

크레인 와이어 로프의 실시간 원격 결함탐지 시스템 개발

이권순[#], 서진호^{*}, 민정탁^{**}, 이영진^{***}

Development of Real-time Remote Detection System for Crane Wire Rope Defect

Kwon Soon Lee[#], Jin Ho Suh^{*}, Jeong Tak Min^{**} and Young Jin Lee^{***}

ABSTRACT

The wire rope of container crane is a important component to container transfer system and is used in a myriad of various applications such as elevator, mine hoist, construction machinery, and so on. If it happen wire rope failures in operating, it may lead to the safety accident and economic loss, which is productivity decline, competitive decline of container terminal, etc. To solve this problem, we developed the active and portable wire rope fault detecting system. The developed system consists of three parts that are the fault detecting, signal processing, and remote monitoring part. All detected signal has external noise or disturbance according to circumstances. Therefore we applied to discrete wavelet transform to extract a signal from noisy data that was used filter. As experimental result, we can reduce the expense for container terminal because of extension of exchange period of wire rope for container crane and this system is possible to apply in several fields to use wire rope.

Key Words : Wire rope(와이어 루프), Magnetic flux leakage(MFL, 누설자속), Discrete wavelet transform(이산 웨이블릿 변환), Remote control(원격제어), Wireless communication(무선통신), Hall sensor(홀센서)

1. 서론

일반적으로, 와이어 로프(wire rope)는 항만 및 육상 운송 시스템인 크레인, 승강기등과 같이 리프트(lift)를 사용하는 많은 장치들에 설치되어 있으며, 설치되어 있는 와이어 로프는 설치시간과 조건에 비례하여 결함발생의 위험에 노출되어 있는 경우가 많다. 특히, 항만 크레인에 사용되고 있

는 와이어 로프에 대한 특별한 결함측정 장치가 없기 때문에 실시간적인 안전점검이 불가능하며 단지 설치 후의 시간경과(약 800~1000hr)에 따라 와이어 로프에 대한 교체작업이 이루어지고 있으므로 항상 안정성에 대한 문제점은 가지고 있음은 물론이고 와이어 로프의 소모적인 교체작업으로 인한 경제적인 손실부분에 대한 문제점도 내포하고 있다. 특히, 한국산업안전보건법에 의하면 로프

접수일: 2004년 6월 3일; 게재승인일: 2004년 10월 7일

교신저자: 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부

E-mail kslee@daunet.donga.ac.kr Tel. (051) 200-6950

* 동아대학교 전기공학과

** 한국전기연구원

*** 항공기능대학 전기계측제어과

교체 기준은 와이어 로프의 한가닥에서 소선 수가 10%이상 단선이거나 지름감소가 공칭지름의 7% 초과하거나, 심한 부식 또는 변형이 있을 경우라고 규정되어 있지만, 항만에서 사용되는 와이어 로프의 교체작업을 조사한 결과 90% 이상이 인장 손실이 없음이 조사되어졌다. 따라서 와이어 로프의 설치시간에 의한 교체작업은 항만의 운용경비에 대한 많은 낭비를 초래하게 되는 것이다.

따라서 세계의 허브항만을 지향하고 있는 국내 항만운송 시스템에서, 와이어 로프는 항만 컨테이너 운송에 있어서 매우 중요한 영향을 주는 요소가 될 것이다. 또한 와이어 로프가 여러가지 외적환경에 의하여 파손되어진다면 항만크레인의 컨테이너 이송에 대한 안전문제, 로프 파손에 의해 발생하는 과도한 정비 및 로프교체를 위한 많은 시간적 낭비로 인한 생산성 저하 및 운송요금의 상승과 같은 문제점을 유발시킬 수 있을 것이다. 더구나, 새로운 항만 건설과 건설사업으로 진행중인 국내현실에서, 와이어 로프의 이용이 지속적으로 증가되어질 것임에도 불구하고 와이어 로프의 제작검사, 설치검사 및 사용중의 검사(in-service inspection)가 거의 수행되지 않고 있음은 물론이고, 와이어 로프의 안전에 대한 적절한 검사방법 및 검사기준이 설정되어 있지 않으므로 와이어 로프의 안전에 관한 신뢰성을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 특히, 현재의 와이어 로프 검사방법인 육안검사와 외경 측정검사 방법으로는 단선 등에 대한 유해결함의 검출에 한계가 있다. 따라서 와이어 로프에서 발생 가능한 결함을 인공적으로 제작하여 이러한 결함에 대한 비파괴 시험 방법을 적용함으로써 실제 결함의 탐상능력과 결함에 대한 능동적인 분류 그리고 실제 산업현장에 적용할 수 있도록 하는 원격 제어시스템 구현이 요구되어진다.

본 연구에서는, 이러한 여러 가지 문제점들을 해결하는 것을 목적으로 하고 있으며, 와이어 로프의 결함 탐색을 위하여 경제적인 요소와 탐지효과의 우수성을 고려하여 누설 자속 탐상법을 이용한 검출 시스템을 설계하였다.^{1,2} 또한 제안되어진 시스템은 항만센터에서 원격으로 크레인의 와이어 로프 결함을 탐지할 수 있도록 하기 위하여 센서부분과 크레인 제어용 컴퓨터와는 RF-무선통신이 이루어지도록 구성하였고, 다시 크레인 제어용 컴퓨터와 항만센터와 원격으로 실시간 모니터

링 할 수 있도록 구성하였다. 특히, 개발되어진 시스템의 하드웨어 상에 존재하는 여러 가지 고주파성분의 잡음들로 인하여 구분할 수 없는 미세한 결함 신호들에 대한 능동적인 결함 분류를 위하여 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transformation)을 이용하여 잡음을 제거(denosing)하도록 하였다. 개발되어진 시스템의 유효성은 실험결과를 통하여 확인되어질 것이고, 추후에 진행되어야 할 연구방향에 대해서도 간략히 기술할 것이다.

2. 와이어 로프의 결함

실제 크레인용 와이어 로프의 결함 탐지 시스템에 대한 성능평가를 위하여, 우리는 Fig. 1 에서 보여지는 것과 같은 실제 크레인에서 사용된 후 폐기된 반경 20Φ, 길이 1m 인 와이어 로프에 대한 연구를 수행한다.

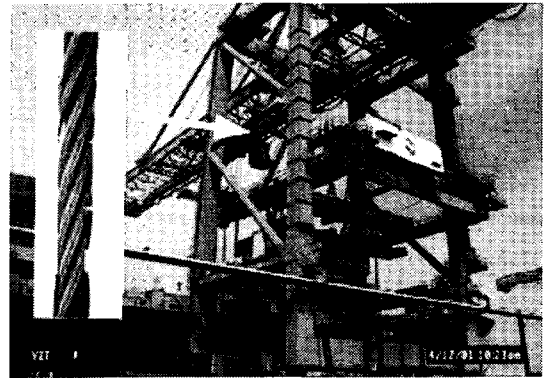


Fig. 1 Wire rope of container crane system

일반적으로 와이어 로프는 장력을 통하여 힘을 전달하고, 전달되어진 힘은 드럼이나 도르래(sheave)를 통하여 구동하게 된다. 이때 와이어 로프에는 전달하중의 크기, 접촉흡과의 접촉조건, 구동속도, 충격은 물론이고 진동상태, 굴곡조건, 그리고 마찰계수 등에 따라서 마모와 피로의 파단이 발생된다. 더구나, 제작과정에서도 결함이 존재하여 와이어 로프의 강도를 저하시키는 요인이 되는 것으로 알려져 있다.¹

이러한 여러 요인들에 대하여, 와이어 로프의 결함은 크게 i) 제작과정에서 발생하는 제작결함과 ii) 사용 중에 발생하는 결함으로 구분되어지는

데, 각각에 대하여 간단히 설명하면 다음과 같다; 먼저 와이어 로프에 대한 제작결합에는 재질결합, 열처리결합, 치수결합 및 형상결합과 같이 크게 네 가지로 분류되어질 수 있는데, 재질결합은 탄소함량과 같은 조성결합과 미세조직 결합을 가지고 있고 열처리결합과 함께 소선 및 로프의 강도 그리고 내마모성에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 알려져 있다. 또한 치수 결합과 형상결합은 소선 경 및 로프 외경 결합으로서 로프의 제작공정 내에서 관리되어진다. 이에 반하여, 사용 중에 발생하는 결합에 대한 결합요인들은 다음과 같은 것들이 존재한다.

- (1) 마모(abrasion): 와이어 로프는 도르래와 드럼(drum)의 홈과의 마찰에 의하여 마모가 발생하게 되며, 사용 중에 일어날 수 있는 급격한 마모현상은 일반적으로 도르래의 배열이 부적당하거나 홈 지름 및 접촉각(fleet angle)의 부적합 그리고 드럼의 권취상태가 불량하여 발생한다. 일반적으로 외측 소선 지름이 1/3 이상 마모되었을 때 교체해야 한다. 일반적으로 마모의 정도는 버니어캘리퍼스 등으로서 측정하여 판정하게 되는데 로프의 마모는 보통 편마로를 하게 됨으로써 외경측정 시에 특히 주의해야 한다. 마모된 와이어 로프의 강도 저하 및 강도 감소율은 유효단면적의 감소에 비례한다고 보고되어 있지만, 실제적으로는 부식을 동반하거나 균일하게 마모되지 않기 때문에 급격한 강도 저하를 예상해야 한다.
- (2) 와이어 로프의 신장: 로프의 신장은 크게 구조적 신장과 탄성 신장으로 분류되어진다. 와이어 로프의 신축성(stretch)이나 신장(elongation)을 가지는 탄성체이며, 하중을 받으면 소선이나 가닥(strand)는 심이나 인접 가닥에 의하여 압축되어지고 이러한 결과로서 미세한 지름감소 및 신장을 일으키게 된다.
- (3) 부식(Corrosion): 와이어 로프에 있어서 부식은 마모보다 더 큰 성능저하의 원인이 되며, 부식현상은 로프의 사용환경에 크게 영향을 받으며 육안으로 식별 가능한 외부뿐만 아니라 내부로부터 부식이 발생하기도 한다. 또한 부식현상은 로프가 급힘을 받았을 때 로프의 구성요소간의 원활한 상대운동을 방해하여, 소선의 파단을 초래하고 급격한 강도저하를 유발시키기도 한다.

- (4) 단선(Broken wire): 와이어 로프의 결합 중에서 로프의 안전도에 가장 중요한 것이 단선이다. 일반적으로 단선의 발생원인은 다양하지만 주로 장력, 비틀림, 전단, 압축, 마모, 피로, 외상 등에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있으며 이들 이외에도 경년열화 및 제조불량 등에 의해서도 발생되어질 수 있다.

이와 같이 와이어 로프에 대한 결합을 일으키는 여러가지 종류들에 의하여 발생하는 로프의 사용강도 저하에 대한 안전이 가장 큰 문제로 대두되어진다. 그러나 현재 사용되고 있는 와이어 로프의 결합 검사법은 단지 검사자의 육안으로 직접 검사하거나 버니어캘리퍼스를 이용한 외경 측정방법이 이용되어지고 있을 뿐이다. 따라서 이러한 검사방법으로는 와이어 로프의 단선 및 외경마모 정도를 평가하여 로프의 교체기준을 결정하는 것은 매우 어려운 일이라고 할 수 있다. 따라서 와이어 로프의 강도에 결정적 영향을 미치는 로프 교체의 기준이 되는 소선 단선을 비파괴 검사법을 적용함으로써 와이어 로프에 대한 내부 및 외부에 존재하는 결합을 검출할 수 있는 시스템 설계에 대한 연구가 진행되어지고 있다.^{2,4}

3. 와이어 루프 결합 탐지 시스템의 설계

3.1 센서 선정 및 시스템 설계

와이어 로프 결합을 탐지하는 방법으로는 영상, 누설자속, 초음파 등의 여러 가지 비파괴 탐지법들이 있다. 그러나 이러한 탐지법 중에서, 영상의 경우에는 와이어 로프의 특성상 외부 결합 탐지를 위해서는 많은 시간이 필요하고, 초음파 탐지법은 초음파 탐상기가 고가의 제품이므로 결국 경제성과 탐지 성능이 양호한 누설자속 탐지법(Inspection method of magnetic flux leakage)을 본 연구에서 센서검출헤드(sensor detection header)로 선택하였다.

본 연구에서는 휴대용 탐지기를 만들기 위하여 희토류(NdFeB) 영구자석을 사용하여 자기 폐회로를 구성함으로써 와이어 로프에 결합이 있을 경우에 발생하는 누설자속을 홀센서(hall sensor)를 통하여 와이어 로프의 결합 유무와 크기 정도를 판별할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제안되어진 센서검출헤드 부분은 Fig. 2에서 보여진다.

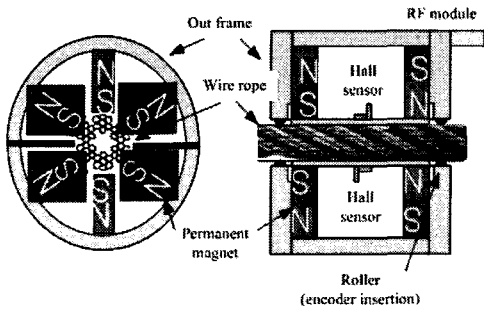


Fig. 2 Configuration of sensor detection header

특히, Fig. 2 에서 사용되어진 홀센서의 위치에 따라 수평으로 놓았을 때와 수직으로 놓았을 때의 검출파형 실험결과를 Fig. 3 에서 나타내고 있다. 이러한 결과에서, 우리는 홀센서의 위치를 수평으로 놓았을 때보다 수직으로 놓았을 때가 더욱 관찰하기 쉽고 단선이나 마모에 대하여 좋은 결과를 나타냄을 알 수 있다.

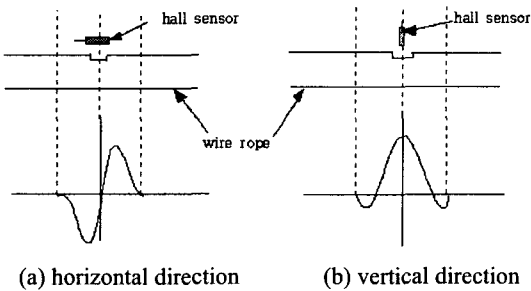


Fig. 3 Output waves for linear hall-sensor

이러한 홀센서에서 우리가 얻고자 하는 것은, 홀센서에 의하여 검출되는 자계의 세기, 즉 자속을 측정하여 자속에 비례되는 홀전압을 얻고자 함이다. 홀전압은 측정되는 자속의 세기에 비하여 그 신호가 저전압이므로, 홀전압을 증폭시켜 알맞은 신호로 증폭시켜야 한다. 또한 홀전압을 보상하기 위한 회로와 동상 전압이나 불평형 전압을 제거하기 위한 회로 등과 같이 홀전압을 정밀화하는 회로가 있지만, 본 논문에서는 결함에 의한 누설 자속에 대한 홀전압의 변화분만 검출하기 위한 것이므로 이러한 정밀회로가 필요하진 않다.

일반적인 자기검사법에 기초한 누설자속 탐지법은 강자성체인 와이어 로프를 영구자석으로 충분히 자화하면 와이어 로프도 자화되어 자기 폐회

로(static magnetic field)를 형성하게 된다. 이때 와이어 로프는 내부/외부의 단선 및 단면적의 변화 등에 손상이 있을 경우에 자기 폐회로 내의 통과자석이 손상 부분에서 주위의 공간으로 누설되게 되는데, 이러한 누설자속을 전기적 신호로 바꾸어 기록하는 것이다.⁵ 본 연구에서 구성되어진 와이어 로프의 결함 탐색을 위한 실험장치의 개략도는 Fig. 4 과 같이 간략하게 표현되어질 수 있다.

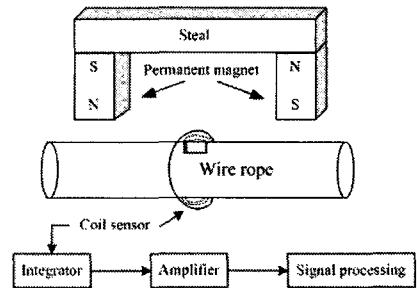


Fig. 4 Schematic diagram of wire rope tester

Fig. 4 에서 보여진 것처럼, 본 논문에서 고려되어진 탐색장치의 원리는 자기쌍극자(magnetic dipole) 이론을 적용함으로써 설명되어진다. 누설 자속은 와이어 로프의 양쪽에 영구자석을 서로 반대 극성으로 배치하면, 자속은 N 극에서 와이어 로프를 타고 S 극 방향으로 흐르면서 자기 폐회로를 형성한다. 이때, 만약 와이어 로프에 Fig. 5 와 같이 임의의 결함 단선이 생기면 자속은 결함 부분에서 타원을 그리며 흐르게 된다. 이러한 누설 자속의 세기는 결함 크기에 비례하며 센서검출헤드 부분에 장착된 유도센서는 누설자속의 세기만큼의 전압을 발생하게 된다. Fig. 5 는 Flux 2D 프로그램으로서 모의실험 결과이다. 이러한 모의실험에서, 실제 와이어 로프와 같이 꼬임 형태를 만드는 것은 불가능하기에 둥근 형태로 설정하였고, 재질과 직경은 실제 와이어 로프와 같은 조건으로 설정하였다. 이러한 모의실험으로서, 우리는 누설 자속의 크기를 예상할 수 있으며 영구자석의 자기력 선속밀도를 결정할 수 있다.

Fig. 2 의 홀센서에서, 우리가 얻고자 하는 것은 홀센서에 의하여 검출되어지는 자계의 세기, 다시 말하면 자속을 측정하여 자속에 비례하는 유도기전력을 얻고자 함이다.

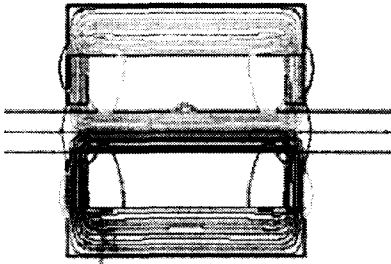


Fig. 5 Magnetic leakage flux

또한 본 연구에서는 결합에 의한 누설자속에 대한 기전력의 변화분만 검출하기 위한 것이므로 정밀한 회로가 필요하지 않을 것이지만, 기전력을 검출하기 위한 비교기 등의 간단한 회로는 필요하게 된다. 따라서 홀센서에 의한 출력전압은 off-set 회로를 통하여 불필요한 전압 레벨을 제거하고, 차동 증폭을 거쳐 2 단 증폭을 하도록 하였다. 이러한 off-set 회로를 거친 전압은 10bit A/D 변환 후 RF 송신부를 통하여 무선통신을 하게 되며, 이 신호는 크레인 제어용 컴퓨터에서 수신되어 신호 처리를 하게 될 것이다.

3.2 신호처리(Signal process) 및 노이즈 제거 (Denosing) 시스템 설계

본 논문에서 개발되어질 결합탐지 시스템 구성에서, 하드웨어 상에서 존재하는 많은 잡음신호 (noise signal)와 RF 무선 통신상에서 발생하는 잡음은 고주파 신호는 비교적 큰 단선과 같은 결합에 대해서는 결합 판별에 큰 문제가 없지만 작은 단선과 부식 그리고 마모와 같은 작은 결합신호와 구분이 어렵기 때문에 이러한 고주파 신호를 제거해야만 한다. 따라서 이러한 잡음을 제거하기 위한 방법에는 여러 가지가 있지만, 우리는 본 논문에서는 이산 웨이블렛 변환(discrete wavelet transform, DWT)을 이용하여 신호의 잡음을 제거한다. 이산 웨이블렛 변환에서는 상세(detail)와 근사치(approximation)라는 용어가 자주 사용되는데, 근사치들은 신호의 저주파 인자인 high-scale 이고, 상세들은 신호의 고주파 인자인 low-scale 이다. 또한 웨이블렛 변환은 시간-주파수 필터링 특성을 가지며, 일반적으로 시간에 따라 신호의 특성이 변화하는 비안정적 신호를 해석하는데 많이 이용되어지고 있으며, 웨이블렛 함수와 스케일 함수를 시변 입력신호와 곱하여 주파수 영역에서 고주파

와 저주파로 주파수 분할을 하게 된다.^{7,8}

$$y_{high}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k-n] \tag{1}$$

$$y_{low}[k] = \sum_n x[n] \cdot h[2k-n] \tag{2}$$

여기에서 $y_{high}[k]$ 와 $y_{low}[k]$ 는 필터링 후 다운 샘플링의 결과를 나타내며, Fig. 6 에서 나타내어진 서브밴드 코딩(sub-band coding)으로 알려진 과정은 계속 전개시킬 수 있다. 특히 Fig. 6 에서, $x[n]$ 는 해석되어질 신호를 나타내고, $h[n]$ 과 $g[n]$ 은 각각 저역통과 필터와 고역통과 필터를 나타낸다.

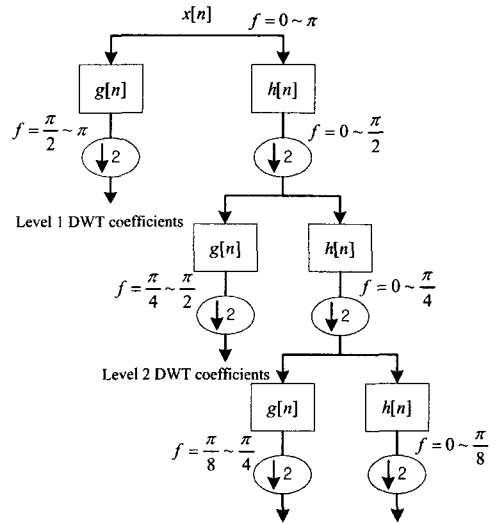


Fig. 6 Sub-band coding

단, 각 레벨에서 신호의 주파수 대역은 Fig. 6 에서 f 로 나타내어졌다. 또한 $h[n]$ 와 $g[n]$ 은 식 (3)과 같은 교차 플립(alternating flip)관계를 만족시켜 QMF(quadrature mirror filter)쌍을 구성하게 된다.¹⁰

$$g[k] = (-1)^{k+1} h[N-k-1], \quad (1 \leq k \leq N) \tag{3}$$

단, N 은 모 웨이블렛의 탭 개수를 의미한다.

식(1)-(3)에서 알 수 있듯이, 각 함수들의 계수에 의하여 주파수 분할이 이루어지기 때문에 해석 신호의 특성을 고려한 모 웨이블렛의 선택이 중요하다. 본 연구에서는 시간영역 및 주파수영역에서 특성이 우수한 것으로 알려져 있는 다비치

(daubechies) 웨이블릿을 적용하였다. Fig. 7 은 본 논문에서 사용한 다비치 8-탭 웨이블릿 함수를 나타내고 있다.

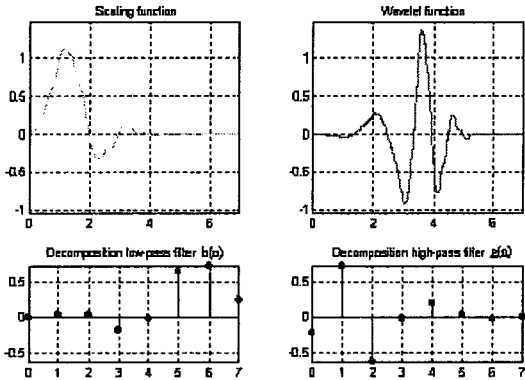


Fig. 7 Daubechies mother wavelet (8-tab)

4. 실험

4.1 시스템 하드웨어

Fig. 1 에서 보여졌던 것처럼, 크레인용 와이어 로프의 결함 탐지 시스템의 성능평가를 위하여, 우리는 실제 크레인에서 사용된 후 폐기되어진 와이어 로프 시편에 대한 실험을 시행하였다. 실험을 위하여 사용 중 예상될 수 있는 결함을 인위적으로 15cm 간격의 역삼각형 모양으로 폭과 깊이를 단선결함과 마모결함을 만들어서 실험을 시행하였다.

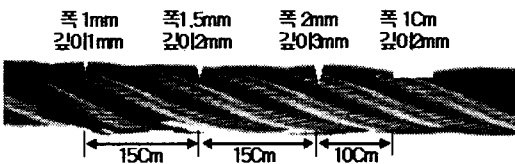


Fig. 8 The flaw shape of container wire rope

시편에 대한 실험을 위하여 Fig. 9 와 같은 실험장치를 구성하였다. Fig. 9 는 실제 크레인에서 와이어 로프의 상하 운동시 결함탐지를 목적으로 실험실 내에서 제작한 프레임과 센서 헤드 부분이다. 센서 헤드 부분에서 사용되어진 영구자석의 자기력선속밀도는 모의실험을 통하여 충분히 빠르게 와이어 로프를 자기 포화시키기 위하여

1.21T(tesla)를 사용하였으며, 자석과 와이어 로프 사이의 간격을 1mm 로 유지하기 위하여 22Φ 볼리를 사용하였다.

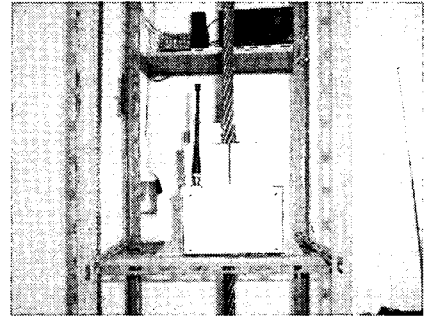


Fig. 9 System configuration

특히, 센서 헤드 부분에서 자기 폐회로는 결함 부위에서 결함의 크기에 비례하는 누설자속이 발생하는데, 이러한 누설자속은 홀센서를 통하여 Fig. 10 과 같이 설계되어진 회로를 통하여 다음과 같은 기능을 실행하게 된다.

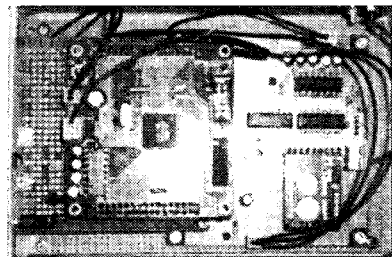
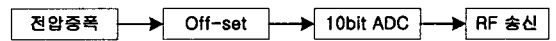


Fig. 10 Signal processing board

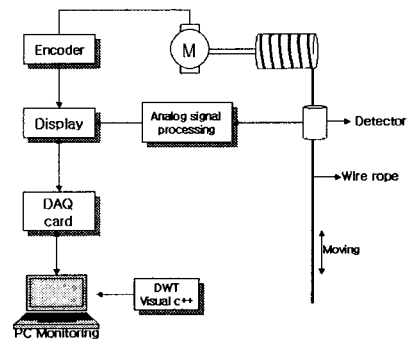


Fig. 11 System configuration of whole system

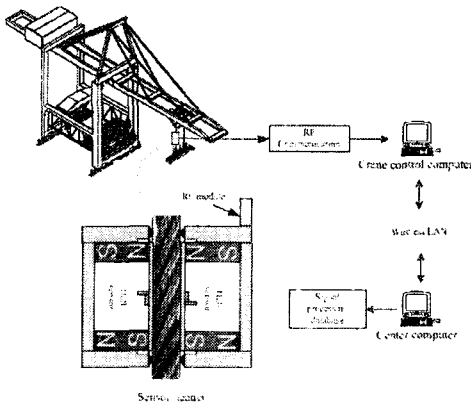


Fig. 12 Configuration of whole system

여기에서, AD 변환은 AVR 시리즈의 Mega 103 을 이용하였으며, RF 무선통신은 BIM-418 을 사용하였다. 센서 헤드부분에 부착된 RF-송신기는 크레인 제어용 컴퓨터에 연결된 RF-수신기에 신호를 송신하게 된다. 또한 이상과 같이 제작된 시스템의 실제 구성도는 Fig. 11 과 Fig. 12 와 같이 간략하게 나타내어질 수 있다.

4.2 결함 탐지 결과

본 연구에서 사용되어진 이산 웨이블릿을 위한 웨이블릿 기저는 공간적인 지역화가 우수하고 기울기에 대한 정보를 잘 보존하는 Daubechies 웨이블릿(Wavelet) 변환을 적용하였고, 3 단계 다중해상도(multi-resolution)을 한 후 소프트 트레슬저(soft-threshold)를 적용하여 잡음을 제거한 신호를 재구성하였다. 이러한 노이즈 제거를 위한 과정은 Fig. 13 에서 나타내어지고, Fig. 14 에서는 본래의 신호와 잡음이 제거된 신호와의 차이를 나타내고 있다.

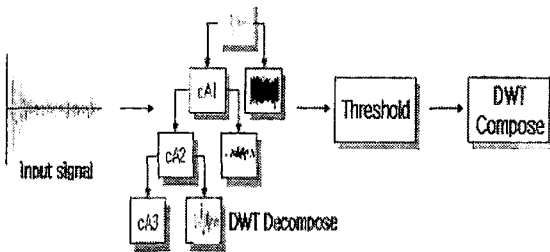
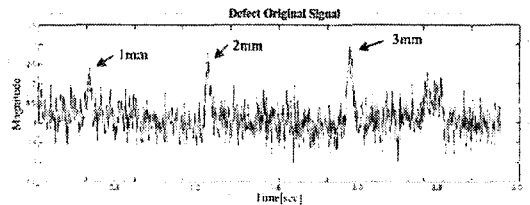
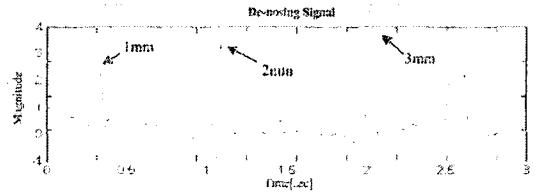


Fig. 13 Schematic diagram of de-noising



(a) Defect original signal



(b) Defect de-nosing signal

Fig. 14 Comparison results of an original signal and de-nosing signal

Fig. 14 에서, (a)와 (b)는 와이어 로프의 결함이 있을 때 원 신호와 de-nosing 신호를 나타내고 있으며, Fig. 8 에서 인위적으로 만든 단선결함과 마모 결함에 대한 신호처리 결과이다. 특히, 본 연구에서는 검출장치가 현재 와이어 로프를 사용함에 있어서 가장 마모가 많이 일어나는 부분인 트롤리 입구에 장착되어 있으므로 트롤리 운동과 호이스트 운동시 사용되는 부분만 크랙을 검출할 수 있습니다. 그러나 현재 개발되어진 결함탐지 시스템에서는, Fig. 14(a)에서 보여지는 것처럼 크랙의 크기가 소선이 감기면서 생긴 흠보다 작을 경우에 대해서는 현재 결함을 검출하기에는 어려움이 있음에 유의해야 할 것이다.

이상과 같이 처리되어진 신호는 항만센터에서 크레인 와이어 로프의 상태를 실시간 확인할 수 있도록 중앙컴퓨터와 크레인 제어용 컴퓨터 사이에는 무선랜으로 원격 통신이 이루어지도록 하였다. 이미 항만에서는 무선랜으로 네트워크가 형성되어 있으므로, 서버용 프로그램은 센터에 설치하고 클라이언트 프로그램은 크레인 제어용 컴퓨터에 설치할 하면 실행되어지게 할 수 있도록 프로그램 하였다.

본 실험에서는 세가지 종류의 신호를 받을 수 있게 프로그램 되어 있지만, 실험실내에서 하나의 와이어 로프에 대한 결함을 탐지하기 때문에 Fig. 15 와 같은 하나의 파형만 나타내어진다. 또한 Fig.

15 와 Fig. 16 에서처럼, 클라이언트와 서버의 신호가 실시간으로 탐지할 수 있음을 알 수 있다.

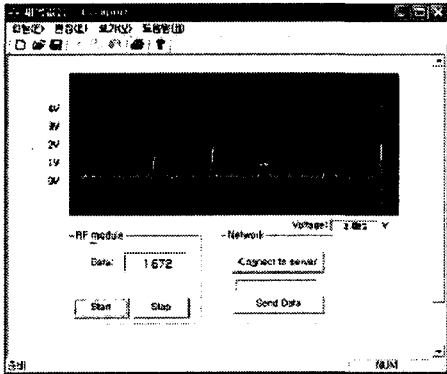


Fig. 15 Client result for crane control computer

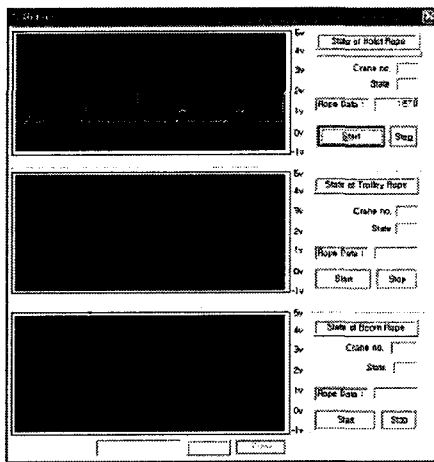


Fig. 16 Server result for center computer

5. 결론

본 논문에서, 우리는 항만 크레인 와이어 로프의 결함을 탐지하는 원격 시스템을 개발하였다. 이러한 시스템 개발은 와이어 로프의 설치 후에 단지 일정한 시간만을 기준으로 교체시기를 결정하던 것에 대한 와이어 로프의 교체 시간 연장과 정확한 측정을 통하여 컨테이너 터미널 전체 비용 낭비를 감소시킬 수 있음은 물론이고 항만 크레인에 대한 안전문제 해결 및 경제적 효과를 기대할 수 있다.

특히, 개발되어진 시스템을 통하여 측정되어진

신호는 이산 웨이블렛 변환의 다해상도 해석을 이용함으로써 신호의 잡음 제거를 통한 원 신호에 포함된 잡음을 제거하여 작은 결함에 대한 신호판별을 용이하게 구성하였다. 또한 항만 센터에서 원격으로 각 크레인에 대한 와이어 로프의 결함을 감지할 수 있도록 모니터링 시스템을 설계하여, 결과적으로 사용중인 와이어 로프의 결함을 검출하는데 있어서 양호한 효율성을 가짐을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국과학기술부(MOST)의 국가지정 연구실사업(NRL)의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. An Industry Safety Health Law, The rule to standard of industry safety, Ministry of Labor, 1992.
2. Egen, R. A., "Nondestructive testing of wire rope," Proc. of the 9th Annual Offshore Technology Conference, pp. 375-382, 1977.
3. Marchent, B. G., "An instrument for the non-destructive testing of wire ropes," Journal of Systems Technology, No.29, pp. 26-32, 1978.
4. American Society for Testing and Materials, Electromagnetic Testing, Nondestructive Testing Handbook -2nd Edition-, Vol. 4, 1981.
5. Nestleroth, J. B. and Bubenik, T. A., "Magnetic Flux Leakage(MFL) Technology For Natural Gas Pipeline Inspection," GRI, 1999.
6. Tsukada, K., "Estimation of the Size and Location of Defects in the Steel Wire Rope by Magnetic Flux Leakage Method," Proc. of FENDT, pp. 202-209, 1991.
7. Rao, R. M. and Boparkikar, A. S. Wavelet Transform, Addison-Wesley, pp. 183-189, 1998.
8. Nason, B. P. and Silverman, B. W., "The Discrete Wavelet Transform," Statistics Research Report, 1993.
9. Daubechies, I., Ten Lectures on Wavelet, Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.
10. Strang, G. and Nguyen, T., Wavelets and Filter Banks, Wellesley-Cambridge Press, 1996.