

고속 자동정렬 케이블 와인딩을 위한 가이드 시스템 개발

이창우*, 강현규*, 신기현#

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

Chang Woo Lee*, Hyun Kyoo Kang* and Kee Hyun Shin#

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. But the present optical cable winding systems has some serious problems such as pile-up and collapse of cable usually near the flange of the bobbin in the process of the cable winding. To reduce the pile-up collapse in a cable winding systems, a new guiding system is developed for a high-speed self-align cable winding. First of all, the winding mechanism was analyzed and synchronization logics for the motions of winding, traversing, and the guiding were created. A prototype cable winding systems was manufactured to validate the new guiding system and the suggested logic. Experiment results showed that the winding system with the developed guiding system outperformed the system without the guiding system in reducing pile-up and collapse in the high-speed winding.

Key Words : Guiding system(가이드 시스템), Optical cable(광케이블), Pile up and collapse(적층 및 이탈), Real-time scheduling(실시간 스케줄링), Traversing(좌우이송), Task(태스크)

1. 서론

광케이블(Optical cable)이나 동력선과 같이 비교적 직경이 크고 단단한 케이블은 원형의 보빈(Bobbin)에 감기는 와인딩 공정 중 보빈 플랜지 근처에서 촘촘하게 감기지 못하고 틈을 남기면서 감길 수 있다. 또한 와인딩 공정에서 보빈의 형상 결함, 케이블의 직경변화, 보빈의 좌우이송(Traversing)과 속도 동기화, 장력제어 등의 불량으로 인하여 케이블의 적층 및 이탈(Pile up and collapse) 현상이 빈번히 발생하며, 이는 제품 불량

률의 증가 및 생산성 저하의 주요 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 최소화하기 위하여 생산현장에서는 공정 중 작업자가 직접 케이블의 감김 상태를 관찰하여 수동으로 케이블 정렬 작업을 하고 있으며, 이로 인해 생산성 저하 및 고품질 제품 생산이 어렵다.

따라서 생산속도의 증가 및 고품질 제품 생산을 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 급증

* 2003년 9월 18일 접수; 게재승인일: 2004년 4월 9일

* 건국대학교 대학원 기계설계학과

교신저자: 건국대학교 기계항공공학부

Email : khshin@konkuk.ac.kr, Tel: (02) 450-3072

하고 있는 현 시점에서 고속 자동정렬 가이드 시스템의 개발은 더욱 절실하다. 그러나, 강성이 크지 않은 섬유나 일반전선과 같이 소재자체를 쉽게 휘게 할 수 있는 상태에서의 와인딩 로직에 대한 연구^{1,2}는 보고 된바 있지만, 광케이블과 같이 강성이 매우 커서 쉽게 휘어지지 않는 소재의 고속 자동정렬 와인딩을 위한 가이드 시스템은 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 고속 자동정렬 케이블 가이드 시스템을 개발하였다. 가이드 시스템의 개발을 위하여, 현장의 문제점을 체계적으로 분석하고 다양한 직경을 지닌 케이블 와인딩 공정에 대한 수학적 모델을 개발하여 와인딩 시스템의 특성을 해석하였고, 실시간 모션 동기화를 통하여 보빈의 형상결함, 소재의 직경변화 등에 따른 와인딩 불량률 최소화 할 수 있는 실시간 제어를 개발하였다.

실제의 약 1/10 크기로 제작된 시뮬레이터를 통하여, 고속에서 가이드 시스템의 성능을 검증하였다.

2. 와인딩 공정의 수학적 모델

Fig.1 은 케이블이 보빈(Bobbin)에 쌓이는 과정에서 이상적인 경우를 표현한 것이며, U 는 공정 선속도이고 V 는 보빈(Bobbin)의 좌우이송속도를 나타내고 있다.

와인딩 공정에서 케이블이 새로운 층에 쌓이면서 케이블의 직경 만큼 와인딩 동경이 증가하게 되므로, 작업선속도는 기준 값보다 증가하게 된다. 이와 같은 속도변화는 케이블의 와인딩 상태를 악화시키는 장력 외란을 발생시킨다.³

Fig.1 에서 보빈의 회전각속도(w)는 식(1)과 같으며, 보빈이 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간(t)는 식(2)로부터 구할 수 있다.

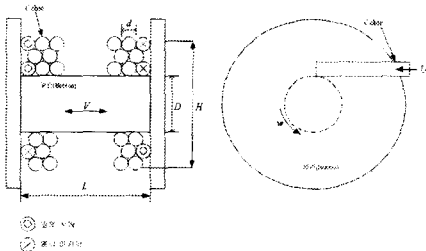


Fig. 1 Schematic of cable winding

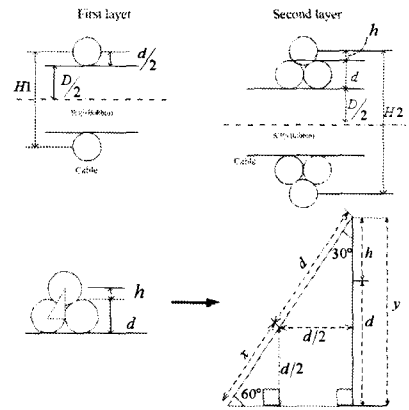


Fig. 2 Mathematical model of winding diameter

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

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

단, H 는 와인딩 동경이다. 보빈이 한 바퀴 회전하는 동안 케이블의 직경만큼 트래버싱(Traversing)되어야 하므로, 트래버싱의 속도는 식(1)과 (2)로부터 다음의 식(3)과 같이 유도된다.

$$V = \frac{d}{t} = \frac{dw}{2\pi} \quad (3)$$

Fig.2 는 케이블 와인딩 시에 각 층에 따른 와인딩 직경을 나타내며, 첫 층을 와인딩하는 경우에 보빈 직경(D)과 케이블 직경(d)의 합을 식(4)와 같이 정의한다.

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

Fig.2 에서 두 번째 층을 감을 때의 와인딩 동경은 식(5)와 같이 표현되며, x 와 y 는 식(6)과 같다. 또한 x, y 의 관계로부터 식(7)의 관계를 얻는다.

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

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

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

식(5)와 (7)로부터 두 번째 층의 와인딩 동경은 식(8)과 같이 유도된다.

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

식(4)와 (8)을 통하여 식(9)와 같이 와인딩 동경 증가에 대한 일반적인 수학적 모델을 구할 수 있으며, 식(9)에서 n 은 쌓인 층 수를 나타낸다.

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

식(1)과 (2)를 식(9)에 대입함으로써 와인딩 동경 증가에 따른 와인딩 속도는 식(10)과 같이 표현되며, 트레이싱 속도는 식(11)과 같다.⁴

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

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

3. 가이딩 시스템

3.1 가이딩 시스템의 구성

아래의 Fig.3 은 고속 자동정렬 와인딩을 위하여 본 연구에서 제안된 가이딩 시스템을 보여주고 있다. 가이딩 시스템은 고속에서 케이블의 적층 및 이탈 현상을 최소화 하고 케이블을 자동정렬하기 위한 장치이다. 케이블은 두 개의 아이들 롤러 (Idle roller)사이를 통과하며, 케이블이 보빈 말단부에 위치했을 때, 고속 자동정렬을 위해 보빈의 양 끝단에서 케이블을 밀착, 복귀시킨다.

가이딩 시스템의 구성요소인 엘엠가이드(LM guide: LMBM15)⁵는 가이딩 시스템의 좌,우 이동에 대한 마찰 및 하중을 최소화한다. 또한 볼 스크류 (Ball screw: GY1520-0600A U type)⁶는 가이딩 시스템 구동모터인 서보모터(AC servo motor: CN 08 , FDA 5005)의 회전운동을 직선왕복운동으로 변화시킨다.

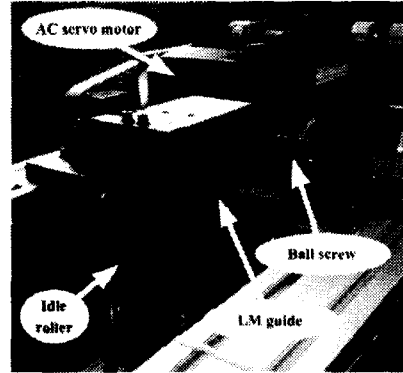


Fig. 3 Prototype guiding system

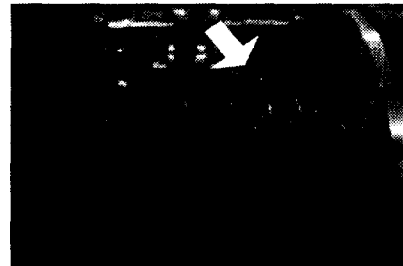


Fig. 4 Cable winding error

3.2 가이딩 시스템 작동원리

Fig.4 는 와인딩 공정 중에 발생한 케이블의 적층 및 이탈현상을 나타내고 있다. 이러한 현상에 대한 관찰과 실험을 통하여 보빈 양 끝단부에서 케이블의 적층 및 이탈현상이 가장 빈번히 발생하고 있음을 확인하였다. 이는 케이블이 새로운 층에 쌓일 때, 보빈 끝단에서 시작하지 못하는 경우가 발생하기 때문이다. 그러므로 케이블이 보빈의 양 끝단에 위치하는 순간을 비접촉 센서(Amplifier photoelectric sensor: PZ-101)⁷로 인식하고, 그와 동시에 가이딩 시스템은 연산된 시간 동안 케이블을 보빈 끝단으로 밀착시켜 주며, 일정 시간경과 후에 가이딩 시스템이 케이블을 원위치로 복귀시킨다. 이때, 주어진 가이딩 시스템 구동 모터의 성능, 설치된 볼 스크류의 1 회전당 리드 거리 (5 mm), 작업선속도 270 m/min, 케이블 직경 7 mm 및 가이딩 시스템의 설치위치에 따른 보빈과의 거리 등을 고려하여, 보빈의 0.8 회전후에 가이딩 시스템이 케이블을 밀착 시킨 후 원위치로 복귀하도록 설정하였다.

4. 실시간 모션동기화 로직

4.1 와인딩 시스템의 태스크정의

케이블 와인딩 시스템은 크게 와인딩, 트래버싱, 가이딩의 3 가지 공정으로 나눌 수 있다. 이러한 공정에 대하여 다음과 같이 태스크(Task)를 정의 하였다.^{8,9}

4.1.1 와인딩 태스크

와인딩 태스크는 보빈의 회전운동을 담당하며, 정렬된 케이블 와인딩을 위해서 와인딩 시에 일정한 장력 유지가 요구 된다. 장력은 속도에 민감하게 반응하므로 와인딩 동경 증가에 대하여 케이블의 이송 속도를 일정하게 유지하여야 한다.

와인딩 속도의 수학적 모델인 식(10)에 근거하여 와인딩 시에 케이블 이송 속도를 일정하게 유지하며, 케이블 와인딩 시스템의 공정 초기부터 마칠 때까지 동작한다.

4.1.2 트래버싱 태스크

보빈의 좌우 직선왕복운동을 담당한다. 케이블의 적층 및 이탈현상을 방지하기 위해서는 와인딩 속도와 트래버싱 속도의 동기화가 매우 중요하다. 식(11)에 표현된 모델을 근거로 하여 보빈의 1 회전당 케이블의 직경만큼 이동하며, 와인딩 태스크와 동일하게 공정 초기부터 마칠 때까지 동작한다.

4.1.3 가이딩 태스크

본 연구에서 제안된 가이딩 시스템에 대한 태스크로서, 가이더의 좌우 직선운동을 담당한다. 케이블의 적층 및 이탈 등의 에러는 보빈의 양 끝단에서 주로 발생하게 된다. 가이딩 태스크는 이러한 에러보정을 위하여 와인딩 공정 중 케이블이 보빈의 끝단에 위치하는 순간, 케이블을 보빈 끝단에 인위적으로 밀착시킨 후 원위치로 복귀한다.

4.1.4 센싱 및 연산 태스크

적외선 센서를 통하여 케이블이 보빈의 양끝단에 위치하였음을 감지하여 트래버싱의 방향전환, 와인딩 속도변화, 가이딩 시스템의 작동을 시작하게 된다. 이와 동시에 와인딩 속도와 동기된 트래버싱 속도 변화량, 균일 장력 유지를 위한 와인딩 속도 변화량, 자동정렬 와인딩을 위한 가이딩 시스템의 작동 시간 등을 연산 태스크에서 담당한다.

4.1.5 유저인터페이스(User interface) 태스크

유저인터페이스 모듈로부터 시스템의 시작 및 정지, 비상정지와 같은 사용자 입력을 수행하게 된다.

4.2 자동정렬 와인딩 시스템의 스케줄링

본 연구에서 제안된 자동정렬 케이블 와인딩 시스템은 크게 6 개의 태스크로 구성된다. 스케줄링은 정확한 모션 동기화를 기초로 하여 시스템의 성능 향상 및 안정성 보장을 위하여 수행한다. Fig.5 는 각 태스크들에 대한 테이블이며, 각각의 태스크들이 서로 연계되어 동작하며, 각 태스크들의 동작시간 및 동작시점이 매우 중요하다.

Fig.6 은 PLC(Programmable Logic Control)에서 구현되는 각 신호의 반응도표로서 케이블이 보빈 양 끝단에 위치하는 순간, 실시간 스케줄링에 의해 발생하는 신호들에 대한 예를 나타낸 것이다.⁹

고속 자동정렬 케이블 와인딩의 실현을 위해 가장 중요한 것은 여러 개의 액츄에이터들간 상호 동기 문제이다. 이러한 실시간 스케줄링은 단지 가이딩 시스템에만 국한 된 것은 아니며, 와인딩과 트래버싱 등과도 함께 커플되어 있다.

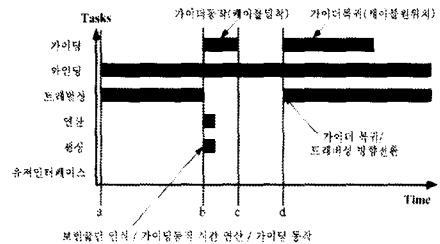


Fig. 5 Task flow table

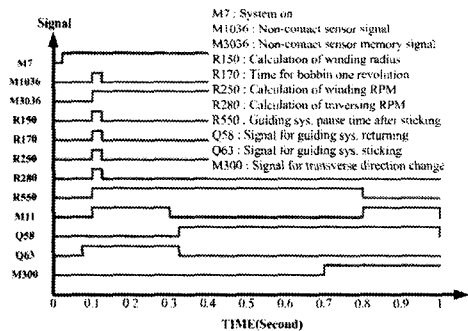


Fig. 6 Real-time scheduling for high speed self-align

5. 실험결과

Fig.7 은 고속 자동정렬 와인딩을 위한 가이드 시스템의 시스템 구성도이며, Fig.8 은 성능평가를 위해 제작된 시뮬레이터로서, 와인딩과 트레이싱 및 가이드를 위한 서보모터(AC servo motor)와 보빈 양 끝단 인식을 위한 비접촉 센서, 장력 측정을 위한 로드셀(OBBS-10), 케이블 이송 속도를 위한 엔코더, 감김률, 풀림률 등으로 구성되어 있다. 케이블의 강성으로 인하여 와인딩 공정 시작시에 케이블과 보빈의 결합부위에서 틈이 발생하는 에러가 자주 발생하는데, 이러한 틈은 두 번째 층을 쌓을 때 케이블이 무너지는 현상의 원인이 된다. 이를 방지하기 위하여 Fig.9 와 같이 케이블을 보빈에 고정하여 초기에러를 최소화하였다.

Fig.10 은 공정 시작 시의 실험결과로서, 가이드 시스템의 자동정렬 동작으로 인하여 첫 층에서 발생하는 틈이 현저히 감소되었음을 보여주고 있다. Fig.4 와 같은 케이블의 적층 및 이탈 현상은 현재 쌓이고 있는 층의 결합보다는 이전 층에 쌓여 있는 케이블의 상태에 따라 더욱 큰 영향을 받는다. Fig.10(a)는 가이드 시스템 장착시의 케이블 와인딩 결과이며, Fig.10(b)는 가이드 시스템을 장착하지 않은 경우에 대한 케이블 와인딩 결과이다.

실험 시, 공정 선속도는 약 300 mm/s 이며, 공정 시작 시에 주로 에러가 발생하므로 이를 방지하기 위하여 최초 보빈 회전시에는 기준 선속도에 대해 1/5 인 60 mm/s 로 와인딩 하였다. 그럼에도 불구하고 Fig.10 의 결과에서 알 수 있듯이, 가이드 시스템이 장착되지 않은 경우에 보빈 끝단에서 틈이 비교적 크게 발생 하였다.

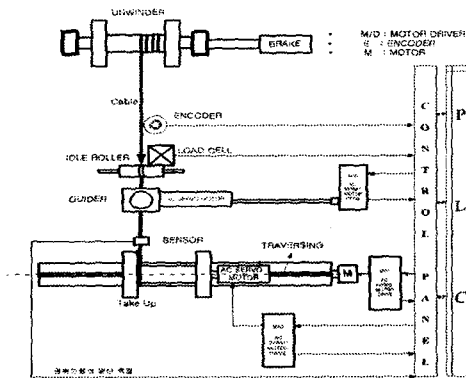


Fig. 7 Schematic of cable winding system

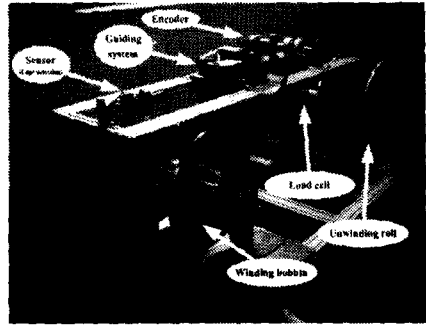


Fig. 8 Cable winding simulator with guiding system

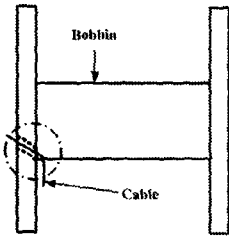
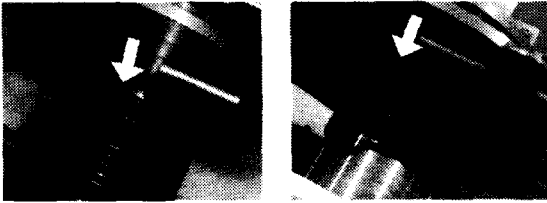


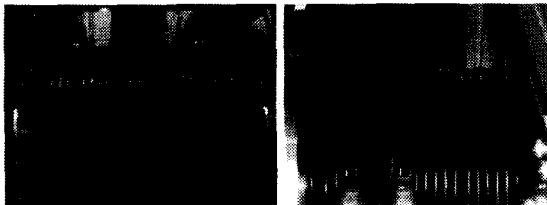
Fig. 9 Schematic of fastening the cable to the bobbin

이렇게 발생한 틈은 다음 층을 쌓는 과정에서 케이블의 적층 및 이탈 현상을 발생시키는 주요한 원인으로 작용한다. Fig.11 은 작업선속도 300 mm/s 를 기준으로 케이블 와인딩 공정을 완료한 실험결과이다. Fig.11(a)는 가이드 시스템 장착 후 와인딩을 완료한 실험한 결과이며, Fig.11(b)는 가이드 시스템 제거 후 와인딩을 완료한 실험을 실시한 결과이다. Fig.11 의 실험결과로부터 고속 와인딩 시에 가이드 시스템에 의해 보빈 끝단에서 자동정렬이 매우 효과적으로 이뤄지고 있음을 확인할 수 있다. 가이드 시스템이 없는 경우에도 각 액츄에이터들간의 동기화 및 모션동기화를 통하여 약 세 번째 층까지는 비교적 잘 정렬된 와인딩 상태를 보이지만, 새로운 층을 쌓을 때 케이블이 보빈의 끝단에서부터 와인딩을 시작하지 못하므로 에러가 조금씩 누적되어 결국 Fig.11(b)와 같은 케이블의 적층 및 이탈 현상이 발생하므로 더 이상 케이블 와인딩을 수행할 수 없는 결과를 초래하게 된다. 실험에 사용한 시뮬레이터의 와인딩 회전속도를 현장 보빈의 크기에 동일하게 적용하면, 작업선속도는 약 270 m/min 으로 현재 생산속도(약 40 m/min)의 5 배 이상 증가가 가능할 것으로 기대된다.



(a) With guiding system (b) Without guiding system

Fig. 10 Experimental results in the beginning of winding



(a) With guiding system (b) Without guiding system

Fig. 11 Experimental results of high-speed cable winding

6. 결론

본 연구 개발에서는 실시간 모션 동기화 기법을 적용한 고속 자동정렬 케이블 와인딩을 위한 가이드 시스템을 제안하였으며, 이를 실제 크기의 약 1/10 로 축소된 시뮬레이터를 직접 설계 및 제작하여 가이드 시스템의 성능을 실험적으로 검증하였다.

또한 현장의 작업상황을 고려하여 Fig.12 의 PLC(GE Fanuc: LM90-30)를 제어기로 사용하고, Fig.13 과 같은 유저 패널의 제작 및 가이드 시스템의 모듈화를 통해 현장 적용성을 극대화 하였다. 실험을 통해 검증된 바와 같이 가이드 시스템의 적용을 통해 설비당 작업 인력을 절감하고, 생산 라인의 속도 증가를 통한 생산 능력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

특히, 가이드, 와인딩, 트래버싱 태스크들 간의 실시간 스케줄링을 통하여 보빈의 직경이나 보빈 플랜지의 형상애러, 보빈의 폭 애러 등을 자동으로 보정하여 고품질 제품 생산 및 고속 자동정렬 케이블 와인딩을 가능하게 할 것으로 사료된다.

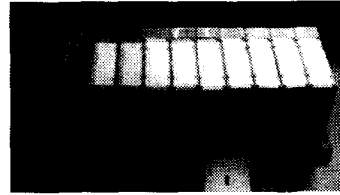


Fig. 12 PLC controller for the cable winding system

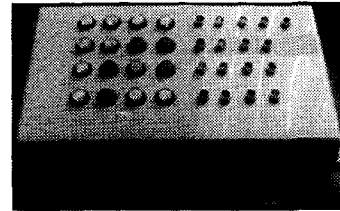


Fig. 13 User panel of the cable winding system

참고문헌

1. Choi, K.H., Kim, S.C., "Study of the robotic cell for the filament winding," Proceedings of the KSPE Autumn Annals Meeting, pp.1165-1168, 1997.
2. Yang, S.Y., "Design and Experimental Verification on a Towing Winch," Journal of Control, Automation and System Engineering, Vol.5, No.4, pp.489-496, 1999.
3. Shin, K.H., "Tension Control," TAPPI Press, 2000.
4. Lee, C.W., Kang, H.K., Jee, H.J., An, Y.S. and Shin, K.H., "A Development of Guiding System for the High-Speed Self-Align Cable Winding," Proceedings of the KSPE Autumn Annals Meeting, pp. 478-482, 2002.
5. "LM SYSTEM Linear motion systems," THK, 1995.
6. "KURODA BALL SCREW," 3ATech, 1999.
7. "Sensors Vision systems and Measuring instruments," KEYENCE, 2000.
8. LIU Jame, W.S., " REAL-TIME SYSTEMS," Prentice Hall, pp.115-179, 2000.
9. Lee, C.W., Kang, H.K., Shin, K.H., "A Study on the Real-Time Synchronization of Motions in a Self-Align Cable Winding System," Proceedings of the KAMES Joint Symposium A, pp.845-849, 2002.