

# 산업용 인버터를 이용한 Open-Loop 연속 공정 제어 시스템 개발

변성훈, 전미림, 정정운, 김정빈, 김경서

(주)LS산전 자동화 제품 연구소

## Development of Open-Loop Continuous Process Control System Using Inverter

S.H Byun, M.R Jeon, J.Y Cheong, J.B Kim, K.S Kim

LSIS R&D Center, LSIS

### Abstract

This paper presents the design and development of Web control algorithm of continuous process control system using vector inverter. Web algorithm used tension control without the tension sensor, and it is to calculate the diameter of Web materials with maintain Web tension. The performance of Web control in this paper is verified by experiment

### 1. 서론

비닐 가공/코팅, 철판 가공 등 장력/위치 센서를 이용한 장력 제어는 고응답성/정밀성을 요구하기 때문에 높은 부가 가치가 있는 제품에 적용하며, 신선기와 같이 선재를 가공하는 장력 제어는 장력/위치 센서를 사용하지 않는 시장이 보편화되어 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문은 장력/위치 센서를 이용하지 않는 연속 공정 시스템의 상위 제어기에서 자사 인버터(SV-iV5 Series)에 선속도 및 장력 지령을 인가하였을 때 소재의 직경 연산, 장력 제어에 필요한 전동기 토크 지령을 연산한 후, Open-Loop 속도/토크 제어를 통해 소재의 과단 및 사행이 발생하지 않도록 장력 제어를 하는 연속 공정 제어가 가능하도록 구현하였다.

### 2. Open-Loop 연속공정 알고리즘

Open-Loop 장력 제어는 장력을 일정하게 유지하기 위한 수단으로 LoadCell/Dancer와 같은 장력/위치 센서를 사용하지 않고 웹 제어를 하는 제어 모드이다. 장력/위치 제어를 하는 센서를 사용하지 않기 때문에 Closed-Loop 연속 공정 제어에 비해 고성능을 요구하지 않는 시스템에 적용하며, 속도/토크 제어 모드로 나눌 수 있다.

#### 2.1 Open-Loop 속도 제어 연속 공정 제어

그림 1은 Open-Loop 속도 제어 연속 공정 제어의 동작 원리를 나타낸다. 직경 연산부는 속도 피드백, 선속도 지령, 최대 속도, 최소 직경을 이용하여 직경을 연산하며, 지령 속도 연산부는 직경을 이용하여 속도 지령을 연산한다. 연산된 속도 지령에 속도 Bias를 더하여 속도 제어기의 입력인 최종 속도 지령을 구한다. 토크 제한 연산부는 직경, 장력 지령, 마찰손을 고려한 토크 제한값을 연산하여 속도 제어기 출력인  $Trq^*$ 를 계산한다. 토크 제한에 의해 최종 속도 지령보다 낮은 속도로 전동기는 구동하며, 이 때의 속도 제한값으로 다시 직경과 토크 제한값을 연산하는 과정을 반복한다. 즉, 직경이 증가함에 따라 토크 제한값을 크게 설정하고 직경이 감소함에 따라 토크 제한값을 작게 설정하도록

구현한다. 마찰손은 시스템 운행중에 발생하는 손실로, 전동기 속도 구간별로 측정하여 전동기 속도에 따라 보상한다.

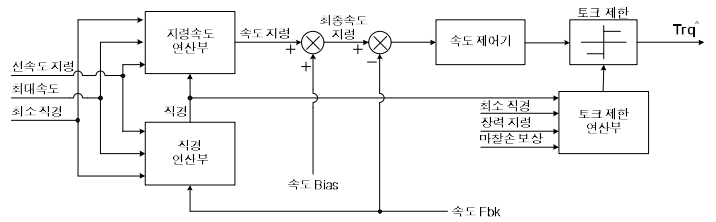


그림 1. Open-Loop 속도 제어 알고리즘  
Fig. 1 Algorithm of Open-Loop Speed Control

#### 2.2 Open-Loop 토크 제어 연속 공정 제어

그림 2는 Open-Loop 토크 제어 연속 공정 제어의 동작 원리를 나타낸다. 장력 지령과 직경 연산부에서 연산된 직경을 이용하여 토크 지령을 계산한 후 전동기 속도에 따른 마찰손을 보상하여 토크 제어 지령치  $Trq^*$ 를 계산한다. 장력 지령이 일정할 경우 토크 지령은 직경이 증가함에 따라 증가하고, 직경이 감소함에 따라 감소하도록 구현한다.

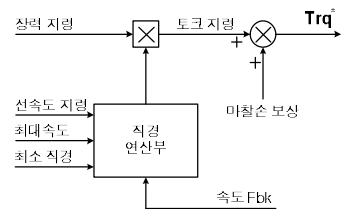


그림 2. Open-Loop 토크 제어 알고리즘  
Fig. 2 Algorithm of Open-Loop Torque Control

### 3. 실험 결과

그림 3은 Open-Loop 속도/토크 제어를 적용한 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 벡터 제어 인버터 SV022iV5-4로 롤 전동기를 구동하며 상위 제어기를 별도로 두지 않고 아날로그 입력 단자를 이용하여 선속 지령을 하였다. 장력 기준치는 10[kgf]에 해당하는 50[%]로 설정하였으며, 이때 장력 피드백량은 5[V]에 해당한다. 재료는 종이를 사용하였다.

표 1. 와인딩 시스템 모의 시험 장치 사양

	와인더/언와인더틀	납롤
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]	

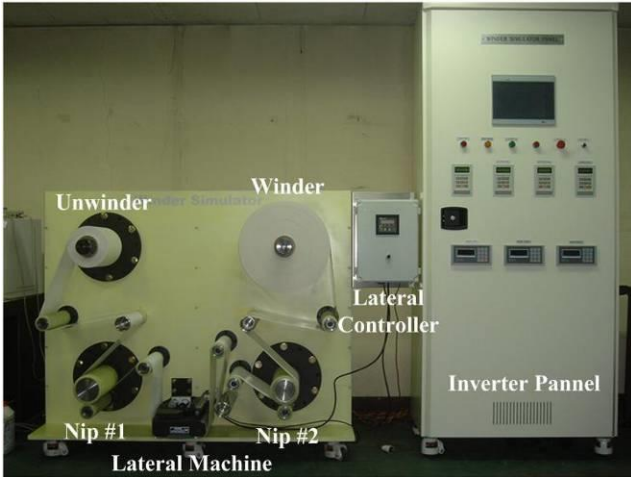


그림 3. 와인딩 시스템 모의 시험 장치  
Fig 3. Simulator of Winding System

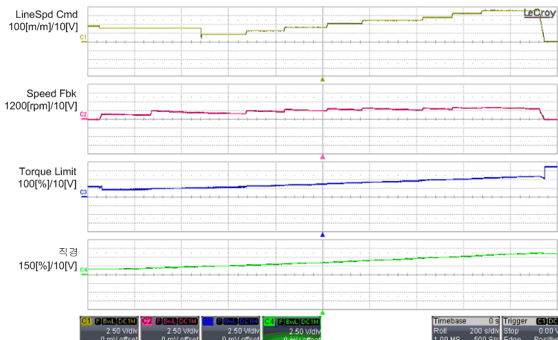


그림 4. 선속도 가변시 Open-Loop 속도 제어 시험 파형  
Fig. 4 Result of Open-Loop Speed Control at Line Speed Change

그림 4는 와인더 인버터의 제어 모드를 속도 제어로 설정한 후 선속도 지령을 가변하였을 때 선속도 지령, 속도 피드백, 토크 리미트 및 직경을 나타낸 파형이다. 선속도 지령 가변에 따른 토크 리미트의 변화와 직경 증가의 변화를 알 수 있다.

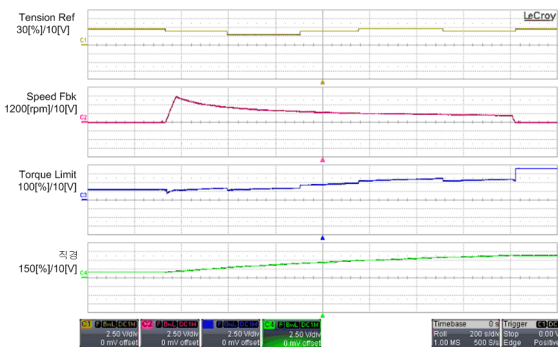


그림 5. 장력 가변시 Open-Loop 속도 제어 시험 파형

그림 5는 와인더 인버터의 제어 모드를 속도 제어로 설정한 후 장력 지령을 가변하였을 때 장력 지령, 속도 피드백, 토크 리미트 및 직경을 나타낸 파형이다. 장력 지령 가변에 따른 토크 리미트의 변화와 직경 증가의 변화를 알 수 있다.

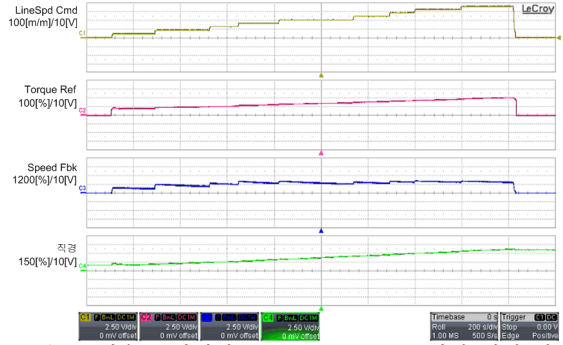


그림 6. 선속도 가변시 Open-Loop 토크 제어 시험 파형  
Fig. 6 Result of Open-Loop Torque Control at Line Speed Change

그림 6은 와인더 인버터의 제어 모드를 토크 제어로 설정한 후 선속도 지령을 가변하였을 때 선속도 지령, 토크 지령, 속도 피드백 및 직경을 나타낸 파형이다. 선속도 지령 가변에 따른 토크 지령 및 직경 증가의 변화를 알 수 있다.

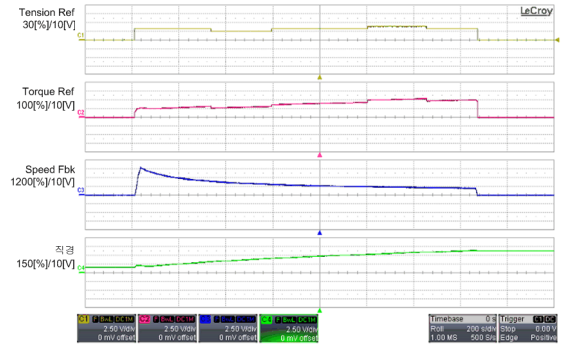


그림 7. 장력 가변시 Open-Loop 토크 제어 시험 파형  
Fig. 7 Result of Open-Loop Torque Control at Tension Change

그림 7은 와인더 인버터의 제어 모드를 토크 제어로 설정한 후 장력 지령을 가변하였을 때 장력 지령, 토크 지령, 속도 피드백 및 직경을 나타낸 파형이다. 장력 지령 가변에 따른 토크 지령 및 직경 증가의 변화를 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문은 고응답성/정밀성을 요구하지 않는 연속 공정 시스템에서 선속도 지령과 장력 지령을 인가하였을 때, 장력/위치 센서를 이용하지 않는 Open-Loop 속도/토크 제어 연속 공정 알고리즘을 구현하였다. 연속 공정 모의 시험 장치에서의 시험을 통해 제안된 Open-Loop 속도/토크 제어 산업용 인버터의 연속 공정 기능의 동작 특성이 우수함을 보였다.

#### 참고 문헌

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