

고속 자동정렬 케이블 와인딩을 위한 가이드 시스템 개발

이창우, 강현규, 지혁중, 안영세(건국대 대학원 기계설계학과), 신기현 (건국대 기계항공공학부)

A Development of a Guiding System for the High-Speed Self-Align Cable Winding

C. W. Lee, H. K. Kang, H. J. Jee, Y. S. An(Mechanical Design. Dept. KKU) , K. H. Shin(School of Mechanical and Aerospace engineering.),

ABSTRACT

Recently, the demand for the optical cable is rapidly growing because the number of internet user increases and high speed internet data transmission is required. To meet this demand, it is necessary to have a sufficient manufacturing capability for mass and high-quality production. But the present optical cable winding system has some serious problems such that the optical cable of radius (6 mm - 40 mm) is often piled up and collapsed usually at the edge of the bobbin in the process of the cable winding. It is often necessary to have an additional operator in order to adjust the cable, which causes the productivity decrease. In order to improve a performance of cable winding system which deals with relatively thick cable(radius : 6 mm - 40 mm), we developed a new guiding system for a high-speed self-align cable winding. First of all, the winding mechanism was analyzed. Synchronization logics for the motions of winding, traversing, and the guiding were created and implemented by using the PLC and guiding system controller in a prototype cable winding system manufactured in the CILS(Computer Integrated Large scale System) lab. An experimental verification was carried out to validate the logic.

Results showed that the winding system with the developed guiding system outperformed in reducing pile-up and collapse in the high-speed winding(up to 300 mm/s) compared with the system without the guiding system.

Key Words : Guiding system (가이드 시스템), Optical cable (광케이블), Pile up and collapse (적층 및 이탈), Bobbin (보빈), Cable winding system (케이블 와인딩 시스템), Winding (와인딩), Traversing (좌,우 이송)

1. 서론

광케이블(Optical cable)이나 동력선과 같이 비교적 직경이 크고 단단한 케이블은 최종 생산공정으로서 원형의 보빈(Bobbin)에 감기는 와인딩 공정을 거치게 된다. 이러한 와인딩 공정에서 보빈의 형상 결함, 케이블의 직경변화, 보빈의 좌우이송(Traversing)과 보빈 와인딩 속도 동기화, 장력제어 등의 불량으로 인하여 케이블의 적층 및 이탈(Pile up and collapse) 현상이 빈번히 발생하며, 이는 제품 불량률의 증가 및 생산성 저하의 주요 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 최소화하기 위하여 현재 생산 현장에서는 와인딩 공정 중 작업자가 직접 케이블의 감김 상태를 관찰하여 수동으로 케이블 정렬 작업을 하고 있으며, 이로 인해 생산성 저하 및 고품질 제품 생산이 어렵다.

따라서 생산속도를 증가시키고 고품질의 제품을 생산하기 위해서는 고속 자동정렬 케이블 와인딩을 위한 가이드 시스템(Guiding system) 개발이 요구된다. 특히 최근 인터넷 사업 등 통신 산업 확장에 따라 대용량 데이터 전송을 위한 케이블의 수요가 급증하고 있는 현 시점에서 케이블의 생산성 증대를 위한 고속 자동정렬 가이드 시스템의 개발은 더욱 절실하다. 이와 관련된 국내외 관련 업체들의 연구 성과는 매우 미약하여, 국내에서 개발된 고속 자동정렬 와인딩을 위한 가이드 시스템은 보고된 바가 없으며, 개발된 국외의 몇몇 제품들도 상용화 되었으나, 아직은 그 기능이 기대에 미치지 못하고 있는 형편이다.

본 가이드 시스템의 개발을 위하여, 현장에서 나타나는 문제점을 체계적으로 분석하고 다양한 직경을 지닌 케이블 와인딩 공정에 대한 수학적 모델

을 개발하여 와인딩 시스템의 특성을 해석하였고, 이를 기반으로 보빈의 형상결합, 소재의 직경변화와 장력변화^[11] 등에 따른 와인딩 불량률 최소화 할 수 있는 실시간 제어기^{[11][12][13]}를 개발하였다.

가이딩 시스템의 성능 검증을 위해 실제보다 약 1/10 축소된 시뮬레이터를 제작하였고, 이를 이용하여 가이딩 시스템이 장착된 경우가 가이딩 시스템이 장착되지 않은 경우에 비해 와인딩 상태가 월등히 우수함을 확인하였으며, 고속 자동정렬케이블 와인딩을 구현 하였다.

2. 와인딩 공정 수학적 모델

이상적인 케이블 와인딩 상태는 Fig. 1 과 같다.

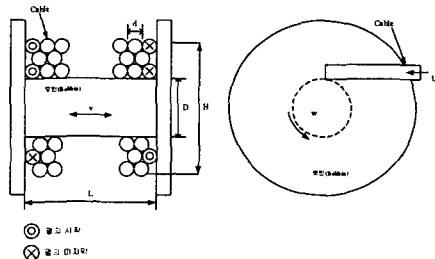


Fig. 1 Ideal case of cable winding

와인딩 공정에서 케이블의 새로운 층 감기가 시작될 때, 와인딩 속도는 그대로 유지되면서 케이블 직경만큼 와인딩 동경이 증가하게 되므로 작업 선속도가 증가한다. 속도 증가로 인해 기준 장력값과 실제 와인딩 시 장력값의 차이가 발생하게 되어 장력값이 일정하게 유지되지 않으므로 보빈에 감기는 케이블의 상태가 악화된다. Fig. 1 에서 보빈의 회전 각속도(ω)는 식(1)과 같으며, 보빈이 한 바퀴 회전하는데 걸리는 시간(t)는 식(2)로부터 구할 수 있다.

$$\omega = \frac{2U}{H} \quad (1)$$

$$t = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2)$$

단, U 는 케이블의 선속도이고 H 는 와인딩 동경이다. 보빈이 한 바퀴 회전하는 동안, 트래버싱은 케이블의 직경만큼 이뤄져야 하므로, 트래버싱의 이동속도 v 는 식(1), (2)로부터 식(3)과 같이 유도된다.

$$v = \frac{d}{t} = \frac{d\omega}{2\pi} \quad (3)$$

여기서 d 는 케이블의 직경이다. Fig. 2 는 케이블 와인딩 시, 각 층에 따른 와인딩 직경을 나타낸다.

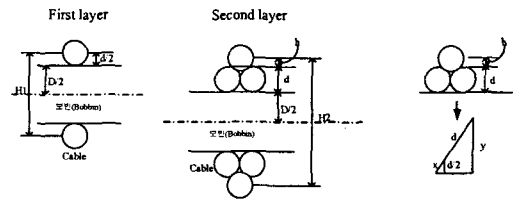


Fig. 2 Winding diameter of respective layers

Fig. 2 로부터 와인딩 동경식을 유도한다. Fig. 2 에서 케이블의 첫 층이 감기는 경우에 보빈직경 (D)과 케이블직경(d)의 합을 식(4)와 같이 와인딩 동경(H_1)으로 정의한다.

$$H_1 = D + d \quad (4)$$

Fig. 2 에서 두 번째 층을 감을 때의 와인딩 동경(H_2)은 식(5)와 같다.

$$H_2 = D + 2d + 2h \quad (5)$$

$$x = \frac{d}{2\cos 30^\circ}, \quad y = (x + d)\cos 30^\circ \quad (6)$$

또한, Fig. 2 에 나타난 x, y 는 식(6)과 같은 관계를 지니며, 이를 통해 식(7)이 유도된다.

$$h = y - d = \frac{(\sqrt{3}-1)}{2}d \quad (7)$$

식(7)과 식(5)로부터 두 번째 층의 와인딩 동경을 식(8)과 같이 구할 수 있다.

$$H_2 = D + 2d + 2h = D + (1 + \sqrt{3})d \quad (8)$$

식(4)와 (8)을 통해 일반적인 와인딩 동경 증가 식인 식(9)를 유도할 수 있다.

$$H_n = D + (1 + (n-1)\sqrt{3})d \quad (9)$$

식(1)과 식(2)를 일반적인 와인딩 동경 증가식

(9)에 대입함으로써 와인딩 동경 증가에 따른 와인딩 속도는 식(10)과 같고, 트레이싱 속도는 식(11)과 같이 표현된다.

$$\omega_n = \frac{2U}{H_n} \quad (10)$$

$$v_n = \frac{Ud}{\pi H_n} \quad (11)$$

3. 가이드 시스템

3.1 가이드 시스템 구성

아래의 Fig. 3 은 케이블의 자동정렬 와인딩을 위하여 제안된 새로운 가이드 시스템^{[2][3][4][5]}을 보여주고 있다.

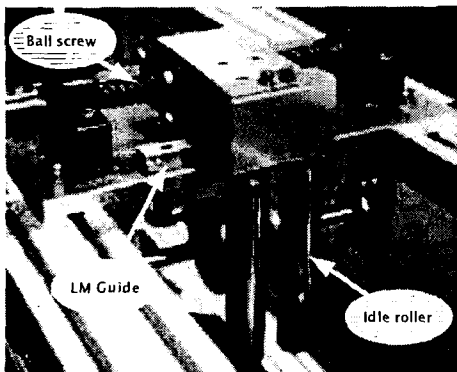


Fig. 3 The guiding system

Fig. 3의 가이드 시스템은 케이블의 적층 및 이탈 현상을 최소화 하고 케이블을 자동 정렬하기 위한 장치이다. 케이블은 두 개의 아이들 롤러(Idle roller)^{[2][4][5]}사이를 통과하며, 케이블이 보빈 말단부에 위치했을 때, 고속 자동정렬을 위해 보빈 끝단으로 케이블을 밀착, 복귀시킨다. 엘엠가이드(LM guide)^[6]는 가이드 시스템의 좌,우 이동에 대한 마찰을 최소화하며, 볼 스크류(Ball screw)^{[7][9]}는 가이드 시스템 구동모터의 회전운동을 직선운동으로 변환시켜준다.

3.2 가이드 시스템 작동원리

Fig. 4는 케이블의 적층 및 이탈 현상을 나타내며, 이러한 문제점에 대한 관찰과 실험을 통하여

케이블의 적층 및 이탈현상이 가장 빈번히 발생하는 곳이 보빈 양 끝단부임을 발견하였다. 이는 케이블이 새로운 층에 쌓일 때, 종종 보빈 끝단에서 시작하지 못하는 경우가 발생하기 때문이다.

그러므로 케이블이 보빈의 양 끝단에 위치하는 순간을 광센서로 인식하고, 그와 동시에 가이드 시스템은 계산된 시간 동안 케이블을 보빈 끝단으로 밀착시켜 주고, 보빈이 반대편 방향으로 트레이싱되는 시점에 맞추어 케이블을 원 위치로 복귀시킨다.



Fig. 4 The phenomenon that cable is piled up and collapse

3.3 가이드 시스템 실시간 스케줄링

Fig. 5는 PLC에서 구현되는 각 신호의 반응도표로서 케이블이 보빈 양 끝단에 위치했을 때, 실시간 스케줄링에 의해 발생하는 신호들에 대한 예를 도시한 것이다.

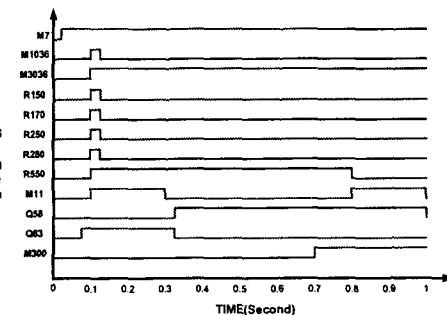


Fig. 5 Real time Scheduling for the guiding and winding system

고속 자동정렬 케이블 와인딩의 실현을 위해 가장 중요한 것은 여러 개의 액츄에이터들간 상호 동

기 문제이다. 이러한 실시간 스케줄링은 단지 가이딩 시스템에만 국한 된 것은 아니며, 와인딩 파트 래버싱 등 과도 함께 커플 되어 있다.

4. 실험결과

Fig. 6 은 고속 자동정렬 와인딩을 위한 가이딩 시스템의 성능을 평가하기 위해 제작된 시뮬레이터로서 와인딩과 트래버싱을 위한 서보모터(AC servo motor)와 보빈 양 끝단 인식을 위한 광센서^[8], 장력 측정을 위한 로드셀(Load cell), 공정선속도 측정을 위한 엔코더(Encoder), 풀림롤(Unwinder) 등으로 구성되어 있다.

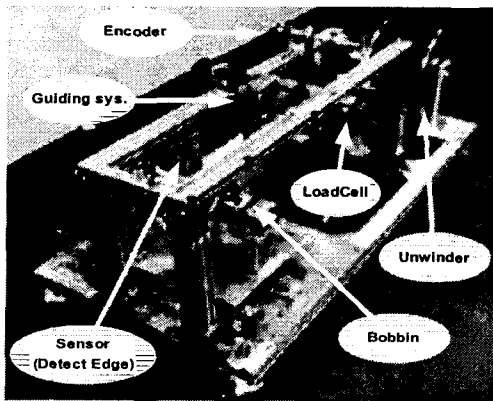
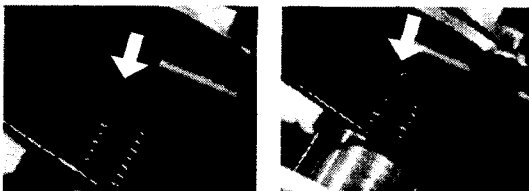


Fig. 6 The High-speed self-align cable winding system with guiding system

Fig. 7 은 공정 시작 시의 실험 결과로서, 이때 케이블의 강성 및 보빈 형상 결함에 의해 많은 양의 에러가 발생하게 된다



(a) With guiding system (b) Without guiding system
Fig. 7 Beginning of winding

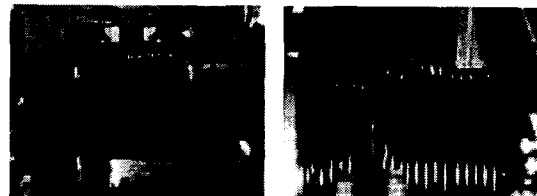
케이블의 적층 및 이탈현상은 현재 쌓이고 있는 층의 결함보다는 그 전 층에 쌓여 있는 상태에 따라 더욱 큰 영향을 받는다.

Fig. 7(a)는 가이딩 시스템을 장착한 케이블 와인

딩 결과이며, Fig. 7(b)는 가이딩 시스템을 장착하지 않은 케이블 와인딩 결과이다. 실험 시 공정 선속도는 약 300 mm/s 이며, 공정 시작 시 가장 큰 에러가 발생하므로 이를 방지하기 위해서 가장 첫 단을 와인딩 할 때는 기준 선속도의 1/5 의 값인 60 mm/s 로 와인딩 하였다. 그럼에도 불구하고 Fig. 7 에서 알 수 있듯이, 가이딩 시스템이 장착되지 않은 경우에 보빈 말단부에 생기는 공간이 (Fig. 7(b)) 매우 큰 것을 알 수 있다. 이러한 여유공간(에러)에 의해 결국 다음 층을 쌓는 과정에서 케이블의 적층 및 이탈현상이 발생한다.

다음의 Fig. 8 은 작업선속도 300 mm/s 를 기준으로 케이블 와인딩을 완료한 실험결과로서, Fig. 8(a)는 가이딩 시스템 장착 후 실험을 실시한 결과이고, Fig. 8(b)는 가이딩 시스템 제거 후 실험을 실시한 결과이다. Fig. 8 을 통해 가이딩 시스템에 의해 보빈 말단부에서 고속 자동정렬이 잘 이뤄지고 있음을 확인 하였다.

실험에 사용한 시뮬레이터의 와인딩 회전속도를 현장 보빈의 크기에 동일하게 적용하면, 작업선속도는 약 270 m/min 으로 현재의 생산속도(약 40 m/min)의 5 배 이상 증가가 가능하다.



(a) With guiding system (b) Without guiding system
Fig. 8 End of winding

5. 결론

본 연구 개발에서는 고속 자동정렬 케이블 와인딩을 위한 가이딩 시스템을 제안하였으며, 이를 실제 크기의 약 1/10 축소된 시뮬레이터를 직접 설계 및 제작하여 가이딩 시스템의 성능을 실험적으로 검증하였다. 또한 주 제어기는 PLC (GE Fanuc LM90-30)를 사용하고, 가이딩 시스템의 모듈화를 통해 현장 적용성을 극대화 하였다. 실험을 통해 검증된 바와 같이 본 연구를 통해 개발된 가이딩 시스템의 적용을 통해 설비당 작업인력을 절감하고, 생산라인의 속도 증가를 통한 생산능력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

특히, 케이블 가이드, 와인딩, 트레이싱 등의 실시간 스케줄링을 통하여 보빈의 직경이나 플랜지의 형상변화, 보빈의 폭 변화 등을 자동으로 보정하여 고품질 제품 생산 및 고속 자동정렬 케이블 와인딩을 가능하게 할 것으로 사료된다.

후 기

본 가이드 시스템 개발 재원의 일부는 서울 지방 중소기업청과 성지통상(주)에 의해 지원되었으며, 이에 관계자 제위께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kee-Hyun Shin, "Tension Control," 2000, TAPPI Press.
2. "KS 규격집-기계요소," 한국표준협회, 1998.
3. 신기현, "케이블 자동 권취장치," 특허출원번호 10-2000-0026802, 2000. 5. 18
4. 최상훈, "최신기계설계," 청문각, 1999.
5. P. Timoshenko, S. Young, D.H., "Engineering mechanics," McGraw, 1956.
6. "LM SYSTEM Linear motion systems," THK, 1995.
7. "KURODA BALL SCREW," 쓰리에이테크, 1999.
8. "Sensors Vision systems and Measuring instruments," KEYENCE, 2000.
9. "구름베어링," NSK.
10. 김종원, 이건우, 조선휘, "기계공학제도," 문운당, 1999.
11. 이성재, 위성동, 유종선, 김세찬, "PLC 프로그래밍," 광문각, 2001.
12. "PROGRAMMABLE CONDUCT PRODUCTS," 코오롱엔지니어링(주).
13. "GE FANUC AUTOMATION I/O MODULE SEPCIFICATIONS_GFK0898E," FANUC, 1997.
14. 양승윤, 조상훈, 최준호, 박래석 "예인원치 케이블 권선정렬 시스템의 제어에 관한 연구," 한국군사과학기술학회지, 제 4 권, 제 1 호, 2001.