

금형 가공 공정 모니터링을 위한 웹 기반 모니터링 시스템 개발

김건희[#], 신봉철¹, 최진화¹, 신광호², 윤길상², 조명우³

Development of Web-based Monitoring System for Monitoring Mold Manufacturing Process

G. H. Kim, B. C. Shin, J. H. Choi, K. H. Shin, G. S. Yoon, M. W. Cho

Abstract

In this paper, the web-based monitoring system is developed for the process monitoring of mold manufacturing. The cutting force is measured by hall-sensors which is low cost and useful to be installed in machine tool indirectly. Specially the current of main spindle in machine tool is converted into cutting force by various experiments. For effective emotion monitoring, the interface that is able to offer the information of current process and cutting signal to client is establish.

Key Words : Web-based monitoring(웹 기반 모니터링), Cutting force(절삭력), Mold manufacturing(금형가공), E-manufacturing(생산정보화)

1. 서 론

금형 생산을 포함한 전반적인 생산 제조 현장에서 최근 IT 기술이 적용되기 시작하면서 생산 기술 디지털화의 중요성이 날로 높아지고 있다. 이는 기업의 ERP(Enterprise Resource Planning) 구축에 따른 제조 공정의 정보화는 필수적인 요소이기 때문이다. 즉, 제조업의 업무 프로세스, 관리 방식 등이 ERP 와 정확하게 맞물려 운영되기 위해서는 생산 프로세스의 디지털화가 필수적이다. 이러한 추세에 맞추어 최근 E-manufacturing 통합 솔루션에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

전형적인 전통 산업으로 분류되는 금형 생산에서도 다품종 소량 생산과 정밀 금형 수요 증가 추세에 따라 생산 공정 혁신이 요구되고 있다. 특히 산업 전반에 필수적인 사출 금형의 경우 매

제품마다 신제품 개발과 동일한 프로세스를 거치게 된다. 이러한 금형 가공 공정 혁신을 위해서 E-manufacturing 의 하부 부류인 MES 구축을 통하여 가공 일정, 가공 상태, 후 공정 계획 등에 대한 유연한 대처를 함으로써 정밀도 향상, 납기 단축 등의 경제적인 효과를 얻을 수 있다. 실제로 CNC machine 의 가공 상태 모니터링을 하기 위한 많은 방법들이 제시되고 있으며, 이를 인터넷과 연계시켜 웹 기반 시스템에 관한 연구도 진행되고 있다.[1][2][3] 또한, FANUC 등 컨트롤러 제작사에서도 이러한 환경에 적용하기 위한 제품들을 개발하여 출시하고 있다. 그러나, 공정혁신을 위해서 고가의 공작기계를 한꺼번에 교체하는 것은 금형 업체 입장에서 경제적으로 매우 어려운 일이고 컨트롤러만을 구매하여 교체하는 방법에도 많은 제한이 있다. 또한 각 현장에 Customizing 하기 위해서는 많은 비용이 발생하게 된다.

본 연구에서는 별도의 장비 교체 없이 기존의 공작기계에 가공 공정에 간섭이 없고 저렴한 비

1. 인하대학교 기계공학과 대학원
2. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
3. 인하대학교 기계공학부
교신저자: 인하대 기계과 대학원
E-mail:venkey@empal.com

용으로 설치가 용이한 센서를 이용하여 현장 특성에 맞게 적용이 가능한 웹 기반 금형 가공 공정 모니터링 시스템을 개발하였다. 가공 상태를 효과적으로 모니터링 하기 위하여 홀 센서로 측정된 전류값과 공구 동력계의 절삭력 신호를 실험을 통하여 환산식을 유도하였으며, 이를 본 연구에서 개발된 시스템에 적용하였다. 또한, 개발된 웹 기반 모니터링 시스템에서는 가공 데이터를 실시간으로 획득하여 웹 상에서 원격지의 Client 에게 보여줌으로써 현 가공 상태를 효과적으로 파악할 수 있도록 구현하였다. Server 와 Client 사이의 효과적인 통신을 위하여 Socket 통신을 구현하였으며, ActiveX control 을 이용하여 양방향 통신이 가능하게 구현되었다. Fig. 1 은 본 연구에서 개발된 시스템의 기본적인 구조를 나타낸 것이다.

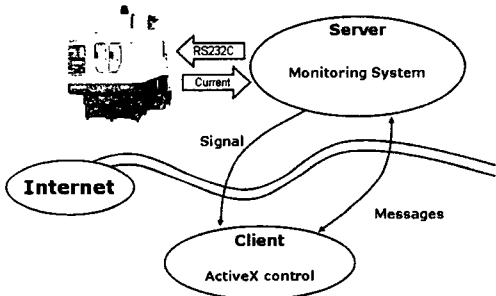


Fig. 1 Basic structure of developed system

2. 홀 센서를 이용한 절삭력 측정

일반적으로 2 차원 밀링 절삭의 절삭 경로는 공구의 회전과 이송의 동시 운동에 의한 사이클로이드(Cycloid) 곡선이지만, 이송 속도가 공구의 반경보다 작다는 가정을 하면 원호로 근사할 수 있다. 이 경우에 절삭 토크(T_c)는 접선 방향의 절삭력(F_t)과 공구 반경을 이용하여 계산할 수 있으며, 이 때 최대 절삭 토크는 접선 방향의 절삭력이 최대값을 가질 때 발생한다.

$$F_c)_{\max} = \frac{\sqrt{1+r_1^2}}{R} \times T_c)_{\max} \quad (1)$$

본 연구에서는 AC 모터 중 동작기계에 주로 사용되는 3 상 유도 모터의 등가 직류 전류를

RMS 값을 이용하여 계산하였다.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{I_u^2 + I_v^2 + I_w^2}{3}} \quad (2)$$

또한, 일반적인 3 상 전류의 인가 전류와 자속 밀도에 의해 발생하는 총 토크량(T_{total})은 다음과 같이 표현된다.

$$T_m = T_u + T_v + T_w = \frac{3}{2} KI_m B_m \quad (3)$$

관련 식을 정리하면 동작기계 주축의 모터 전류와 절삭 토크, 모터 토크, 절삭력은 각각 비례 관계에 있음을 알 수 있다.[4][5]

$$F_c \propto T_c \propto T_m \propto I_{rms} \quad (4)$$

공작기계의 가공 상태 모니터링을 위하여 주축과 각 이송축에 홀 센서를 설치하였으나, 실제 가공과 관련된 절삭력을 환산하기 위해서 본 연구에서는 주축 모터의 전류를 이용하였다. 각 이송축의 경우는 공작기계의 칩 커버 마찰, 공작물의 하중에 의한 로드 등 많은 외부 오차 변수들이 존재하기 때문이다. 주축 모터의 전류값을 절삭력으로 환산하기 위하여 Table 1 에 나타낸 조건 하에 실험을 진행하였다.

Table 1 Specification of the experimental apparatus

CNC machine	HYUNDAI HiMac V-100
Dynamometer	Kistler 社 9272 model
A/D board	ADLINK 社 PCI-9112
Tool	Φ20 4 teeth flat endmill Φ20 2 teeth flat endmill
Workpiece	S40C, SM45C
Feed rate	20mm/min ~ 200mm/min
Depth of cut	0.5mm ~ 0.45mm
Cutting speed	500rpm ~ 2000rpm

Feed rate 은 20mm/min 부터 25mm/min 씩 증가 하면서 실험을 진행하였고, 절삭 깊이는 5mm, 절삭 속도는 200rpm 씩 증가하였다. 홀 센서는 온도 변화와 전자기 유도 현상을 이용한 것이므로 주파수 대역에 제한을 받을 수 있으므로 차단 주파수가 500Hz 인 Low pass filter 를 사용하였으며, 주

축모터의 최대 출력인 11kw 에 맞게 50A/4V 홀 센서를 설치하였다. 공구 동력계와 홀 센서로부터 출력되는 신호를 비교하기 위하여 두 신호를 A/D board 를 이용하여 데이터를 획득하였다. Fig. 2 는 홀 센서 설치를 나타낸 사진이며 Fig. 3 은 실험 장치 구조를 나타낸 다이어그램이다.

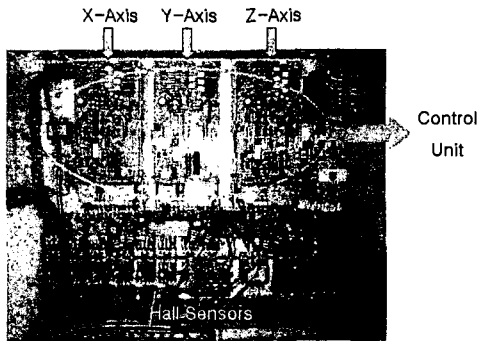


Fig. 2 Location of current hall sensor

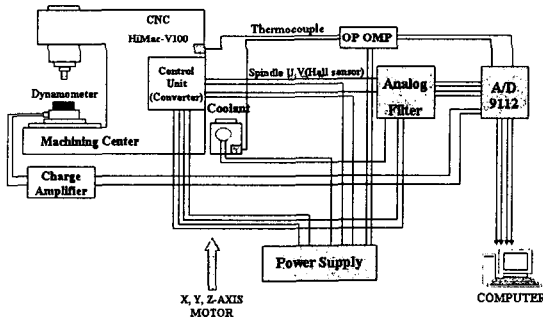


Fig. 3 The structure of experimental setup

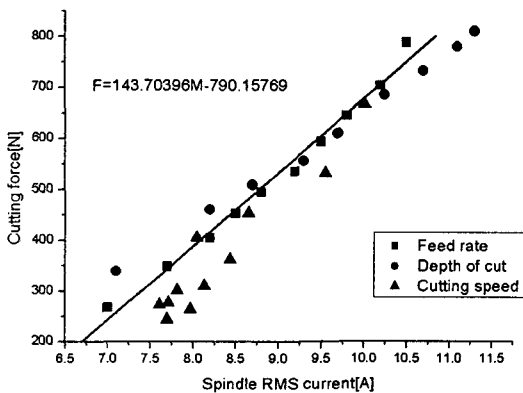


Fig. 4 Spindle RMS current vs. Cutting force along the experimental conditions

앞서 언급된 실험 조건들을 변화하며 공구 동력계의 절삭력과 전류 RMS 값의 변화 양상을 관찰하였다. Fig. 4 는 실험 결과 데이터를 나타낸 것으로 결과적으로 절삭력과 전류의 관계는 약 96.5%의 정확도를 가지고서 선형적인 관계를 나타내었다. 이로써 어떠한 조건 변화에서도 주축의 전류 변화로 절삭력을 간접적으로 모니터링 할 수 있음을 확인하였고 이를 웹 기반 모니터링 시스템에 적용하였다.

3. 시스템 설계 및 개발

본 연구에서 구축한 시스템의 개발 환경은 Table 2 와 같다.

Table 2 Environment of system development

OS	Window 2000 Professional
Web server	IIS 5.0
Script language	HTML
Used language	Visual C++ 6.0 (ActiveX control)
Communication Method	RS232C Serial communication (PC ↔ CNC machine) Internet(TCP/IP)
PC	Pentium 2G RAM 512MB
A/D Board	ADLINK 社 PCI-9112 Testing sample-rate : 1KHz

웹 기반 모니터링 시스템은 크게 가공 정보 관련 모듈, 모니터링 모듈, 가공 결과 분석 모듈로 나뉘어진다. Server 와 Client 사이의 원활한 메시지 송·수신을 위하여 데이터 송·수신 부를 Socket 통신으로 구현하였다. 또한, Client 측의 능동적인 모니터링을 위하여 가공 정보 관련 모듈과 모니터링 모듈을 ActiveX control 로 제작하였다. 이러한 방법으로 Client 의 Local computer 에 원격지 모니터링에 필요한 프로그램을 설치함으로써 원활하고 빠른 접속을 가능하게 하고 Server 와 효율적인 통신을 할 수 있게 된다.(Fig. 5)

개발된 시스템의 가공 정보 관련 모듈과 모니터링 모듈은 공작기계의 가공 상황과 이와 매칭된 상태에서 실시간으로 입력되는 주축과 이송축의 전류 신호를 원격지의 Client 에게 전송하고, 특

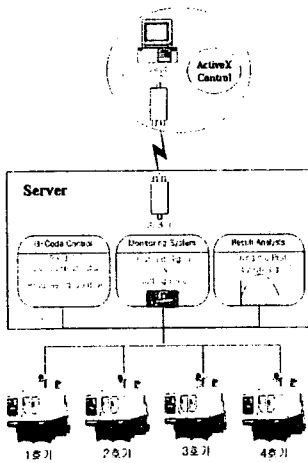


Fig. 5 Detailed structure of developed system

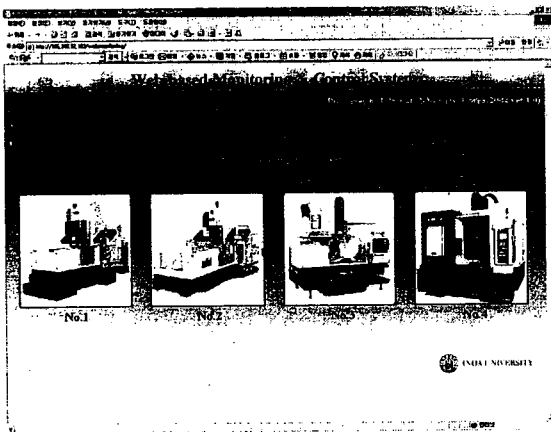


Fig. 6 Main web page of developed system

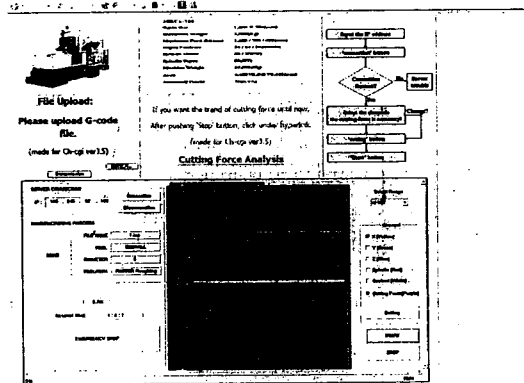


Fig. 7 Monitoring web page of developed system

히 주축의 전류 신호는 절삭력 정보로 환산하여 전송이 된다.

본 시스템은 단순히 수신되는 신호를 모니터링 하는 것이 아니라 금형 가공 공정 모니터링에 맞게 원격지의 Client로부터 전송 받은 가공 정보 파일(G-code)을 분석하여, 동작기계의 가공 상태와 함께 가공과 관련된 정보인 가공 공구, 가공 시간, 진행 정도 등의 정보를 Client가 열람할 수 있고, 가공 중 이상 신호 발생 시에는 현장의 관리자에게 비상정지 등의 다양한 정보를 메시지 호출의 방식으로 알릴 수 있도록 구현되어 있기 때문에 원격지에서도 웹을 통하여 각 가공 단계의 진행 상황을 효과적으로 알 수 있고, 가공 완료 후 공정에 대하여 유연하게 대처할 수 있을 것으로 판단된다.

가공 결과 분석 모듈은 각 단계의 가공 완료 후 획득된 데이터를 전체적으로 보여줌으로써 가공 공정의 경향을 Client가 쉽게 파악 할 수 있도록 구현되었다. Fig. 6 ~ Fig. 8은 본 연구에서 개발된 시스템의 Web-page를 나타낸 것이다.

개발된 시스템을 현장에 적용하였을 경우, 동작기계의 가공 공정에 간섭이 일어나지 않는 범위에서 원격지에서도 효과적으로 가공 상태를 모니터링 할 수 있으며 각 모듈의 기능성에 의해 불량으로 인한 재 가공에 소요되는 시간, 각 단계 별 측정 공정 소요 등을 신속하게 파악함으로써 전체적인 금형 생산 공정에 유연하게 대처할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 금형 기업의 ERP 구축 시 각종 금형 가공 관련 데이터를 획득하고, DB화하는 것이 수월하기 때문에 금형 가공 공정의 무인 자동화 시스템 구축이 용이할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 금형 가공 공정의 효율적인 모니터링의 위하여 동작기계의 웹 기반 모니터링 시스템을 개발하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존의 동작기계에 적용이 용이하도록 하기 위해 가공 활동에 간섭이 없고 비용이 저렴한 홀 센서를 이용하였다.
- (2) 여러 실험 조건 하에 공구 동력계의 절삭

력 값과 비교, 분석을 통하여 주축의 전류를 질산력으로 환산하는 식을 유도하여 본 시스템에 적용하였다.

- (3) 개발된 시스템은 가공 정보 관련 모듈, 모니터링 모듈, 가공 결과 분석 모듈로 구성되어 있으며 원격지에서도 현장을 효율적으로 모니터링 할 수 있는 인터페이스를 구축하였다.
- (4) 본 시스템의 적용으로 금형 기업의 ERP 구축의 용이성과 금형 가공 공정의 기초를 마련하였다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Kazuo Muto, 2003, Advanced Technology for Manufacturing engineering development: XML technology on a system that enables user to view required information from the work shop through a web browser, JSAE Review 24, pp. 303~312.
- [2] Jay Lee, 2003, E-manufacturing – fundamental, tools, and transformation, Robotics and Computer Integrated Manufacturing 19, pp. 501~507.
- [3] S. K. Ong, L. Jiang, A. Y. C. Nee, 2002, An Internet-Based Virtual CNC Milling System, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 20, pp. 20~30.
- [4] 신봉철, 윤길상, 최진화, 김동우, 조명우, 2003, E-manufacturing 을 위한 가공공정 모니터링 시스템 개발, 한국공작기계학회 추계학술대회지, pp. 30~35.
- [5] 조용주, 강정진, 허영무, 조명우, 신봉철, 2003, 금형 공장 적용을 위한 MES 시스템 Framework 설계 및 구현, 한국 정밀공학회 춘계학술대회지, pp. 1239~1242.