벡터 인버터의 토크 제어를 이용한 연속공정 제어 시스템 개발

변성훈, 정정윤, 홍찬욱, 김경서

㈜LS산전 자동화 제품 연구소

Development of Continuous Process Control System Using Torque Controlled Vector Inverter

S.H Byun, J.Y. Cheong, C.O Hong, K.S Kim

LSIS R&D Center, LS Industrial Systems Co.Ltd

Abstract

This paper presents the design and development of Web control algorithm of continuous process control system using torque controlled vector inverter. Web algorithm used tension control with the tension sensor, and it is to calculate diameter of motor speed with maintain Web tension. The performance of Web control in this paper is verified by experiment

1. 서론

여러 대의 전동기가 동시에 운전하는 철강, 제지 등의 연속공정은 공정 라인의 선속도(Line Speed)를 일정하게 유지함과 동시에 소재의 장력을 유지해야 한다[1],[2]. 일반적인 연속공정 시스템에서의 장력 제어는 상위 제어기에서 지령 선속도, 직경 연산 및 장력 제어의 결과를 이용하여 전동기 지령 속도를 연산한 후 인버터 속도를 제어하거나, 장력을 제어하기 위한 전동기 지령 속도를 자체적으로 연산하여 속도 제어 한다[3].

본 논문은 장력 센서를 이용한 연속공정 라인의 상위 제어기에서 자사 인버터(SV-iV5 Series)에 선속도 및 기준 장력을 인가하였을 때 소재의 직경 연산 및 장력 제어에 필요한 전동기 기준 토크를 연산한 후 소재의 파단 및 사행이 발생하지 않도록 장력 제어하고, 토크 제어를 통해 연속 공정 제어 기능이 가능하도록 구현하였다.

2. 토크 제어 연속공정 알고리즘

일반적으로 속도제어 연속공정 알고리즘은 속도 및 장력 응답성이 빠른 고성능 시스템에 적용하며, 토크제어 연속공정 알고리즘은 관성이 큰 시스템의 빠른 장력 응답성을 요구하는 시스템에 적용한다[4].

2.1 직경 연산

토크 제어를 이용한 연속공정 제어 알고리즘은 선속도 지령에 따른 소재의 직경을 연산하여야 한다[4]. 식(1)은 직경을 구하는 수식을 나타낸다. 이 때, 기어비(GR)는 전동기와 구동 롤러 사이의 비이다.

$$\text{직경 [m]} = \frac{\text{선속도[mpm]}}{\text{전동기속도[rpm]} \times \pi} \times \text{기어비[GR]} \qquad \text{식(1)}$$

2.2 기준 토크 연산

토크제어 연속공정에서의 기준 토크 연산은 다음과 같다. 지령 선속도(V), 전동기 속도(ω_r), 및 기어비(GR)를 이용하여 소재의 직경을 연산한다. 기준 장력(T_{ref})을 인가하면 연산된 직경에 비례하는 기준 토크(Trq_{ref})를 연산하며. 기준 장력(T_{ref})과 장력 센서의 출력 신호인 장력 피드백(T_{Fbk})으로 PID 제어를 한다. 전동기에 인가되는 최종 지령토크(Trq_{Final})는 연산된 기준 토크와 PID 제어 출력의 합으로 설정하여 전동기를 구동한다. 그림 1은 토크 제어를 하기 위한 기준 토크를 연산하는 블록선도를 나타낸다. 소재 직경이 증가할수록 전동기 부하는 증가하므로 일정한 장력이 유지되기 위해서 직경이 증가함에 따라 전동기에 인가되는 토크지령은 증가하여야 하며, PID 제어는 연속 공정 라인의 장력을 일정하게 제어하기 위해 직경 증가에 따라 최종 지령 토크(Trq_{Final})를 보상하는 역할을 한다.

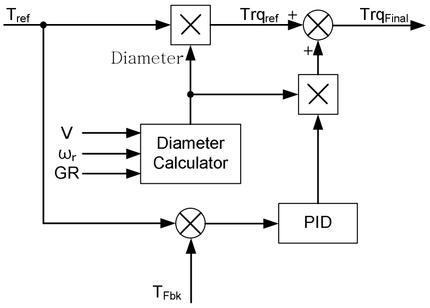

그림 1. 기준 토크 연산
Fig. 1 Calculation of Torque Reference

3. 실험 결과

그림 2는 토크 제어 연속 공정 시스템을 실험하기 위해 와인더롤, 언와인더롤, 닙(Nip)롤, 로드셀 및 측면 제어용 전용 장치로 구성된 모의 시험 장치이며, 설계 사양은 표 1과 같다. 웹 기능을 구현한 자사의 벡터제어 인버터 SV022iV5-4로 롤 전동기를 구동하며 상위 제어기를 별도로 두지 않고 아날로그 입력 단자를 이용하여 선속도지령을 하였다. 장력 기준치는 10[kgf]에 해당하는 50[%]로 설정하였으며, 이때 장력 피드백량은 5[V]에 해당한다. 웹 재료는 종이를 사용하였다.

	와인더/언와인더롤	닙롤
전동기 용량	1.5[kW]	0.7[kW]
제어 모드	Torque/Speed	Speed
기어비	5 : 1	5 : 1
최대 선속도	100[mpm]	100[mpm]
최소 직경	95[mm]	135[mm]
최대 직경	440[mm]	135[mm]
LoadCell 사양	정격용량:20[kgf], 정격출력:0.5[V/kgf]	

표 1. 와인딩 시스템 모의 시험 장치 사양
Table 1. Parameters of Winding System

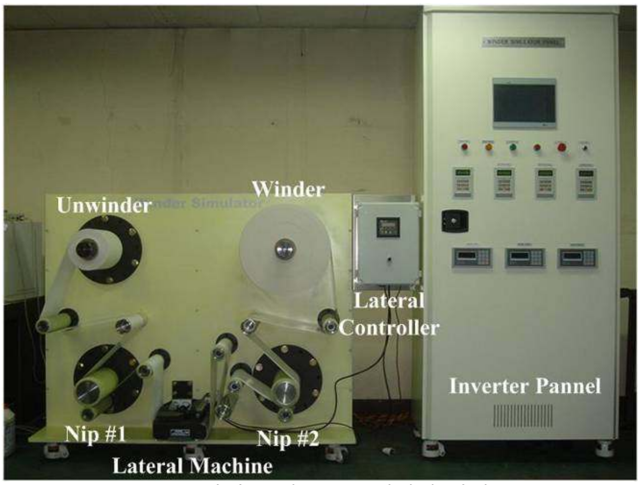

그림 2. 와인딩 시스템 모의시험 장치
Fig 2. Simulator of Winding System

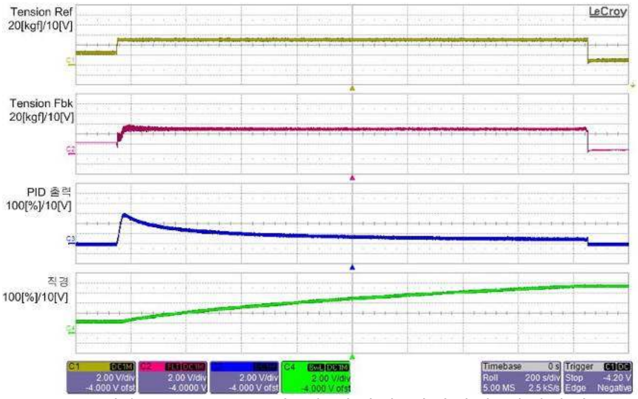

그림 3. 선속도 50[mpm]일 때 와인더 인버터의 시험파형
Fig. 3 Result of Winder Inverter at Line Speed 50[mpm]

그림 3은 와인더 인버터의 제어모드를 토크제어로 설정한 후 50[mpm] 선속도를 지령하였을 때 장력 지령, 장력 피드백, PID 출력 및 직경을 나타낸 파형이다. 10[kgf]의 장력 지령일 때 PID 출력은 최종 토크 지령을 보상해 주는 역할을 하여 시간이 지남에 따라 PID 제어 출력은 줄어들면서 장력 피드백이 일정하게 제어됨을 알 수 있다.

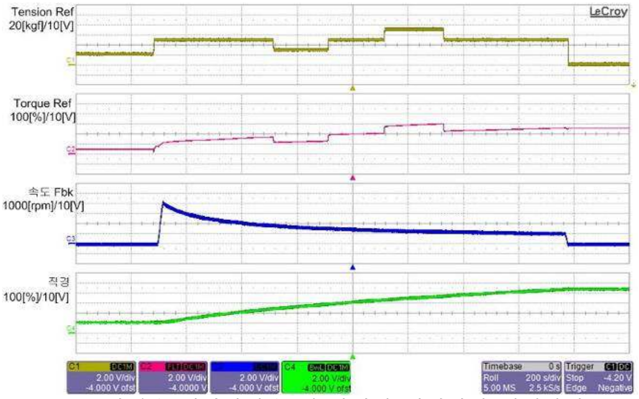

그림 4. 장력을 변화하였을 때 와인더 인버터의 시험파형
Fig. 4 Result of Winder Inverter at Tension Change

그림 4는 50[mpm] 선속도지령에서 10[kgf], 6[kgf], 10[kgf], 14[kgf], 10[kgf]으로 장력 지령을 변화하였을 때 토크 제어 와인더 인버터의 장력 지령, 토크 지령, 속도 피드백 및 직경을 나타낸다. 장력 지령의 변화에 따라 속도 피드백과 직경 연산에는 영향을 주지 않으며 장력 제어가 됨을 알 수 있다.

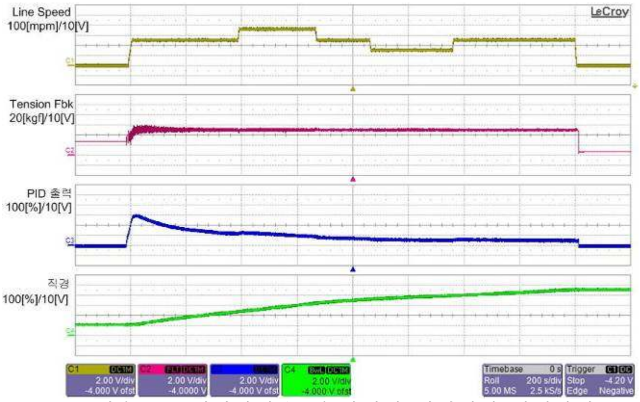

그림 5. 선속도를 변화하였을 때 와인더 인버터의 시험파형
Fig. 4 Result of Winder Inverter at Line Speed Change

그림 5는 10[kgf]의 일정한 장력지령에서 50[mpm], 70[mpm], 50[mpm], 30[mpm], 50[mpm]으로 선속도지령을 변화하였을 때 토크 제어 와인더 인버터의 선속도지령, 장력 피드백, PID 출력 및 직경을 나타낸다. 선속도지령이 변화하여도 장력 피드백은 일정하게 유지하며, 속도 변화에 따른 토크 변화는 PID 제어 출력으로 보상하여 줌을 알 수 있다. 또한 선속도 변화에 따른 직경 연산 증가율의 변화량을 볼 수 있다.

4. 결 론

연속 공정 라인의 롤러를 구동하는 시스템에서 상위 제어기 또는 인버터에 내장된 웹 제어 기능을 이용하여 소재의 직경을 연산하면서 장력 제어가 가능하며, 전동기의 지령 속도를 연산하여 속도 제어를 한다.

본 논문은 상위 제어기가 선속지령과 장력지령을 인가하였을 때, 소재의 직경과 전동기에 필요한 토크지령을 연산한 후, 토크제어 벡터 인버터를 구동하여 연속 공정 라인을 구동하였다. 연속공정 모의 실험 장치에서의 다양한 시험을 통해 제안된 토크제어 벡터 인버터의 연속 공정 기능의 동작 특성이 우수함을 보였다.

참 고 문 헌

[1] K.N Reid and K.C.Lin, “ Control of Longitudinal Tension in Multi-span Web Transport Systems During Start Up”, Proc. Of. International Conference of Web Handling IWEB3, pp 77~95, 1995

[2] W. Wolfermann and D. Schroeder, “ Application of Decoupling and State Space Control in Processing Machines with Continuous Moving Webs”, Proc. Of IFAC, vol. III, pp 100~105, 1987

[3] Siemens Co., Ltd, “Standard Software Package Axial Winder MS320 for T300 Technology Board for SIMOVERT Master Drivers 6SE70/71”, SoftWare Release 1.40

[4] Z.Lui, “Dynamic Analysis of Center-Driven Web Winder Controls”, Thirty-Fpurth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 1999 IEEE, pp 1388~1396 Vol.2, 1999