

전류신호를 이용한 이상가공상태 검출·진단에 관한 연구

A Study on the Detection and Diagnosis of the Abnormal Machining Process Using Current Signal

서 한 원, 유 기 현, 정 진 용(전북대 대학원), 서 남 섭(전북대 공대)

Han-Won Seo, Ki-Hyun Yu, Chin-Yong Cheong(Graduate School, Chonbuk Univ.),
Nam-Sup Suh(Chonbuk Univ.)

ABSTRACT

Recently, with the development of NC and CNC machine tools and the high labor wage, the cutting process requires the high speed and automatic system which uses industrial robots and the flexible manufacturing system(FMS) that combines several machine tools. In this system, the whole system can be influenced by just one of the machin tools. So it needs to detect a problem and to solve it immediately in in-process state.

The monitoring system through measuring the motor current with current sensor has been attracting the attention of lots of researchers view of its low cost and flexibility.

By using the pattern discriminant with the detected three-phase-current signal, that is, I_{RMS} , a system which can monitor and analyze abnormal machining process condition of the workpiece during the machining will be able to be developed in this research.

Key Words : Cutting Process(절삭가공), Current Signal(전류신호), Abnormal Machining Process(이상가공상태), Pattern Discriminant(패턴판별), Monitoring System(감시시스템)

1. 서 론

가공중의 이상현상 그 중 공구 이상상태를 감시하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. Weis, W. 와 Dornfeld, D.는 공구재질의 내마모성이 향상됨에 따라 공구의 마모보다는 돌발적으로 발생하는 공구 파손을 감지하는 쪽으로 연구를 행하였고 Moriwaki, T.와 Tobito, M.은 코팅공구의 AE(Acoustic Emission)신호의 최대진폭이 파괴면적과 직접적인 상관관계를 가지고 있음을 선삭실험을 통해 입증하였고, Chryssolouris, G.와 Domroese, M.등은 절삭신호의 보다 정확한 검출과 신뢰성의 향상, 측정감도의 개선을 위하여 복수센서의 사용을 제안하였으나 이들 센서는 감시시스템을 실용화하기 위한 비용, 내구성, 유연성 측면에서 불리한 점이 많았다. 이런 점에서 전류센서를 이용한 모터전류 측정에 의한 공구상태 감시가 가장 실용 가능한 방법으로 주목을 받고 있다.

지금까지 전류신호를 이용한 이상가공상태의 감시

에 관한 연구에서, Matusushima, K.등이 모터의 전류신호를 이용할 것을 제안하여 시작되어진 이 연구는 모터의 소비전류의 측정이 실제적이지만 응답지연시간이 문제가 되어왔다. 그러나 최근에는 모터 구동기 및 센서기술의 발달로 응답지연시간이 많이 단축되어 측정이 용이해졌다. 전류측정 방법은 주로 초기에는 저항을 이용하는 방법과 CT(Current Transformer)를 이용한 방법이 주류를 이루었으나, 최근에는 홀(Hall)소자를 이용해 전류를 측정함으로써 초기의 전류센서에서 문제가 되어 왔던 신뢰성, 민감성이 크게 향상되었다. 밀링에서는 칩두께가 변하는 절삭기구의 특성에 따라 주축모터보다는 Bandwidth가 큰 이송모터를 감시하는 것이 좋다고 알려져 있고, 선삭에서는 Mannan, M. A., Broms, S.에 의해 이러한 전류신호에 레벨감시를 도입한 감시시스템이 부분적으로 실용화되었다.

FMS라인이나 간이자동화 라인의 경우 감시시스템을 구축하여 가공중 이상이 있으면 이를 in-process 상태에서 수정하는 기능이 필요하다. 이러한 감시시

시스템을 위해서는 센서의 사용이 불가피한데 공구동력계와 같은 정도가 높은 센서를 사용하는 것이 좋으나 가공에 제한을 받게되고 장비가 고가인 것이 단점이다. 따라서 이의 대안으로 저가적이고 유연성이 높은 전류센서를 이용하여 공구동력계와 같은 수준의 정도와 신뢰도를 얻을 수 있을것으로 기대한다.

전류신호에서의 이상상태진단을 위해서 이상가공상태(마모, 파손, 채터)에서의 신호특성을 찾아 기존의 방법인 레벨감시를 하지않고 이를 통계적으로 분석하여 확연히 구별되는 방법(이동평균, 히스토그램, C.V.(변동계수))을 이용한 진단·감시에 연구목적이 있다.

2. 이론적 배경

3상AC모터의 3상의 전류는 다음과 같다.

$$I_U = I \cos(\theta) \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$I_V = I \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$I_W = I \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \quad \text{-----} \quad (3)$$

이에서 I는 상전류의 피크값이며 θ 는 모터회전자의 U상 권선에 대한 상대 위상이다.

키르히호프의 법칙에서 W상의 전류는 다음의 (4)식이 의해 구할 수 있다. 이때 중복된 data를 피하기 위해 U, V상의 신호만을 받는다.

$$I_U + I_V + I_W = 0 \quad \text{-----} \quad (4)$$

U, V, W상의 신호를 이용하여 다음 (5)식에서 실효전류치 I_{RMS} 를 구할 수 있다.

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{I_U^2 + I_V^2 + I_W^2}{3}} \quad (5)$$

I_{RMS} 를 이용하여 다음(6)식에서 모터의 구동토크를 구할수 있다.

$$T_{MOTOR} = K_C I_{RMS} \quad \text{-----} \quad (6)$$

여기서 K_C 는 모터의 토크상수이다.

우 (5),(6)식에 의해 절삭력과 I_{RMS} 가 서로 비례한다는 것을 전제로 이 연구를 진행하였다.

3. 연구의 방법

가공은 CNC선반(DAEWOO PUMA 6S system 100L)에서 P20공구를 kistler계 piezo 공구동력계(9257A type)에 장착하고 공구동력계에서 나오는 신호를 증폭기(kistler 5001 type)를 통해 증폭시키고 A

D converter를 거쳐 들어오는 신호를 절삭저항의 기준신호로 삼으며, 주축모터의 입력전원에 전류센서를 장착하여 전류신호를 받아 AD converter를 거쳐 컴퓨터상에 저장하였다.

전류센서는 50A를 4V의 전압신호로 바꿔주는 hall type 센서유닛으로 되어있다. 이 전류센서는 정전압의 양호한 전원을 요구하므로 15V의 전압을 0.01%의 오차내로 전원을 공급하였다.

컴퓨터 프로그램은 C언어(BC++ 4.0)로 작성되었으며 동시에 5채널을 입력받도록 설계되었다. 이중 3채널은 공구동력계의 신호를 받고 나머지 2채널은 주축모터의 전류신호를 받는다.

이들 5채널의 신호를 받는 즉시 주축모터의 2상의 신호를 이용하여 나머지 한상의 신호를 계산 저장한다. 그리고 얻어진 3상의 전류신호를 이용 I_{RMS} 를 구해 동시에 저장한다.

절삭과정중 공구의 마모상태 및 파손형상은 윤곽투영기와 공구현미경으로 관찰하여 공구상태에 대한 전반적인 data를 얻는다. 이와같이 얻어진 data와 삼상전류신호, I_{RMS} 의 통계처리 및 패턴관별을 이용하여 가공의 이상상태를 진단하였다.

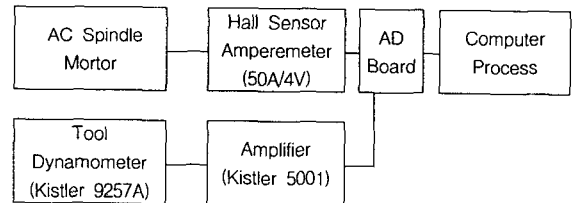


Fig. 1 Experimental Block Diagram

4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 주분력(Fp), 배분력(Fr), 이송분력(Ff)의 절삭력신호 모습으로 공구가 마모되지 않은 상태에서 정상적인 절삭이 이루어지는 경우이다(플랭크 마모VB=0.081mm). Fig. 3은 I_{RMS} 를 나타낸 것으로 절삭력과 같이 거의 일정한 신호를 나타낸다. Fig. 4는 cosine파와 같은 형의 U상(phase) 신호를 절대값으로 표시한 것으로 신호의 진폭이 거의 일정함을 볼 수있다. 또한 data의 이동평균도 직선형태를 나타낸다. Fig. 5에서는 I_{RMS} 의 신호를 히스토그램으로 분석한 결과 신호가 정규분포와 비슷한 형태를 나타낸다.

Fig. 6은 마모말기(VB=0.284mm)시의 신호이며 이때의 절삭력은 마모초기보다 증가되었음을 알수 있다. Fig. 7에서의 I_{RMS} 또한 data의 이동평균이 Fi

g. 3에서 보다 10%가량 증가되었음을 보여주고 있다. Fig. 4에서 마모시의 U상 data의 평균점들 또한 약 10% 증가폭을 나타내고 있다. 이와같이 일관된 변화의 비교에서 마모 검출이 가능함을 알 수 있다. Fig. 8은 마모시의 I_{RMS} 히스토그램으로서 마모말기와 마모초기가 거의 비슷하여 히스토그램으로 분석이 어렵다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 절삭과정중 급속한 파손이 발생한 경우의 절삭력신호로 3분력이 동시에 크게 감소함을 볼 수 있다. 이 신호는 방전가공기로 공구선단에서 0.6mm 떨어진 곳에 폭 0.2mm, 깊이 0.3mm의 슬롯을 인위적으로 가공한 경우의 것이다. Fig. 10은 파손시의 I_{RMS} 값을 나타낸 것으로 공구동력계의 신호보다 약 40~60ms 정도의 delay time을 보이며 I_{RMS} 신호가 크게 낮아짐을 보인다. 이를 이용한 파손의 검출은 진단시점으로부터 90ms 전의 신호와 50ms 전의 I_{RMS} data의 이동평균을 비교하여 15% 이상의 편차가 10ms 이상 지속되면 파손이라 진단할 수 있다. 따라서 진단시의 총지연시간은 40~60ms의 모터구동기와 센서지연시간과 50ms의 가공시간이 있어야 하므로 약 0.1sec라 할 수 있다. Fig. 11에서 U상의 신호도 I_{RMS} 와 같이 진폭의 감소를 보인다. 따라서 U상신호 또한 위의 I_{RMS} 와 같은 방법을 이용하면 파손을 진단하는 수단이 될 수 있다. Fig. 12의 I_{RMS} 히스토그램을 보면 정규분포형태에서 약간 편위되어 있음을 볼 수 있다. Fig. 13은 정상적상태의 가공시 절삭력신호이고, Fig. 14는 채터발생시의 절삭력 신호로서 절삭력의 진폭이 상당히 커짐을 알 수 있다. Fig. 15에서도 절삭력신호와 같이 정상적인 가공에 비해 I_{RMS} 신호의 진폭이 커짐을 알 수 있다. Fig. 16과 Fig. 17의 히스토그램을 비교해보면 정상절삭에 비해 채터시의 히스토그램이 비교적 넓게 분포되어 있고 변동계수(C.V.)도 채터와 더불어 커진다는 것을 알 수 있다. 따라서 채터의 검출도 I_{RMS} 의 변동계수로 검출할 수 있다.

5. 결 론

선삭가공중에서 이상가공상태 발생을 진단·검출하기 위하여 절삭력신호를 기준신호로 하고 전류신호를 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 절삭과정이 정상가공상태에서 이상가공상태로 변화함에 따라 변동하는 각 상(Phase)의 전류량, 전류

량 실효치(I_{RMS})를 이용하여 이상가공상태(마모, 파손, 채터)를 검출할 수 있다.

2. 전류량 실효치(I_{RMS})의 변동계수를 이용하면 채터의 검출이 용이하다.

3. 전류량의 실효치(I_{RMS})와 각 상(Phase)의 한 주기의 이동평균의 전후 비교를 이용하면 파손을 검출할 수 있다.

4. 전류량 신호를 히스토그램 분석하여 이상가공상태를 쉽게 판별할 수 있어 파손, 채터의 진단에는 히스토그램 분석의 도입이 유용하다.

6. 참 고 문 헌

1. Weis, W., Dornfeld, D., "WorkShop on Tool Condition Monitoring", 2nd Meeting of the CIRP Working Group on TCM, pp. 28-30, Sept., 1993
2. T. Moriwaki, M. Tobito, "A New Approach to Automatic Detection of Life Coated Tool Based on Acoustic Emission Measurement", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 212, Aug., pp. 212~218, 1990
3. Mannan, M. A., and Brooms, S., "Monitoring and Adaptive Control of Cutting Process by Means of Motor Power and Current Measurements", Annuals of the CIRP, Vol 38, No. 1, pp. 347~350, 1989
4. Matsushima, K., Bertok, P., and Sata, T., "In-Process Detection of Tool Breakage by Monitoring the Spindle Motor Current of a Machine Tool", ASME Measurement and Control for Batch Manufacturing, pp. 14~19, 1982
5. Stein, J. L., and Shin, K. C., "Current Monitoring of Field Controlled DC Spindle Drives", Proc. of the Winter Annual Meeting of the ASME, PED Vol.33, pp. 57~66, 1988
6. T. Moriwaki, M. Tobito, "A New Approach to Automatic Detection of Life of Coated Tool Based on Acoustic Emission Measurement", ASME, Vol. 112, 1990, pp.212~218
7. T. Moriwaki and Y. Mori, "Recognition of Cutting State Based on Neural Network Sensor Fusion", JSPE, 59-05, 1993, pp.779~784
8. G. Chryssolouris, M. Domroese and P. Beaulieu, "Sensor Synthesis for Control of Manufacturing Processes", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 114, 1992, MAY, pp.158~174

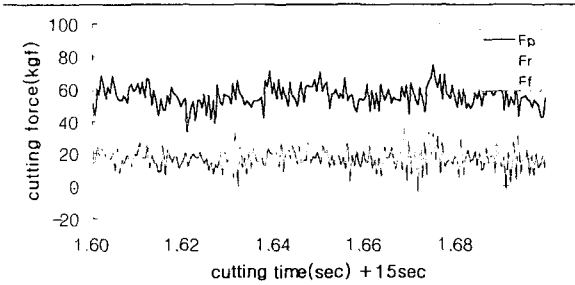


Fig.2 Cutting force vs. cutting time, total data=200
($v=200\text{m/min}$, $f=0.25\text{mm/rev}$, $a=0.8\text{mm}$)

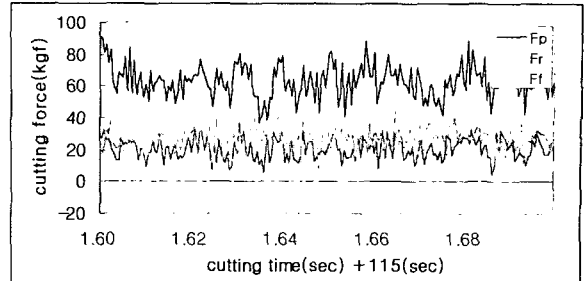


Fig.6 Cutting force vs. cutting time, total data=200
($v=200\text{m/min}$, $f=0.25\text{mm/rev}$, $a=0.8\text{mm}$)

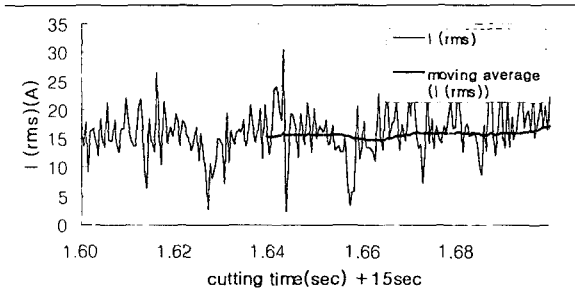


Fig.3 I (rms) vs. cutting time, total data=200
($v=200\text{m/min}$, $f=0.25\text{mm/rev}$, $a=0.8\text{mm}$)

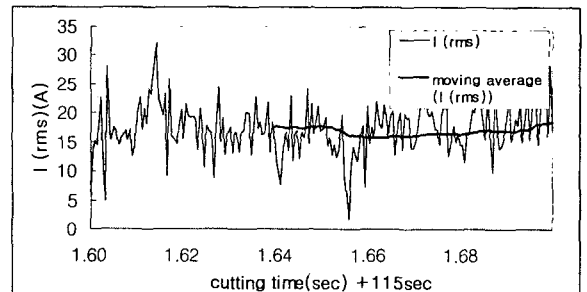


Fig.7 I (rms) vs. cutting time, total data=200
($v=200\text{m/min}$, $f=0.25\text{mm/rev}$, $a=0.8\text{mm}$)

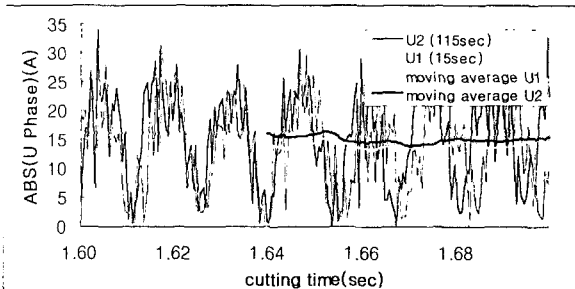


Fig.4 ABS(U Phase) vs. cutting time, total data=200
($v=200\text{m/min}$, $f=0.25\text{mm/rev}$, $a=0.8\text{mm}$)

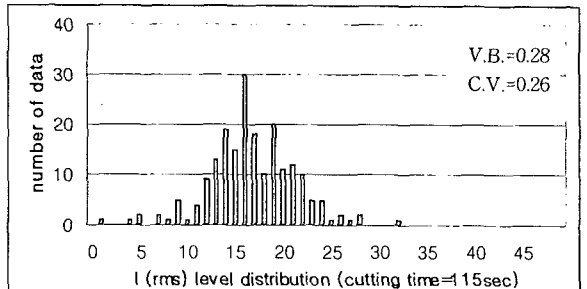


Fig.8 I (rms) histogram, total data=200
($v=200\text{m/min}$, $f=0.25\text{mm/rev}$, $a=0.8\text{mm}$)

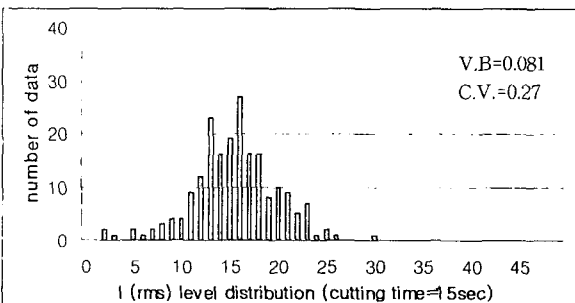


Fig.5 I (rms) histogram, total data=200
($v=200\text{m/min}$, $f=0.25\text{mm/rev}$, $a=0.8\text{mm}$)

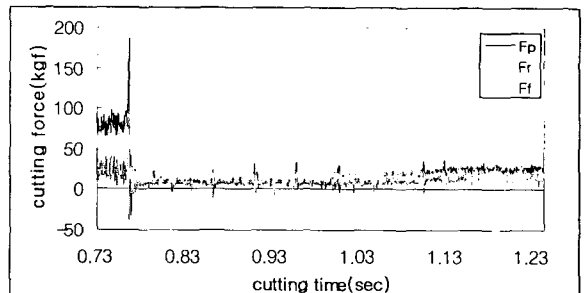


Fig.9 Cutting force vs. cutting time, total data=1024
($v=200\text{m/min}$, $f=0.25\text{mm/rev}$, $a=1.2\text{mm}$)

