

와이어 인발가공에 있어서 AE법의 적용에 관한 연구

朴俊緒/崔萬鎔/韓應教/森康彦
한양대학교 정밀기계공학과 대학원/ 한국표준과학연구원
/ 한양대학교 정밀기계공학과/ 일본대학 생산공학부 기계공학과

Abstract

From a manufacturing standpoint it would be desirable to monitor the degradation of drawing die, that is essential for the maintenance of 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 signals contained valuable information regarding the stage of a drawing process such as the surface appearance of products and the condition of lubrication. Using these informations makes 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 signals produced in drawing process under various conditions. Experimental results are 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 signals. The results from these tests give controlling factors of acoustic emission generation.

1. 서론

와이어인발가공중 선재의 가공량이 증가함에 따라 가공재와 다이의 미끄럼 마찰에 의하여 다이직경이 변하게 되고 경우에 따라서는 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 재성에 따르는 비용의 증가와 다이의 검사에 많은 시간을 필요로 하며, 최악의 경우에는 규격불량이나 결함이 있는 재품이 대량으로 생산될 때까지도 다이의 마손이 검출되지 않는 경우가 현장에서 흔히 실정이다.

다이의 재료로서는 공구강, 초경합금, 천연 소결 다이아몬드 등이 이용되고 있으며, 내마모성이 뛰어난 보른등과 같은 재료의 사용이 검토되고 있는 한편, 윤활제의 성능향상이나 윤활방식의 개선에도 많은 노력이 기울여지고 있으나 인발다이 특유의 마모를 방지하는 것은 불가능하여 다이의 마모는 인발공업의 본질적인 한계로 드러나고 있다. 이에 다이수명의 향상에 대한 노력과 더불어 다이손상의 조기검출기술의 확립이 중요하게 되었다.

인발가공공정에 있어서 제품의 품질관리나 다이의 관리에는 일반적으로 와류탐상법 또는 육시관찰법에 의한 표면결함의 검출, 마이크로미터에 의한 직경측정법등이 행해지고 있기는 하나 직경이 2mm이하의 세선에는 와류탐상법의 적용이 불가능하고 오로지 육시와 다이수명의 경험적예측이라고 하는 인적판단에 의한 공정 관리만이 행해지고 있다.

그런데 현재 재료평가나 압력용기등과 같은 구조물의 건전성평가에 널리 사용되는 AE법은 미크로적인 파괴현상을 인프로서스상태에서 검출할 수 있어, 마모현상과 같은 미세한 현상의 검출수단으로 최적이라 할 수 있다.

이제까지 인발가공의 AE에 관한 보고로서는 眞崎, 田端(1-4)에 의한 윤활제의 평가, 佐藤(5)에 의한 윤활현상등에 관한 연구, 윤활문제의 일반에 관한 McBride와 Lingard등(6-9)의 연구가 있다. 그러나 AE법을 이용한 인발가공의 공정감시에 대한 응용에 관해서는 아직까지 적극적인 연구가 이루어 지지 않고 있다.

이에 필자들은 실제의 가공라인에서 위의 목적에 맞게 AE법을 적용할수 있는 가능성을 현장시험을 통하여 검토한 결과, 공장의 실제 환경에서도 AE의 검출과 가공에 따른 감시를 위한 정보를 얻을수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 현장가공라인에 있어서 AE계속의 유효성을 보이는 한여를 보임과 함께 다이의 재질과 다이직경의 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. 이론

2.1 가공인자의 종류

최적의 인발가공을 위해서는 윤활상태를 양호하게 유지해서 인발가공을 하는 것이 바람직하나 양호한 윤활이라하는 목적에 따

라 다른가공인자에도 주의를 기울여야 할 필요가 있다. 이를 위해서 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.1의 각각의 가공인자에 있어서 먼저 유체윤활막의 생성에는 다이입구에 있어서의 다이어프로치각, 인발속도, 윤활제 점도 및 그 온도, 압력의존성, 소재의 표면상태가 관계한다. 또한 다이와 재료의 접촉면에서의 유체윤활막에는 소재의 변형저항 및 가공도, 변형 및 마찰에 의한 발열, 다이 및 소재의 표면상태가 관계한다.

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

2.2 에너지소비율과 AE

Fig.2에 평면스트레인 인발가공에 있어서 가공속도장을 보인다. 다이면의 인장선과 중심선의 교점 O를 중심으로 한 원호이면 S_a 와 S_b 가 속도불연속면이다. 직경이 h_0 인 선재는 변형역을 따라 흘러 직경이 h_1 으로 가공된다. 다이의 어프로치각은 α 이고 인발속도는 u_0 이다.

다이면에서 마찰에 대한 에너지 소비율 W_r 는 r에서의 선재면과 다이면과의 상대미끄럼속도를 u_r , 마찰전단응력을 τ_r 라 하면

$$W_r = \int_A \tau_r u_r dA \quad (1)$$

로 된다. 여기서 A는 선재면과 다이의 한쪽면이 접촉하고 있는 겉보기 면적이다. 선재의 항복전단응력을 k 라 하면

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

여기서 m 은 마찰계수이다.

1) 2)에서

$$W_r = \int_A m k u_r dA \quad (3)$$

가공속도장에 의해

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

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

$$\begin{aligned} W_{rB} &= mk \int_{r_0}^{r_1} \frac{r \alpha}{r} u_0 \cos \alpha dr \\ &= \frac{1}{2} m k u_0 (1-R_0) h_0 \cot \alpha \ln(1-R_0)^{-1} \quad (5) \end{aligned}$$

여기서 R_0 는 단면감소율로서 $R_0 = (h_0 - h_1)/h_0$ 이다. Fig.2의 기하학적인 관계에서 선재와 접촉하고 있는 다이면의 길이는

$$r_A - r_B = -\frac{R_0 h_0}{2 \sin \alpha} \quad (6)$$

식 5)의 양변을 식 6)의 길이로 나누면 단위면적당의 에너지 소비율 W_{rA} 는,

$$\begin{aligned} W_{rA} &= m k u_0 \cos \alpha \frac{1-R_0}{R_0} \ln(1-R_0)^{-1} \\ &= m k u \quad (7) \end{aligned}$$

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_{rmo} 를 에너지량이라 하면 V_{rmo} 와 W_{rA} 의 관계는

$$V_{rmo} = c W_{rA}$$

$$= c m k u \quad (9)$$

로 된다. 여기서 c 는 비례상수이다.

2.3 실효치전압과 평균치전압의 차이

실효치전압은 AE신호를 검파하여 RC회로로서 적분하여 직류출력으로 읽어내는 미소교류전압계를 사용하는 방법으로 계기의 시정수에 의해 정해지는 단위시간당의 AE파의 에너지를 표시할 수 있다.

평균치전압은 AE신호를 검파하여 고주파성분을 제거한 평균진폭전압을 사용하는 방법이고 적당한 진폭절정치 이상의 신호의 수를 계수하는 포락선검파방식으로서도 이용할 수 있다.

이들은 연속형AE 측정법으로서 소성변형AE를 표시하는 데 유효하다.

2.4 AE발생인

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

- 1) 선재가 변형영역에 도달하여 소성변형할 때, 즉 전위의 운동에 의한 미시적인 에너지 해방(소성변형에 따르는 AE)
- 2) 다이표면과 선재표면 사이의 미시적인 급속접촉부가 상대미끄럼을 할 때에 발생하는 에너지 해방(미끄럼 마찰에 의한 AE)

따라서 가공중에 발생하는 AE를 모니터링하는 것에 의하여 다이의 마모나 국부적인 파괴, 또는 그 결과로서 발생하는 선상결합발생의 검출이나 가공중의 마찰, 윤활상태의 감시에 대한 가능성을 기대할 수 있다.

3. 실험방법

3.1 현장가공라인에 있어서 AE계측

전물식 습식 연속 인발기에 있어서 천연다이아몬드다이에 의한 고강도탄소강선(피아노선재) JIS G 3502에 의한 SMRS 82 A (탄소량 0.82 %)의 곡세선의 인발가공에 있어서 AE시험을 행하였다. 이 인발기는 기략적으로 Fig.4에 보이듯이 선재를 공급하는 회전셔플러, 인발판과 직경을 순차 감소시킨 일련의 다이, 인발력 전달용 회전드럼이 있고 콘과 다이는 다이의 냉각을 겸비한 윤활조에 잠겨 있다. 감시해야 할 다이는 요구되는 선의 직경과 단면형상의 정도를 목표로 한 표면상태로 제품을 만들어 내는 최종 가공 다이가 중요하나 실험에 사용한 인발기의 경우 구조적인 제약 때문에 간단하게 행할 수가 없었다. 그래서 Fig.4와 같이 최종다이 앞의 2개의 다이아몬드다이에 대해서 AE계측을 행하였다.

AE센서는 시판의 PZT-AE센서를 사용하였다. 센서의 특성은 100-700kHz사이에서 55dB(OdB=1V/m/s)의 감도를 가진 상당히 평탄한 특성이다. 센서는 리드선 코넥터부를 내유성수지로서 고정시킨 후 작업상의 편의를 고려해서 Fig.5와 같이 다이홀더에 장착해서 고정하였다. 다이도 부터 AE를 홀더를 통해서 검출하고 있으나 이 상태에서도 AE신호의 손실이 거의 없는 것을 확인되었다. AE계측장치도 일반적인 장치를 사용하였고 전지증폭기, 주증폭기에서 증폭된 AE신호의 전파정류된 평균치 전압을 펜 레코더에 기록하였다. AE계측조건은 실험결과와 함께 보인다.

3.2 실험용인발기에 의한 시험과 AE계측

가공인자에 대한 영향을 알아보기 위해 실험용 단식인발기를 사용해서 다이의 재질과 크기, 윤활유의 종류, 인발 속도를 변화

시킨 때의 그들에 대한 AE의 의존성을 시험하였다.

Fig.6에 본 시험에서 사용한 실험용 단식인발기의 개략도를 보았다. 씨플라이어에서 가공된 선재는 윤활조에 도입되고 다이홀더에 부착된 다이로서 가공된다. 가공된 선재는 인발력 전달용 회전드럼에 의해서 감겨지게 된다.

Table.1에 실험조건을 보았다. 가공선재는 고강도 탄소강선(피아노선재) JIS G 3502에 의한 SWRS 92 A (탄소량 0.92 %)로 하였고 선재의 직경은 1.30 mm와 1.175 mm의 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 정상 적정한 가공조건으로 되어 있는 16%의 단면감소율로서 시험하기 위하여 공시선재의 2개의 선경에 대해서 각각 다이의 배어링 직경이 1.190mm와 1.075mm의 것을 준비하였다. 실제의 단면감소율은 선경이 1.30mm에서는 16.2%, 선경이 1.175mm에서는 16.3%로 거의 동일하다. 또 다이 어프르치각은 12도이다, 인발속도는 드럼의 회전수를 인버터에 의한 주파수제어에 의해서 변화시켜 20,30,40,50 m/min의 4단계로서 시험하였다.

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

AE센서는 본실험을 위해 시작한 방유, 방수처리된 한 PZT-AE변환자(수감체외경6mm)를 사용하였다. Fig.7에 그 감도특성곡선을 보인다. AE센서는 다이케이스의 외주표면에 순간접착제에 의해 직접 정착하였다.

검출된 AE신호는 3.1과 동일한 장치를 사용해서 전자증폭기에서 40dB, 주증폭기에서 40dB 증폭한 후 그 출력신호의 전파형질의 평균치를 구해 펜레코더에 인속기록하였다. 그 때의 평균화 시정수는 50ms 또한 신호 증폭의 주파수 필터는 100kHz의 고역통과필터로 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 현장가공라인에서의 AE

현장가공라인의 전물식 습식 연속인발기에서 AE감시다이를 세로로 다이로부터 출발하여 소정의 가공량 또는 다이의 수명(선의 직경이 규격을 넘거나 또는 품질열화가 시작된 때)에 도달할 때까지의 실제가공라인에 있어서 AE를 연속기록하였다.

Fig.8은 다이의 배어링직경이 0.125mm와 0.115mm의 2개의 다이 아콘다이어에서 발생하는 AE를 증폭도 70dB와 100kHz의 고역통과필터를 사용하여 동시에 측정된 결과로서 선재(제품)의 가공량 W의 증가에 대해 AE신호의 평균치 전압 Va의 변화를 보인 것이다. 또한 이때의 인발속도는 100m/min이었다. 모든 가공공정에서 이러한 AE연속기록시험을 행한 결과 AE발생상황에 대해서 Fig.8과 같은 상황이 상당히 좋게 재현되었다. 즉 Fig.8과 같이 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 AE는 가공량이 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 극소적인 마모 또는 파괴에 의해 변형되어 있는 것이 명료하게 관찰되었다. 또한 선재의 표면에도 다이의 극소적 변형에 기인한 선상결함이 품질적으로 허용되지 않는 크기로 연속적으로 발생하고 있었다. 실시한 여러가지 공정의 AE시험에 있어서 선재에 이러한 선상결함의 발생이 없는 정상가공의 경우의 Va는 가공량의 증가와 더불어 약간의 맥동이 있으나 조급식의 증가만이 관찰되었다. 또한 Va의 명확한 증가 또는 큰 변화가 검출된 경우에는 선재에 연속적인 선상결함이 발생하고 있었다. 따라서 계속된 Va의 가공량에 대한 증가는 다이의 마모에 의한 열화 또는 미시적 파괴의 진행단계를 또 Va의 커다란 변화는 다이의 극부적인 파괴를 검출하고 있는 것이라 추측할 수 있다. 또한 가공개시 직후의 Va가 저하하는 현상은 다이와 가공선재사이에서의 표면간섭이나 적응을 지배하는 과도적인 윤활상태를 반영하고 있는 것이라 생각할 수 있으나 아직 명확하지 않다.

Fig.10은 현장가공라인에 있어서 잡음에 대해 검토한 결과이다. AE신호의 측정주파수 범위를 50kHz~2kHz (사용한 증폭기의 주파수 대역)로 하고 정상적인 가공을 행하고 있을 때의 AE신호와 인발기계를 정지하였을 때(단 동력용모터는 구동하고 있다) 계속된 AE신호의 주파수 스펙트럼의 비교결과이다. 양쪽 모두 사용한, AE센서의 특성(Fig.7)를 반영하고 있으나 100kHz이하의 주파수에 차이가 있었다. 즉 100kHz이하의 신호에서 AE센서는 특성으로서의 감도를 보이고 있지 않으나 계속된 신호는 상당히 큰 크기를 갖고 있었다. 이 크기는 인발기계가 정지하고 있는 경우와 가공을 하고 있는 경우에 거의 차가 없음을 알 수 있다. 따라서 100kHz이하의 주파수성분을 갖는 신호는 전원의 돌입전류등에 의한 돌발적인 잡음을 제외하고 실제가공라인에 있어서의 주변노이즈라고 생각할 수 있다. 이와 같은 주변노이즈는 상당히 큰 것이나 주파수 필터에 의해 그 대부분은 제거하는 것이 가능하였다.

4.2 가공조건과 AE

다이의 재질, 다이의 배어링직경, 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 500mm/min)인 인발력을 구해서 참고로 하였다. 그 결과를 Fig.11에 윤활제의 종류에 따른 결과와 함께 보인다. 그외의 가공조건의 조합은 Fig.중의 기호설명으로 되어 있고 또 단면감소율(약16%)은 거의 동일하다.(Table.1) 먼저 윤활제에 대해서 보면 PA가 다른 것에 비해서 거의 낮은 값을 보이고 있으나 시험한 윤활제의 범위에서는 윤활제에 의한 인발력의 차는 없다고 할 수 있다. 다이의 재질에 대해서는 보론코팅다이의 쪽이 초경합금다이보다 큰 인발력을 필요로하나 다이의 배어링직경이 작게 되면 양자의 차는 작게 되었다.

Fig.12는 다이의 재질 및 다이의 배어링직경과 AE평균치 전압 Va의 관계를 고체윤활제 PA, 인발속도 30m/min에서 조사한 결과이다. 다이의 재질에 대해서 보면 보론코팅다이가 초경합금다이보다도 Va의 레벨이 높으나 다이의 배어링직경이 작게 되면 Va의 차가 작게 되는 경향이 있다. 이 다이의 재질에 의한 Va의 레벨 및 그 차는 Fig.11의 윤활제 PA의 경우의 각각의 가공조건에 의한 인발력의 크기 및 그 차와 잘 대응하고 있다. 즉 다이의 배어

밍직경의 차이도 포함해서 AE의 레벨 Va는 인발력의 증가와 더불어 높게 된다고 할 수 있다.

Fig.13에는 인발속도와 AE의 관계를 배어밍직경 1.075mm의 초경합금다이, 단면감소를 16.3%에서 윤활제를 바꿔서 시험한 결과를 보인다. 여기서 인발속도 0m/min에 있는 포시는 시험시의 주 변 노이즈전압으로 0.04V이었다. AE평균치 전압 Va와 인발속도와 의 관계는 모든 윤활제에 대해 인발속도의 증가와 함께 Va는 높 게 되고 직선으로 회귀되었다. 이것은 가공이 정상으로 행해지 고 있는 범위에서 Va의 인발속도에 의한 변화는 단순히 Va의 속 도효과라 생각할 수 있고 단위시간당의 선재의 가공량 또는 다이 와 선재가 만들어 내는 표면적에 의해서 일정한 Va가 결정된다. Fig.13의 관계에서 회귀직선을 연장해 보면 약 5m/min의 인발속 도에서 Va가 0V로 된다. 따라서 그 이하의 인발속도에서는 본실 험의 AE계측조건에서는 AE는 검출되지 않는다고 예측할 수 있다. 인발속도 0.5m/min에서 행한 인장시험기에 의한 인발력의 측정예 있어서도 AE계측을 시도하였으나 AE는 검출되지 않았다.

Fig.13의 결과에서 윤활제에 대해서 보면 고체윤활제(등근포 시, 단 PA는 1축정점)의 쪽이 액체윤활제(삼각포시)보다 약간 높 은 Va를 보이고 있다. 또한 회귀직선의 기울기, 즉 단위시간당의 Va는 18.8(PB), 18.4(LA), 16.8(LB) mV/min의 순으로 작게 되 고 인발속도가 크게 될수록 윤활유의 차이에 대한 영향이 나타났 다. 그러나 Fig.11에서의 정적인 인발력의 결과에 대해서는 윤활 제에 의한 차이는 나타나지 않았다. 따라서 윤활제의 종류에 의 한 AE의 변화는 윤활상태의 평가에서 검토할 필요가 있다고 생각 할 수 있다.

5. 결론

인발가공에 있어서 AE법의 공정감시에의 적용성을 검토하기 위 하여인장의 실제가공라인에서 곧바로 AE를 검출해 보았으며 또한 실험실적으로 이를 검토해 보았다. 인발가공은 마찰, 윤활상태가 복잡하고 가공조건의 AE에 미치는 영향은 단순하게 정리할 수 있 지는 않으나 시험한 범위에서 결과를 다음과 같이 정리할 수 있 었다.

1. 실제가공라인에서 주변노이즈를 넘는 유효한 AE의 발생이 있었다.
 - 1) AE의 레벨은 선재가공량의 증가와 함께 상승하는 경향을 보이고
 - 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 배어밍직경이 클수록 AE의 레벨은 높았다.
 - 3) 이들은 인발력으로 설명이 되며 높은 인발력을 필요로 하는 가공일수록 AE레벨은 높았다.
 - 4) AE는 인발속도 의존성을 보이지만 단위가공량에 있어서는 일정한 레벨을 보였으며 사용한 AE계측조건에서 AE를 검 출할수 있는 최소의 인발속도는 5m/min이었다.
 - 5) 시험한 인발윤활제의 범위에서 윤활제의 종류에 따라 AE 신호에 한정한 차이는 있었으나 인발속도가 높게 되면 그 차가 나타나는 경향이 있었다.
3. 본 실험에서는 적용을 위한 정성적인 검토의 영역을 넘지 못했으나 장래의 인발공정이나 품질의 관리, 또한 윤활상 태에 관한 유효한 정보는 얻을 수 있었다.

본 논문은 일본 鈴木金屬(株)에서 실험한 것으로 도움을 주신 鈴木사장, 岸上부장, 寺岡과장, 大越 氏에게 감사드립니다.

6. 참고문헌

- 1) 眞崎, 田端, 寺前, 塑性と加工, 23, 254, pp238~244, 1982
- 2) 眞崎, 田端, 寺前, 塑性と加工, 23, 256, pp395~402, 1982
- 3) 眞崎, 田端, 小西, 塑性と加工, 26, 295, pp835~841, 1985
- 4) 眞崎, 田端, 朱, 林, 塑性と加工, 29, 334, pp1166~1171, 1988
- 5) 佐藤, 吉川, 森田, 佐賀, 塑性と加工, 21, 234, pp603~613, 1980
- 6) S.L.McBride, R.J.Boness, M.Sobczyk and M.R.Viner, J.Acoustic Emission, 8, (1-2), pp192~197, 1989
- 7) R.J.Boness, S.L.McBride and M.Sobczyk, Tribology International, 23, 5, pp291~295, 1990
- 8) S.Lingard and K.K.Ng, Wear, 180, pp367~379, 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.Teraoka, E.Ogawa, T.Ohkoshi and Y.Mori, Progress in Acoustic Emission V, JSNDI, 38-43, 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, pp94~101
- 12) 朴 俊緒, 韓 應秋, 森 康彦, 大越 愼行, 日本非破壊検査協會 006特別研究委員會資料, No.96, pp20~26, 1991

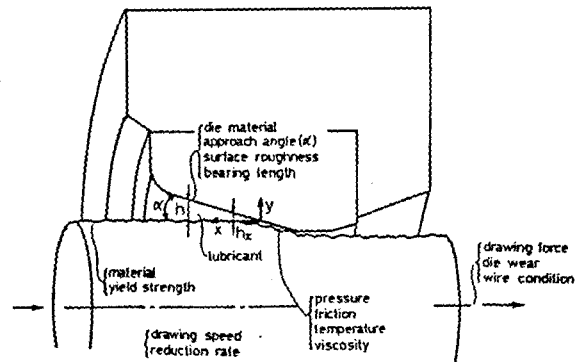


Fig.1 Controlling factors of wire drawing.

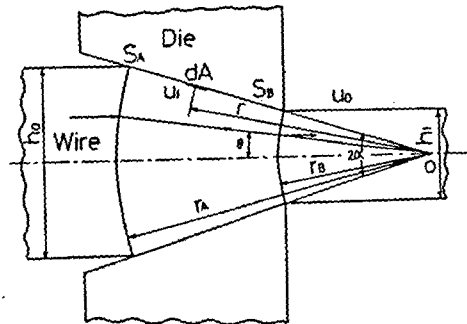


Fig.2 Schematic diagram of wire drawing.

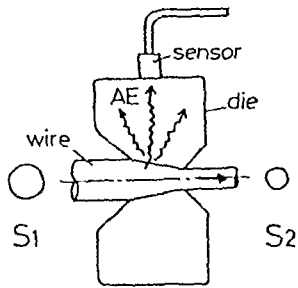


Fig.3 AE source in wire drawing.

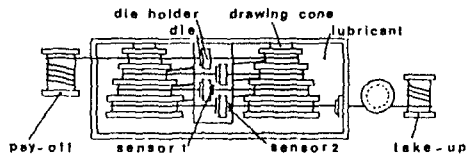


Fig.4 Schematic illustration of multiple wet wire drawing machine.



Fig.5 Drawing die and AE transducer arrangement.

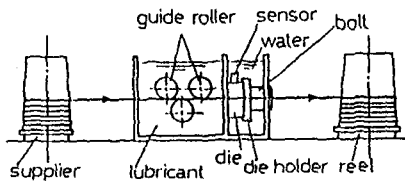


Fig.6 Schematic illustration of single-head wire drawing machine.

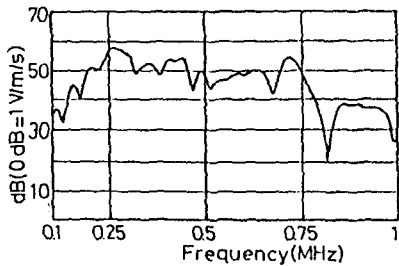


Fig.7 Frequency response of AE transducer.

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)
	synthetic oil (LB)

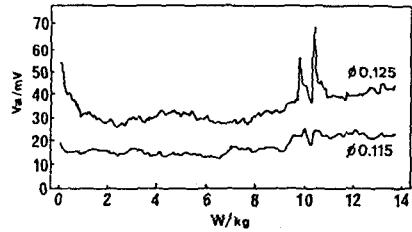


Fig.8 Acoustic Emission behavior under service condition.

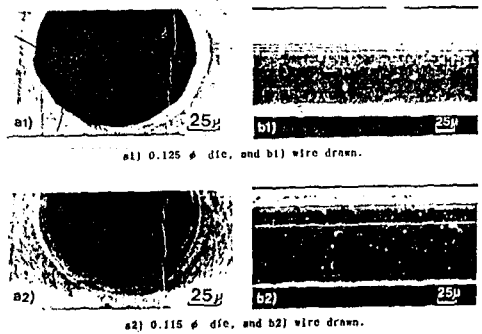


Fig.9 Photo. of SEM observation for dies (a), and wires drawn (b).

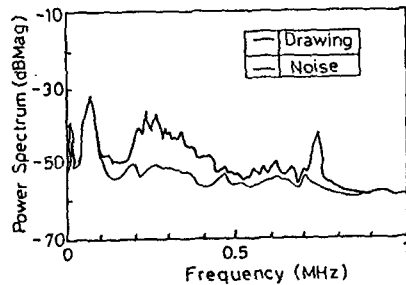


Fig.10 Spectra of noise signal and AE signal from wire drawing.

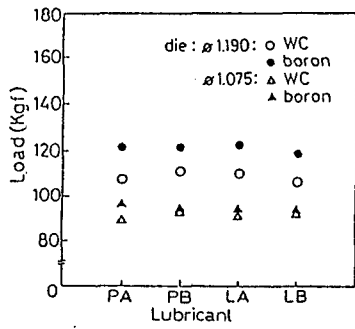


Fig.11 Static drawing force tested at speed of 0.5 m/min.

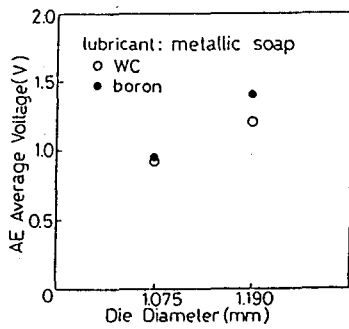


Fig.12 Effects of die material and die bearing size.

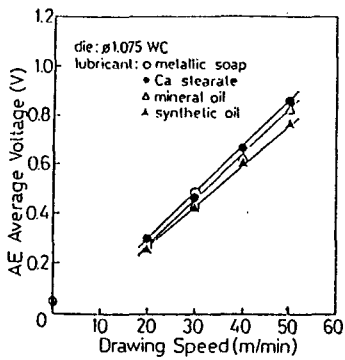


Fig.13 AE level versus drawing speed.