

# 자기장을 이용한 컨베이어 벨트 파손 감지장치 개발

양근호\* · 민병운\*\*

The Development of Detection System of Conveyer Belt Damage using Magnetic Flux

Keun-Ho Yang\* · Byung-Woon Min\*\*

## 요 약

본 논문에서는 물류 시스템에서 원료의 운송 작업에 필요한 컨베이어 고무벨트의 파손을 감지할 수 있는 시스템 개발에 대한 연구이다. 벨트의 내부에 전기 유도가 가능한 재료를 삽입하여 벨트의 파손이 발생했을 경우 전자 시스템에 의한 벨트의 파손을 감지할 수 있는 시스템을 개발하여 벨트의 파손을 최소화하도록 하였다. 따라서 벨트의 수리비용이나 운송 중인 물류의 재정리 단계의 시간을 줄일 수 있다. 벨트의 파손을 감지하기 위한 방법으로 송신 신호를 벨트 내에 삽입된 코일에 유도하고, 수신 측에서 코일에서 유도되는 전기 현상을 감지하여 벨트의 파손을 감지하도록 하였다.

## ABSTRACT

In this paper, the research is to develop a system that can detect the breakage of the rubber belt conveyor system in the transport of the raw materials required for the operation of logistics. We are to develop a system that can detect the breakage of the belt due to the electronic system of belt breakage occurs by placing the material on the inside of the belt, electric induction to minimize the damage of the belt. The belt repair costs, or reorder the steps of the logistics transit time can be reduced. Induced in the coil, and belt embedded in the transmitted signal as a way to detect the breakage of the belt was to detect the damage of the belt by detecting the electrical phenomena induced in the coil at the receiving end.

## 키워드

Conveyer Belt, Transducer, Air Gap, Magnetic Flux  
컨베이어벨트, 송신기, 공극, 자속

## 1. 서 론

물류 시스템에서 컨베이어 벨트는 원료나 화물을 일정한 거리를 자동으로 운반하는 기계장치로써 공장 내에서의 부품의 운반 또는 제품의 이동이나, 광산, 항만 등에서의 석탄, 광석, 화물의 운반, 건설현장에서의 흙과 모래의 운반 등에 널리 사용되고 있다. 또 단

순한 운반 장치만이 아니고 작업자와 결합시켜 움직이는 작업대로 사용되어, 공장 내에서의 대량 생산에 상당한 기여를 하고 있다.

컨베이어 종류 중에서 벨트 컨베이어는 고무, 직물, 철망, 강판 등으로 만들어진 벨트를 순환시켜서 그 위에 물건을 올려 연속으로 운반하는 장치이다. 이와 같은 컨베이어 벨트는 일반적으로 고무로 이루어진 벨

\* 한려대학교 경영학과(khyang@hanlyo.ac.kr)

\*\* 교신저자 : 한려대학교 임상병리학과(byung7761@hanmail.net)

접수일자 : 2013. 04. 16

심사(수정)일자 : 2013. 05. 20

게재확정일자 : 2013. 06. 21

트가 가장 많이 사용되고 있다. 1개의 벨트 길이는 수평인 경우 약 2,000 m 정도이며, 벨트가 장기간 동안 사용될 때에 늘어지는 것을 방지하기 위해 아이들러(idler)라는 장치로 지지한다. 이와 같은 고무 컨베이어 벨트를 이용하여 물류를 운반하는 도중에 벨트의 파손이 발생했을 경우 벨트 위에 운반중인 재료나 화물은 물론이고 벨트의 수리 및 보수에 상당한 시간이 필요하며, 작업자가 벨트를 수리 및 정비하는 동안은 재료의 운반 작업은 중지되어야 한다. 특히 벨트가 파손되었을 때, 수리 및 정비에 따른 시간적인 문제나 비용을 최소화하는 방법으로 컨베이어 벨트 주위에 일정 간격으로 설치된 비상 정지 스위치나 기타 장치를 이용하여 벨트의 운전을 정지시키고 있다.

이러한 문제점을 해결하는 방법으로 본 연구에서는 벨트의 내부에 전기 유도가 가능한 재료를 삽입하여 벨트의 파손이 발생했을 경우 전자 시스템에 의한 벨트의 파손을 감지할 수 있는 시스템을 개발하여 벨트의 파손을 최소화하는데 그 목적이 있다. 그렇게 함으로써 벨트의 수리비용이나 운송 중인 물류의 재정리 단계의 시간을 줄이고자 한다.

## II. 벨트 파손의 원인과 감지 시스템

원료를 운송할 때에 원료나 원석의 모양과 같은 이유로 컨베이어 벨트가 파손될 경우 원료의 운송 작업을 일시적으로 정지시키지 않으면 운송 중에 있는 원료가 파손된 컨베이어 벨트에서 이탈하여 분산된다. 이탈하여 분산된 원료는 재정리 단계에서 시간이 많이 소요되어 작업상 효율이 떨어진다. 따라서 원료 또는 원석을 이송하는 컨베이어 벨트의 파손을 감지할 수 있는 시스템 연구 및 개발이 필요하다. 본 컨베이어 벨트 파손 감지 시스템은 먼저 전기적인 유도 작용을 발생할 수 있는 메커니즘을 고무벨트 내에 삽입하여 전기적인 유도 현상의 유, 무 현상을 이용하여 벨트의 파손을 감지한다. 본 시스템은 송신 시스템, 고무벨트내의 전기 유도 장치, 그리고 수신 시스템으로 크게 구별된다.

송신 시스템은 컨베이어 고무벨트에 삽입된 전기 유도체에 유도 전기를 발생시키는 장치이며, 정현파 발생 장치, 전력 증폭을 위한 전력 증폭기 그리고 이

전력 증폭된 고압의 전기적인 신호를 유도하는 전기 유도 발생 송신기(transducer)로 구성된다.

수신 시스템은 송신 시스템의 송신기에서 발생하는 유도 현상을 감지할 수 있는 센서와 미소한 신호를 증폭할 수 있는 증폭기, 그리고 유도 현상의 유·무를 판단할 수 있는 감지 시스템으로 구성된다[1].

## III. 감지 시스템의 구성

### 3.1 시스템 전체 구조

컨베이어 고무벨트는 재질이 고무이다. 따라서 벨트는 전도성의 물질이 거의 포함되어 있지 않기 때문에 전기 유도 현상을 일으키기 위해서는 벨트의 제조 과정에서 벨트에 전도성의 물질을 포함시키거나 벨트 내에 파손에 따른 전도성의 변화를 감지하여 외부로 정보를 전송할 수 있는 기능의 전기 유도체를 벨트 제조과정에서 삽입해야 한다. 그러나 벨트 내에 전도성의 특성을 감지할 수 있는 전기 유도 시스템을 삽입하기 위해서는 가장 큰 문제가 전원이다. 이러한 문제점을 해소하여 벨트의 파손을 감지할 수 있는 시스템을 구현하기에는 우선 전원을 필요로 하지 않는 수동 소자만을 이용하는 것이 바람직하다.

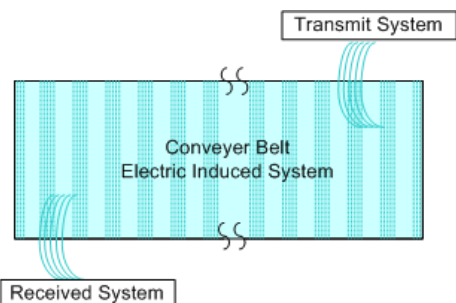


그림 1. 컨베이어 고무벨트의 파손 감지 메커니즘  
Fig. 1 Rubber conveyor belt breakage detection mechanism

본 논문에서는 송신 시스템에서 벨트 내에 설치된 전기 유도체에 전기 유도 현상을 발생시킬 수 있는 고주파 대전력 신호를 송신기로 발생하고 수신 시스템에서는 이 벨트 내에 설치된 전기 유도체의 물질에서 유도되는 미소한 신호를 센서로 감지, 증폭하여 신

호의 유무에 따른 벨트의 파손을 감지할 수 있다. 전체의 시스템 블록을 그림 1에 나타내었다.

### 3.2 컨베이어 벨트의 구조 변경

컨베이어 벨트의 구조 메커니즘은 그림 2와 같이 설계한다. 여기서 벨트의 이동 방향이 그림 2의 화살표 방향으로 이동하며, 벨트 내에 설치된 전기 유도체를 약 20 cm 간격으로 배열하여, 유도체의 형상을 설계한다.

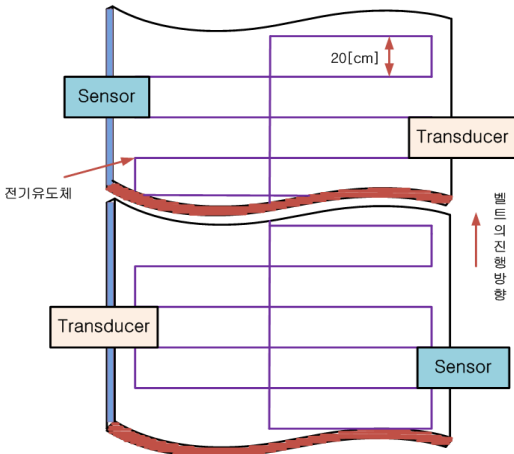


그림 2. 벨트의 구조와 송신기 및 수신 센서 배치도  
Fig. 2 Layout of the belt structure and the transducer and the receiving sensor

송신기와 수신기를 그림 2처럼 배열하여 송신기에서 발생한 신호를 수신기에 정상적으로 전달되면 벨트 상태는 정상이며, 만약 벨트가 파손이 되면 수신기에 수신된 신호가 사라지면서 파손 유무를 확인할 수 있다.

### 3.3 송신 시스템

송신 시스템은 컨베이어 벨트의 내부에 설치된 전도성 재질에 전기적 유도 작용이 발생할 수 있는 파워를 갖는 신호 발생기와 이를 구동부에 인가하기 위한 파워 증폭 회로 및 증폭된 신호를 유도시키는 구동장치로 구성되어 있다. 송신기의 원리는 그림 3과 같다.

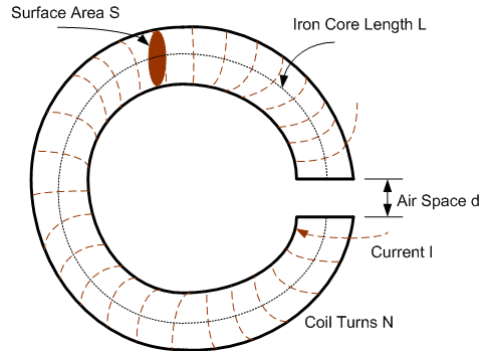


그림 3. 공극부의 자속  
Fig. 3 The flux of air gap

그림 3에서 공극부의 자속을 발생할 수 있는 모양을 나타내었다. 그림 3에서 원형 코어의 간극을  $d$ 라고 하고, 코어의 단면적을  $S$ , 코어의 길이를  $L$ , 이 코어의 철심에 흐르는 전류를  $I$  라고 하면 자속의 세기  $B_0$ 는 다음 (1)식과 같이 주어진다.

$$B_0 = \frac{NI}{\frac{d}{\mu_0 S} + \frac{L}{\mu S}} [Wb] \quad (1)$$

여기서  $\mu_0$ 는 진공 투자율,  $\mu$ 는 매질의 투자율, 그리고  $N$ 은 코어에 감긴 코일의 권수이다.

위의 수식에서 알 수 있듯이 자속의 세기를 증가시키기 위해서는 전류의 세기나 코일의 권수를 증가시킬 필요가 있다. 코어의 간극은 사용하고자 하는 벨트의 두께와 관계가 있으며, 코어의 반경은 벨트 내에 삽입할 전기 유도체의 설치 위치에 의존한다.

먼저 정현파 발생 장치는 유도 발생 구동 장치에서 전기적 유도 현상을 발생시키기 위한 신호를 발생하는 장치이며, 다음과 같은 특성을 고려하여 개발 및 설계되어야 한다.

#### ① 발생(구동) 주파수

이 문제는 구동 장치가 어떠한 메커니즘으로 구성하고 설계되었느냐에 따라 달라진다. 전기 유도 현상을 이용한 벨트의 파손을 감지한다면 코일을 이용하여 자장(magnetic flux)을 발생하며, 이 자장으로 인해서 벨트의 내부에 설치된 전기 유도성 도체에 충분한 전기 유도 현상이 일어나도록 설계되어야 하기 때

문이다. 이는 다음에 설명할 전력 증폭을 위한 스위칭 주파수와 같다. 이 스위칭 주파수는 대전력의 유도 전류를 유도하기 위한 전력 트랜지스터의 구동 스위칭 주파수이다. 본 논문에서 사용한 송신기는 직경이 0.7 mm 인 권선을 150회 감았다. 그리고 페라이트 코어는 U자형으로 TDK의 PE22 UU120x310x20이다. 그림 4에 송신 송신기와 수신 센서를 나타내었다.



그림 4. 송신기와 수신센서  
Fig. 4 Transducer and receiving sensor

② 전력 증폭 및 스위칭 부의 설계

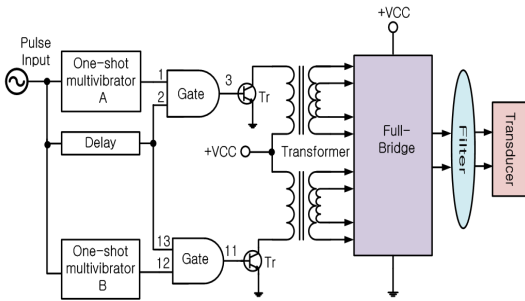


그림 5. 송신기  
Fig. 5 Transmit system

정현파 발생 장치에서 발생된 신호를 이용하여 유도 발생 장치에 충분한 파워를 공급하기 위해서는 무엇보다 먼저 전력 증폭이 필요하다. 이는 선형 회로를 이용한 전력 증폭기를 사용해도 가능하지만 가격 문제와 회로 설계의 문제를 고려하면 오히려 전력용 소자를 이용한 스위칭 방법으로 전력 증폭을 하는 방법이 유리하다. 그래서 송신기를 구동하는 풀 브릿지의 각 스위칭 소자의 데드타임을 설정하기 위해서 단안정 멀티바이브레이터를 이용하여 듀티(duty) 비를 조정하였다. 그리고 NPN 다링턴 Tr를 이용하여 트랜스포머(transformer)를 구동하고 이 트랜스포머의 출력

을 이용하여 풀 브릿지의 각 스위칭 소자(NPN 다링턴 Tr)를 구동하였다[2][3][4]. 풀 브릿지의 전원은 60 V 에서 동작되도록 설계하였다. 따라서 그림 5와 같이 송신시스템을 구성하였다.

3.4 수신 시스템

수신 시스템은 송신 시스템에서 발생하는 신호가 컨베이어 벨트에 설치된 유도성 재료를 경유하여 전기 유도 현상이 발생하고, 이때 발생된 미약한 전기 유도 현상을 감지할 수 있는 센서와 신호를 증폭할 수 있는 증폭기, 잡음을 제거하기 위한 필터, 그리고 유도 현상의 유무를 판단하는 제어기로 그림 6과 같이 구성한다[5][6][7][8].

먼저 센서의 역할은 송신 시스템에서 유도된 미약한 전기 유도 신호를 어떠한 방법으로 감지할 것인가에 따라 시스템의 성능이 좌우된다. 따라서 일반적으로 컨베이어 벨트 내에 설치된 재료의 유도 현상으로 인해서 생기는 전자기파를 얼마만큼 고품질로 감지할 수 있는 센서의 선택이 필수적이다.

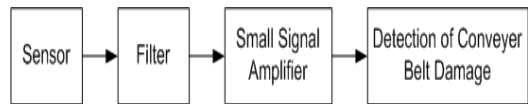


그림 6. 수신기 블록도  
Fig. 6 The block diagram for receiving system

벨트 내에 설치된 유도성 재료에 의해서 발생하는 미약한 전자기파를 감지할 수 있는 고도의 기술이 요구되기 때문에 미약한 신호의 증폭과 증폭으로 인한 잡음의 제거를 하기 위한 필터의 설계가 중요한 변수가 된다. 그림 4에서 보인 수신 센서를 사용하였다. 수신 센서는 송신 측의 송신기와 유사한 방법으로 설계하였으며, 페라이트 코어에 직경이 0.4 mm 인 권선을 150회 감았다.

IV. 실험 및 결과

지금까지 설명한 프로토타입(prototype) 시스템을 이용하여 벨트의 파손 감지 실험을 수행하였다. 실험 환경은 그림 7과 같으며, 컨베이어 벨트는 약 50 x 200 cm 이며, 이 벨트 위에 전선이 삽입되어 있다.

그리고 벨트 한쪽에 송신을 위한 송신기와 자기장을 수신하기 위한 수신센서가 위치되어 있다. 송신기는 앞쪽의 왼쪽에 흰색 'ㄷ' 자 모양의 것이며, 수신센서는 뒤쪽의 왼쪽에 송신기와 같은 형식으로 설치하였다. 또 벨트의 파손 여부를 표시하기 위하여 벨트 위에 빨간색의 LED가 설치되어 있다. 벨트가 파손되면 LED가 ON 되도록 하였다..

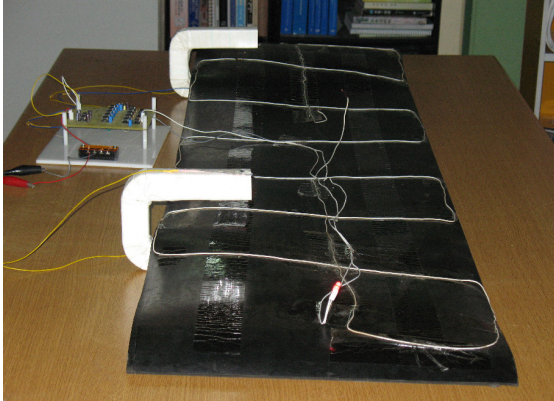


그림 7. 실험 장면  
Fig. 7 Experiment scene

#### 4.1 송신부

송신을 위해서는 먼저 정현파로 NPN 다링턴 Tr을 이용하여 트랜스포머(transformer)를 구동하고 이 트랜스포머의 출력을 이용하여 풀 브릿지의 각 스위칭 소자(NPN 다링턴 Tr)를 구동한다. 이때 구동 주파수는 53 kHz 이며, 그림 8과 같은 공진을 얻기 위해서 커패시터와 직렬로 연결하여 구동하였다.

송신기의 주파수 특성을 파악하기 위해서 입력의 정현파 전압을 10 V 를 인가하고, 송신기와 4 nF 의 용량을 갖는 커패시터를 직렬로 연결하여 측정한 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 공진 주파수는 53 kHz 로 나타났다.

송신부의 동작을 확인하기 위하여 송신기 입력 단의 신호를 디지털 오실로스코프로 확인하였으며 이를 그림 9에 나타내었다. 그림 8에서 알 수 있듯이 송신기의 공진 주파수는 53 kHz 이며, 최대 진폭  $V_{pp}$ 는 120 V 이다.

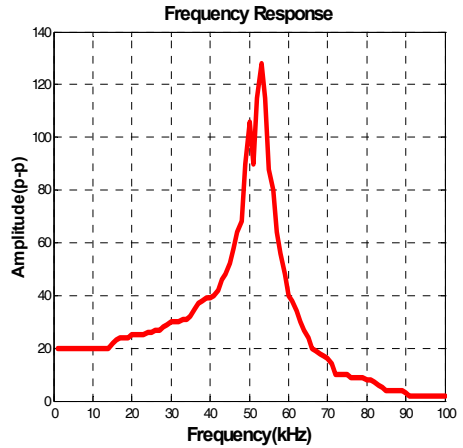


그림 8. 송신기의 공진 특성  
Fig. 8 The resonance characteristic of transducer

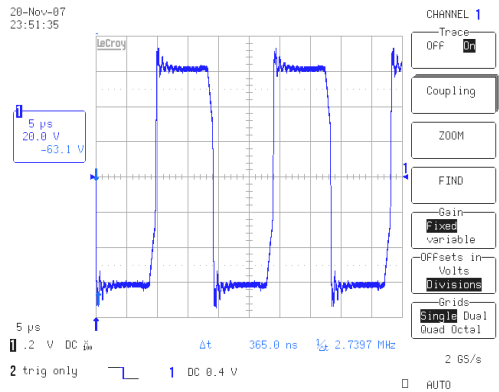


그림 9. 풀 브릿지 출력 파형  
Fig. 9 Output waveform of full bridge

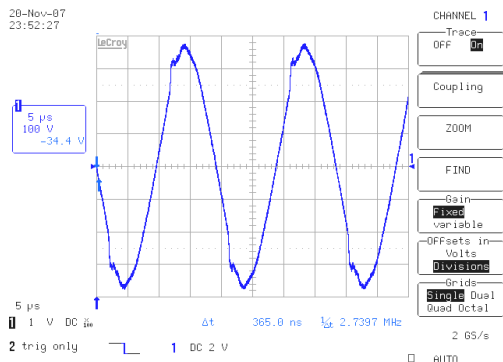


그림 10. 공진회로 출력파형  
Fig. 10 Output waveform of resonance circuit

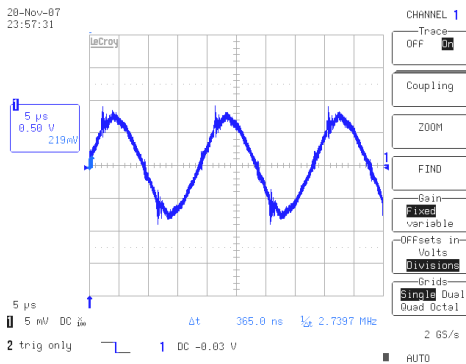


그림 11. 벨트 내 권선의 유도 전압 파형

Fig. 11 Induction voltage waveform of the winding in the belt

이는 다링턴 Tr로 구성된 풀 브릿지를 구동하는 공진 주파수가 53 kHz 이라는 의미이다. 이 주파수의 신호로 벨트 내에 유도 전류를 발생하면 수신부에서는 감쇠된 신호가 감지된다.

송신기 특성을 최적화하기 위하여 공진주파수에 맞도록 튜닝하여 그림 10과 같은 공진회로의 출력을 송신기에 인가하도록 하였다. 이와 같은 동작은 송신기(transducer)에 안정적으로 최대전력을 전달할 수 있으며, 수신단의 수신능력을 최적화하는데 적합하다. 또한 수신단에서 컨베이어 벨트가 노후화되어 늘어남에 따른 저항의 증가에 따라 수신 신호가 감소되는 것을 인지하여 파손 시기를 예측할 수 있다.

벨트 내 유도 전선에 흐르는 전압은 감쇠되었지만 주파수는 그림 11과 같이 송신측의 주파수와 동일하다.

## 4.2 수신부

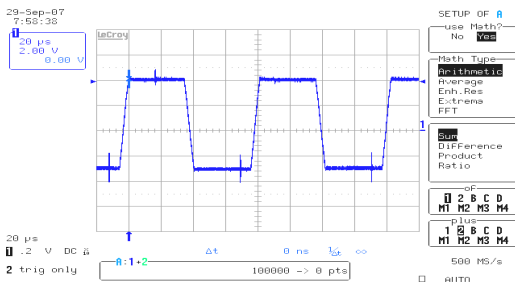


그림 12. 벨트가 정상 상태일 때의 파형

Fig. 12 Waveform when the belt is in the normal state

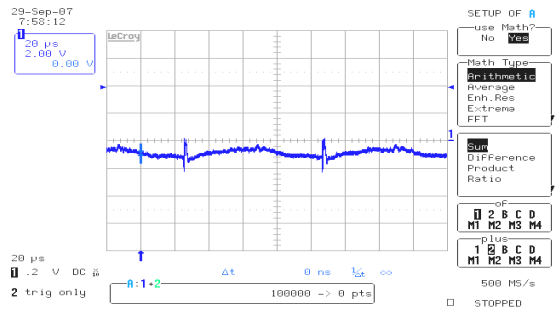
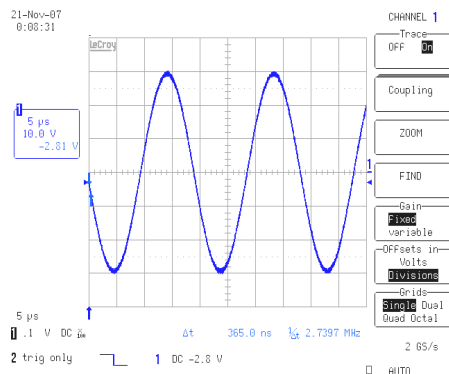


그림 13. 벨트가 파손되었을 때의 파형

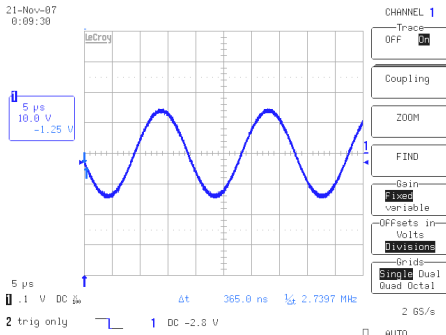
Fig. 13 Waveform when the belt is damaged

간단하게 송신기와 수신기의 결합여부를 확인하기 위하여 송신측에 1250 Hz의 구형파를 인가하고 수신측에서 정상일 때와 파손되었을 때를 수신 상태를 그림 12와 그림 13에 나타내었다. 즉 벨트의 파손이 발생하지 않았을 때 수신부의 파형은 그림 12와 같으며, 벨트에 파손이 발생하였을 때 수신부의 파형은 그림 13과 같다. 즉 단순히 신호를 송신하고 수신하였을 때이며, 여기서 벨트의 파손이 일어났을 때란 벨트 내의 유도 전선이 개방되었을 때를 의미한다.

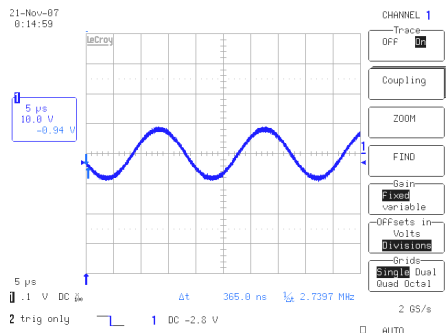
본 논문에서 개발한 시스템으로 컨베이어 벨트가 정상일 때와 오랜 사용으로 노후화 되었을 때, 그리고 파손 직전과 같이 선저항이 크게 증가한 상태 등을 가정하여 실험한 결과를 그림 14에 나타내었으며, 그림에서와 같이 수신 센서에서 수신된 신호의 주파수는 변하지 않으며, 선저항의 증가에 따라 수신감도가 점점 저하되는 것을 알 수 있다.



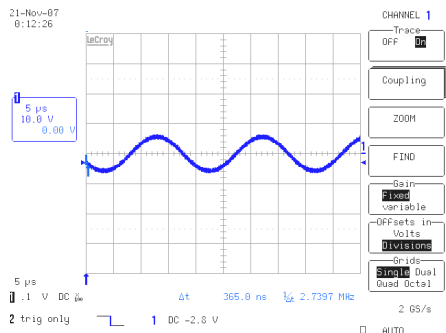
(a) normal



(b) Line resistance 3 ohm



(c) Line resistance 5 ohm



(d) Line resistance 10 ohm

그림 14. 선저항에 따른 수신 신호

Fig. 14 Received signal by line resistance

### V. 결론

본 논문에서는 지금까지 위에서 설명한 발생 주파수의 중심 주파수 결정과 전력 증폭 및 스위칭부의 설계 방안을 연구하고 이를 기초로 하여 최대의 전력을 전달할 수 있는 발생 구동 장치를 개발하였다. 그

리고 송신측에서 발생된 미약한 신호를 감지할 수 있는 감지 센서를 개발하여 검출된 미약한 신호를 증폭하고 신호에 혼입된 잡음을 제거하여 벨트의 파손에 대해 영향을 미치는 신호만을 추출할 수 있는 장치를 개발하였으며, 벨트가 파손되었을 때에 파손에 의한 전기 유도 감지를 정확히 수행함을 확인하였다. 또한 컨베이어 벨트에 삽입된 권선의 노후화로 인한 선저항 증가에 따라 수신 신호의 감소에 따른 벨트의 노후화 정도를 예측할 수 있는 프로토타입을 제시하였다. 본 연구를 통해서 개발된 기술과 프로토타입을 산업현장에 적용한다면 컨베이어 시스템의 안정적 운영을 하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] Graham D. W, Hasler P, "Capacitively -coupled current conveyer second-order section for continuous-time bandpass filter and cochlea modeling", Proceeding of the 2002 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Vol. 5, pp. 485-488, 2002.
- [2] K. H. Yang, "A study on development of bipolar metal surface anodizing equipment using H-bridge", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences. Vol. 6, No. 3, pp. 355-362, 2011.
- [3] H. H. Lee, W. Cho, K. S. Lee, "Improved switching method for sensorless BLDC motor drive", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 2, pp. 164-170, 2010.
- [4] K. Y. Yoon, "Wave propagation characteristic from composite structure", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 3, pp. 343-348, 2011.
- [5] Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits, Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, Prentice-Hall, 1982.
- [6] Op-Amp Applications Handbook, Walt Jung, Analog Devices, 2005.
- [7] K. M. Lee, Y. J. Kim, "A study on the reduction of cogging force of stationary discontinuous armature permanent magnet linear synchronous Motor by change in auxiliary pole", The Journal of The Korea

Institute of Electronic Communication Sciences,  
Vol. 5, No. 6, pp. 613-619, 2010.

- [8] Y. J. Kim, S. J. Kim, " Analysis of outlet edge cogging force at the permanent agnet linear synchronous motor according to difference of the winding method", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 7, pp. 889-895, 2011.

### 저자 소개



#### **양근호(Keun-Ho Yang)**

1989년 전북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1992년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1999년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1995년~현재 한려대학교 경영학과 교수

※ 관심분야 : 영상통신, 회로 및 시스템



#### **민병운(Byung-Woon Min)**

1987년 조선대학교 생물학과 졸업(이학사)

1989년 조선대학교 대학원 생물학과 졸업(이학석사)

2006년 순천대학교 대학원 생물학과 졸업(이학박사)

1997년~2005년 광양보건대학 임상병리과 교수

2006년~현재 한려대학교 임상병리학과 교수

※ 관심분야 : 영상통신, 회로 및 시스템