

장력센서를 이용한 보안 시스템 및 관련기술



강대일

한국표준과학연구원
역학연구부 힘그룹장
전공분야: 기계공학

1. 머리말

원자력 발전소, 공항, 군사 관련 설비와 같은 국내 주요 기간시설물 및 방위산업 시설물들은 외부 침입자로부터 시설물을 보호하기 위하여 시설물 주변이 철조망으로 울타리가 형성되어 있고 관리요원들이 울타리의 상태를 주기적으로 점검하고 있다. 그러나 이와 같은 방식으로는 공항이나 원자력발전소와 같이 보호해야 할 시설물이 넓은 면적을 가질 때 관리가 용이하지 않다. 근래에 미국, 이스라엘 등에서는 이런 문제점들을 해결하기 위하여 스트레인 게이지식 장력센서, 철조망용 와이어, 프로세서 및 주변기기를 이용한 울타리 침투 자동감시 및 감지시스템을 개발하여 현장에 적용하고 있다. 본 글에서는 최근에 관심이 되고 있는 장력센서를 이용한 보안시스템 및 관련 기술중 스트레인 게이지식 장력센서를 중심으로 소개하고자 한다.

2. 보안시스템의 구성 및 동작 원리

그림 1은 장력센서를 이용한 보안 시스템의 개략도이다. 외부 침입자에 의해 와이어를 절단하거나 와이어를 상하로 이동시키면 장력센서가 이를 감지하고 이 신호를 프로세서에 전송한다. 이 신호와 프로세서에 설정된 기준 값들과 비교하여 설정치를 초과하면 외부 침입이 발생한 것으로 간주하여 그 결과를 트랜스폰더로 컨트롤 유닛에 보내게 된다. 컨트롤 유닛에서는 외부 침입자에 대한 경고음을 송출하거나 통제소에 이 사실을 알리어 적절한 조치를 취할 수 있도록 한다.

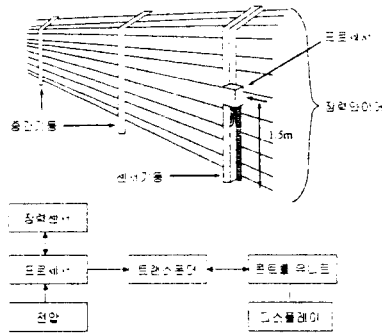


그림 1. 장력센서를 이용한 보안 시스템의 개념도

장력센서를 이용한 보안 시스템은 장력센서에 의해 침입자의 침입기도에 대한 상황을 on-line으로 중앙통제시스템으로 전송하여 주요 시설물을 보호 및 관리하는 기능을 갖게 된다. 이 시스템은 구역별로 자동적으로 작동이 되며 다음과 같은 침입행위가 있을 때

경보를 울려준다.

- 인장철책을 오르는 행위, 인장철책을 자르는 행위, 철책선을 벌리는 행위
- 사다리와 같은 물체를 센서기둥에 기대어 철책을 넘으려는 행위
- 프로세서나 센서기둥을 파손 또는 제거하는 행위
- 센서와 프로세서 사이의 통신선을 끊으려는 행위

3. 장력센서

3-1. 장력센서의 구조 및 작동 원리

그림 2는 장력센서의 단면도를 나타낸다. 장력센서는 고무로 된 원형 하우징(1), 스트레인게이지(2)가 부착된 감지부(3), 플레이트(4), 볼트/너트부(5)로 구성된다. 원형 하우징은 감지부의 축정감도를 향상시킬 목적으로 하우징의 굽힘이 집중되도록 원주방향으로 홈(1a)을 가지고 있다. 장력센서와 보안시스템 포스트와의 조립은 플레이트의 구멍을 통한 볼트체결로 이루어진다. 볼트/너트부에 철조망을 형성하는 와이어를 삽입한 후 와이어를 310 - 330 N의 장력을 갖도록 인장을 가한다. 외부

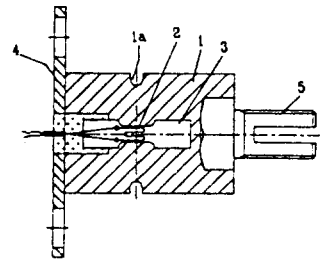


그림 2. 장력센서의 단면도

침입자에 의해 와이어를 절단하거나 와이어를 상하로 이동시키게 되면 와이어의 변위가 볼트/너트 부를 통하여 장력센서에 굽힘응력을 가하게 되고 이로 인하여 감지부는 탄성변형을 하게 된다. 이 탄성변형이 감지부에 부착된 스트레인 게이지에 전달되고 이에 대응하여 스트레인 게이지의 저항값이 변하게 된다. 이 전기적인 신호를 마이크로 프로세스에 설정된 기준값들과 비교하여 설정치를 초과하면 외부침입이 발생한 것으로 간주하여 경고음을 방출하거나 통제소에 보고하여 적절한 조치를 취하도록 한다. 그림 3은 한국표준과학연구원에서 개발한 장력센서를 보이고 있으며 그림 4는 장력센서를 이용한 보안 시스템의 모형을 보이고 있다.

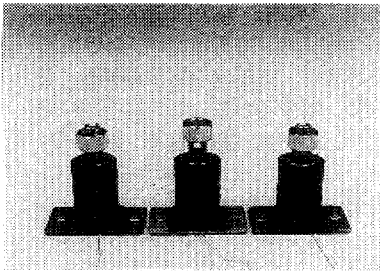


그림 3. 장력센서 사진

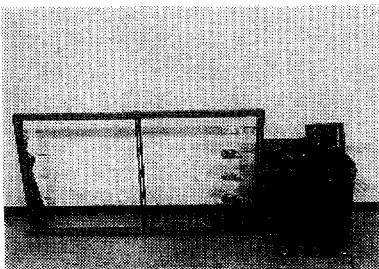


그림 4. 보안 시스템 모형 사진.

장력센서는 여기에서 설명한 구조 이외에도 단순 외필보 빔과 반도체 감지물질을 조합한 방법 등이 개발되었으며 앞으로는 연구자들의 아이디어에 따라 다양한 중

류의 장력센서가 개발될 것으로 기대된다.

3-2. 장력센서의 핵심 구성요소

3-2-1. 스트레인 게이지

그림 5는 스트레인 게이지의 상세도를 보이고 있다. 스트레인 게이지는 변형에 의해 저항변화를 일으키는 감지저항부(sensing alloy), 저항부를 시험편과 절연시키는 역할을 하는 기판(base material) 그리고 도선(leadwire)을 연결하는데 사용되는 터미날로 구성된다. 감지저항부의 재료로는 구리-니켈 합금인 콘스탄탄이 많이 사용되고 기판의 재료로는 에폭시 수지나 폴리아미드가 사용된다. 스트레인 게이지는 종래에 120Ω 저항값을 많이 사용하였으나 안정도를 높이기 위하여 350Ω 저항값의 사용이 증가하고 있다. 스트레인 게이지는 시험하고자 하는 시편에 접착제로 부착되며 시편이 힘을 받아 변형되면 스트레인 게이지도 변형되고 이에 대응하여 후크의 법칙에 따라 스트레인 게이지의 저항도 변하게 된다.

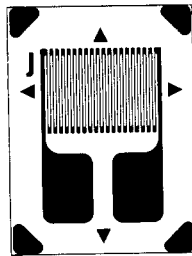


그림 5. 스트레인 게이지의 상세도

3-2-2. 감지부

장력센서의 감지부는 외부에서 가해진 하중 즉 장력에 견딜 수 있어야 하며 또한 스트레인 게이지에 의해 감지된 신호가 센서로서의 역할을 할 수 있도록 적절히 변형하여야 한다. 감지부의 재료는 탄성비례한도가 크고 직선성, 가공성이 좋아야 하며 크리프와 히스테리시스가 작아야 하고 내충

격성, 내마모성, 내부식성이 좋아야 한다. 감지부의 재료로는 니켈-크롬-몰리브덴강, 공구강, 경화스테인레스강, 특수 알루미늄, 인청동, 베릴리움-동이 사용되고 있다. 감지부의 설계응력은 감지부 재료, 스트레인 게이지의 특성 및 센서의 감도를 고려하여 결정하여야 하나 일반적으로 0.05 MPa - 0.2 MPa의 범위이다. 이 경우 스트레인 게이지에 의해서 감지되는 변형률은 250 - 1000 μm/m이다. 그림 6은 감지부에 스트레인 게이지가 부착된 모습을 보이고 있다.

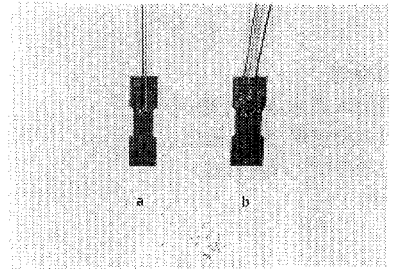


그림 6. 장력센서의 감지부와 스트레인 게이지 (a) 1 스트레인 게이지 (b) 2 스트레인 게이지

3-2-3. 하우징

하우징은 감지부와 스트레인 게이지를 외부환경으로부터 보호하는 역할을 하며 와이어의 큰 변위를 흡수하여 감지부를 보호한다. 하우징의 재질로는 합성고무인 EPDM(terpolymers of ethylene, propylene and diene)이 주로 사용된다. EPDM은 내오존성, 내약품성, 내환경성, 인열강도 등이 우수하여 하우징으로서의 조건을 만족하나 접착특성이 나쁜 단점을 가지고 있다. 따라서 EPDM을 장력센서의 하우징에 사용하기 위해서는 EPDM 제작시 접착강도를 높일 수 있도록 가황제 및 첨가제를 적절한 비율로 혼합하여야 한다. 또한 접착강도를 높이기 위해서는 접착면에 기름 등의 이물질

이 없도록 사전처리를 하는 것이 매우 중요하다. 하우징의 재질은 장력센서의 내구성 및 장기안정도에 큰 영향을 미치는 부품으로서 앞으로 성능향상에 관한 연구가 더 필요한 분야이다.

3-3. 장력센서의 신호 검출원리

장력센서의 구조는 한쪽이 고정되고 자유단에서 하중이 가해지는 외팔보(cantilever beam)로 가정할 수 있으며 외팔보의 기본 틀은 고무로 된 하우징이며 하우징의 홈부분의 중앙에 감지부가 결합된 구조로 되어 있다. 따라서 감지부에 작용하는 굽힘모멘트 M_b 는 자유단에서 가해지는 힘과 자유단에서 감지부의 중앙까지의 거리의 곱과 같으며 이로 인해 감지부의 표면에 작용하는 굽힘변형률 ϵ_x 는 식 (1)로부터 계산될 수 있다.

$$\epsilon_x = \frac{M_b y}{E_1 I_1 + E_2 I_2} \quad (1)$$

여기에서 M_b : 굽힘 모멘트
 y : 중립축으로부터의 감지부 표면까지의 거리
 E_1, E_2 : 감지부의 탄성계수, 고무의 탄성계수
 I_1, I_2 : 감지부의 단면 2차계수, 하우징의 단면 2차계수

감지부의 표면에 전기저항체인 스트레인이게이지가 부착된다. 따라서 장력센서에 굽힘응력을 가하면 감지부는 탄성변형을 하게 되고 이 탄성변형이 감지부에 부착된 스트레인이 게이지에 전달되어 스트레인이 게이지의 저항값이 변하게 된다. 일반적으로 스트레인이 게이지의 저항값의 변화를 직접 측정하지 않고 전기저항체인 스트레인이 게이지로 휘스톤 브리지를 구성하여 브리지의 입력단에 10 - 20 V의 전압을 인가하면 10 - 30 mV의 출력전압을 얻을 수 있다. 스트레인이 게이지를 1개, 2개 또는 4개를 사용하여 브리지를 구성할

수 있으며 그 것을 각각 1/4 브리지, 1/2 브리지 및 완전 결선 브리지라고 부른다.

감지부의 크기(두께 및 폭)는 목표하는 장력센서의 크기 및 감도, 사용될 스트레인이게이지의 갯수 등을 고려하여 결정되어야 한다. 예로서 감지부 표면에 발생하는 굽힘변형률을 250 $\mu\text{m}/\text{m}$ 로 설계하고 스트레인이 게이지를 1개만 사용하여 장력센서를 제작할 경우에 장력센서의 출력은 0.125 mV/V가 된다. 스트레인이 게이지를 감지부 상부에 1개, 감지부 하부에 1개를 부착하여 1/2 브리지를 구성하면 센서의 출력이 0.25 mV/V가 되고 상부에 2개, 하부에 2개를 부착하여 완전결선 브리지를 구성하면 센서의 출력이 0.5 mV/V가 된다. 반면에 스트레인이 게이지 2개를 감지부의 상부에 축방향과 축의 직각방향으로 부착하여 1/2브리지를 구성할 경우에 센서의 출력은 0.163 mV/V가 된다. 스트레인이 게이지는 4개를 사용하여 완전결선회로를 구성하는 것이 감도가 크고 온도변화에 의한 오차를 줄일 수 있는 장점이 있으나 스트레인이 게이지의 개수가 증가함으로써 게이지 가격이 비싸지고 및 센서 제작 공정이 복잡하여 장력센서의 제작단가가 상승하는 단점이 있다. 따라서 장력센서의 정밀도, 사용조건 및 제작단가를 종합적으로 검토하여 설계자가 최적의 조건을 선정하여야 한다.

3-4. 장력센서의 연구방향

장력센서의 신호전송은 주변 노이즈의 혼입이 용이하여 정밀도와

안정도에 영향을 주며 특히 장력센서가 지시계와 멀리 떨어져 있을 경우 신호전송 방식의 선정이 매우 중요하다. 여기에서는 신호전송 관점에서 장력센서의 연구방향을 알아보기로 한다.

그림 7은 장력센서 신호 전송방식의 종류를 나타내고 있다. (a)는 장력센서의 아날로그 신호(10 - 30 mV)를 시일드 케이블로 전송하는 방법으로 노이즈로 인한 정밀도와 원격 거리에 한계가 따른다. 장력센서의 신호전송은 지금까지 주로 이 방법을 사용하여 왔다. (b)는 장력센서내부에 op-amp에 의한 증폭부와 1 - 5 V 정도의 아날로그 전압 또는 4 - 20 mA current loop로 아날로그 신호를 전송하는 방식으로 (a)에 비해 노이즈의 영향이 훨씬 적다. 최근에 미국 DeTek Security사에서 이 방식의 장력센서를 개발하여 상품화하였다. (c)는 최근에 관심이 집중되고 있는 디지털 힘센서로서 아날로그 증폭부와 one-chip CPU로 제어되는 A/D 변환부를 힘센서의 최인접 위치에 장착하여 신호처리 회로를 구현하고, 변환된 디지털 데이터를 RS-485형식으로 쌍방향 직렬통신을 구축함으로써 호스트 측으로부터의 명령어에 의하여 구동될 수 있도록 한 것이다. 디지털 힘센서를 이용할 경우 디지털 제어가 가능하여 완전개방형 오픈 시스템으로 측정 및 제어정보는 물론 현장기기의 성능, 상태, 장비이력 등 포괄적 공정관리가 가능하며 쌍방향 통신을 이용함으로써 전송속도가 2.5 Mbits/s로 고속 전송이 가능

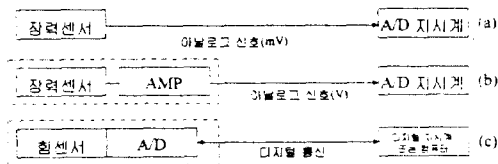


그림 7. 장력센서 신호 전송방식

하다. 아직까지 이 방식을 적용한 장력센서의 개발에 관한 보고는 조사되지 않았다. 그러나 보완시스템이 갖추어야 할 안정성 및 정확성을 고려해 볼 때 머지 않아 디지털 방식의 장력센서가 개발되어 현장에 적용될 것으로 예측된다. 디지털 방식의 장력센서를 이용하여 보완시스템을 구축한다면 지금의 보완시스템보다 한 차원 높은 보완시스템이 될 것이다.

4. 맺는 말

장력센서를 이용한 보안 시스템에 대해서 간략히 살펴보았다. 장력센서를 이용한 보안 시스템은 주요 시설물의 외곽관리가 자동감시 및 감지가 가능하여 무인 경비가 가능하나 설치비가 기존의 철조망을 이용한 방법보다 훨씬 비싼 단점이 있다. 또한 자동 시스

템의 오동작, 내환경성 및 내구성에 관한 데이터가 충분치 못한 상태이다. 앞으로 이에 대한 데이터가 충분히 확보되고 설치비용이 저렴해진다면 현재 대부분 철조망 및 사람으로 시설물을 관리하는 공항, 원자력발전소, 공공기관 건물, 군부대, 군사시설 등의 보안시스템을 장력센서를 이용한 보안시스템으로 대체할 수 있을 것으로 생각된다. 짐승들에 의한 침입과 사람에 의한 침입을 구별하고 사람에 의한 침입을 좀 더 정확하게 감지하기 위해서는 VISION 시스템과 결합된 보안 시스템이 한 방법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. J. Dorsey, "Homegrown Strain-Gage Transducers", Experi-

tal Mechanics, Vol.17, No.7, 1977, pp.255~260.

2. The Technical Staff of Measurements Group, "Strain Gage Based Transducers", Measurements Group, 1988.
3. VTW-400 Installation, Maintenance and Operation Manual, Detek Security Systems, Inc.
4. VTW-300 울타리 침투 자동감시 감지 설치 및 유지 매뉴얼, 이마산업(주).
5. Full bridge strain gage deflection sensor, 미국특허 5,392,027, 1995.
6. Taut wire sensing apparatus, 미국특허 5,103,207, 1992.
7. 박찬원, "로드셀을 이용한 전기식 지시저울의 기술개발동향과 전망," 측정표준 제 21권 제1호 pp. 16 - 25, 1998.

< 전덕영 위원 >