

평면연삭시 AE 신호에 의한 표면거칠기 예측

An Estimation of Surface Roughness from the AE Signal in Surface Grinding

송지복(부산대 정밀기계공학과), 이재경(한국기계연구원), 광재섭(부산대 대학원), 이종렬(부산대 대학원)
Ji Bok Song(Pusan Univ.), Jae Kyung Lee(KIMM), Jae Seob Kwak(Graduate School, Pusan Univ.),
Jong Ryul Lee(Graduate School, Pusan Univ.)

Abstract

An estimation of surface roughness value is a very important and difficult issue in grinding process. The definition of the D.A.R.F(Dimensionless Average Roughness Factor) has been made including the absolute average and the standard deviation that are the parameters of the AE(Acoustic Emission) signal. The theoretical equation of the surface roughness applying the D.A.R.F has been derived from the regressive analysis and specified with respect to the availability through the experimental approach on the machine.

Key Word : Surface Roughness(표면거칠기), Grinding Process(연삭가공), D.A.R.F(무차원화 평균 표면거칠기 계수), Acoustic Emission(음향방출), Regressive Analysis(회귀분석)

1. 서론

기계가공으로 생성된 표면의 거칠기는 가공면의 성질을 평가하는 중요한 인자로 표면거칠기를 측정함으로써 가공조건의 적합성 여부를 판정할 수가 있다. 특히 연삭가공은 부품의 마무리 가공공정이므로 표면거칠기의 평가에 대한 중요성은 매우 커지만 연삭가공의 특성상 표면거칠기에 관여하는 요인이 다양하기 때문에 명확한 해석을 얻기가 쉽지 않다. 연삭가공에서 표면거칠기를 평가하기 위하여 해석적인 방법으로 이론식을 얻고자하는 연구^[1]가 Ono 등에 의하여 이루어졌다. 이 연구에서는 슷돌경로의 기하학을 기초로해서 슷돌면 상에 규칙적으로 배열되고 형상이 일정한 입자절인을 가정하여, 절인이 공작물을 통과하면 절인의 기하학적 형상이 공작물에 그대로 남는 것으로 취급하였다. 그러나 이러한 가정은 연삭가공의 실제와는 차이가 있어서 표면거칠기의 이론식에서 얻어지는 수치는 실측치와는 상당한 차이가 있었다^[2]. 측정기술의 발달과 측정기의 개발로 다양한 측정방법에 의한 표면거칠기의 측정치를 비교한 연구^[3~6]가 이루어 졌으나, 그 결과가 촉침(Stylus)에 의한 측정방법 보다는 정확성이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 촉침에 의한 표면거칠기의 측정에 있어서도 촉침의 반경의 영향^[7] 및 소인 속도(Scanning Speed)의 문제^[8] 등 측정시의 구조적인

문제점이 있는 것으로 나타났다. 또한 이들 연구에서는 표면거칠기의 측정이 가공공정 중에 이루어질 수가 없어서 연삭공정의 자동화에 포함시킬 수가 없는 공통된 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 표면거칠기의 측정을 연삭공정의 자동화에 포함시킬 수 있도록 AE(Acoustic Emission) 센서에서 얻어진 신호성분을 이용한 무차원화 계수를 정의하여 표면거칠기 계산식을 만들고, 이로부터 중심선 평균거칠기 값(Ra)을 인프로세서(In-Process)로 직접 획득할 수 있음을 제안하여 그 결과를 실험을 통하여 검토하였다.

2. 이론

2.1 AE 신호와 표면거칠기

Fig. 1은 연삭가공에서 얻어지는 AE 원신호(Raw Signal)를 나타낸다. 가공공정의 감시(Monitoring)에 AE 신호를 이용하는 가장 큰 이유는 AE 신호의 주파수 대역이 대략 100~800KHz의 고주파로 저주파 영역의 잡음(Noise)을 효과적으로 제거하면 신뢰성 있는 감시시스템을 구성할 수 있기 때문이다^[9~11].

그러나 주파수가 높기 때문에 원신호를 얻기 위해서는 고속처리가 가능한 고가의 DSP 보드가 필요하다는 단점이 있어서, 일반적으로 원신호를 획득하지 않고 변조의 방법^[12]을 이용하거나 RMS 처리된 신호^[13]를 얻어서 감시시스템을 구성하고 있다.

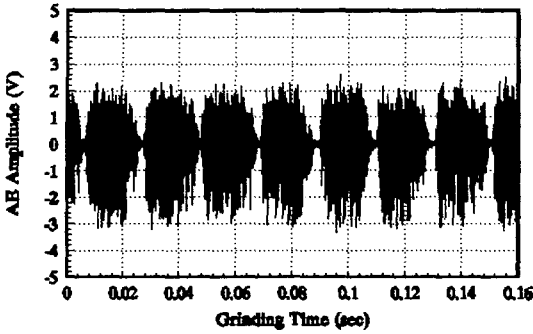


Fig. 1 AE Raw Signal

일반적으로 연삭가공에서는 설정 절입깊이로 가공을 행하고 난후 수회의 스파크-아웃(Spark Out)을 행한다. 따라서 연삭가공에서 표면거칠기는 스파크-아웃 횟수 및 상태로부터 결정된다.

본 연구에서는 예비실험을 통하여 스파크-아웃 때의 AE 신호의 진폭과 신호특성이 변함에 따라서 표면거칠기 값이 변하는 것을 확인하고 이로부터 인프로세서로 근사적인 표면거칠기 값의 예측을 시도하였다. 진폭의 변동을 검출하기 위하여 AE 신호의 절대평균(Absolute Average)을 하나의 변수로 사용하였고, 신호특성의 평가를 위해서는 AE 신호의 표준편차(Standard Deviation) 값을 이용하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 연삭횟수의 증가에 따른 AE 신호의 절대평균과 표준편차 값의 변화를 나타내며, 그때의 중심선 평균거칠기를 측정식 측정기로 측정 한 결과는 Fig. 4와 같다. AE 신호의 절대평균과 표준편차 값의 변화에 따라서 표면거칠기 값이 거의 선형적으로 변화됨을 알 수가 있다. 이러한 관계로부터 절대평균과 표준편차 값으로 구성되는 표면거칠기 계산식을 유도할 수 있다.

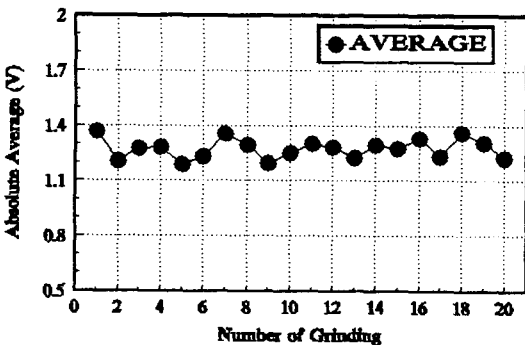


Fig. 2 Absolute Average of AE Signal

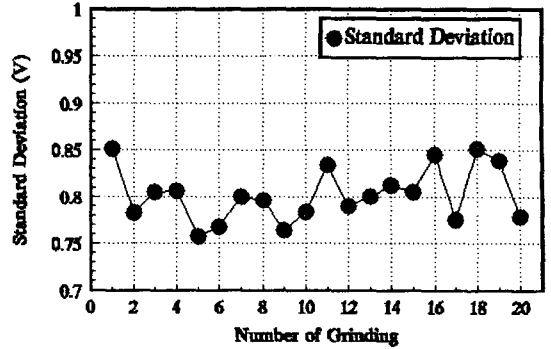


Fig. 3 Standard Deviation of AE Signal

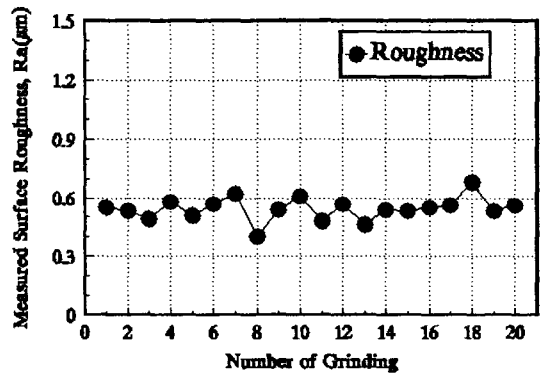


Fig. 4 Surface Roughness Value, Ra

2.2 D.A.R.F와 표면거칠기 계산식

표면거칠기의 예측을 실현하기 위해서는 표면거칠기 변화에 민감한 AE 신호성분을 검출하여 정량화시키는 것이 필요하다. 표면거칠기 계산식을 유도하기 위하여 무차원화 평균 표면거칠기 계수(Dimensionless Average Roughness Factor, D.A.R.F)를 다음과 같이 정의 하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{D.A.R.F} &= \frac{\text{Absolute Average}}{\text{Standard Deviation}} \dots\dots\dots (1) \\
 &= \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}}
 \end{aligned}$$

여기서 n은 테이타의 갯수, x_i 는 AE 신호 값, \bar{x} 는 신호의 평균을 나타낸다.

Table 1. Data for Linear Regressive Equation

No.	Absolute Average	Standard Deviation	D.A.R.F	Ra(Measured)
1	1.372708	0.852103	1.610965	0.55
2	1.207983	0.783103	1.542558	0.53
3	1.276798	0.805782	1.584545	0.49
4	1.083836	0.807154	1.342786	0.58
...
7	1.234451	0.775499	1.591816	0.56
8	1.367225	0.851851	1.605006	0.68
9	1.117895	0.839031	1.332364	0.53
20	1.226445	0.779015	1.574353	0.56

Table 1에 실험을 통하여 얻어진 AE 신호의 절대 평균, 표준편차 및 이로부터 계산된 D.A.R.F, 그리고 표면거칠기 측정기에서 측정된 중심선 평균거칠기를 나타내며 Fig. 5에 D.A.R.F와 중심선 평균거칠기의 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수가 있는 것처럼 이들의 관계가 거의 선형적이므로 최소자승법(Least Square Method)을 이용하여 회귀식을 구하면 AE 신호로부터 표면거칠기의 예측이 가능하다. 구해진 회귀식은 다음과 같다.

$$Ra = (34.42 * D.A.R.F - 0.245) / 100 \dots\dots\dots (2)$$

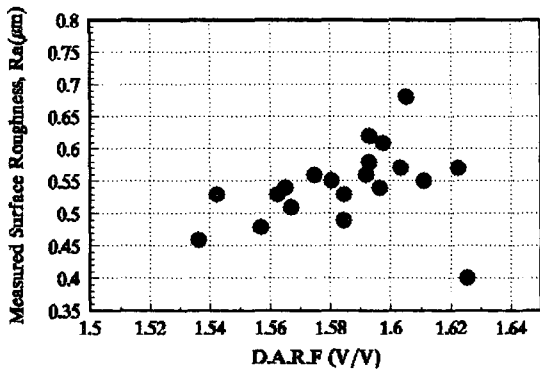


Fig. 5 Relationship between D.A.R.F and Ra

최소자승법에 의한 회귀식과 측정식 측정법으로 구한 표면거칠기 값을 비교하기 위하여 오차률을 다음과 같이 정의하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

$$\text{Error Rate}(\%) = \frac{| \text{Estimated Ra} - \text{Measured Ra} |}{\text{Measured Ra}} * 100 \dots\dots\dots (3)$$

Table 2. Error Rates by Using D.A.R.F

No.	Estimated Ra	Measured Ra	Error Rate(%)
1	0.5520	0.550	0.37
2	0.5285	0.530	0.28
3	0.5429	0.490	10.80
4	0.5457	0.580	5.89
5	0.5369	0.510	5.28
6	0.5493	0.570	3.62
7	0.5459	0.620	11.95
8	0.5571	0.400	39.27
9	0.5361	0.540	0.70
10	0.5474	0.610	10.25
11	0.5334	0.480	11.14
12	0.5559	0.570	2.45
13	0.5263	0.460	14.41
14	0.5470	0.540	1.31
15	0.5428	0.530	2.43
16	0.5414	0.550	1.55
17	0.5454	0.560	2.59
18	0.5499	0.680	19.11
19	0.5353	0.530	1.00
20	0.5394	0.560	3.67

표면거칠기의 측정에 있어서는 측정부위에 따라서 측정치가 많은 편차를 갖기 때문에 정확한 값을 얻는 것이 어렵다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 수회의 측정을 통하여 얻어진 값을 평균하여 그 표면의 거칠기 값으로 나타내고 있으나 측정치가 오차를 내포한다.

Table 1에서 회귀식에 의한 표면거칠기 값과 측정된 표면거칠기 값을 비교해보면 약간의 오차는 있으나, 근사적인 표면거칠기 값을 구하는 계산식으로 식 (2)가 적합함을 알 수가 있다. 따라서 AE 센서에서 얻어진 신호의 절대평균과 표준편차 값을 이용하여 D.A.R.F를 정의하고 이로부터 표면거칠기를 계산식을 얻었다. 이 식을 사용하여 연삭가공 중에 근사적인 표면거칠기의 측정을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 WA60Kmv 슛돌로 난삭재 금형강인 SKD11을 마그네틱 척에 고정하여 평면연삭을 행하였고 AE 신호를 효과적으로 얻을 수 있도록

AE 센서를 공작물의 측면에 부착하였다. 실험장치의 구성을 Fig. 6에 나타내며 각 장비의 사양은 Table 2와 같다.

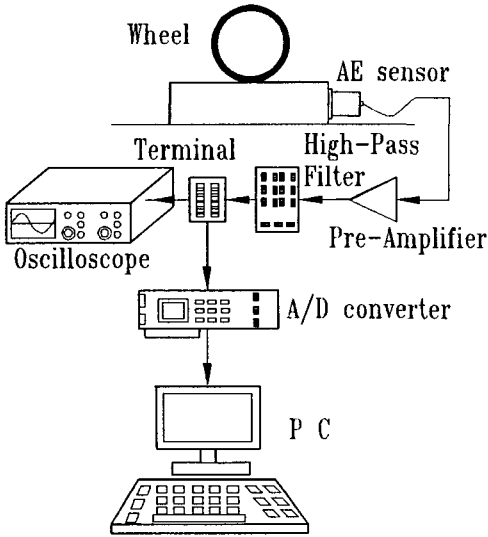


Fig. 6 Experimental Set-Up

Table 2. Specifications of Equipments

Equipments	Type & Features
Grinding Machine	Spindle Speed : 2800 rpm Spindle Motor : 0.75 Kw
AE Sensor	SN A-82 Wide Band
Pre-amplifier	Physical Acoustic Cor. 1220A 40/60 db Selective Gain
Oscilloscope	Hitachi Denshi, VC-6023 2 Channel Digital Storage
High Pass Filter	100 KHz
A/D Converter	12 Bits A/D Resolution
Personal Computer	486DX2-66

AE 신호는 광대역(Wide Band) 센서를 통하여 검출되고 신호가 감쇠되는 것을 방지하기 위하여 프리앰프(Pre-amplifier)를 이용하여 신호를 60db 증폭하였으며, 저주파 잡음을 제거하기 위하여 하이패스 필터(High Pass Filter)로 100KHz이상의 신호만 통과하도록 하였다. 검출되고 있는 AE 신호를 관찰하기

위하여 오실로스코프(Oscilloscope)로 시각화하였고, A/D 변환기를 거쳐서 컴퓨터에 저장하여 신호처리를 하였다. 실험조건은 Table 3과 같다.

Table 3. Experimental Conditions

Factors	Experimental Condition
Wheel Speed, Vs	1320 m/min
Workpiece Speed, Vw	5 m/min
Depth of Cut, h	10 μ m
Coolant	Not Used
Cutting Method	Down Cut

Table 4. On-Line Error Rates by Using D.A.R.F

No.	Estimated Ra	Measured Ra	Error Rate(%)
1	0.5606	0.56	0.12
2	0.4734	0.58	18.37
3	0.4162	0.52	19.96
4	0.3450	0.52	33.64
5	0.4767	0.56	14.86
6	0.4659	0.54	13.71
7	0.5265	0.54	2.49
8	0.4863	0.47	3.46
9	0.5260	0.53	0.75
10	0.4288	0.59	27.31
11	0.4234	0.57	25.71
12	0.4111	0.57	27.86
13	0.4086	0.51	19.88
14	0.4006	0.52	22.96
15	0.4298	0.54	20.41
16	0.4534	0.51	11.09
17	0.4621	0.50	7.57
18	0.3981	0.54	26.27
19	0.4909	0.49	0.18
20	0.4576	0.52	12.00

식 (2)를 이용하여 온라인(On-Line)으로 표면거칠기 값을 획득하여 측정식 거칠기 측정법에의해서 구해진 값과 비교하고 식 (3)에 따라서 오차를 계산하여 나타낸 것이 Table 4와 Fig. 7 이다.

Table 4를 살펴보면 D.A.R.F를 이용한 표면거칠기의 예측은 실제 측정예의한 표면거칠기 값과는 약

간의 차이가 있으나 연삭가공 중에 직접 인프로세서로 근사적인 표면거칠기 값을 구할 수 있다는 것을 보여준다. 여기에서 발생하는 오차의 요인으로는 회귀식을 구할 때 사용한 데이터들의 갯수가 적고 또 측정식에서 얻어진 데이터의 편차가 큰 것을 그 이유로 들 수가 있다. 따라서 많은 실험을 통하여 좀 더 정확한 회귀식을 구하면 기상에서 보다 정확한 표면거칠기 값의 예측이 가능함을 알 수가 있다.

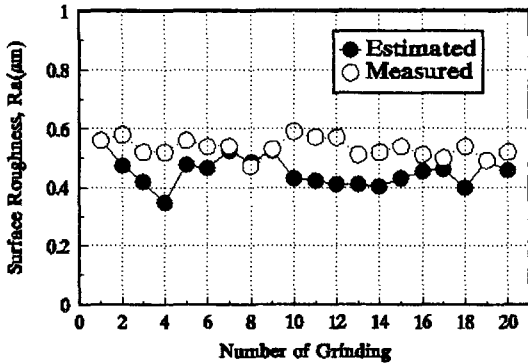


Fig. 7 Measured Ra and On-Line Estimated Ra

4. 결 론

본 연구는 평면연삭시 발생하는 AE 신호를 이용하여 연삭가공 중에 근사적인 표면거칠기를 예측하는 것을 그 목적으로하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 연삭가공에서 얻어진 AE 신호의 절대평균과 표준편차 값을 사용하여 표면거칠기와 AE 신호가 상관관계가 있음을 규명하였다.
- (2) 표면거칠기를 예측할 수 있는 무차원화 평균 표면거칠기 계수(D.A.R.F)를 정의하여 연삭가공 중에 인프로세서로 표면거칠기를 예측하였다.

참고문헌

- 1 Hasegawa, Kawamura, Ono, "The Generating Mechanism of the Ground Surface Roughness", 日本精密機械 40卷 5号, 1974, pp. 37~42

2. Honda, "Influence of Elastic and Plastic Properties of Work Materials on Ground Surface Roughness", 日本精密機械 44卷 9号, 1978, pp. 15~21
3. D.K. Bowen, M. Wormington, "Measurement of Surface Roughnesses and Topography at Nanometer Levels by Diffuse X-Ray Scattering", Annals of the CIRP Vol. 43, No. 1, 1994, pp. 497~500
4. Gert Goch, Raimund Volk, "Contactless Surface Measurement with a New Acoustic Sensor", Annals of the CIRP Vol. 43, No. 1, 1994, pp. 487~490
5. H. Trumpold, "Grinding Model Identification by Means of Surface Characterization", Annals of the CIRP Vol. 43, No. 1, 1994, pp. 479~482
6. W. Hillmann, "Surface Profiles Obtained by Means of Optical Methods", Annals of the CIRP Vol. 39, No. 1, 1990
7. N. Anbari, H. Trumpold, "The Influence of Surface Roughness in Dependence of the Probe Ball Radius with Measuring the Actual Size", Annals of the CIRP Vol. 39, No. 1, 1990, pp. 577~580
8. Nomura, Suto, Noguchi, "A Compensation Method of Profile Curves for Three Dimensional Analysis of Grinding Surfaces", 日本精密工學會誌 60卷 5号, 1994, pp. 683~687
9. EDA, KISHI, NAKAJIMA, KAKINO, "In Process Detection of the Grinding Crack by Making Use of Acoustic Emission", 日本精密機械 50卷 8号, 1984, pp. 82~87
10. INASAKI, AIDA, FUKUOKA, "Monitoring System for Cutting Tool Failure Using an Acoustic Emission Sensor", JSME International Journal, Vol. 30, No. 216, 1987, pp. 523~528
11. 윤재웅, 양민양, 박화영, "이중신호에 의한 공구파손 검출에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 16권 4호, 1992, pp. 707~722
12. E. N. Diei, D. A. Dornfeld, "Acoustic Emission from the Face Milling Process", Transaction of the ASME, Vol. 109, 1987, pp. 92~99
13. 강명순, 최성주, 박 현, "2차원 절삭시 발생하는 AE에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 10권 6호, 1986, pp. 906~915