

## 와이어 인발가공에 있어서 음향방출 발생 특성

이완규\*, 박준서\*, 최만용\*\*

### Acoustic Emission Monitoring Fine Wire Drawing Process

M.Y.CHOI, W.G.Lee, J.D. Park

#### Abstract

From a manufacturing standpoint it would be desirable to monitor the degradation of drawing die, that is essential for the maintenance of die quality, the evaluation of product integrity and the reducing scrap. Acoustic emission is powerful method in monitoring fine wire drawing process, especially in detecting the die fracture at early stage.

Experiments also suggested that acoustic emission sigals contained valuable information regarding the stage of a drawing process such as the surface appearance of products and the condition of lubrication. These informations are AE monitoring techniques a possible tool in monitoring the drawing process operation.

In order to approach this, this paper discusses the nature of acoustic emission signal presented which illustrate the effects of wire and die material, lubricants, and drawing speed on the generation and the mean voltage level of acoustic emission signal. From these experimental, results, we understood controlling factors of acoustic emission generation.

Keywords: Wire Drawing Process(선재가공), Acoustic Emission(음향방출)

Mean Voltage Level(전압크기), Process Monitoring(공정감시)

### 1. 서 론

와이어인발가공중 선재의 가공량이 증가함에 따라 가공재와 다이의 미끄럼 마찰에 의하여 다이직경이 변하게 되고 경우에 따라서 결함이 발생하기도 한다. 이와 같은

다이의 손상은 인발되는 선재의 재성질이나 그 표면상태 및 크기에 큰영향을 미치게 되므로 인발가공에 있어서 인발다이의 마손은 다이의 수명에 극히 중요한 문제이다.

다이의 손상은 다이의 교환과 재생에 따르는 비용의 중

\* 현대 엘리베이터(주)

\*\* 한국표준과학연구원 제측공학 연구그룹

가와 다이의 검사에 많은 시간을 필요로 하며, 최악의 경우에는 규격불량이나 결함이 있는 제품이 대량으로 생산될때까지도 다이의 마손이 검출되지 않는 경우가 현장에서 흔한 실정이다.

다이의 재료로서 공구강, 초경합금, 천연, 소결 다이아몬드 등이 이용되고 있으며, 내마모성이 뛰어난 보론등과 같은 재료의 사용이 검토되고 있는 한편, 윤활제의 성능 향상이나 윤활식의 개선에도 많은 노력이 기술되어지고 있으나 인발다이 특유의 마모를 방지하는것은 불가능하여 다이의 마모는 인발공업의 본질적인 한계로 드러나고 있다. 이에 다이수명의 향상에 대한 노력과 더불어 다이손상의 초기검출기술의 확립이 중요하게 되었다.

인발가공공정에 있어서 제품의 품질관리나 다이의 관리에는 일반적으로 와류탐상법 또는 육안관찰에 의한 표면결함의 검출, 마이크로 미터에 의한 직경측정법등이 행해지고 있기는 하나 직경이 2mm이하의 세선에는 와류탐상법의 적용이 불가능하고 오로지 육안과 다이수명의 경험적예측이라고 하는 인공적인판단에 의한 공정관리만이 행해지고 있다.

그런데 현재 재료평가나 압력용기등과 같은 구조물의 건전성평가에 널리 사용되는 AE법은 미시적인 파괴현상을 사용중상태에서 계측수 있어, 마모현상과 같은 미세한 현상의 검출수단으로 최적이라 할 수 있다.

이제까지 인발가공의 AE에 관련한 보고서는 眞崎<sup>1)~4)</sup>에 의한 윤활제의 평가, 佐藤<sup>5)</sup>에 의한 응착현상등에 관한 연구, 윤활문제의 일반에 관한 McBride 와 Lirgard<sup>6)~9)</sup>의 연구가 있다. 그러나 AE법을 이용한 인발가공의 공정감시에 대한 응용에 관해서는 아직까지 적극적인 연구가 이루어 지지 않고 있다.<sup>11)~11)</sup>

이에 필자들은 실제의 가공라인에서 위의 목적에 맞게 AE법을 적용할수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 현장가공라인에 있어서 AE계측의 유효성을 보이는 한예를 보임과 함께 다이의 재질과 다이 직경의 크기, 윤활제의 종류, 인발속도에 대한 AE의 의존성을 실험용 인발기를 사용하여 시험하고 인발가공에 있어서 AE의 성질을 검토하였다. 준비한 시험재는 특히 높은 품질이 요구되는 스프링용강선으로 제조공정에 있어서 품질평가기술의 확립이 시급한것을 선택하였다.

## 2. 이 론

### 2.1 가공인자의 종류

최적의 인발가공을 위해서는 윤활상태를 양호하게 유지해서 인발가공을 하는 것이 바람직하나 양호한 윤활이라하는 목적에 따라 다른 가공인자에도 주의를 기울여야 할 필요가 있다. 이를 위해서는 가공인자를 명확하게 하고 그 영향도를 파악하는 것이 바람직하다. 그러나 마찰과 윤활을 표현하는 적당한 척도가 명확하지 않기 때문에 각각의 가공인자를 유체윤활에 의존하는 항과 경계윤활에 의존하는 항으로 나누어 보면 Fig.1에 보이는 바와 같이 된다.

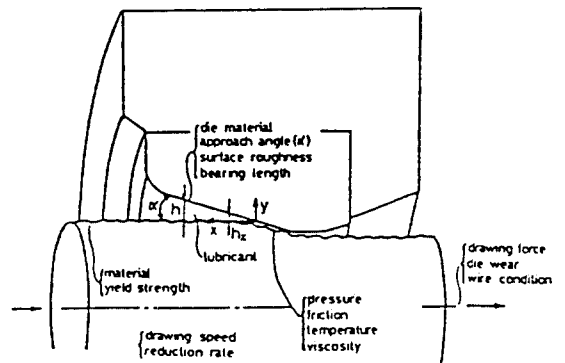


Fig. 1 Controlling factors of wire drawing

Fig.1의 각각의 가공인자에 있어서 먼저 유체윤활막의 생성에는 다이입구에 있어서의 다이어프로치각, 인발 속도, 윤활제 점도 및 그 온도 압력의 존성, 소재의 표면상태가 관계한다. 또한 다이와 재료의 접촉면에서의 유체윤활막에는 소재의 변형저항 및 가공도, 변형 및 마찰에 의한 발열, 다이 및 소재의 평면상태가 관계한다.

한편, 경계윤활에 있어서는 다이재질과 소재의 적합성, 윤활제의 화학적 물리적 성질에 의존하는 경계윤활성, 다이와 소재의 접촉상태가 영향을 미치고 이들이 서로 관계한다.

### 2.2 에너지소비율과 AE

Fig.2에 평면스트레인 인발가공에 있어서 가용속도장을 보인다. 다이면의 연장선과 중심선의 교점 O를 중심으로 한 원호의 면SA와 SB가 속도 불연속면이다. 직경이  $h_0$ 인 선재는 변형역을 따라 흘러 직경이  $h_1$ 으로 가

공된다. 다이의 어프로치각은  $\alpha$ 이고 인발속도는  $u_0$ 이다.

다이면에서 마찰에 대한 에너지 소비율  $W_f$ 는  $r$ 점에서의 선재면과 다이면과의 상대미끄럼속도를  $u_f$ , 마찰전단응력을  $\tau_f$ 라 하면

$$W_f = \int_A \tau_f u_f dA \quad (1)$$

로 된다. 여기서  $A$ 는 선재면과 다이의 한쪽면이 접촉하고 있는 결보기 면적이다. 선재의 항복전단응력을  $k$ 라 하면

$$\tau_f = mk (0 \leq m \leq 1) \quad (2)$$

여기서  $m$ 은 마찰계수이다.

식 (1) (2)에서

$$W_f = \int_A m k u_f dA \quad (3)$$

가용속도장에 의해

$$u_f = \frac{rB}{r} u_0 \cos \alpha \quad (4)$$

식 (4)를 (3)에 대입하고  $m$ 가 접촉면 전체에 걸쳐 균일하게 작용하고  $k$ 가 일정하다고 가정하면 단위폭당의 에너지 소비율  $W_{fb}$ 는

$$\begin{aligned} W_{fb} &= mk \int_{r_B}^{r_A} u_0 \frac{rB}{r} \cos \alpha dr \\ &= \frac{1}{2} mku_0(1-R_0)h_0 \cot \alpha \ln(1-R_0)^{-1} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $R_0$ 는 단면 감소율로서  $R_0 = (h_0 - h_1)/h_0$ 이다.

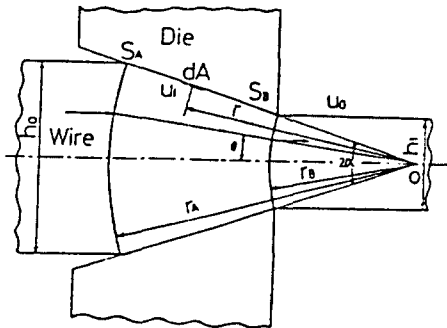


Fig 2. Schematic diagram of wire drawing

Fig.2의 기하학적인 관계에서 선재와 접촉하고 있는 다이면의 길이는

$$rA - rB = \frac{R_0 h_0}{1 \sin \alpha} \quad (6)$$

식 (5)의 양변의 식 (6)의 길이로 나누면 단위 면적당의 에너지 소비율  $W_{fA}$ 는

$$\begin{aligned} W_{fA} &= mku_0 \cos \alpha \frac{1-R_0}{R_0} \ln(1-R_0)^{-1} \\ &= mku \end{aligned} \quad (7)$$

여기서

$$u = u_0 \cos \alpha \frac{1-R_0}{R_0} \ln(1-R_0)^{-1} \quad (8)$$

이것은 다이면에서 선재의 평균미끄럼 속도를 의미하고 있다.

$V_{rme}$ 을 에너지량이라 하면  $V_{rme}$ 과  $W_{fA}$ 의 관계는

$$\begin{aligned} V_{rme} &= c W_{fA} \\ &= cmku \end{aligned}$$

로 된다. 여기서  $c$ 는 비례상수이다.

### 2.3 실효치전압과 평균치전압의 차이

실효치전압은 AE신호를 검파하여 RC회로로서 적분하여 직류출력으로 읽어내는 미소교류전압계를 사용하는 방법으로 제거한 평균진폭전압을 사용하는 방법이고 적당한 진폭설정치이상의 신호의 수를 계수하는 검파방식으로서도 이용할수 있다.

이들은 연속형 AE를 표시하는데 유효하다.

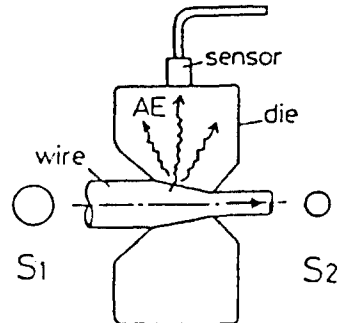


Fig. 3 AE source In wire drawing

### 2.4 AE발생원

Fig.3과 같은 와이어 인발과정에서는 선재는 인발력에 의해서 다이면을 따라 변형되어 가공되어진다. 따라서 이때 다음의 2개의 원인에 의해 탄성과 (AE)가 발생한다고 생각할수 있다.

- 1) 선재가 변형영역에 도달하여 소성변형할 때, 즉 전위의 운동에 의한 미시적인 에너지해방(소성변형에 따르는 AE)
- 2) 다이표면과 선재표면 사이의 미시적인 금속접촉부가 상대미끄러움을 할 때에 발생하는 에너지 해방 (미끄러움 마찰에 의한AE)

## 3. 실험방법

### 3.1 현장가공라인에 있어서 AE계측

전물식 습식 연속 인발기의 천연다이아몬드다이에 의해서 고강도 탄소강선 (피아노선재)JIS G 3502 의 SWRS 82 A (탄소량 0.82%) 극세선을 인발가공하면서 AE시험을 행하였다. 이 인발기는 개략적으로 Fig.4에 보이듯이 선재를 공급하는 회전 썬플라이, 인발콘과 직경을 순차 감소시킨 일련의 다이, 인발력전달용 회전 드럼이 있고 콘과 다이는 다이의 냉각을 겸비한 윤활조에 잠겨있다. 감시해야 할 다이는 요구되는 선의 직경과 단면형상의 정도를 목표로 한 표면상태로 제품을 만들어 내는 최종가공 다이가 중요하나 실험에 사용한 인발기의 경우 구조적인 제약 때문에 간단하게 행할 수가 없었다. 그래서 Fig.4와 같이 최종다이 앞의 2개의 다이아몬드 다이에 대해서 AE 계측을 행하였다.

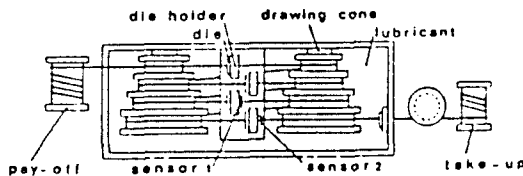


Fig. 4 Schematic Illustration of multiple wet wire drawing machine

AE센서는 시판의 PZT-AE센서를 사용하였다. 센서의 특성은 100-700kHz사이에서 55dB(0dB=1V/m/

s)의 감도를 가진 상당히 평탄한 특성이다. 센서는 리드선 코넥터부를 내유 성수지로서 고정시킨후 작업사의 편의를 고려해서 Fig.5와 같이 다이홀더에 접촉해서 고정하였다. 다이로부터 AE를 홀더를 통해서 검출하고 있으나 이 상태에서도 AE신호의 손실이 거의 없는 것을 확인되었다. AE계측장치도 일반적인 장치를 사용하였고 전치증폭기,주증폭기에서 증폭된 AE신호의 평균치 전압을 펜 레코더에 기록하였다. AE 계측조건은 실험결과에서 설명한다.



Fig. 5 Drawing die and AE transducer arrangement

### 3.2 실험용인발기에 의한 시험과 AE계측

가공인자에 대한 영향을 알아보기 위해 실험용 단식인발기를 사용해서 다이의 재질과 크기, 윤활유의 종류, 인발 속도를 변화시킨 때의 그들에 대한 AE의 의존성을 시험하였다.

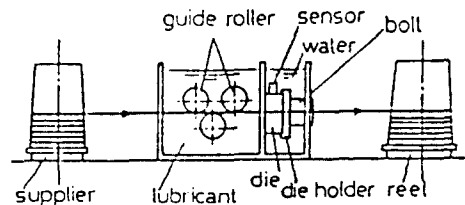


Fig. 6 Schematic illustration of single-head wire drawing machine

Fig.6에 본 시험에서 사용한 실험용 단식인발의 개략도를 보였다. 썬플라이어에서 공급된 선재는 윤활조에

도입되고 다이홀더에 부착된 다이로서 가공된다. 가공된 선재는 인발력 전달용회전드럼에 의해서 감겨지게 된다.

Table 1. Testing parameters in the experimental wire drawing

die materials	tungsten carbide(WC)
	boron coated WC
wire diameter, mm	1.3      1.175
die hole size, mm	1.190    1.075
drawing reduction, %	16.2     16.3
drawing speed, m/min	20, 30, 40, 50, 60
lubricants	metallic soap (PA)
	calcium stearate (PB)
	mineral oil (LA)
	synthtic oil (LB)

Table.1에 실험조건을 보였다. 가공선재는 고강도 탄소강선(피아노 선재)JIS G 3502 의한 SWRS 92 A (탄소량 0.92%)로 하였고 선재의 지경은 1.30mm 와 1.175mm의 2종류를 준비하였다. 다이는 널리 사용되고 있는 초경합금다이 (JIS B 4111) 와 다이 수명의 개선을 도모하기 위하여 초경합금다이의 표면에 보론을 코팅한 다이 (이하 보론코팅다이라 한다. )의 2종류를 선정하였다. 다이의 형상과 크기에 대해서는 가공의 실제면에서 통상 적정한 가공조건으로 되어 있는 16%의 단면감소율로서 시험하기 위하여 시험재의 2개로서 선정에 대해서 각각 다이의 베어링직경이 1.190mm와 1.075mm에서는 16.3%로 거의 동일하다. 또 다이 어프로치각 20,30,40,50m/min의 4단계로서 시험하였다.

사용한 윤활제로서는 고체(분말)윤활제를 사용하였다. 또 사용한 인발윤활제를,액체윤활제로서 광물유계와 화학합성섬유계 윤활제를 사용하였다. 또 사용한 인발기에서는 가공시의 인발력을 측정할 수가 없었기 때문에 인장시험기에 의해서 정적 (인발속도 500mm/min)인 인발력을 택하여 참고로 하였다.

AE센서는 본실험을 위해 제작한 방유,방수처리를 한 PZT-AE센서 (수감체직경 6mm)사용하였다. Fig.7에 AE센서는 다이케이스의 외주표면에 순간 접촉제에 의

해 직접 접촉하였다.

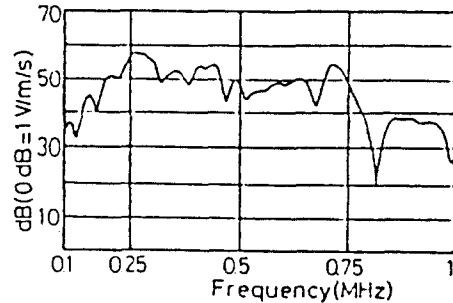


Fig 7. Frequency response of AE transducer

검출된 AE신호는 3.1과 동일한 장치를 사용해서 전치증폭기에서 40dB, 주증폭기에서 40dB 증폭한 후 그 출력신호의 전파정류의 평균치를 구해 펜레코더에 연속 기록 하였다. 그 때의 평균화 시정수는 50ms 또한 신호 증폭의 주파수 필터는100kHz의 고대역 필터로 하였다.

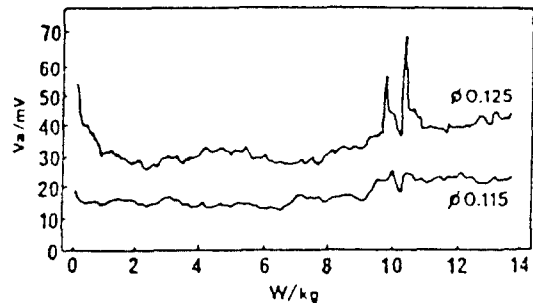


Fig. 8 Acoustic Emission behavior under service condition

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 현장가공라인에서의 AE

현장가공라인의 전몰실 습식연속인발기에서 AE감시

다이를 새로운 다이로부터 출발하여 소정의 가공량 또는 다이의 수명(선의 직경이 규격을 넘거나 또는 품질열화가 시작할때)에 도달할 때까지의 실제가공라인에 있어서 AE를 연속 기록하였다.

Fig.8은 다이의 베어링직경이 0.125mm와 0.115mm의 2개의 다이아몬드에서 발생하는 AE를 증폭도 70dB와 100kHz의 고역통과 필터를 사용하여 동시에 측정된 결과로서 선재(제품)의 가공량W의 증가에 대해 AE신호의 평균치전압 Va의 변화를 보인 것이다.

또한 이때의 인발속도는 100m/min이었다. 모든 가공공정에서 이러한 AE연속기록시험을 행한 결과 AE 발생상황에 대해서 Fig.8과 같은 상황이 상당히 좋게 재현되었다. 즉 Fig.8과같이 Va의 변화는 가공개시 직후에는 감소하는 과정이 관찰되고 그 후 약간의 맥동이 있으나 거의 일정한 레벨로서 추이 또는 다수의 경우 가공량의 증가와 더불어 서서히 증가한다.

그리고 Fig.8의 결과의 경우 직경 0.125mm다이의 AE가공량이 약 8kg부근에서 Va가 증가하기 시작하여 10kg의 전후에서 peak를 보이는 큰변화가 발생하였으며 또한 같은 것이 직경 0.115mm의 다이에서도 볼 수 있었다. 가공을 종료한 후에 2개의 다이의 표면과 각각의 다이에서 가공된 선재의 표면을 주사형 전자 현미경으로 관찰하였으며 그 결과를 Fig.9에 보인다. 2개의 다이 모두 다이의 표면이 국소적인 마모 또는 파괴에 의해 변형되어 있는 것이 명료하게 관찰되었다. 또한 선재의 표면에도 다이의 국소적 변형에 기인한 선상결합이 품질적으로 허용되지 않는 크기로 연속적으로 발생하고 있었다. 실시한 여러가지 공정의 AE시험에 있어서 선재에 이러한 선상결합의 발생이 없는 정상가공의 경우의 Va는 가공량의 증가와 더불어 약간의 맥동이 있으나 조금씩의 증가만이 관찰되었다. 또한 Va의 명확한 증가 또는 변화가 검출된 경우에는 선재에 연속적인 선상결합이 발생하고 있었다. 따라서 계속된 Va의 가공량에 대한 증가는 다이의 마모에 의한 열화 또는 미시적 파괴의 진행단계를 또 Va의 커다란 변화는 다이의 국부적인 파괴를 검출하고 있는 것이라 추측할 수 있다.

또한 가공개시 직후의 Va가 저하하는 현상은 다이와 가공선재사이에서의 표면간섭이나 적응을 지배하는 과도적인 유휴상태를 반영하고 있는 것이라 생각할 수 있으나 아직 명확하지 않다.

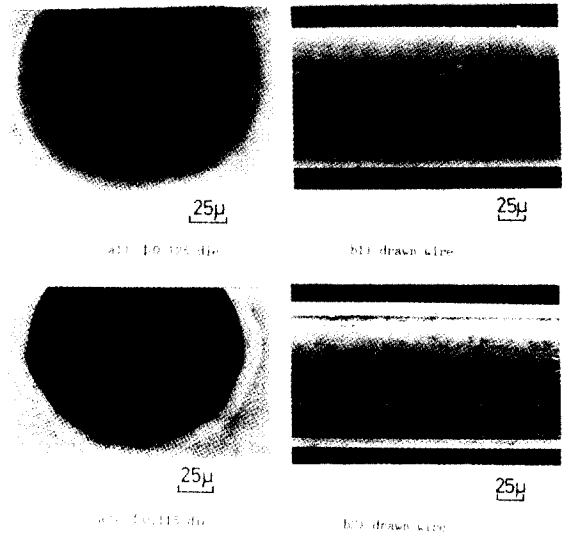


Fig. 9 Photo of SEM observation for dies(a), and wires drawn(b).

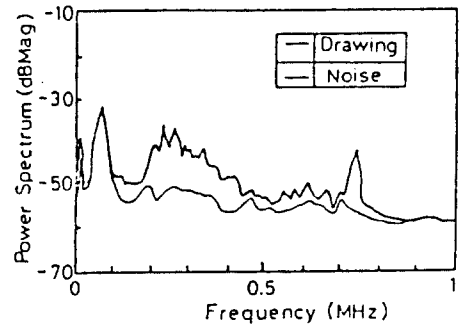


Fig. 10 Spectra of noise signal and AE signal from wire drawing

Fig.10은 현장가공라인에 있어서 잡음에 대해 검토한 결과이다. AE신호의 측정주파수 범위를 50kHz-2MHz(사용한 증폭기의 주파수 대역)로 하고 정상적인 가공을 행하고 있을 때의 AE신호와 인발기계를 정지하였을 때(단 동력용모타는 구동하고 있다.)계측된 AE신호의 주파수 스펙트럼의 비교 결과이다. 양쪽 모두 사용한 AE센서의 특성(Fig.7)를 반영하고 있으나 100kHz이하의

주파수에 차이가 있었다. 즉 100kHz이하의 신호에서 AE센서는 특성으로서의 감도를 보이고 있지 않으나 계측된 신호는 상당히 큰 크기를 갖고 있었다. 이 크기는 인발기계가 정지하고 있는 경우와 가공을 하고 있는 경우에 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 100kHz 이하의 주파수성분을 갖는 신호는 전원의 순간전류등에 의한 돌발적인잡음을 제외하고 실제가공라인에 있어서의 주변노이즈라고 생각한 후 있다. 이와 같은 주변노이즈는 상당히 큰 것이나 주파수 필터에 의해 그 대부분은 제거하는 것이 가능하였다.

#### 4.2 가공조건과 AE

다이의 재질, 다이의 베어링직경, 윤활제의 종류, 또한 이들의 조합에 의한 조건에서 인발가공 및 거기에 따르는 AE를 정리하기 위해서는 선재와 다이 사이의 마찰과 윤활에 대한 하나의 파라미터인 인발력이 중요하다고 생각할 수 있다. 사용한 인발기계에서는 가공시의 인발력을 측정할 수 없었기 때문에 인장시험기에 의해서 정적 (인발속도 500 mm/min)인 인발력을 구해서 참고로 하였다.

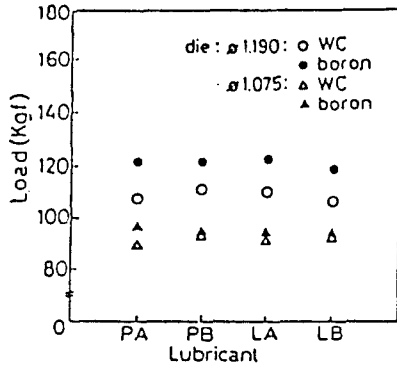


Fig. 11 Static drawing force tested at speed of 0.5m/min

그 결과를 Fig.11중의 기호설명으로 되어 있고 또 단면감소율(약16%)은 거의 동일하다. (Table.1) 먼저 윤활제에 대해서 보면 PA 가 다른 것에 비해서 거의 낮은 값을 보이고 있으나 시험한 윤활제의 범위에서는 윤활제에 의한 인발력의 차는 없다고 할 수 있다. 다이의 베어링직경이 작게 되면 양자의 차는 작게 되었다.

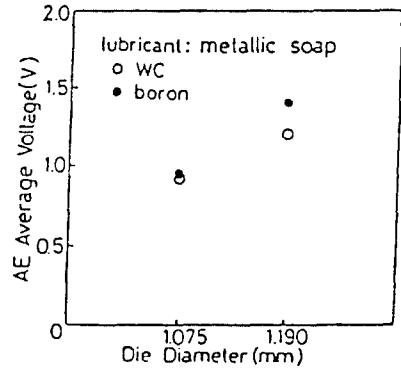


Fig. 12 Effects of die material and die bearing size

Fig.12는 다이의 재질 및 다이의 베어링직경과 AE평균치 전압Va의 관계를 고윤활제 PA,인발속도 30m/min에서 조사한 결과이다. 다이의 재질에 대해서 보면 보른코팅다이가 초경합금보다도 Va의 레벨이 높으나 다이의 베어링직경이 작게 되면 Va의 레벨 및 그 차는 Fig.11의 윤활제PA의 경우의 각각의 가공조건에 의한 인발력의 크기 및 그차와 잘 대응하고 있다. 즉 다이의 베어링직경의 차이도 포함해서 AE의 레벨 Va는 인발력의 증가와 더불어 높게 된다고 할 수 있다.

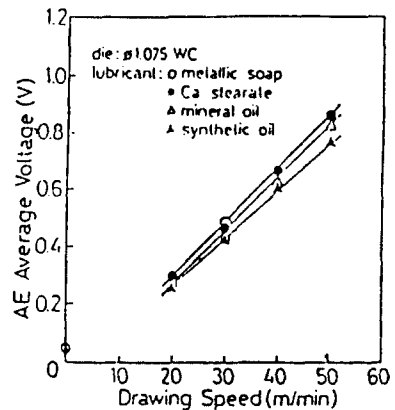


Fig 13 AE level versus drawing speed

Fig.13에는 인발속도와 AE의 관계를 베어링직경 1.075mm의 초경합금다이, 단면감소율16.3%에서 윤활제를 바꿔서 시험한 결과를 보인다. 여기서 인발속도

0m/min에 있는 표시는 시험시의 주변노이즈전압으로 0.04V이었다. AE평균치 전압  $V_a$ 의 속도효과라 생각할 수 있고 단위시간당의 선재의 가공량 또는 다이와 선재가 만들어 내는 표면적에 의해서 일정한  $V_a$ 가 결정된다.

Fig.13의 관계에서 회귀직선을 연장해 보면 약 5m/min의 인발속도에서  $V_a$ 가 OV로 된다. 따라서 그 이하의 인발속도에서는 본 실험의 AE계측조건에서는 AE는 검출되지 않는다고 예측할 수 있다. 인발속도 0.5m/min에서 행한 인장시험기에 의한 인발력의 측정에 있어서도 AE계측을 시도하였으나 AE는 검출되지 않았다.

Fig.13의 결과에서 윤활제에 대해서 보면 고체윤활제(동근표시, 단PA는 1측정점)의 쪽이 액체 윤활제(심각표시)보다 약간 높은  $V_a$ 는 18.8(PB), 16.8(LB)mV/m/min의 순으로 작게 되고 인발속도가 크게 될수록 윤활유의 차이에 대한 영향이 나타났다. 그러나 Fig.11에서의 정적인 인발력의 결과에 대해서는 윤활제에 의한 차이는 나타나지 않았다. 따라서 윤활제의 종류에 의한 AE의 변화는 윤활상태의 평가에서 검토가 있다고 생각할 수 있다.

## 5. 결 론

인발가공에 있어서 AE법의 공정감시에의 적용성을 검토하기 위하여 현장의 실제가공라인에서 곧바로 AE를 검출해 보았으며 또한 실험적으로 이를 검토해 보았다. 인발가공은 마찰, 윤활상태가 복잡하고 가공조건의 AE에 미치는 영향은 단순히 정의를 할 수 있지는 않으나 시험한 범위에서 결과를 다음과 같이 얻을 수 있었다.

1. 실제가공라인에서 주변노이즈를 넘는 유효한 AE의 발생이 있었다.

- 1) 레벨은 선재가공의 증가와 함께 상승하는 경향을 보이고 있다.
- 2) 그 변화는 다이의 열화와 그것에 의한 선재의 표면상태의 변화와 잘 대응하였다.

2. AE는 가공조건에 의해서 변화한다.

- 1) 가공율이 같을 경우에 AE는 다이의 재질에 의존하였다.
- 2) 다이의 베어링직경이 클수록 AE의 레벨은 높았다.

다.

- 3) 이들은 인발력으로 설명이 되며 높은 인발력을 필요로 하는 가공일수록 AE레벨은 높았다.
- 4) AE는 인발속도 의존성을 보이지만 단위가공량에 있어서는 일정한 레벨을 보였으며 사용한 AE계측 조건에서, AE를 검출할 수 있는 최소의 인발속도는 5m/min이었다.
- 5) 시험한 인발윤활제의 범위에서 윤활제의 종류에 따라 AE신호에 현저한 차이는 없었으나 인발속도가 높게 되면 그 차가 나타나는 경향이 있었다.

## 참 고 문 헌

- 1) 眞崎, 田端, 寺前, 塑性と加工, 23, 254, pp. 328-244, 1982
- 2) 眞崎, 田端, 寺前, 塑性と加工, 23, 256, pp. 395-402, 1982
- 3) 眞崎, 田端, 小西, 塑性と加工, 26, 295, pp. 835-841, 1985
- 4) 眞崎, 田端, 朱, 林, 塑性と加工, 29, 334, pp. 1166-1171, 1988
- 5) 佐藤, 吉川, 森田, 佐賀, 塑性と加工, 21, 234, pp. 603-613, 1980
- 6) S. L.McBride, R.J.Boness, M.Sobczyk and M.R.Viner, J.Acoustic Emission, 8, (1-2), pp. 192-197, 1989
- 7) R.J.Boness, S.L.Mcbride and M.Sobczyk, Tribology International, 23, 5, pp. 291-295, 1990
- 8) S.Lingard and K.K.Ng, Wear, 180, pp. 367-379, 1989
- 9) M.K.Tse and P.Y.Gu, World Meeting on Acoustic Emission, March 20-23, 1989, Charlotte, NC.
- 10) E.Suzuki, T.Kotani, T.Kishigami, N.Teracka, E.Ogawa, T.Ohkoshi and Y. Mori, Progress in Acoustic Emission V, JSNDI, 38043, 1990
- 11) J.S.Park, E.K.Han, Y.Mori, E.Suzuki, 4th World Meeting on AE and 1st Int. Conf. on AE in Manufacturing, Sep., 1991, Boston, MA, pp. 94-101