

# 적층 공정에서의 상태 기반 모니터링

## Condition Monitoring in Multilayer Stacking Processes

민형철 † · 이영곤\*\* · 정해동\* · 박승태\* · 이승철 †

Hyungcheol Min, Younggon Lee, Haedong Jeong, Seungtae Park and Seungchul Lee

Key Words : Condition-based monitoring (상태 기반 모니터링), MLCC, Feature extraction (특성신호 추출)

### ABSTRACT

In the process of MLCC manufacturing, MLCC stacking process is the key process of making high quality MLCC. Since MLCC is small components, the entire process of MLCC stacking process is minute and sensitive to micro errors. To prevent micro error, we suggest condition-based monitoring which quantifies error based on feature extraction and quantifying error method. As results, it has been shown that the suggested algorithm has effectiveness of condition based monitoring of MLCC stacker.

### 1. 서 론

MLCC는 Multi-Layer Ceramic Capacitors의 줄임말로써 전자회로에서 일시적으로 전하를 충전하고 노이즈를 제거하는 일반적인 타입의 커패시터이다. 그 본체는 유전체 층과 보통 니켈로 된 내부전극 층이 상호 교차된 층 구조로 되어 있다 [1].

MLCC의 고용량화는 동일한 크기에 얼마나 많은 초박막 시트를 적층하느냐가 핵심으로써 MLCC 적층기는 MLCC의 품질에 지대한 영향을 미친다. 따라서 MLCC 적층기의 고장이 발생하기 전에 결함을 미리 감지하고, 예측할 수 있는 진단 시스템의 개발이 필수적이다 [2].

본 논문은 MLCC 적층기의 상태 기반 모니터링을 위해 공정과정에서 나오는 신호들 중 특성 신호를 결정하고 이에 기반하여 기계의 결함을 수치화할 수 있는 방법에 대해 기술한다 [3].

### 2. 본 론

#### 2.1 MLCC 적층기 가압판의 비정렬문제점

MLCC 적층기는 내부 전극이 프린트된 시트를 적층기에 보낸뒤 시트를 일정한 크기로 자르고 진공압으로 박리한 뒤에 가압기로 이송한 후에 시트를 정확한 자리에 정렬한 후 적층한다. Fig. 1은 MLCC 적층 공정을 간략히 도식화 한 것이다. 본 논문은 적층기에서 나오는 로드셀 압력신호를 이용하여 MLCC 적층기의 특성신호를 추출하여 기계의 상태 진단을 제안한다.

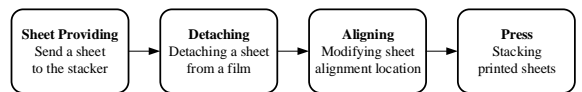


Fig 1: MLCC Stacking Process

실제 공정에서 이루어지는 적층 과정 (또는 가압 과정)을 Fig. 2 에 나타내었다. 만일 시트를 가압하는 두 압력판이 평행이 아니라면 시트가 제대로 적층되지 않고 한쪽으로 쏠려서 적층되는 현상이 발생한다. 이를 방지 하기 위해 상판에 4개의 로드셀 압력 센서를 달아 상판에 압력이 제대로 가해지는 지를 측정한다 [4].

† 교신저자; 정회원, 인간 및 시스템공학부, UNIST

E-mail : seunglee@unist.ac.kr

Tel : 052)-217-2726

‡ 발표자; UNIST

\* 공동저자; UNIST

\*\* 공동저자; 삼성전자

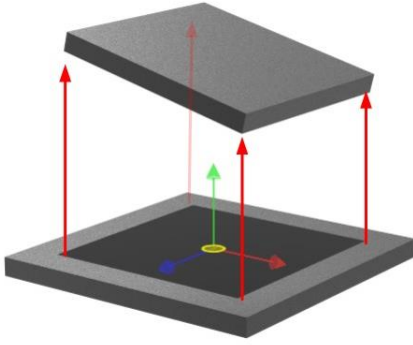


Fig 2: Stacking Process

## 2.2 압력신호 취득 및 특성신호 결정

적층 공정중 마지막 단계인 가압과정은 압력이 올라가는 과정과 일정 압력에 도달한 뒤 이를 유지하는 2가지 과정으로 나뉜다. 상판에 부착되어 있는 4개의 로드셀 중에서 한 로드셀 압력신호를 Fig. 3 은 나타내었다.

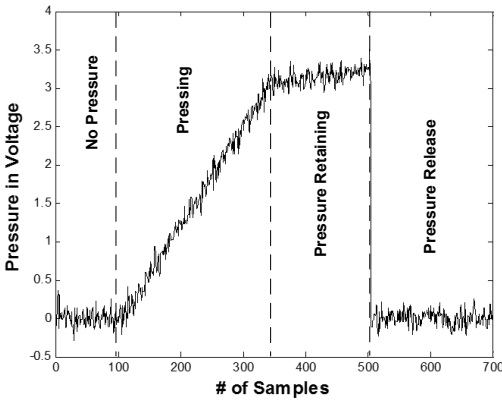


Fig 3: Simulated Signal

압력판이 정상상태일 경우 판이 평행하다는 의미이고 로드셀 센서 4개에서 나오는 가압시점의 신호가 거의 유사한 시간대에 올라올 것이다. 판이 평행하지 않으면 각 채널마다 조금씩 시간 차이가 날 것이다. 따라서 가압시점과 압력 유지시점을 특성신호 1과 특성신호 2로 정하고 특성신호 1과 2를 채널 별로 특성신호의 차이를 구한 뒤 이를 통해 통해 상판의 비정렬 상태를 모니터링 하는 것을 제안한다.

압력 신호의 노이즈를 줄이기 위해 이동평균필터(moving average filter)를 사용했고, 경계점을 찾기 위해 미분필터(Difference Filter)도 적용하였다.

합성한 필터는 Fig. 4에 나타내었다. 이 필터와 원신호를 합성곱(convolution)한 결과가 Fig. 5 나 있으며, 이 신호에 정적 역치(static threshold)를 적용해 특성신호인 가압시작 시점과 압력유지 시점을 찾아냈다 [5].

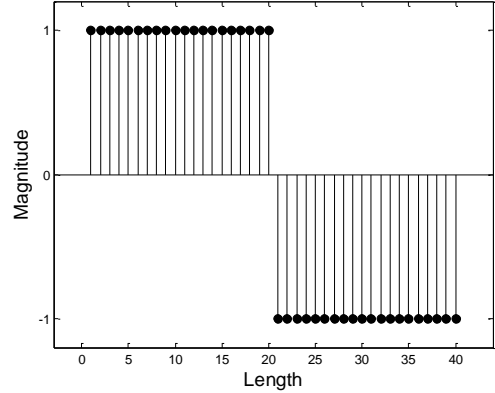


Fig 4: Moving Average and Difference Filter

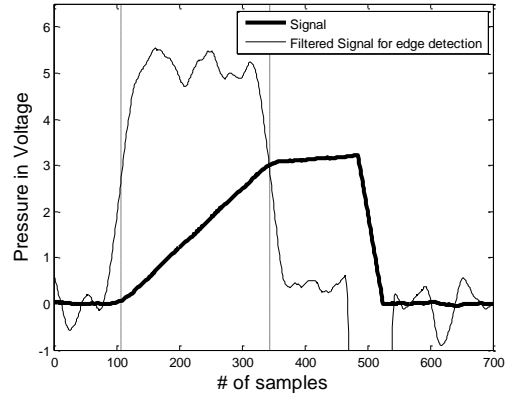


Fig 5: Result of Finding Edge

실제가압 시점과 앞에서 제시한 윤곽검출(edge detection)을 통해 구한 시점의 차이를 나타내는 에러를 구하는 공식은 다음 식 (1) 과 같다.

$N$  = 실제 가압 시점  
 $N'$  = 알고리즘을 통해 계산된 가압시점

$$\text{Error} = \frac{|N - N'|}{N} \times 100 \quad (1)$$

최적화한 이동평균필터의 길이를 구하기 위해 길이에 변화를 주면서 에러율을 계산한 결과를 Table

1 에 나타내었다. 길이가 작을수록 계산시간은 줄어들지만 그 차이는 미미하고 필터 길이가 50을 넘어가는 순간부터는 에러율의 변화가 거의 없고 계산시간만 늘어나기 때문에 길이는 40개를 설정하였다.

Table 1: Error Results by Filter Length

Length	Error 1 (%)	Error 2 (%)	Computational time (sec)
10	5.96	1.06	2.2013e-05
20	1.15	0.53	2.4106e-05
30	1.02	0.43	2.8339e-05
40	0.99	0.39	3.9044e-05
50	1.00	0.38	4.2379e-05

여타 경계점 추출 알고리즘과의 성능을 비교하기 위해 Gaussian Derivatives Filter, Triangle Filter, Mexican Hat Filter를 로드셀 압력신호와 합성곱한 결과를 이용해 구한 에러율과 계산시간을 Table 2 에 나타내었다. 계산시간은 4개의 필터 모두 거의 차이가 없었고, 에러율에서는 제안된 알고리즘이 가압 시작 시점 (0.99%의 에러율) 과 압력 유지 시점 (0.39%의 에러율)을 가장 우수하게 찾아내는 것을 확인하였다. 또한 알고리즘이 현장에서 실시간으로 사용되어야 하기 때문에 필터 디자인의 용이성도 다른 필터와 비교하여 효과적임을 보였다.

Table 2: Error Results

	Difference Filter	Gaussian Derivatives Filter	Triangle Filter	Mexican hat Filter
Comp. Time (sec)	3.4366e-05	2.3329e-05	1.3890e-05	1.4759e-05
Error 1 (%)	0.99	1.13	1.02	7.36
Error 2 (%)	0.39	0.50	0.43	2.03

### 2.3 육면체의 부피를 통한 판의 기울어짐의 실시간 모니터링

로드셀 압력신호가 4개의 센서를 통해 취득된다는 점에 착안하여 가압시작 시점의 데이터를 육면체의 부피로 계산하여 에러를 정량화하는 방법을 사용한다. 장비가 정상 상태일 때 4개 채널의 센서들의 가압시작 시점은 전부 같고 그렇지 않을 경우에는 가압시작 시점이 차이가 발생한다. 로드셀 압력센서의 가압시작 시점 데이터  $x_i$  를 다음 식 (2)과 같이 정

의한다.

$$x_i = \text{contact time of position } i, \quad i=1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

이 데이터를 기반으로 채널 별로 매 사이클마다 취득되는 4개의  $x_i$  를 비교하여 가장 작은 값을 구한 뒤 그 값과  $x_i$  의 차이를 다음 식 (3)과 같이  $h_i$  로 정의한다.

$$h_i = x_i - \min(x_1, x_2, x_3, x_4) \quad \text{for } i=1,2,3,4 \quad (3)$$

$h_i$  를 육면체의 윗면의 꼭지점으로 하고 한 변이  $s$  인 정사각형을 밑면으로 하는 육면체를 Fig. 6같은 형태로 만들었다.

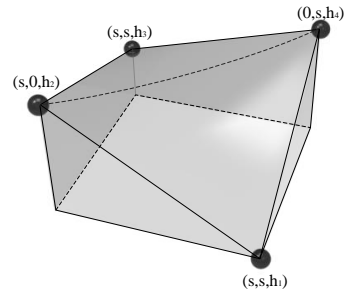


Fig 6: Hexahedron (if  $x_i = \min(x_1, x_2, x_3, x_4)$ )

이 육면체의 부피는 정량화된 Error를 나타내는 것으로 채널들간의 압력차이가 작을수록  $h_i$  가 작기 때문에 부피가 작고, 압력차이가 클수록  $h_i$  가 크기 때문에 부피가 크다. 이 부피는 상판과 하판의 상대적인 기울어짐 또는 뒤틀어짐의 정도를 나타낸다.  $s$  를 밑면 정사각형 한 변의 길이라고 했을 때, 그림과 같은 육면체의 부피는 식 (5)와 같다.

$$\text{Volume} = s^2 \times \left( \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} \right) \quad (4)$$

### 2.4 실제 데이터 적용

Fig. 7은 실제 데이터들의 특성신호를 통해 만들어진 육면체들의 부피를 통해 구한 로드셀 압력값들의 에러이다. 육면체의 부피를 통해 기계의 상태의 경향성과 UCL (Upper Control Limit)과 LCL (Lower Control Limit) 을 통해 기계의 상태 진단이 가능하다는 것을 확인하였다. Error값이 경계선 내

에 있지 않을 경우 기기의 이상이 생긴 것이라 판단 할 수 있는 가이드 라인을 보여주고 이를 통해 현장의 엔지니어들이 Error의 값을 통해 판의 기울어짐을 실시간으로 모니터링 할 수 있게 한다.

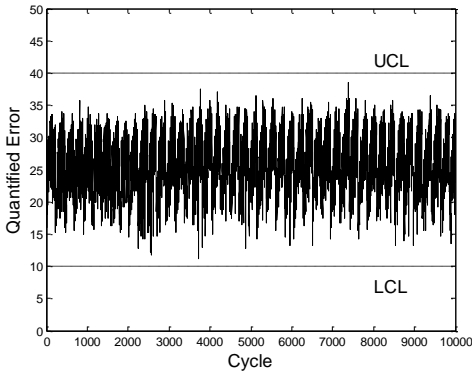


Fig 7: Volume of Hexahedron

### 3. 결 론

본 논문에서는 MLCC 적층기의 상태기반 모니터링에 특성신호를 통한 기계의 이상진단 알고리즘을 소개하였다. 알고리즘을 통해 기계의 상태를 예지보전할 수 있도록 특성신호를 추출하고 실제 기계를 다루는 엔지니어들이 기계의 이상정도를 쉽게 알 수 있도록 에러를 수치화하는 것에 대해 연구하였다. 향후 더 많은 데이터에 기반으로 신뢰성 있는 역치 설정 알고리즘을 개발할 계획이다..

### 후 기

본 연구는 BK21플러스 특화전문인재양성사업 및 2013년 UNIST (울산과학기술대학교) 연구비 (과제 번호: 1.13005301)에 의하여 연구되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. Shin, H., *Investigation of useful or deleterious residual thermal stress component to the capacitance of a multilayer ceramic capacitor.* Microelectronic Engineering, 2004. **77**(3-4): p. 270-276.
2. Jardine, A.K.S., *A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance.* Mechanical Systems and Signal Processing, 2005. **20**(7): p. 1483~1510.
3. Sanggeuk, J., *Research on nonlinear characteristics of vibration from MLCC.* Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, 2014. **24**: p. 394 ~ 395.
4. Sohn, H., *A review of structural health monitoring literature: 1996-2001.* 2004.
5. Canny, J., *A Computational Approach to Edge Detection.* Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE, Transactions on, 1986(6).