

## 프레스 공정에서의 불량품 자동 검출을 위한 다양한 음향방출 신호의 분석

김동훈\*, 박세명#, 이원규\*\*

### Analysis of Various Acoustic Emission Signal for the Automatic Detection of Defective Manufactures in Press Process

Dong-Hun Kim\*, Se-Myung Park#, Won-Kyu Lee\*\*

(Received 7 May 2010; received in revised form 18 August 2010; accepted 26 August 2010)

#### ABSTRACT

Small cracks or chips of a product appear very frequently in the course of continuous production of an automatic press process system. These phenomena became the cause of not only defective product but also damage of a press mold. In order to solve this problem AE(Acoustic emission) system was introduced. AE system was expected to be very effective to real time detection of the defective product and for the prevention of the damage in the press molds. In this study, for the pick and analysis of AE signals generated from the press process, AE sensors/pre-amplifier/analysis and processing board were used as frequently found in the other similar cases. For the analysis and processing the AE signals picked in real time from the normal or the detective products, specialized software called AE-win(software for processing AE signal from Physical Acoustics Corporation) was used. As a result of this work it was conformed that intensity and shape of the various AE signals differ depending on the weight of the press and thickness of sheet and process type.

Key Words : press (프레스), Acoustic Emission (음향방출), signal processing (신호처리)

#### 1. 서 론

현대의 생산시스템은 그 효율을 높이기 위하여 자동·무인화를 지향하고 있다. 이에 따라 최근의 생산시스템에서는 예전부터 숙련된 작업자들의

감각에 의존하여 수행되었던 각종 검사들이 센서와 같은 기기들로 대체되어 이루어지고 있다.

이에 따라 프레스 공정에도 무인 불량품 자동 검출 시스템의 필요성이 요구되고 있다.<sup>[1]</sup>

음향방출을 이용한 기술들은 10여 년 전부터 활발하게 적용되어 비 파괴적 재료의 내부 탐색, 밀링이나 드릴링 작업 시 공구마모 등을 감시하기 위한 용도로 널리 사용되어 왔으나<sup>[2][3]</sup> 프레스 작업 시 제품의 불량을 자동으로 판별하기 위한 용도로 쓰인 경우는 없었다. 따라서 새로운

\* 울산대학교 대학원 기계자동차공학과

# 교신저자 : 울산대학교 대학원 기계자동차공학과

E-mail : oneof@naver.com

\*\* 울산대학교 대학원 기계자동차공학과

검사방법으로 음향방출을 이용한 불량품 검출 시스템을 고안하였다.

본 연구에서는 음향방출신호를 불량품 검출 시스템에 이용하기 위하여 하중이 다른 다수의 프레스에서 다양한 형태의 제품과 그 제품의 두께에 따른 음향신호를 비교하고 분석하여 어떠한 분석법을 사용하는 것이 실시간 불량품 검출에 가장 효과적이고 정확한지 판단하였다.

### 기호설명

- $f(t)$  = incoming signal
- $a(t)$  = final signal
- $\omega_f(t)$  = filter function
- $\omega_a(t)$  = amplifier function
- $\omega(t)$  = transfer function

## 2. 음향방출 이론

### 2.1 음향방출신호

음향방출이란 고체내부에서 국부적으로 형성된 변형 에너지가 급격히 해소되면서 발생하는 탄성파를 말한다. 초기에는 지진학에서 단층운동 특성을 감지하는데 사용되어지다 1960년대에 재료특성 연구 등의 공학 분야에 응용 되었다.<sup>[4]</sup>

### 2.2 음향방출신호의 측정

음향방출신호는 재료표면의 미세한 움직임을 검출소자에서 전기적 신호로 변환시켜 탐지한다. 탐지 된 신호들은 필터링 되고 증폭 된 후 컴퓨터에서 처리된다.

Fig. 1은 음향방출신호의 전달과정을 함수로 나타 낸 것이다. 여기에서 보여 지듯이 본 연구에서 쓰 인 방식도 선형적이라고 할 수 있다. 또한, 모든 실험에서의  $\omega_f(t)$ ,  $\omega_a(t)$ ,  $\omega(t)$ 가 모두 같은 값이므로 받아들여지는  $f(t)$  값에 따른 최종

$a(t)$  값을 다른 변환 없이 비교하여도 무방하다는 결론을 얻었다.<sup>[5]</sup>

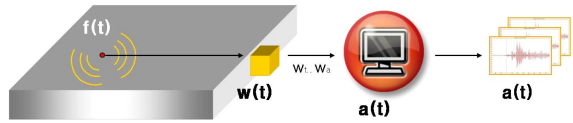


Fig. 2 Transfer function.

### 2.3 음향방출신호의 해석방법

음향방출 신호의 해석은 크게 음향방출 신호의 크기로 표현되는 활성도의 해석법과 신호의 모양과 관련된 파형의 분석에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 활성도의 해석법과 파형분석법을 비교하여 어떠한 해석법이 실시간 불량품 검출에 더 적합한지 비교·분석하였다.<sup>[6][7]</sup>

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치

Fig. 3과 같이 본 장치는 프레스 공정의 불량품 검출 시스템으로서 프레스 금형의 한 쪽 측면에 부착이 가능하도록 설계되었다. 정상적인 작업 공정 시 수신된 신호분석에 의해 얻어진 그래프를 기준으로 설정하여 비교한 뒤 가공품의 불량여부를 판단 한다.<sup>[8]</sup> 앞에서 언급된 증폭기의 값  $\omega_a(t)$ 는 개인 값을 `20dB로 설정하였으므로 10배 증폭 값을 가지며 필터  $\omega_f(t)$ 는 Table. 5에서와 같이  $4\mu V$ 이하의 전압은 걸러준다.

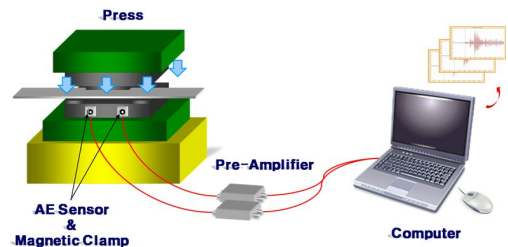

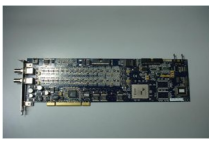
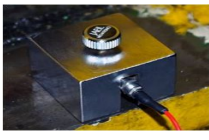


Fig. 3 Equipment of experiment.

**Table 1 Pictures of equipment**

| Name   | Picture   |
|--|---|
| Physical acoustics corporation<br>R15a sensor &<br>2/4/6 pre-amplifier |  |
| PCI-2 AE Board   |  |
| Magnetic clamp   |  |

위 **Table. 1**은 각 실험장치의 사진을 나타낸 것이고, 각 장치에 대한 세부사양은 아래 **Table. 2, 3, 4, 5**에서 자세하게 설명하였다.

**Table 2 Specification of sensor**

|                          |                           |              |
|--------------------------|---------------------------|--------------|
| Operating Specifications | Dynamic Peak Sensitivity  | 69 [-63] dB  |
|                          | Operating Frequency Range | 50 - 200 kHz |
|                          | Resonant Freq.            | 75 [150] kHz |
|                          | Directionality            | ±1.5 dB      |

**Table 3 Specification of board**

|            |                    |                                |
|------------|--------------------|--------------------------------|
| Electrical | AE Inputs          | 2channels                      |
|            | Input Impedance    | 50 ohm or 1000 ohm,            |
|            | Frequency Response | 1 kHz - 3 MHz (at-3 dB points) |

**Table 4 Specification of clamp**

|          |                  |             |
|----------|------------------|-------------|
| Physical | size             | 50*50*30 mm |
|          | attraction power | 80kgf       |

**Table 5 Specification of pre-amplifier**

|            |                   |  |
|------------|-------------------|--|
| Electrical | Gain Selectable   | 2/4/6 dB ± 0.5%dB  |
|            | Input Impedance   | 10K ohms// 15pF  |
|            | Operating Current | 30mA (With AST Installed),<br>28mA (Without AST Installed) |
|            | Dynamic Range     | 75dB (Utilizing an R15 Sensor),<br>80dB (50 ohms Input)    |
|            | Noise (RMS rti)   | max 4μV  |
| 20 dB      | Bandwidth         | 10kHz-2.5MHz   |
|            | Output Voltage    | 20Vpp  |
|            | CMDR              | 42dB   |
| 40 dB      | Bandwidth         | 10kHz-2.0MHz   |
|            | Output Voltage    | 20Vpp  |
|            | CMDR              | 42dB   |
| 60 dB      | Bandwidth         | 10kHz-900kHz   |
|            | Output Voltage    | 6Vpp   |
|            | CMDR              | 42dB   |

### 3.2 실험방법

참고 문헌 참조.<sup>[8]</sup>

### 4. 음향신호 비교 분석

프레스공정에서 생산시간은 길지만 공정의 특성 상 신호의 발생시간은 짧다. 따라서 원본 데이터인 Wave form을 이용한 그래프는 한 이벤트의 지속시

간이 0~250 ms이고 이외의 가공 데이터들은 1초 동안의 그래프로 나타내었고 총 실험 횟수는 각 제품별 3만회 이상이다. 또한 유효숫자의 자리 수는 4자리이다. 아래의 Fig. 5, 6은 150톤 프레스에서 생산되는 제품 중 본 연구에 사용되어진 제품의 대략적인 도면과 프레스 금형에 부착된 센서의 위치를 표현한 그림이다. 그리고 Table. 6은 150톤 프레스와 제품의 자세한 사양이다.

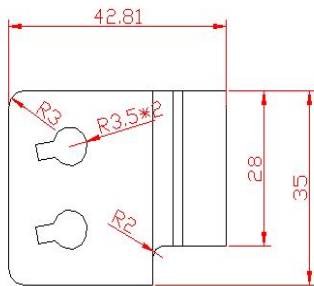


Fig. 5 Drawing of product 28421-26910-2

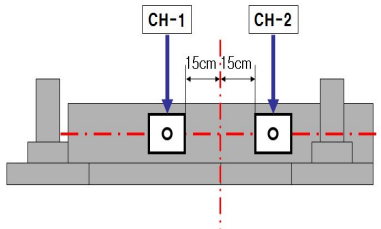


Fig. 6 Picture of 150ton press with AE sensors

Table 6 Specification of 150ton press

|                     |                                 |               |
|---------------------|---------------------------------|---------------|
| Product             | Product number                  | 28421-26910-2 |
|                     | Thickness (mm)                  | 1.6           |
| Press               | Weight (ton)                    | 150           |
|                     | Die height (mm)                 | 350~450       |
|                     | SPM (SPM)                       | 20~40         |
|                     | Bolster area (mm <sup>2</sup> ) | 2150×750      |
|                     | Slide area (mm <sup>2</sup> )   | 1600×500      |
|                     | Stroke length (mm)              | 200           |
|                     | Main motor (KW×P)               | 15×4          |
| Adjust motor (KW×P) | 1.5×4                           |               |

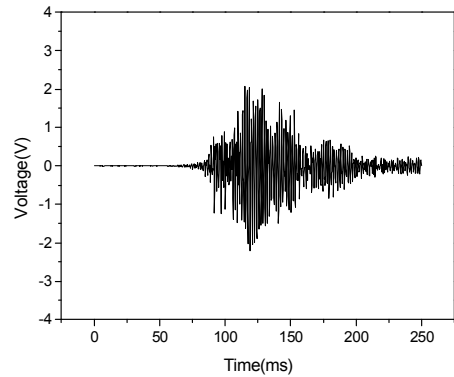


Fig. 7 Waveform graph of normal product from ch-1 in 150ton press

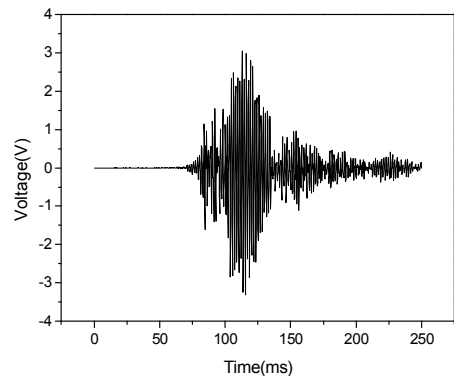
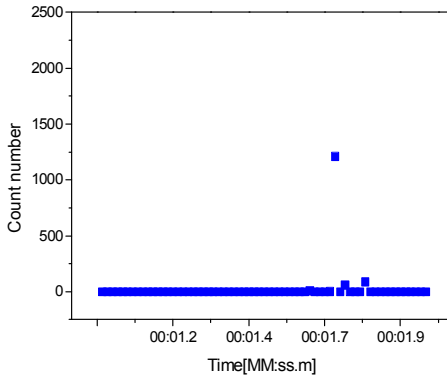
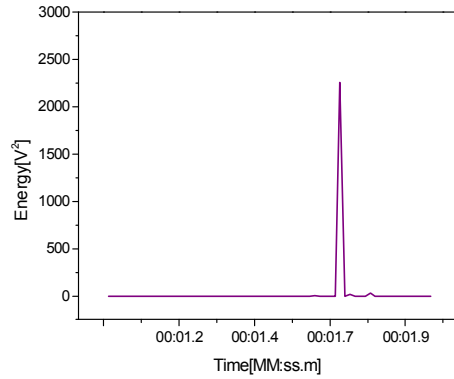


Fig. 8 Waveform graph of defective product from ch-1 in 150ton press

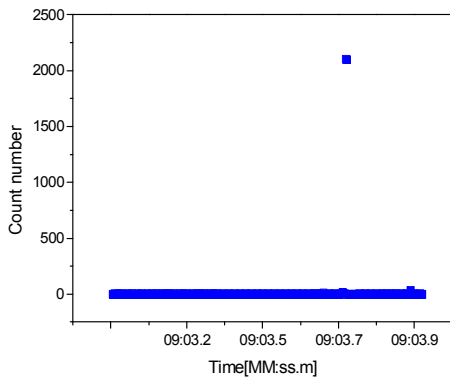
위 Fig. 7, 8은 150톤 프레스의 ch-1로 부터 받은 원본 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 정상제품과 불량제품을 비교해보면 최대전압 값이 차이가 정상제품의 경우 2.076 V이고 불량제품의 경우 3.051 V로 불량제품의 최대전압 값이 더 높은 것을 확인할 수 있다.



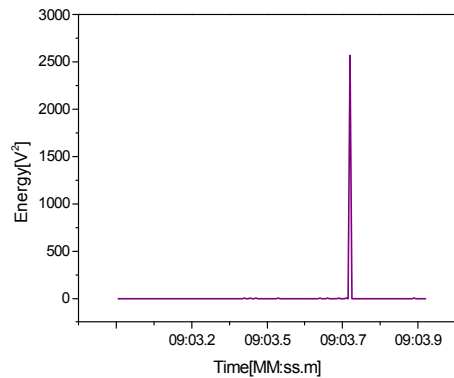
**Fig. 9** Count graph of normal product from ch-1 in 150ton press



**Fig. 11** Energy graph of normal product from ch-1 in 150ton press



**Fig. 10** Count graph of defective product from ch-1 in 150ton press



**Fig. 12** Energy graph of defective product from ch-1 in 150ton press

위 Fig. 9, 10은 150톤 프레스의 ch-1로 부터 받은 원본 데이터를 AE-Win(Physical Acoustics Corporation에서 만든 음향방출신호 가공전용 프로그램) 프로그램으로 가공하여 신호의 개수를 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프에서 보면 정상제품에서 1213개, 불량제품에서 2104개로 최대전압 값만 아니라 총 신호의 개수도 많은 것을 알 수 있다.

위 Fig. 11, 12는 각 제품의 생산 시 총에너지를 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프에서 보면 불량제품에서 최대전압 값과 총 신호의 개수 그리고 총 에너지의 값까지 높은 것을 알 수 있다. 하지만 총 에너지의 값은 정상제품에서는  $2257 V^2$ 이고 불량제품에서는  $2569 V^2$ 로 많은 차이를 보이지 않는다. 따라서 한 공정 당 에너지의 값은 거의 일정하다고 볼 수 있다.

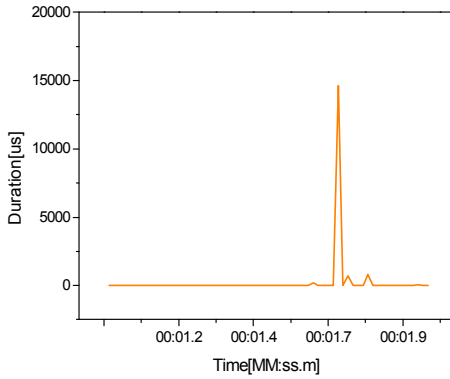


Fig. 13 Duration graph of normal product from ch-1 in 150ton press

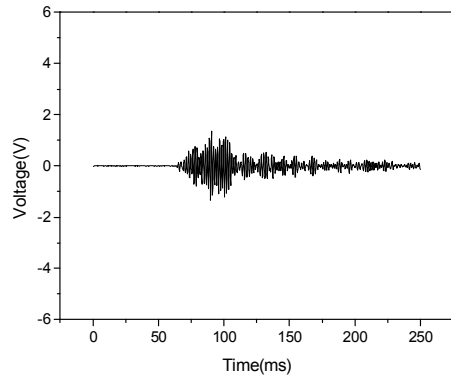


Fig. 15 Waveform graph of normal product from ch-2 in 150ton press

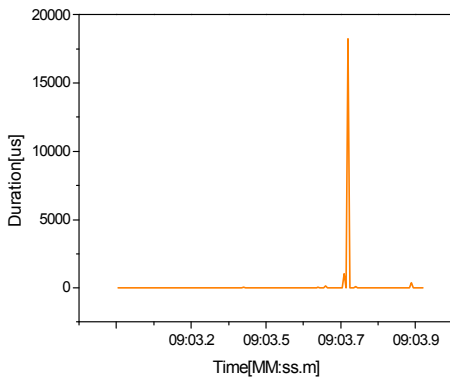


Fig. 14 Duration graph of defective product from ch-1 in 150ton press

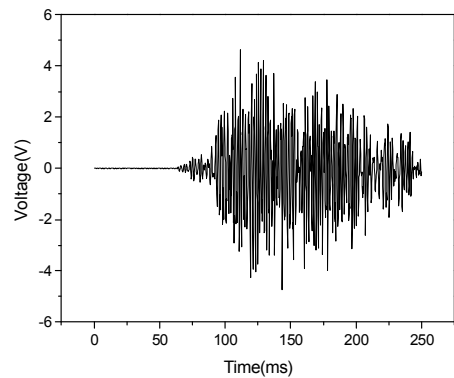


Fig. 16 Waveform graph of defective product from ch-2 in 150ton press

위 Fig. 13, 14는 각 제품의 생산 시 신호의 길이를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프로 보면 많은 차이를 나타내는 것처럼 보이지만 실제 시간으로 계산해보면 정상제품에서는 14630  $\mu s$  이었고 불량제품에서는 18250  $\mu s$  으로 3.618 ms의 차 밖에 보이지 않았다. 따라서 한 공정 당 신호의 길이 또한 일정하다고 볼 수 있다.

위 Fig. 15, 16은 150톤 프레스의 ch-2로 부터 받은 원본 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. ch-2의 데이터도 ch-1의 데이터와 거의 흡사한 결과를 얻을 수 있다. 정상제품과 불량제품을 비교해보면 최대전압 값이 차이가 정상제품의 경우 1.351 V이고 불량제품의 경우 4.644 V로 불량제품의 최대전압 값이 더 높은 것을 확인할 수 있다.

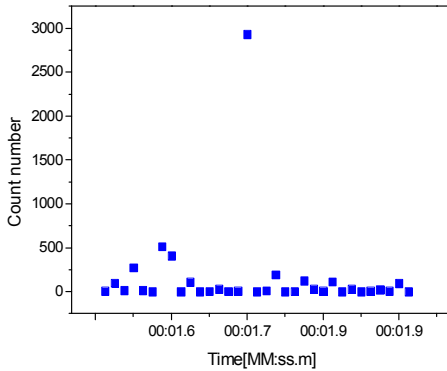


Fig. 17 Count graph of normal product from ch-2 in 150ton press

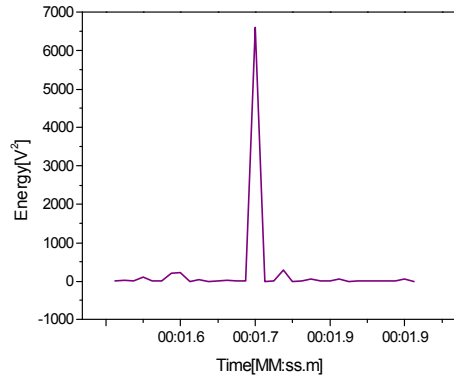


Fig. 19 Energy graph of normal product from ch-2 in 150ton press

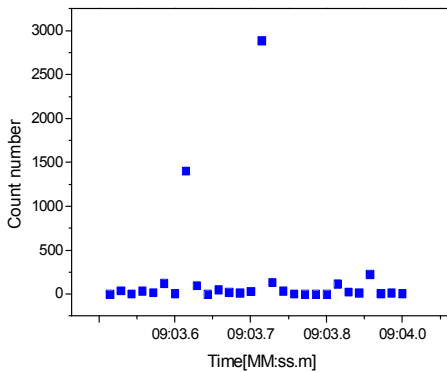


Fig. 18 Count graph of defective product from ch-2 in 150ton press

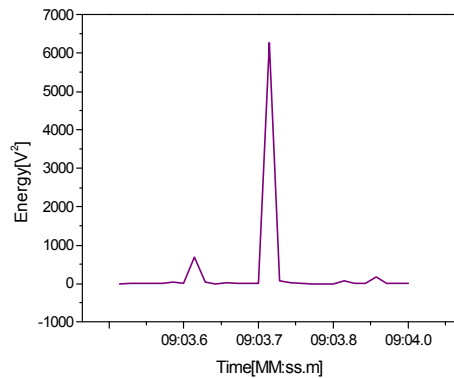


Fig. 20 Energy graph of defective product from ch-2 in 150ton press

위 Fig. 17, 18은 150톤 프레스의 ch-2로 부터 받은 원본 데이터를 AE-Win 프로그램으로 가공하여 신호의 개수를 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프에서는 앞의 ch-1과 다르게 정상제품에서 2933번, 불량제품에서는 2887번으로 오히려 정상제품에서 많은 신호의 개수를 확인 할 수 있다. 따라서 신호의 개수는 최대 전압과는 아무런 상관 관계가 없다는 것을 확인 할 수 있다.

위 Fig. 19, 20은 각 제품의 생산 시 총에너지를 그래프로 나타낸 것이다. 총에너지의 값은 정상제품에서는  $6599 V^2$ 이었고 불량제품에서는  $6277 V^2$ 로 많은 차이를 보이지 않는다. 또한 Fig. 17, 18의 경우와 같이 한 공정 당 에너지의 값 또한 최대 전압과는 아무런 상관 관계가 없다는 것을 확인 할 수 있다.

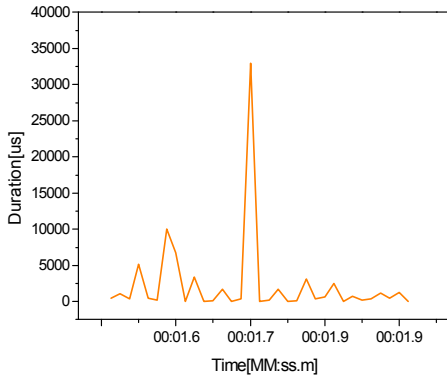


Fig. 21 Duration graph of normal product from ch-2 in 150ton press

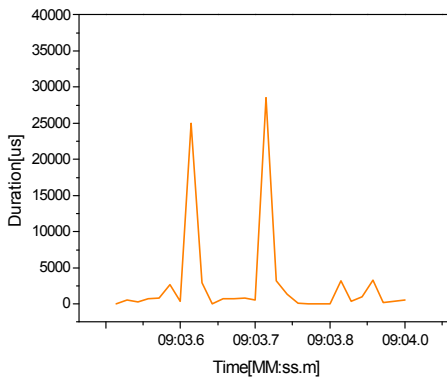


Fig. 22 Duration graph of defective product from ch-2 in 150ton press

위 Fig. 21, 22는 각 제품의 생산 시 신호의 길이를 그래프로 나타낸 것이다. 정상제품에서는 33000  $\mu s$  이었고 불량제품에서는 28520  $\mu s$ 으로 4.479 ms의 차 밖에 보이지 않는다. 또한 Fig. 19, 20의 경우와 같이 한 공정 당 신호의 길이 또한 최대 전압과는 아무런 상관 관계가 없다는 것을 확인할 수 있다.

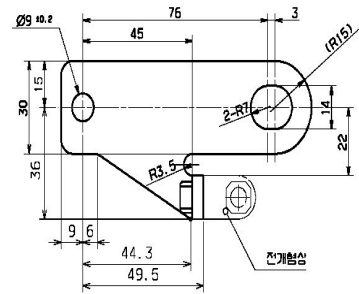


Fig. 23 Drawing of product 28413-22020P0

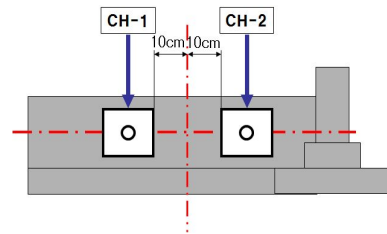


Fig. 24 Picture of 200ton press with AE sensors

Table 7 Specification of 200ton press

| Product             | Product number                  | 28413-22020P0 |
|---------------------|---------------------------------|---------------|
|                     | Thickness (mm)                  | 4.5           |
| Press               | Weight (t o n)                  | 200           |
|                     | Die height (mm)                 | 360~480       |
|                     | SPM (SPM)                       | 18~35         |
|                     | Bolster area (mm <sup>2</sup> ) | 2500×850      |
|                     | Slide area (mm <sup>2</sup> )   | 1850×850      |
|                     | Stroke length (mm)              | 250           |
|                     | Main motor (KW×P)               | 22×4          |
| Adjust motor (KW×P) | 1.5×4                           |               |

위의 Fig. 23, 24는 200톤 프레스에서 생산되는 제품 중 본 연구에 사용되어진 제품의 대략적인 도면과 프레스 급형에 부착된 센서의 위치를 표현한 그림이다. 그리고 Table. 7은 200톤 프레스와 제품의 자세한 사양이다.



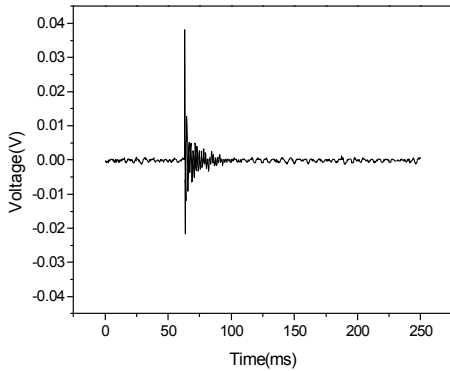


Fig. 25 Waveform graph of normal product from ch-1 in 200ton press

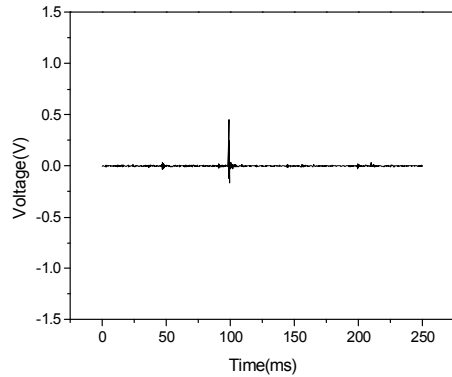


Fig. 27 Waveform graph of normal product from ch-2 in 200ton press

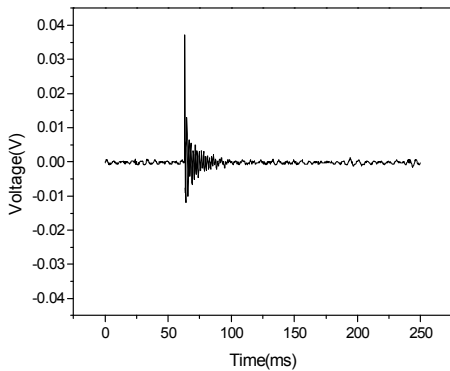


Fig. 26 Waveform graph of defective product from ch-1 in 200ton press

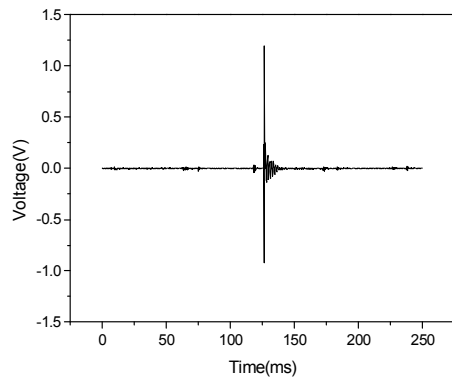


Fig. 28 Waveform graph of defective product from ch-2 in 200ton press

위 Fig. 25, 26은 200톤 프레스의 ch-1로 부터 받은 원본 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 정상제품과 불량제품을 비교해보면 정상제품의 경우 0.03815 V이고 불량제품의 경우 0.03723 V로 두 제품의 최대전압 값이 비슷한 것을 확인할 수 있다. 따라서 200톤 프레스의 ch-1의 경우에는 불량품 판단이 불가능 하다.

위 Fig. 15, 16은 200톤 프레스의 ch-2로 부터 받은 원본 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. ch-2의 데이터는 ch-1의 데이터와 아주 다른 결과를 얻을 수 있다. 정상제품과 불량제품을 비교해보면 최대전압 값이 차이가 정상제품의 경우 0.4550 V이고 불량제품의 경우 1.198 V로 불량제품의 최대전압 값이 더 높은 것을 확인할 수 있다.

200톤 프레스에서는 ch-1에서 불량제품과 정상제품의 최대전압 값이 거의 비슷한 것을 확인할 수

있다. 하지만 **ch-2**에서는 아주 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 불량제품과 정상제품의 신호 비교 시 채널 즉, 센서의 부착 위치가 아주 중요함을 알 수 있다.

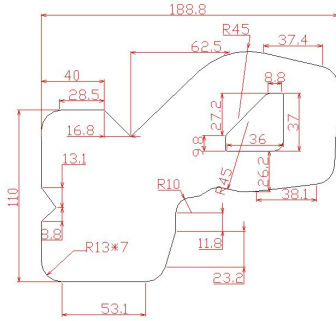


Fig. 29 Drawing of product 47315-3910P1

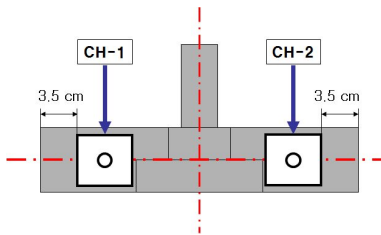


Fig. 30 Picture of 250ton press with AE sensors

Table 8 Specification of 250ton press

|         |                                 |              |
|---------|---------------------------------|--------------|
| Product | Product number                  | 47315-3910P1 |
|         | Thickness (mm)                  | 4.5          |
| Press   | Weight (ton)                    | 250          |
|         | Die height (mm)                 | 430~550      |
|         | SPM (SPM)                       | 16~30        |
|         | Bolster area (mm <sup>2</sup> ) | 2750×920     |
|         | Slide area (mm <sup>2</sup> )   | 2100×700     |
|         | Stroke length (mm)              | 280          |
|         | Main motor (KW×P)               | 22×4         |
|         | Adjust motor (KW×P)             | 1.5×4        |

위의 Fig. 29, 30은 250톤 프레스에서 생산되는 제품 중 본 연구에 사용되어진 제품의 대략적인 도면과 프레스 금형에 부착된 센서의 위치를 표현한

그림이다. 그리고 Table. 7은 250톤 프레스와 제품의 자세한 사양이다.

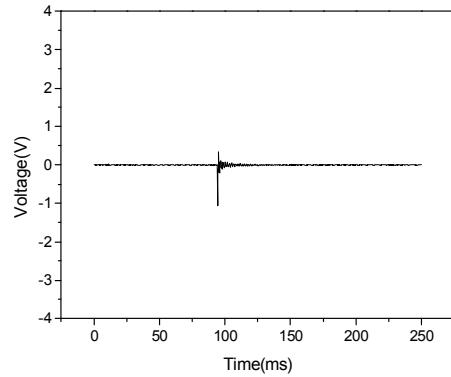


Fig. 31 Waveform graph of normal product from ch-1 in 250ton press

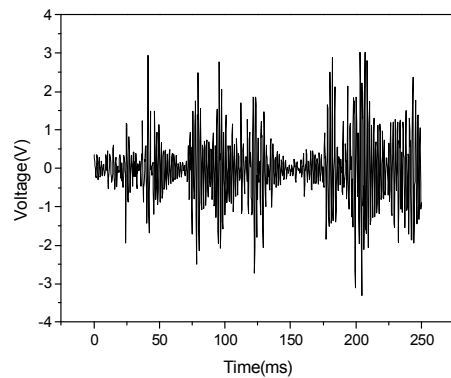


Fig. 32 Waveform graph of defective product from ch-1 in 250ton press

위 Fig. 31, 32는 250톤 프레스의 **ch-1**로 부터 받은 원본 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 정상제품과 불량제품을 비교해보면 최대전압 값이 차이가 정상제품의 경우 0.3455 V이고 불량제품의 경우 3.027 V로 불량제품의 최대전압 값이 더 높은 것을 확인할 수 있다.

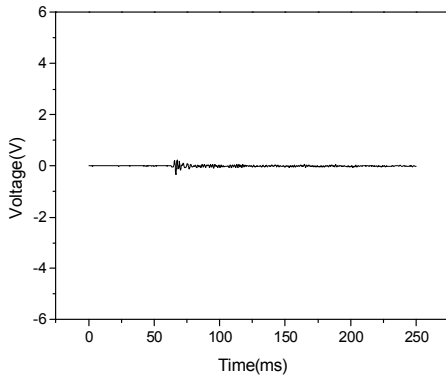


Fig. 33 Waveform graph of normal product from ch-2 in 250ton press

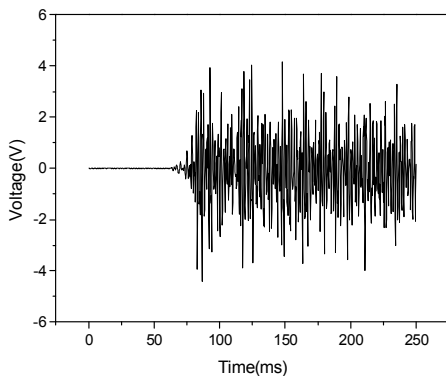


Fig. 34 Waveform graph of defective product from ch-2 in 250ton press

위 Fig. 33, 34는 250톤 프레스의 ch-2로 부터 받은 원본 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. ch-2의 데이터도 ch-1의 데이터와 거의 흡사한 결과를 얻을 수 있다. 정상제품과 불량제품을 비교해보면 최대 전압 값이 차이가 정상제품의 경우 0.2301 V이고 불량제품의 경우 4.165 V로 불량제품의 최대전압 값이 더 높은 것을 확인할 수 있다.

Table 9 Voltage by Sensor Location

|         | Channel - 1           |                       | Channel - 2         |                    |
|---------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
|         | normal                | detective             | nonmal              | detective          |
| 150 ton | -2.210~<br>2.076V     | -3.315~<br>3.051V     | -1.325~<br>1.351V   | -4.733~<br>4.644V  |
| 200 ton | -0.02167~<br>0.03815V | -0.01190~<br>0.03723V | -0.1635~<br>0.4550V | -0.9219~1<br>.198V |
| 250 ton | -1.064~<br>0.3455V    | -3.303~<br>3.027V     | -0.3284~<br>0.2301V | -4.414~<br>4.165V  |

위의 Table. 9는 각 프레스에서 채널별 최대 전압과 최소전압 값의 범위를 표로 나타낸 것이다.

## 5. 결론

원본 음향방출 데이터들과 이를 바탕으로 하여 가공된 데이터들로 프레스 가공에서의 정상제품과 불량제품들을 분석하였다. 가공된 데이터는 프레스 가공에서 음향신호의 분석에 큰 도움이 되었다. 하지만 실시간 불량제품을 판단하기는 어려울 것으로 판단된다,

위 Table. 9에서 보여 지듯이 최대 전압 값 만으로도 불량품 검출에는 아무 문제가 없다. 하지만 200톤 프레스의 ch-1과 같이 불량제품과 정상제품의 최대전압 값이 비슷하여 판단이 어려울 경우는 더 많은 채널이 필요하다. 따라서 다음 연구에는 이번 기초연구의 결과를 바탕으로 좀 더 많은 채널과 원본데이터에서 음의 전압 값을 보정하기 위하여 실험 장비의 업그레이드와 실효값을 이용한 최대 전압 값이 실시간으로 출력되는 전용 프로그램을 이용할 것이다,

## 참고문헌

1. Min Seok Oh, Jong Sik Won and Youn Gyo Jung, "Detection of Built-up Edge by AE Signal Analysis," J. of KSPE, Vol. 16, No.3, pp. 18-24 , 1999.

2. Duck-Hyun Wang, Won-Il Kim, Jeong-Suk Lim, "The Mechanism and Detection of Tool Fracture using Sensor Fusion in Cutting Force and AE Signals for Small Diameter Ball-end Milling," J. of KSMPE, Vol.3, No. 3, pp. 24~31, 2004.
3. Su-Hoon Jang, Jin-Hyo Park, Ik-Soo Kang, Jeong-Suk Kim, "Multi-signal characteristics for condition monitoring of micro machined surface," J. of KSMPE, Vol.8, No. 1, pp. 31~36, 2009.
4. R. I. Kegg, On-line Machine and Process Diagnostics, Ann.CIRP, pp. 469-473, 1984.
5. Christian U. Grosse, Masayasu Ohtsu, Acoustic Emission Testing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 20-23, 2008.
6. N. N. Hsu, Dynamic Green's Function of An Infinite Plate-a Computer Program, NBSIR 85-3234, pp. 93-94, 1985.
7. Jong O. Lee, "Acoustic Emission and its Applications," J. of KSNT, Workshop, pp. 43, 2003.
8. Dong-Hun Kim, Won-Kyu Lee, "A judgment algorithm of the acoustic signal for the automatic defective manufactures detection in press process ," J. of KSMPE, Vol.9, No. 3, pp. 76~82, 2010.