 확인 하였다. 이에 따라 2) 띠톱 기계의 톱 절삭 시스템에 대한 시뮬레이션 모델을 구축 하였으며, 메인 전기의 공률파워, 톱 절삭의 상태, 기계톱의 동적 특성과 톱날의 강도 등의 영향 요인을 여러 조건 하에서 시뮬레이션 및 실험 연구를 통해 톱날 너비와 최적 컨트롤러 파라미터(비례 계수 K_p), 톱 절삭 설정값의 함수적 관계를 얻었다. 3) 띠톱 기계의 스마트 톱 절삭 시스템 방안을 제안하여 하였으며 이는 기존의 폐회로 톱 절삭 시스템과 비교하였을 때 30.5%(cm²/min), 원톱 톱 절삭 시스템과 비교하여도 절삭 효율이 48% 향상 되는 것을 확인할 수 있었다.

References

[1] T. J. Ko, H. S. Kim. Mechanistic cutting force model in band sawing[J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.39, No.8, pp.1185-1197,

1999.

DOI: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(98\)00087-X](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(98)00087-X)

- [2] Y. C. Pei, et al. Analytical study on the stiffness and natural frequency improvements of tensioned inner diameter saw blade, *European Journal of Mechanics/A Solids* Vol.75, pp.197 - 204, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2019.01.023>
- [3] T. Thaler, et al. Chatter detection in band sawing based on discriminant analysis of sound features[J]. *Applied Acoustics*, Vol.77, pp.114-121, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2012.12.004>
- [4] İlhan Asiltürk, Ali Ünüvar. Intelligent adaptive control and monitoring of band sawing using a neural-fuzzy system[J]. *journal of materials processing technology*, Vol.209, No.5, pp.2302-2313, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.05.031>
- [5] H. Sun, R. Yu, Y. H. Chen , et al. Optimal design of robust control for fuzzy mechanical systems: performance-based leakage and confidence-index measure[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol.PP, No.99, pp.1-1.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2880695>
- [6] Q. Huang, Y. H. Chen, A. Cheng. Adaptive Robust Control for Fuzzy Mechanical Systems: Constraint-Following and Redundancy in Constraints[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol.23, No.4, pp.1113-1126, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2014.2346241>
- [7] Y. Tang, D. Velez-Diaz. Robust fuzzy control of mechanical systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol.11, No.3, pp.411-418, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2003.812700>
- [8] S. Kohn-Rich, H. Flashner. Robust fuzzy logic control of mechanical systems[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.133, No.1, pp.77-108, 2003.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(02\)00212-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(02)00212-9)
- [9] K. J. Åström, T. Häggglund, C. C. Hang, et al. Automatic Tuning and Adaptation for PID Controllers-A Survey[J], *Control Engineering Practice*, Vol.1, No.4, pp.699-714, 1993.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)50762-4](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)50762-4)

라 로 평(Lu-Ping Luo)

[정회원]



- 2009년 2월 : 중국 하얼빈 공업대학교 기계설계, 제조 및 자동화 공학 (하얼빈학사)
- 2015년 8월 : 한양대학교 기계공학 (한양대박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 저장공업대학교 기계공학학원 (강사)

<관심분야>

로봇 매니플레이터 경로 설계 및 떠뚝 기계 설계

강 평(Ping Jiang)

[정회원]



- 1994년 6월 : 호남 대학교 기계설계 (학사)
- 1994년 7월 ~ 현재 : 저장신룡 기계톱유한주식회사 R&D 이사 (엔지니어)

<관심분야>

떠뚝 기계 지능형 제조 시스템 통합

정 택 임(Ze-Lin Ding)

[정회원]



- 1985년 6월 : 저장공업대학교 기계 설계 및 제조 (학사)
- 1985년 7월 ~ 현재 : 저장신룡 기계톱유한주식회사 회장 및 총지배인 (선임 엔지니어)

<관심분야>

떠뚝 기계 개발

팬 리(Li Fan)

[정회원]



- 2000년 6월 : 저장공업대학교 메카트로닉스 (학사)
- 2000년 7월 ~ 현재 : 저장신룡 기계톱유한주식회사 차장 (엔지니어)

<관심분야>

떠뚝 기계 자동화 된 제어 기술

정 협 생(Sheng-Xia Ding)

[정회원]



- 2012년 6월 : 킹스 컬리지 컴퓨터 전공 (학사)
- 2012년 7월 ~ 현재 : 저장신룡 기계톱유한주식회사 차장 (엔지니어)

<관심분야>

떠뚝 기계 개발

샤오 레이 화(Lei-Hua Xiao)

[정회원]



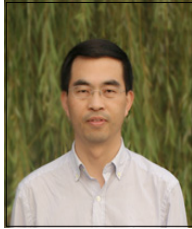
- 2003년 6월 : 후난 공과 대학 기계 설계 (학사)
- 2003년 7월 ~ 현재 : 저장신룡 기계톱유한주식회사 (엔지니어)

<관심분야>

떠뚝 기계 지능형 제조 시스템 통합

반 백 송(Bo-Song Pan)

[정회원]



- 1990년 6월 : 저장공업대학교 기계 공학 (학사)
- 1997년 1월 : 저장공업대학교 기계 공학 (마스터)
- 2007년 6월 : 저장공업대학교 기계 공학 (박사)

- 2010년 6월 : 미주리 과학 기술 대학교 기계 항공 공학과 (방문 학자)
- 2007년 5월 ~ 현재 : 저장공업대학교 기계공학학원 (교수)

<관심분야>

메카트로닉스 기계 장비 설계 기술 및 신뢰성 설계

한 창 수(Changsoo Han)

[정회원]



- 1976년 2월 : 한양대학교 기계공학 (학사)
- 1989년 12월 : 텍사스 오스틴 대학 기계공학 (박사)
- 1990년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 기계공학과/로봇공학과 교수

<관심분야>

로봇 메커니즘 설계 및 해석, 건설로봇, 서비스로봇, 재활로봇, 웨어러블 로봇

안 보 영(Boyoung An)

[정회원]



- 2015년 8월 : 경희대학교 의공학과 (공학 석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 메카트로닉스 공학과 (박사과정)

<관심분야>

로봇 메니플레이션 / 로봇설계방법론 / 인공지능

엄 윤 설(Younseal Eum)

[정회원]



- 2010년 5월 : Virginia Commonwealth University(석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 융합시스템과 (박사과정)
- 2018년 4월 ~ 현재 : 주식회사 에이로봇 대표

<관심분야>

Human Robot Interaction