

# 확률분포추정기법을 이용한 와이어로프의 결함진단

## Wire Rope Fault Detection using Probability Density Estimation

장 현 석\* · 이 영 진\*\* · 이 권 순†

(Hyeon Seok Jang · Young Jin Lee · Kwon Soon Lee)

**Abstract** - A large number of wire rope has been used in various industries as Cranes and Elevators from expanding the scale of the industrial market. But now, the management of wire rope is used as manually operated by rope replacement from over time or after the accident. It is caused by major accidents as well as economic losses and personal injury. Therefore its time to need periodic fault diagnosis of wire rope or supply of real-time monitoring system. Currently, there are several methods has been reported for fault diagnosis method of the wire rope, to find out the feature point from extracting method is becoming more common compared to time wave and model-based system. This method has implemented a deterministic modeling like the observer and neural network through considering the state of the system as a deterministic signal. However, the out-put of real system has probability characteristics, and if it is used as a current method on this system, the performance will be decreased at the real time. And if the random noise is occurred from unstable measure/experiment environment in wire rope system, diagnostic criterion becomes unclear and accuracy of diagnosis becomes blurred. Thus, more sophisticated techniques are required rather than deterministic fault diagnosis algorithm. In this paper, we developed the fault diagnosis of the wire rope using probability density estimation techniques algorithm. At first, The steady-state wire rope fault signal detection is defined as the probability model through probability distribution estimate. Wire rope defects signal is detected by a hall sensor in real-time, it is estimated by proposed probability estimation algorithm. we judge whether wire rope has deflection or not using the error value from comparing two probability distribution.

**Key Words** : Wire rope detection, Probability density estimation

### 1. 서 론

크레인(crane) 및 엘리베이터(elevator)를 비롯하여 건설 업계 및 스키장의 리프트(lift)등에 각종 와이어로프가 많이 설치되어 있다. 일부 와이어로프는 설치 후 이미 오랜 시간이 경과되어 결함 발생의 위험에 노출되어 있는 경우와 항만 크레인에 사용되는 와이어로프의 경우 특별한 결함 측정 장치가 없기 때문에 단지 시간 경과에 따른 로프 교체가 이루어지고 있다. 따라서 실시간으로 와이어로프의 결함을 탐지하는 것은 로프의 손상을 실시간으로 감지할 수 있을 뿐만 아니라 교체시기를 예측함으로써 안전 사고 유발을 사전에 방지하는 효과를 기대할 수 있을 것이다. 그리고 단순 권장 수명주기(life cycle)에 의한 와이어로프 교체에서 직접적인 정보를 이용하여 수명을 예측하고 이후 교체시기를 결정하므로 와이어로프 교체비용을 절감할 수 있다. 더하여 유무선망을 이용하여 원격으로 정보를 수집 관리할 수 있도록 구현한다면 와이어로프 교체를 위한 확인업무에 따른 정비인력의 부담을 감소시킬 것으로 예상된다[1].

먼저 본 시스템의 센서 헤더부(header) 즉, 결함 탐지부는 종래에 시각 탐지에서부터 시작하여 누설 자속 탐상법 및 와전류 탐상 그리고 초음파 탐상법이 있으나 결함 탐지 성능 그리고 경제적인 요소를 고려하여 본 실험에서는 경제적 이면서 탐지 효과가 우수한 누설 자속 탐상법을 이용한 검출 시스템을 이용하였다.

와이어로프의 결함진단 방법은 여러 가지 기법이 보고되고 있으며 시간과형을 모델기반과 비교하여 특징점을 추출하는 방법이 보편화되어 있다. 이 방법은 시스템의 상태를 결정론적(deterministic) 신호로 간주하여 관측기나 신경회로망 등의 결정론적 모델링을 구현하고 있다. 하지만, 실 시스템에서의 시스템 상태나 출력은 대부분 확률성분을 포함하고 있으며 기존의 결정론적 방법을 이용할 경우 실시간에서 성능을 저하시키는 요인이 되고 있다. 그리고 와이어로프 시스템은 측정환경의 불안정한 특성으로 비정칙성 랜덤 노이즈(random noise) 발생시에 진단 기준이 불분명해지며 결함 판단의 정확성이 흐려진다. 따라서 기존의 결정론적 결함진단 알고리즘보다 정교한 기법이 요구되고 있다.

따라서 본 논문은 확률추정기법을 이용하여 와이어로프의 결함진단 알고리즘을 개발한다. 우선 정상상태인 와이어로프의 결함신호를 검출하여 확률분포를 추정하여 확률모델로 정의한다. 와이어로프의 결함신호는 실시간으로 홀센서를 이용하여 검출되며 제안한 확률추정알고리즘에 의해 온라인 추정된다. 두 확률분포를 비교하여 오차를 발생함으로써 결함의 유무를 판단한다.

† 교신저자, 시니어회원 : 동아대 공대 전기공학과 교수·공박  
E-mail : kslee@dau.ac.kr

\* 준 회원 : 동아대 공대 전기공학과 석사과정

\*\* 정 회원 : 한국폴리텍 항공대학 교수

접수일자 : 2012년 10월 4일

최종완료 : 2012년 10월 29일

## 2. 와이어로프 결함탐지 시스템

### 2.1 와이어로프 결함검출의 연구동향

와이어로프의 결함을 검출하려면 우선, 로프에 발생하는 결함의 상태를 파악해야 한다. 와이어로프에서 사용 중에 발생하는 손상 상태는 다양하며 일반적으로 마모(abrasion), 단선(broken wire), 부식(corrosion), 형붕괴(deformation)로 분류할 수 있다. 로프의 결함은 이들 중 하나에 의한 경우가 있고 2~3개가 중복하여 발생하기도 한다. 이들 중 가장 위험한 것이 단선으로 그 대부분은 피로에 의하여 일어난다고 추정된다. 따라서, 로프 제조 시에는 이러한 손상에 대한 저항을 크게 하여 제조하고 로프 사용 시에는 조기에 손상을 발견, 대체하고 로프손상을 충분히 파악한 후 손상원인을 제거하여야 한다. 와이어로프 결함을 탐지하는 방법으로 영상, 누설 자속, 초음파 등의 여러 가지 비파괴 탐지법이 있다. 영상의 경우 비용적으로는 저렴하지만 와이어로프 특성상 외부 결함 탐지 시 많은 시간이 필요하며, 초음파 탐상법은 탐지 성능은 상당히 우수하나 초음파 제너레이터가 고가이다. 본 논문에서는 가격대비 성능이 우수한 누설 자속 탐지법으로 결함 신호를 검출하였다[2,3].

### 2.2 모델기반 결함진단 기법

모델기반(model-based) 결함진단은 결함상태가 없는 이상적으로 동작하는 시스템에 대하여 수학적 또는 해석적 방법을 통하여 시스템 모델을 구현한 후, 실시간에서 실제 시스템의 상태를 모델의 상태와 서로 비교함으로써 결함유무를 검출 또는 진단하는 방식이다. 다시 말해, 동일한 시스템 입력에 대하여 시스템 모델의 상태  $x^*(t)$ 와 실제 시스템의 상태  $x(t)$ 에 대한 편차  $\zeta = x^* - x$ 를 발생시켜 미리 설정한 경계값(threshold)  $r$ 와 비교하여 결함유무를 판단한다. 이러한 개념은 다음의 간단한 이진 가설검정(binary hypothesis testing)을 통해 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} H_0 : |\zeta| < r \rightarrow \text{no defect} \\ H_1 : |\zeta| \geq r \rightarrow \text{defect} \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서  $H_0$ 는 결함이 없는 와이어로프의 정상상태에 대한 가설을 나타내며, 즉 오차의 절대값이 경계값  $r$ 보다 작을 때 와이어로프의 결함이 없는 정상상태로 간주한다. 또한, 가설  $H_1$ 는 그 외의 경우로서 결함이 발생한 것으로 여긴다.

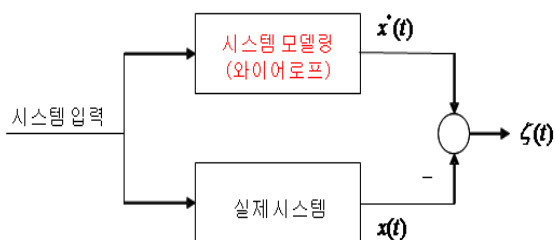


그림 1 와이어로프의 모델기반 결함진단 시스템  
Fig. 1 Model based Defect Detection System for Wire Rope

### 2.3. 확률기법을 이용한 결함진단 알고리즘

일반적으로 실시간에서 시스템의 상태 또는 출력은 랜덤(random)성분의 노이즈를 포함하고 있으며, 이러한 결정론적 모델기반 결함진단 기법은 실시간에서 성능이 저하되는 경우가 있다. 즉, 비선형적인 특성의 영향을 크게 받는 와이어로프 결함탐지 시스템에 대하여 확률론적 모델링을 기반으로 결함진단이 이루어져야 보다 효율적이다. 확률론적 기법을 이용한 와이어로프 결함진단은 우선 정상상태 신호의 확률분포를 미리 결정하거나 실험을 통해 그 분포값을 추정하여야 한다. 추정된 확률분포는 시스템 상태의 확률모델로서 정의되어 실시간으로 검출되는 검사체 와이어로프의 확률분포와 비교하여 편차를 구함으로써 결함유무를 검출한다. 식 (1)과 마찬가지로 확률론적 결함진단의 경우의 가설검정은 다음과 같다.

$$\begin{cases} H_0 : |\zeta_p| < r_p \rightarrow \text{no defect} \\ H_1 : |\zeta_p| \geq r_p \rightarrow \text{defect} \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $r_p \in (0,1)$ 이며  $\zeta_p$ 는 시스템 모델의 상태  $x^*$ 의 확률분포  $p(x^*)$ 와 실제 와이어로프 신호  $x$ 의 확률분포  $p(x)$  사이의 오차를 나타낸다. 아래와 같이 정리된다.

$$\zeta_p = p(x^*) - p(x) \quad (3)$$

식 (2)의 가설검정을 적용하기 위하여 우선 정상상태 와이어로프 신호의 확률분포를 결정하여야 한다. 확률모델의 경우 실시간 시스템 구축에서 충분한 양의 데이터를 취득하여 확률분포를 추정할 수 있으며 실시간 확률분포 추정은 온라인 기법을 통해 실시간으로 확률값을 연산하여야 한다 [4].

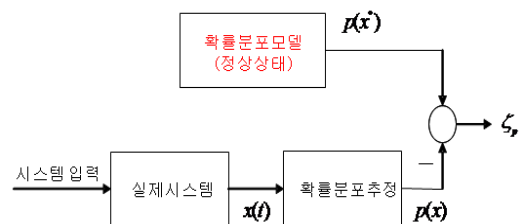


그림 2 와이어로프의 확률모델 기반 결함진단 시스템  
Fig. 2 Probability Model based Defect Detection System for Wire Rope

### 2.4 온라인 확률분포추정

가장 간단한 확률분포 추정은 전체 이산사건(discrete event)의 발생수에 대한 특정한 이산사건의 비(ratio)로 나타낼 수 있다. 결함탐지 센서로 부터의 와이어로프 상태  $x$ 가 연속신호일 경우, 우선 다음과 같이 이산화를 실시한다.

$$x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\} \quad (4)$$

또한 식 (4)의 이산상태의 확률변수는 다음과 같다.

$$p(x) = \{p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_N)\} \quad (5)$$

여기서 확률공리(probability axiom)에 의하여

$$\sum_{i=1}^N p(x_i) = 1 \tag{6}$$

와 같은 제약조건을 갖는다. 식 (6)의 이산상태  $x_i$ 의 확률  $p(x_i)$ 는 초기시간  $k_0$ 에서 현재 이산시간  $k$ 까지의 발생수로 나타낸다. 즉,

$$p(x_i) = \frac{\text{number}(x_i)}{k - k_0} \tag{7}$$

여기서  $k_0 < k$ 이다. 식 (7)의 확률추정 알고리즘은 실시간 추정이 가능한 간단한 구조와 비교적 단순한 연산과정으로 구성된다. 하지만, 시간이 증가함에 따라 데이터의 양도 증가하며 과거의 데이터보단 최근의 데이터가 보다 더 효율적으로 사용되어야 한다. 보다 최근의 데이터를 이용한 확률 분포 추정은 윈도우(window) 기법을 적용하여 나타낼 수 있다. 즉, 식 (7)의 알고리즘에 윈도우  $N_w$ 를 적용하여 표현하면

$$p(x_i) = \frac{\text{number}(x_i)}{k - k_0 - N_w} \tag{8}$$

여기서  $k_0 < N_w < k$ 이며 따라서  $\text{number}(x_i)$ 은 이산구간  $k - k_0 - N_w$  동안의  $x_i$ 의 발생수가 된다[5].

### 3. 실험 및 고찰

#### 3.1 결함탐지기

본 실험에서는 경제성과 탐지 성능이 양호한 누설 자속 탐지법을 센서 헤더(header)로 선택하였다. 누설 자속은 와이어로프의 양쪽에 영구자석을 서로 반대의 극성으로 배치하면, 자속은 N극에서 와이어로프를 타고 S극 방향으로 흐르며 자기 폐회로를 형성한다. 그러면, 만약에 와이어로프 임의의 위치에 결함(단선)이 생기면 자속은 그림 3과 같이 결함 부분에는 타원을 그리며 흐르게 된다. 이러한 누설 자

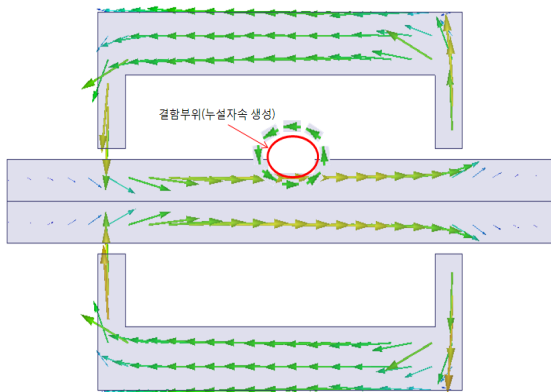


그림 3 와이어로프 누설자속 생성 시뮬레이션  
Fig. 3 Simulation for Leakage Flux

속의 세기는 결함 크기에 비례하며 센서 헤더(header) 부분에 장착된 홀 센서는 누설 자속의 세기만큼의 홀 전압을 발생한다.

본 연구에서는 희토류(NdFeB) 영구자석을 사용하여 자기 폐 회로를 구성하였으며 와이어로프에 결함이 있을 시 발생하는 누설 자속을 홀센서를 통하여 결함의 유무와 크기 정도를 판별하였다. 홀 센서의 위치에 따라 수평으로 놓았을 때와 수직으로 놓았을 때의 검출 파형을 아래의 그림 4에서 나타내고 있는데, 실험에서는 수평으로 놓았을 때 보다 수직으로 놓았을 때가 관찰하기 쉽고 단선이나, 마모에 대하여 잘 나타나기 때문에 이 방법으로 실험을 하였다. 그리고 그림 5는 본 실험에서 설계한 센서 헤더(header) 도면이다[6].

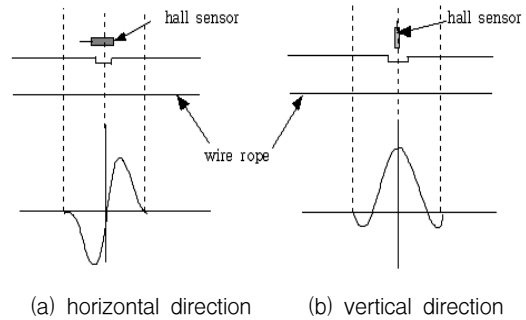


그림 4 홀센서 위치별 파형  
Fig. 4 Output for linear hall-sensor

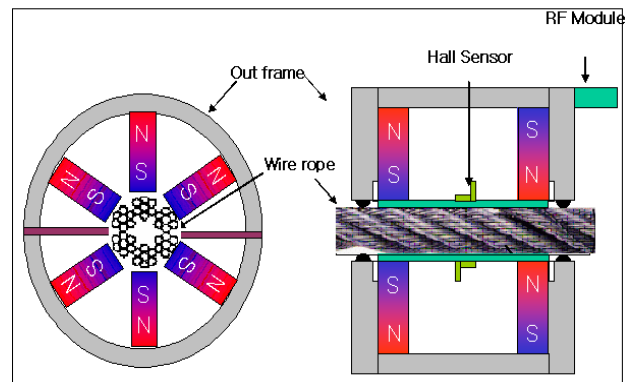
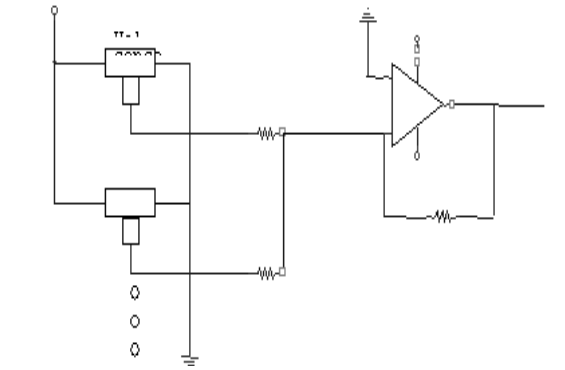
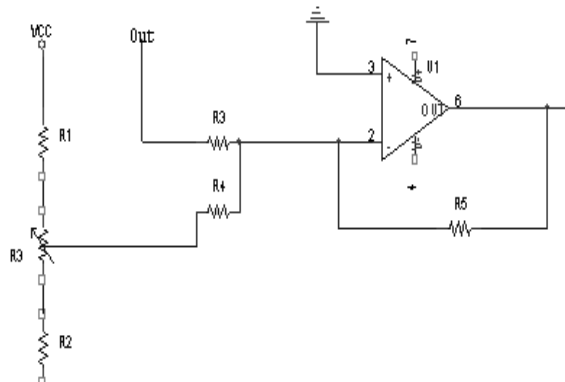


그림 5 검출기 구성  
Fig. 5 Detection Header

홀 센서에서 우리가 얻고자 하는 것은 홀 센서에 의해 검출되는 자계의 세기 즉, 자속을 측정하여 자속에 비례되는 홀 전압을 얻고자 함이다. 홀 전압은 측정되는 자속의 세기에 비해 그 신호가 저전압( $mV$ )이다. 그러므로 홀 전압을 증폭시켜 저전압을 알맞은 신호로 증폭 시켜야 한다. 그리고 홀 전압을 보상하기 위한 회로와 홀 센서의 동상 전압이나, 불평형 전압을 제거하기 위한 회로 등이 있다. 이렇게 홀 전압을 정밀화하는 회로가 있지만, 여기서는 결함에 의한 누설 자속에 대한 홀 전압의 변화분만 검출하기 위한 것이므로 이러한 정밀 회로가 필요하진 않을 것이다. 하지만 홀 전압을 검출하기 위한 간단한 비교기 등의 회로가 필요하다.



(a) Detection Circuit



(b) Off-set Circuit

그림 6 신호처리 회로도  
Fig. 6 signal processing

다음은 홀 센서가 여러 개 사용되어 지므로 각각에 대한 홀 전압 검출 회로가 필요하게 된다. 그리고 누설 자속이 검출되지 않아도 홀 센서의 동상신호와 op-amp의 차동 전압이 임의의 전압으로 나타나므로 이 전압을 증폭기를 통하여 이 레벨의 전압도 증폭이 된다. 사실상 이 증폭된 레벨은 필요가 없다. 그래서 검출회로 후단에 불필요한 전압 레벨을 제거하기 위한 off-set회로가 필요하다. 그림 6은 8개의 홀 센서 탐지 회로와 그 출력전압을 off-set회로를 통하여 불필요한 전압 레벨을 제거하고 앞단의 차동 증폭을 거쳐 2단 증폭을 하였다. 이 결과 최종 측정 전압을 얻었다. off-set 회로를 거친 전압은 10bit A/D 변환 후 신호 처리를 하게 된다[7].

**3.2 결함 와이어로프 제작 및 실험 환경 구축**

와이어로프 결함탐지 시스템의 성능을 평가하기 위하여 먼저 실험실에서 실제 크레인에 사용된 후 폐기된 22Φ 1m를 실험에 사용하였다. 그러나 앞의 서론에서 언급했듯이 폐기된 와이어로프는 단지 시간의 경과에 따른 교체로 아무런 결함이 없기 때문에 그림 7과 같이 인공적으로 15cm 간격으로 1mm, 2mm, 3mm크기로 결함을 만든 후 실험을 하였다.

그림 8은 실제 산업현장에서 와이어로프의 상·하 운동시 결함 탐지를 목적으로 실험실에서 제작한 프레임이다. 센서 헤더(sensor header)에 사용된 영구자석의 자기력속밀도는 시뮬레이션을 통해 충분히 빠르게 와이어로프를 자기 포화



그림 7 와이어로프 결함 설정  
Fig. 7 Shape of wire rope flaws

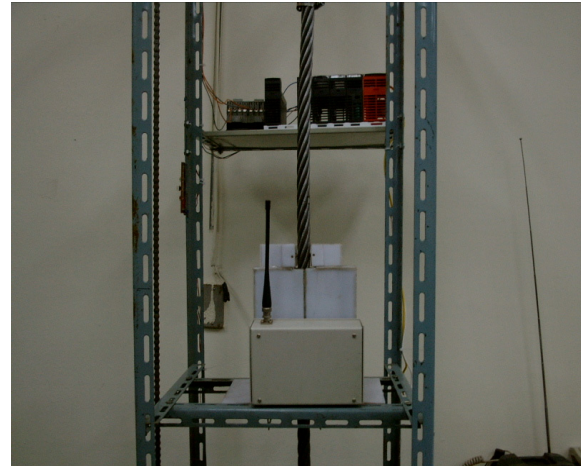


그림 8 결함탐지 실험장비  
Fig. 8 Mechanical configuration

시키기 위하여 1.21T(tesla)를 사용하였으며, 자석과 와이어로프 사이의 간격을 1mm로 유지하기 위하여 22Φ 물러를 사용하였다. 센서 헤더(header)에서 자기 폐회로는 결함 부위에서 결함의 크기에 비례하는 누설 자속을 발생시키는데, 이러한 누설 자속은 홀 센서를 통해 그림 6과 같이 설계된 회로를 통해 전압 증폭 -> Off-set -> 10bit ADC 송신을 하게 된다. AD변환은 AVR 시리즈의 mega 128을 이용하였다[7].

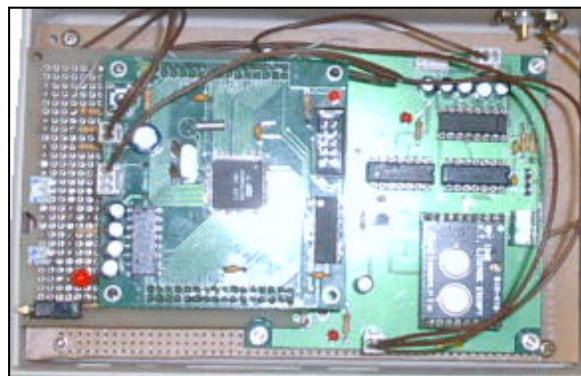


그림 9 신호처리보드  
Fig. 9 Signal processing board

**3.3 실시간 실험**

제한한 결함진단 알고리즘은 와이어로프 결함탐지기에 적용하여 실시간 실험을 실시하였다. 우선 결함탐지기는 제어 입력에 의해 구동되며 센싱 대상인 와이어로프의 누설 자속

은 홀센서를 이용하여 검출된다. 센서로부터의 검출 데이터는 PC로 인가되어 데이터가 처리된다. 제한한 알고리즘은 Matlab 프로그램에 의해 구현되며 인가된 시스템 상태 신호는 Matlab에 의해 확률분포가 추정되며 이미 결정된 확률모델과 비교되어 결함의 유무를 판단하게 된다. 전체 시스템 운영시간은 80초로 하였으며 샘플링 시간은 0.01초로 설정하였다. 총 2개의 와이어로프를 실험하였으며 1개는 정상적인 것이며 나머지는 1mm/2mm/3mm 순서로 결함을 가진 것으로서 굵기는 모두 동일하다(22φ).

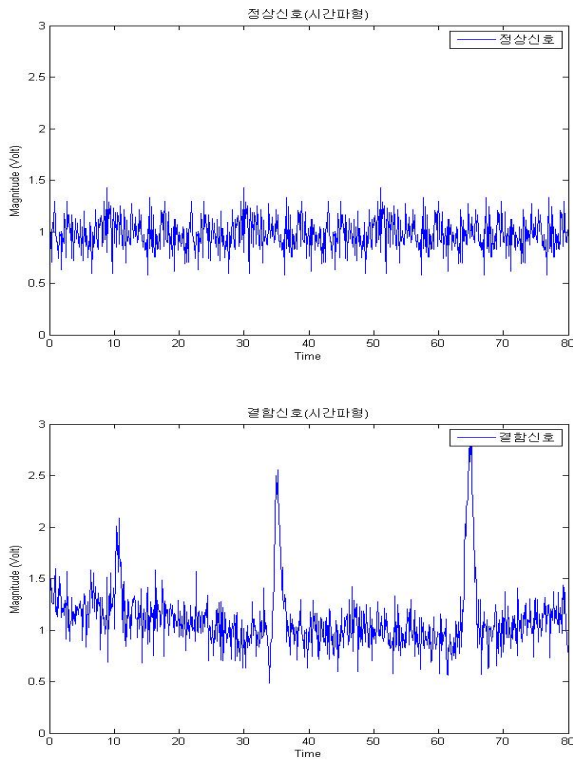


그림 10 정상신호와 결함신호(시간파형)  
Fig. 10 Time Wave for nodefect/defect

그림 10는 두 와이어로프의 시간파형을 각각 보여준다. 그림 10의 오른쪽 그림은 결함을 가진 와이어로프의 신호파형으로서 신호의 패턴이 정상상태와 발생함을 알 수 있다. 하지만 추가적으로 랜덤성분의 노이즈가 발생하거나 디스플레이의 모니터링 범위가 넓어질 경우 신호의 파형의 판단이 명확해지지 않을 수 있다. 따라서 본 논문에서 제한한 확률분포추정 알고리즘을 적용하기 위하여 우선 그림 10의 전압에 대한 이산화를 다음과 같이 실시한다.

$$x(k) = \{x_1, x_2, \dots, x_{10}\} \quad (9)$$

여기서 각 이산상태 변수는 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} x_1 &= \{x|3 > x > 2.7\}, & x_2 &= \{x|2.4 < x \leq 2.7\} \\ x_3 &= \{x|2.1 < x \leq 2.4\}, & x_4 &= \{x|1.8 < x \leq 2.1\} \\ x_5 &= \{x|1.5 < x \leq 1.8\}, & x_6 &= \{x|1.2 < x \leq 1.5\} \\ x_7 &= \{x|0.9 < x \leq 1.2\}, & x_8 &= \{x|0.6 < x \leq 0.9\} \\ x_9 &= \{x|0.3 < x \leq 0.6\}, & x_{10} &= \{x|0 < x \leq 0.3\} \end{aligned} \quad (10)$$

그림 11은 정상상태의 와이어로프에서 검출한 전압의 확률분포를 보여준다. 그림 12는 이와 달리 P1 ~ P5까지 확률분포 추정값들이 나타나며 결함이 있는 와이어로프의 신호임을 예상할 수 있다. 가장 주요성분을 가진 P10을 제외한 나머지 추정값들도 다른 특성값들을 나타냄을 확인할 수 있고 이것으로 결함의 유무를 판단한다. 향후 더 많은 결함데이터 축적시에 결함의 유무뿐만이 아닌 종류까지 선별해낼 수 있을 것으로 예상된다.

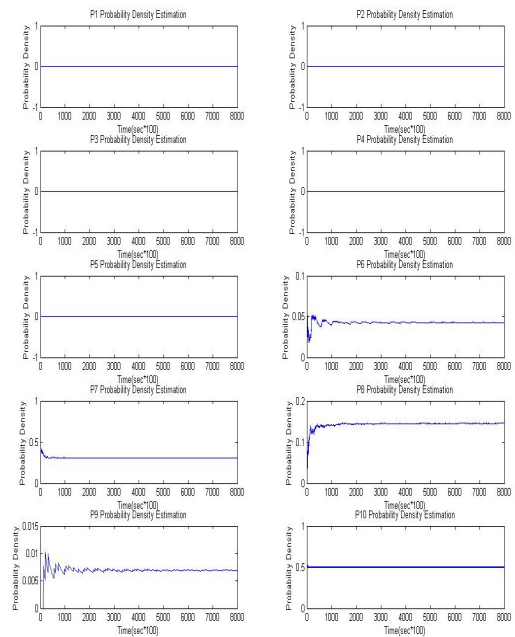


그림 11 정상상태 와이어로프 신호의 확률분포추정  
Fig. 11 Probability Density Estimation for Nodefect Wire Rope

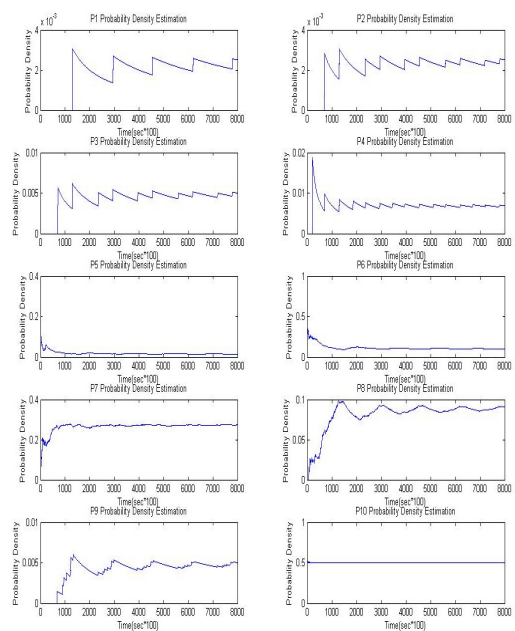


그림 12 결함상태 와이어로프 신호의 확률분포추정  
Fig. 12 Probability Density Estimation for Defect Wire Rope

마지막으로, 그림 13은 정상상태와 그림 14는 결함상태의 확률분포에 대한 전체 오차과형을 보여준다. 전체 확률분포 오차는 다음과 같이 정의한다.

$$E = \sum_{i=1}^{10} \zeta_{p,i}^2 \quad (11)$$

여기서  $\zeta_{p,i} = p(x_i^*) - p(x_i)$ ,  $i=1, \dots, 10$ 이다. 결함상태의 와이어로프의 신호의 확률분포 오차값은 0.2 가까이 수렴한다. 반면에 정상적인 와이어로프 신호에 대하여 편차가 거의 0에 가깝다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 와이어로프 결함 진단 실험을 통해 본 논문에서 제안한 결함검출 및 진단 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

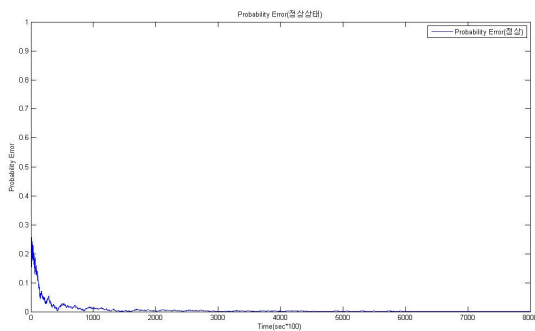


그림 13 정상상태 와이어로프 신호의 확률오차추정  
Fig. 13 Probability Error Estimation for Nodect Wire Rope

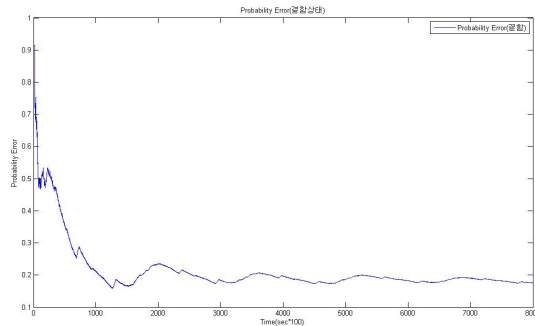


그림 14 결함상태 와이어로프 신호의 확률오차추정  
Fig. 14 Probability Error Estimation for Defect Wire Rope

#### 4. 결 론

본 논문은 확률분포추정 알고리즘을 이용한 와이어로프 결함진단기법을 제안하였다. 확률모델을 구축하기 위하여 정상상태의 와이어로프의 신호를 누설 자속 탐지법으로 검출하여 확률분포를 추정하였다. 결함을 가진 와이어로프의 신호는 PC를 통해 데이터가 전송되며 Matlab 프로그램을 이용하여 제안한 결함진단 알고리즘을 구현하였으며, 모델의 확률분포와 비교하여 결함여부를 쉽게 파악할 수 있어 알고리즘의 우수성을 입증하였다. 이 결과는 개선된 와이어로프 결함탐지 성능으로 와이어로프 교체 시간 연장과 컨테이너 터미널의 비용낭비를 감소시키며, 안전문제 해결 및 경제적 효과가 발생할 것이다. 또한, 본 연구결과는 크레인에 한정

되는 것이 아니라 엘리베이터, 건설현장의 리프트 및 스키장의 리프트 등 다양한 분야에 적용이 가능하다. 아직 본 시스템은 다양한 결함 즉 마모, 부식, 꼬임 등에 대한 테스트가 이루어지지 않았기 앞으로 많은 결함에 대한 통계학적 데이터베이스를 구축한 후 능동적인 결함 탐지 시스템을 개발하는 것이 향후 과제이다.

#### 감사의 글

본 논문은 2012학년도 동아대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음

#### 참 고 문 헌

- [1] J. T. Min, J. W. Lee, K. S. Lee, "A Study on Development of Remote Crane Wire Rope Flaws Detection Systems," KINPR, Vol.27, No.1, pp.97-102, 2003.
- [2] E. Kalwa, K. Piekarski, Design of Hall-effect sensors for magnetic testing of steel wire ropes, NDT International, Vol. 20, No. 5, pp. 295-240, 1987.
- [3] S D Kim, Development of Nondestructive Detecting System for Elevator Wire Ropes using Hall-effect Sensors, J. of KSS, Vol. 10, No. 1, pp. 33-42, 2001.
- [4] H. C. Cho, K. S Kim, K. S. Lee, "Stochastic Model based Fault Diagnosis System of Induction Motors using Online Probability Density Estimation," KIEE Trans, vol. 57, no.10, pp1847-1853, 2008.
- [5] K. S. Kim, Y. J. Lee, H. Song, K. S. Lee, "Model based Fault Detection and Diagnosis of Induction Motors using Probability Density Estimation," 2008 KIEE Conference, 2008.
- [6] J. B Nestleroth, T. A. Bubenik, Magnetic Flux Leakage(MFL) Technology For Natural Gas Pipeline Inspection, GRI, 1999.
- [7] K. S. Lee, J. H. Suh, J. T. Min, Y. J. Lee, "Development of Real-time Remote Detection System for Crane Wire Rope Defect," KSPE Trans, Vol.22, No.1, pp.53-60, 2005.

#### 저 자 소 개



#### 장 현 석 (長 炫 錫)

2011년 8월 동아대 전기공학과 졸업(학사), 2011년 9월~현재 동아대 전기공학과 제어 및 시스템 연구실 석사과정  
Tel : 051-200-6950  
Fax : 051-200-7743  
E-mail : wkdgustjr200@naver.com



**이 영 진 (李 榮 珍)**

1992년 동아대학교 전기공학과 졸업(학사), 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(Ph.D), 2006년 조지아텍 Post Doc 연구원. 2000년~현재 한국폴리텍 항공대학 항공제어시스템과 부교수

Tel : 055-830-3482

Fax : 055-830-4314

E-mail : airlee@kopo.ac.kr



**이 권 순 (李 權 純)**

1977년 충남대학교 공업교육학과 졸업(학사), 1981년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1990년 미국 오레곤주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(Ph.D.), 1997년 Virginia Polytech 교환교수, 2003년~2008년 과학기술부지정 국가 지정연구실(NRL), 1982년~현재 동아대학교 전기공학과 교수

관심분야: 지능시스템, 자동제어, 설비고장진단, 항만자동화

Tel : 051-200-7739

Fax : 051-200-7743

E-mail : kslee@dau.ac.kr