

(技術論文)

NC 정보와 이송축 모터 전류를 이용한 선삭 가공 상태 감시

안중환* · 김화영**

(1991년 6월 4일 접수)

Monitoring of Machining State in Turning by Means of Information and Feed Motor Current

Jung Hwan Ahn and Hwa Young Kim

Key Words : Monitoring(감시), NC Information(NC 정보), Current of Feed Motor(이송축 모터 전류), Monitor Code(감시 코드), Real-time Monitoring(실시간 감시), Level Monitoring(레벨 감시), Abnormal Status(이상 상태)

Abstract

In this research a monitoring system for turning using NC information and the current of feed motor as a monitoring signal was developed. The overall system consists of modules such as learning process, NC data transmission, generation of forecast information, signal acquisition, monitoring and post process. In the learning process, the reference data and the cutting force equation necessary for monitoring are obtained from the accumulated monitoring results. In the generation of forecast information, the information of forcecasted cutting forces is acquired from the cutting force equation and NC program and appended to each NC block as a monitor code. Reliability of monitoring is improved by using the monitor code in the real-time monitoring.

Monitoring module is divided into two parts : the off-line monitoring where errors of NC program are checked and the on-line monitoring where the level of motor current is monitored during cutting operations. If the actual current level exceeds the limit value provided by the monitor code in the level monitoring, it is recognized as abnormal. In the event of abnormal status, the post processor sends the emergency stop signal to NC controller to stop the operation. Actual experiments have shown that the developed monitoring system works well.

1. 서 론

고도로 자동화가 진전된 생산시스템에 있어서 가공, 운반, 조립 그 자체는 NC(Numerical Control) 장치 및 자동화 기기에 의해 거의 무인화되어 있지만, 작업 상태의 감시는 대부분이 작업자의 주의 깊은 감시에 의존하고 있다. 이것은 무인 생

산 시스템의 실현에 큰 장애가 되고 있다. 특히 가공 프로세스의 상태는 가공의 진행과 더불어 그 상태가 변화하고, 열악한 환경에서 작업이 계속되면 기계에 심한 손상을 가져 오기도 한다. 따라서 그 상태를 바람직한 상태로 유지시키지 않고서는 가공의 자동화 나아가서는 무인 운전이 불가능하게 된다. 이에 대한 대책으로 가공 프로세스의 감시 기술이 필요하다⁽¹⁾.

가공 프로세스의 감시에 대한 연구는 주로 과부하, 공구파손, 공구마멸, 채터링, 충돌 등을 대상

*정회원, 부산대학교 정밀기계공학과

**부산대학교 대학원

으로 많이 이루어지고 있다. 감시 신호로는 AE (Acoustic Emission), 모터전류, 절삭력, 진동 등을 이용하고 있으며, 신호처리 및 인식 기술로는 주파수 분석, RMS(root mean square)값 분석, AR(auto regressive)모델 분석, 패턴인식 등을 이용하고 있다. AE신호는 공구 파손시 발생하는 고주파(100kHz~수 MHz)의 신호이며, 모터전류와 절삭력은 절삭 부하의 과다 여부를 반영하는 신호이고, 진동은 작업중의 채터링 발생을 나타내는 저주파(3~4kHz 이하) 신호이기 때문에, 이들을 검출함으로써 공구파손이나 마모와 같은 이상상태를 감시할 수 있다는 것이 알려져 있다⁽²⁻⁶⁾. 현재 AE 또는 모터전류를 NC 공작기계 감시에 실용화한 예가 있지만, 경계치 설정, 주위 잡음 영향등의 문제로 신뢰성에 많은 문제가 제기되고 있다. 온라인 감시연구에서 주로 제기되는 문제는 공구교환이나 공작물 교환에 무관하게 또 작업에 지장을 주지 않으면서 이들 신호를 감지해야 하는 점과 감시처리의 신뢰성을 높여야 하는 점이다.

본 연구에서는 이송축 직류 서보 모터의 전류신호와 NC정보를 이용해서 선삭 가공상태를 감시하는 시스템을 개발하였다. 모터 전류는 가공 부하의 상태를 잘 나타내며, NC 장치에 내장되어 있기 때문에 신호 검출을 위한 별도의 센서가 필요 없어서 공구가 수시로 바뀌는 NC작업 감시를 위한 유용한 신호이다⁽⁷⁻⁸⁾. 또 NC 정보로부터 작업을 예측함으로써 감시 대상을 명확히 하고 신뢰성을 높이고자 하였다. 전체적인 감시 시스템의 프로그래밍 언어로는 C를 사용하여, 실시간 감시처리를 가능하게 하였다.

2. 감시 시스템의 개발

2.1 구성

감시 시스템이 숙련공을 대신하여 지능적으로 작업상태를 감시하기 위해서는 NC지령을 근거로 한 작업예측, 검출신호를 근거로 한 상태인식 및 판단, 적절한 조치 등의 기능이 필요하다. 이를 위해서 마이크로컴퓨터와 CNC 공작기계를 연결하고 마이크로컴퓨터 상에 감시 기능을 수행하는 프로그램을 구축할 필요가 있다.

감시 시스템의 전체 개략도는 Fig. 1과 같으며, 크게 학습과정부, NC 정보 전달부, 예측정보 생성부, 감시신호 검출부, 감시부, 후처리부로 구성

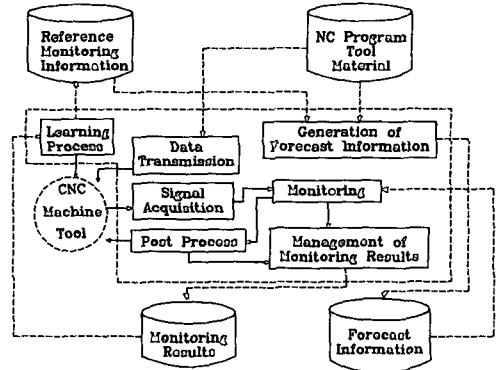


Fig. 1 Construction of monitoring system

되어 있다.

(1) 학습과정부

작업하는 공작기계와 공구 및 공작물의 재질에 따라 같은 절삭조건에서도 얻어지는 전류의 레벨값이 틀리므로 작업을 수행하기 전 작업조건에 맞는 기준 데이터를 얻을 필요가 있다. 이를 위해서 축적된 감시 결과를 이용하여 감시레벨을 학습적으로 반복해서 수정해 나간다. 데이터 베이스를 참조하든지 경험치로 부터 공구파손과 과부하에 대한 레벨을 설정한다.

(2) NC정보 전달부

이것은 DNC 작업을 할 수 있도록 NC 지령을 CNC 장치쪽으로 전달하는 요소로 RS-232C 또는 LAN(local area network) 인터페이스나 BTR (behind tape reader) 인터페이스를 이용할 수 있다. 특히 BTR 인터페이스는 표준 인터페이스가 갖추어져 있지 않는 CNC 장치를 DNC화 하기 위하여 사용된다⁽⁹⁾.

(3) 감시 신호 검출부

감시신호 즉 이송축 모터 전류를 읽어 들이는 곳으로 센서, 증폭기, A/D변환기로 되어 있다. 이 센서는 NC장치에 내장된 저항 센서를 그대로 이용하므로 별다른 센서가 필요없다.

(4) 감시부

작성된 NC 프로그램의 잘못된 아니라 가공 작업 중의 이상 발생을 감시한다. 전자는 off-line에서 이루어지지만 후자는 on-line으로 실시간 감시된다.

(5) 후처리부

작업중 이상발생이 감지되면 이상의 원인을 진단하며, 원인이 파악될 경우는 이송축만을 정지시켜

서 작업자가 조치한 다음 본래의 작업을 계속한다. 만약 원인이 파악되지 않을 경우는 급정지 신호를 NC 장치로 보내어 기계를 정지시킨다.

2.2 감시 알고리즘

감시부는 오프라인 감시와 온라인 감시로 되어 있으며 Fig. 2는 감시 알고리즘의 처리과정을 나타낸다. 오프라인 감시에서 이상이 없으면 NC 작업을 실행시키고 온라인 감시를 한다.

(1) 오프라인 감시 알고리즘

(가) 공구궤적 및 절삭조건 확인

작성된 NC 프로그램의 잘못을 검출하는 것으로, NC 프로그램에 기술된 공구궤적이 올바른가 또 절삭조건이 제대로 선정되었는가를 확인한다. 모니터 상에서 공구 궤적을 확인할 때 절삭력 실험식으로부터 절삭력을 계산하여 절삭경로 특히 황삭 경로에서 과부하가 발생하지 않는지 절삭력의 상태도 확인한다. 이상이 있으면 재프로그래밍을 요구하고, 이상이 없으면 NC코드로 변환한다.

(나) 감시용 데이터의 추가

온라인 감시의 신뢰성을 높으려면, 예측 절삭력을 참조해서 가공상태를 감시하는 것이 효과적이다. 이를 위해 NC블럭마다 예측 절삭력에 대한 정보를 감시용 데이터 형태로 추가하여 실시간 감시때 이를 참조하게 한다. 오프라인 감시 단계에서 ASCII코드의 NC 프로그램을 EIA 혹은 ISO코드로 바꾼 다음, 각 NC블럭에 감시용 데이터를 추가한다. 선삭에서 감시용 코드는 사용하지 않는 변수 D를 이용하여 Dxxx 형태로 나타내기로 한다.

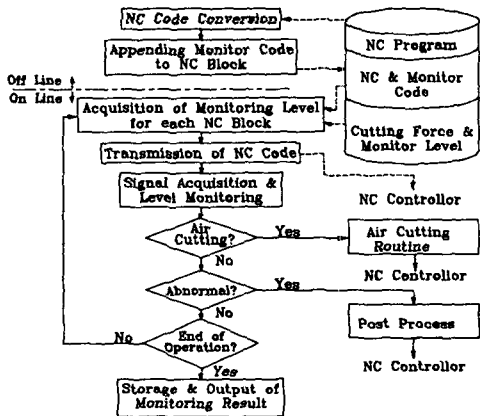


Fig. 2 Information flow of monitoring for CNC operation

데이터xxx는 절삭 유무 및 절삭의 형태-흡가공, 테이퍼가공, 원호가공, 나사가공 등.., 예측 절삭력에 관한 정보를 제공한다.

(2) 온라인 감시 알고리즘

실제 NC 작업 도중에 발생하는 이상을 감시하는 것으로서 레벨 감시로 과부하나 충돌 등의 돌발 사태를 감시한다. 작업이 끝나면 감시 결과를 저장한다.

3. 직류 서보 모터 전류 특성과 레벨 감시

3.1 모터 전류 검출기

본 연구에서 사용한 NC 선반의 이송축 직류 서보 모터는 thyristor 방식으로 제어된다. 이 모터의 속도 제어계는 Fig. 3과 같다. 모터의 출력 토크는 모터에 들어가는 전류의 크기에 비례하며, 모터에 부하가 걸리게 되면 이를 보상하기 위해 더 많은 전류를 흘리게 된다. 본 연구에서는 이 모터 전류를 전압 신호로 바꾸어 감시 신호로 사용한다.

3.2 직류 모터 전류의 특성

Fig. 4는 이송축 직류 모터 전류를 저항센서로 전압으로 변환하여 A/D 변환한 것을 나타낸다. 이것은 60Hz의 3상 100V 전압이 SCR(silicon controlled rectifier) 구동회로를 통해서 나온 신호이며, 피크 간격이 2.778msec 즉 360Hz이다.

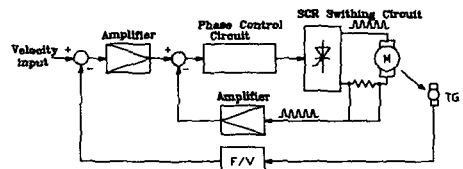


Fig. 3 Velocity control loop of DC servo motor

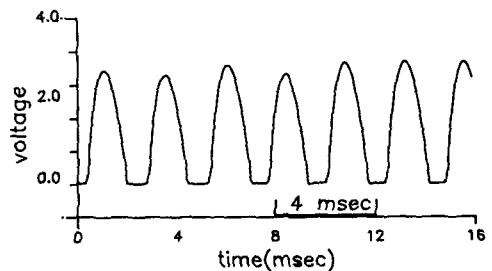


Fig. 4 Motor current signal

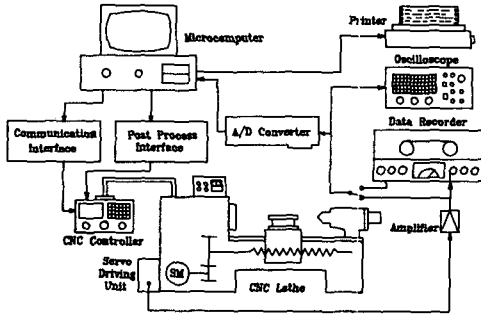


Fig. 8 Schematic diagram for experiment

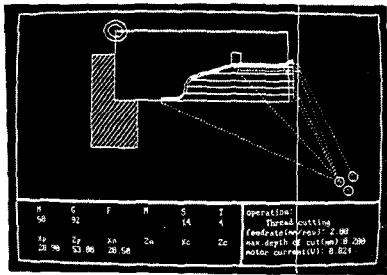


Fig. 9 Tool path displayed by off-line monitoring

Table 2 Illustration of data for monitoring

NC Program	Calculated Cutting Force	Monitor Code
NO12 G01 Z32.35	1.80	102
NO13 G02 X50.0 Z31.0 I3.0 K2.65	1.80-0.5	112
NO14 G00 Z76.0		0xx
NO15 G00 X38.0		0xx
NO16 G01 Z41.0	1.80	102
NO17 G01 X44.0 Z32.35	1.2	101

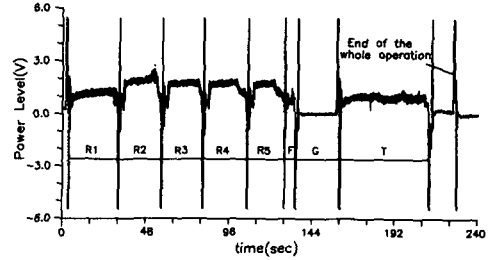


Fig. 10 Monitoring results of test part

읽어들여서 감시처리를 하며 이상으로 인식되면 인터페이스를 통해 NC 장치로 급정지 또는 이송 정지 명령을 내린다.

4.2 오프라인 감시와 감시 정보

Fig. 9는 오프라인 감시 결과 모니터 상에 표현된 공구 궤적을 나타낸다. 현재 나사 절삭과정을 나타내고 있는데, ◎로 표시된 것은 좌표 원점, 실선으로 표시한 것은 절삭이송, 점선은 급속이송 과정을 각각 나타낸다. 모니터 하단에는 각 작업에 대한 NC 프로그램, 작업종류, 위치, 예측 절삭력이 표현된다. 프로그램에 이상이 없음을 확인하고 감시코드를 추가한 NC 코드를 작성하여 파일(file)에 저장한다.

Table 2는 주어진 NC 프로그램에 대해 생성된 예측 절삭력, 감시코드, 감시레벨과 같은 감시용 데이터의 일부를 나타낸다. 예를들어 감시 코드 D102에서 10은 외경가공을 의미하며, 2는 예측 절삭력이 중간 정도임을 나타낸다. 이로서 감시레벨은 2.2 정도로 취해진다. 감시코드는 NC장치로 전송되지 않고 단지 감시정보를 얻기 위해서만 참

조된다.

4.3 온라인 감시 및 감시결과

시험부품에 대한 NC지령을 파일로부터 읽어서 NC 정보 전달부를 통해 NC장치로 한 블록씩 전송하면서 DNC 작업을 수행하며 온라인 감시를 한다. 16msec 동안의 전류값을 읽어들이 평균을 취한 다음 예측값과 비교하는 레벨 감시를 한다. 감시는 25-30msec 간격으로 실시간에 행하여 진다. Fig. 10은 모터 전류를 검출하여 실시간 감시한 결과를 나타낸다. NC 작업은 5차례의 황삭(R1-R5), 정삭(F), 홈(G), 나사(T)가공으로 되어 있다. NC 작업과 절삭조건에 따라 예측한 대로 전류 레벨이 변하는 것을 알 수 있다. 황삭, 정삭, 나사에 대한 레벨은 각각 1.8V, 0.9V, 1.1V이다. X축 홈가공일 경우, 레벨값은 약 0.2V로, 이는 공구가 Z축을 따라 움직이지 않음을 나타낸다. 황삭과 정삭의 시작부분에서 생기는 공절삭(air cutting)의 레벨은 약 0.5-0.7V로 이송부하외에는 절삭부하가 걸리지 않음을 알 수 있다. 황삭작업의 끝에서의 레벨은 절삭깊이의 감소 때문에 낮아진다. 이러한

감시결과로부터 시험부품은 좋은 조건하에서 가공되었다고 할 수 있다.

4.4 고찰

황삭 R2부분에서 전류 레벨이 다른 부분보다 높게 나타난 것은 실제 가공중에 칩이 엉켜서 공구에 추가적인 부하가 작용하게 되어 생긴 결과로 작업 상태가 위험하지는 않았으나 절삭조건을 개선할 필요가 있는 것으로 생각된다. 각 작업 사이에서 관측되는 전류 레벨의 급격한 변화는 G00 즉 급속이송 모드에서 이송모터의 급격한 가감속 때문에 생기는 것으로 생각된다. 따라서 감시 알고리즘에서는 G00 기능이 수행될 때 검출되는 급격한 전류 상승을 모터 가감속으로 인식하고 절삭 과부하와는 무관한 것으로 처리할 필요가 있다. Z축 이송모터 전류와 X축 이송모터 전류를 감시신호로 이용하면 더 신뢰성이 높은 감시 결과를 얻을 수 있을 것이다.

5. 결 론

본연구에서는 이송축 직류 서보 모터의 전류를 감시 신호로 이용하고, NC 정보를 이용하여 선삭 가공상태의 감시 시스템을 개발하였다. 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 이송축 직류 서보 모터의 전류는 가공부하에 따라 변화하며, NC 작업에 지장을 주지 않으므로 감시 신호로서 아주 유용한 신호임을 알 수 있었다.
- (2) 오프라인 감시를 통해 NC 프로그램의 잘못을 검출할 수 있었으며 절삭력을 계산하여 절삭조건을 잘못을 검출할 수 있었다.
- (3) 전류 레벨값을 검출하여 공구파손이나 재료 불량에 의한 과부하를 감시할 수 있었다.
- (4) 전체 NC 작업공정에 대하여 예측 전류 레벨값과 실제 전류 레벨값을 비교하여 정상작업이 이루어지는지 실시간 감시가 가능하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 지원으로 '88 목적기초 연구과제로 수행된 내용의 일부이며, 이에 감사료를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 안중환, 1987, 생산 시스템의 운전 감시, 동경대학 박사 학위 논문
- (2) Li Dan, and Mathew, J., 1990, "Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning-a Review", Int.J.Mach.Tools Manufact., Vol.30, No.4, pp.579-598.
- (3) Liang, S.Y., and Dornfeld,D.A., 1989, "Tool Wear Detection Using Time Series Analysis of Acoustic Emission", Trans.ASME, Journal of Eng.for Industry, Vol.111, pp.199-205.
- (4) Tomizuka, M., and Tarn, J.H., 1989, "On-Line Monitoring of Tool and Cutting Conditions in Milling", Trans.ASME, Journal of Eng.for Industry, Vol. 111, pp.206-212.
- (5) Mannan, M.A., and Broms, S., 1989, "Monitoring and Adaptive Control of Cutting Process by Means of Motor Power and Current Measurements", Annals of the CIRP, Vol.38, pp.347-350.
- (6) Hayashi, S.R., Thomas, C.E., Wildes, D.G., 1988, "Tool Break Detection by Monitoring Ultrasonic Vibration" Annals of the CIRP, Vol.37, pp. 61-64.
- (7) Stein, J.L., Colvin, D., Clever, G., Wang, C.H., 1986, "Evaluation of DC Servo Machine Tool Feed Drives as Force Sensors", Trans.ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol 108, pp. 279-288.
- (8) Kashimoto, M., Sakamoto, C., Wakai, H., Kado, S., Mizutani,E., 1983, "Development of a Tool Breakage Detection System", Proceedings of the CIRP Seminars, Manufacturing Systems, Vol.12, No.3, pp.227-237.
- (9) 竹内芳美, 坂本正史, 池岐八生, 末富昭, 1982, "パーソナルコンピュータによる NC旋盤の DNC 化", 精密機械, 48巻, 6號, pp.714-719.