

미소경 드릴링 머신의 試作과 監視에 관한 연구

백 인 환* · 정 우 섭**

A Study on the Development and the Monitoring of Micro Hole Drilling Machine

I. H. Paik · W. S. Chung

Key words : Micro hole drilling M/C(미소경 드릴링 머신), Step feed mechanism(단계이송기구), Overload detection instrument(과부하 검출장치), Feed rate manipulation(이송량 제어), Reduction of stiffness(강성 저하)

Abstract

Recently, the trends toward reduction in size and weight of industrial products increased the application of micro hole for manufacturing gadgets of high precision and gave rise to a great deal of interest for micro hole drilling M/C. Quite a few research work is performed on micro drilling on domestic basis compared with the the tendency of analyzing cutting mechanism, adaptive control, monitoring of generally available drills of diameter greater than 1mm. This study addresses the design, manufacturing and controlling a micro hole drilling M/C with the overload detection instrument and the step feed mechanism. Controlling and monitoring of the drilling process are acomplished on PC basis for more user interfaces and effectiveness. The test machine of the results of this research shows a good foundation for extending further micro hole machining technique.

기호설명

A	: 볼 스크류의 단면적(mm ²)	F _{ao}	: 예압하중(kgf)
d	: 접촉각	K	: 이송나사축계의 강성
D _a	: 전동체의 직경(mm)	K _B	: 지지 베어링의 강성(kgf/mm)
E	: Young 률(kgf/mm ²)	K _H	: 볼 너트 하우징부의 강성(kgf/mm)
F	: 이송나사축계에 걸리는 하중	K _N	: 볼 너트의 강성(kgf/mm)
		K _s	: 볼 스크류의 강성(kgf/mm)
		L	: 장착간 거리(mm)

* 정회원, 부산대학교

** 정회원, 부산대학교 대학원

Z : 전동체의 수량

δa : 축방향 탄성변위량(mm)

1. 서 론

미세드릴가공은 드릴 직경의 소경화로 발생하는 공구강성 저하, 진동 발생, 칩배출 곤란 등으로 인해 수많은 기계가공 중에서도 가장 어려운 가공 중의 하나이며 이로 인해 설계의 단계에서 가능한 피하고 있는 실정이다. 그러나 근래 각종 제품의 소형 경량화 추세가 일어나면서 미세구멍가공 기술에 대한 중요성이 높아지고 있으며 특히 시계부품, 소형 정밀 부품, 연료분사용 노즐, 광 파이버 관련품, 우주항공기 부품 등에 수요가 급증하고 있다. 또한 최근 전기, 전자 공업의 발달과 함께 등장한 표면실장기술(SMT)은 프린터 배선기판의 고밀도화를 더욱 진전시켰으며 이는 구멍밀도, 구멍지름의 미소화 등 미세구멍가공 관점에서 보완해야 할 기술적인 과제를 남겨 놓았다^{1,4)}. 이러한 공업제품들의 요구에 따라 미세구멍가공이 부각되었고 가공방법에는 방전가공, 레이저 가공, 전자빔 가공 등의 전기, 물리적인 가공법이 이용되기도 하였지만 생산성 문제, 가공정도의 저하, 심혈가공의 난점, 건식가공 불능 등으로 인해 만족스럽지 않으며 이러한 기대가 기계적 가공법인 미세드릴가공에 주목되고 있다. 종래 미세드릴가공은 고도속연자의 직감에 의해 드릴에 걸리는 토오크나 칩의 상태를 보면서 가공을 하였지만 본 연구에서 개발한 미소경 드릴링 머신은 초보자도 가공이 가능하게 하여 미세구멍가공을 사용한 설계의 일반화에도 기여를 할 것이다.

미세드릴가공의 가장 큰 문제는 공구강성 저하로 인한 드릴파손이며 그 원인으로는 드릴이 비틀려서 파손되는 비틀림에 의한 피로현상이 가장 크다. 이를 방지하기 위해 여러가지 드릴파손 모델에 관한 연구도 진행되고⁵⁾, 새로운 드릴형상이 제안되기도 하였지만^{6,7)}, 드릴의 미소화로 인해 공구강성과 절삭성능을 동시에 향상시키는 것은 제한이 있으며, 공구강성 저하로 인한 드릴파손을 방지할 수 있는 적절한 감시방법이 요망된다. 최근의 감시방법으로 여러가지 우수한 방법이 제시되고 있지

만^{8, 12)} 가공기의 강성을 저하시키지 않고 주축계의 개조를 필요로 하지 않으며 경부하에 적당한 방법으로 유도전동기의 슬립을 측정하여 절삭저항을 산출하는 방법이 개발되고 있다¹³⁾. 이 감시법은 비교적 고속이며, 미세이송, 작은부하로 가공되는 연삭작업에 이용되어 왔으며, 위의 절삭조건들은 미세드릴가공의 특징과도 잘 부합되고 있다. 이를 기초로 하여 본 연구는 미세드릴가공의 매카니즘을 규명하고 그 문제점을 해결할 수 있는 감시방법을 연구함과 동시에 이 방법을 실현한 미소경 드릴링 머신을 시작하는데 주력하였다.

2. 미소경 드릴링 머신의 시스템 구성

미소경 드릴링 머신은 절삭중에 발생한 절삭토오크, 모터에 걸리는 부하, 진동, 절삭음 등을 상시 감지하고 CNC 장치 등에 전달하여 항상 최적의 절삭상태를 유지하는 것이 필요하다. 이처럼 절삭중의 이상을 손쉽게 발견하고 또한 연구의 효율성을 높이기 위해 미소경 드릴링 머신을 PC로 제어하였으며, 제어대상은 3축의 스텝핑 모터, AC 모터부, 과부하 검출장치, 각종 디지털 제어부 등이다.

본 연구에서 개발한 미소경 드릴링 머신은 드릴 파손을 최소화 하고 양호한 가공 상태를 얻기 위하여 과부하 검출장치, 스텝핑 모터를 이용한 스텝백 기구, 포토 인터럽트를 이용한 이송량 제어장치를 피드백 제어한다.

가공상태의 감시는 가공부하에 의한 주축회전수의 저하를 인식하여 토오크의 증대를 간접적으로 측정하여 판정한다. 즉 주축용 모터의 회전수가

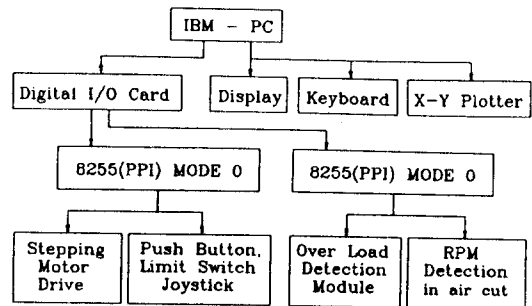


Fig.1 Constitution of PC control

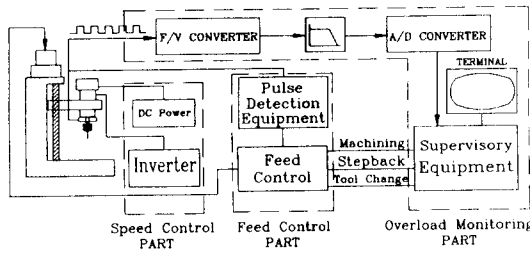


Fig.2 Control system of micro hole drilling M/C

토크의 증대로 인해 무부하 상태의 회전수보다 감소하여 과부하 설정값 이하로 되면 스텝백이 발생하고, 과부하 설정값은 새 드릴이 파손할 때 발생하는 출력값을 자동인식하여 드릴 직경에 따라 또는 피삭재에 따라 스텝백 발생의 민감도를 달리 설정할 필요가 있다. 미세 드릴 가공에서 이러한 감시방법의 적용은 가공부에 영향을 미치지 않기 때문에 주축강성의 저하를 초래하지 않으며 미세 가공의 특징인 고속절삭시에 분해능이 좋아진다는 장점이 있다.

드릴가공에서 이송량은 mm/rev으로 표현되므로 본 연구의 가공기는 포토 인터럽터와 카운터를 이용해 주축용 모터의 1회전당 이송축 스텝핑 모터의 펄스수를 지령하여 가공상태에 적합한 이송량을 제어한다.

이상과 같은 과부하 검출장치, 스텝백 장치, 이송량 제어장치를 조합 사용한 미소경 드릴링 머신의 제어 시스템은 Fig. 2와 같다.

3. 미소경 드릴링 머신의 설계 및 제작

PC에 의한 기계제어는 연구자의 의향에 맞도록 하드웨어와 소프트웨어를 개발할 필요가 있으며 미소경 드릴링 머신에 필요한 하드웨어와 소프트웨어는 다음과 같다.

3.1 하드웨어 설계

a) 주축계의 구성

미세드릴가공의 가장 중요한 요소는 주축계의 회전정밀도이며 이를 기초로 하여 적절한 주축회전수가 선정되고 이송속도를 조절하는 효율적인 기법이 개발되어야 한다. 따라서 본 실험에서는 우선 일본 TAC사 제품인 빌터인 모터로 주축계를

구성하였다. 스피들모터의 속도조절을 위해 AC모터를 인버터운전하였고 상부에 팬모터를 설치하여 열방출을 도모하고 있으며 슬릿과 포토 인터럽터를 이용한 소형 엔코더를 콜릿척 상부에 부착하여 부하상태를 감지할 뿐 아니라 건식형 모터에 절삭유 등이 유입되는 것을 방지할 수 있도록 구성하였다.

b) 이송구동계의 구성

미소경 드릴링 머신의 절삭 이송축 및 x-y 테이블은 구름안내방식으로 스테핑 모터 및 볼 스크류에 의해 구동되며 구동회로규격은 Table 1과 같다.

미소경 드릴링 머신에서는 빈번한 스텝백에 의한 위치결정을 원활히 하고 절삭력에 대한 강성을 높이기 위해 이송나사축계의 충분한 강성을 필요로 하며 (1)식으로 검토할수 있다. 너트 하우징 및 베어링 하우징부의 강성은 크다고 가정하여 생략하면 강성(K)는 대략 8200Kgf/mm 정도이다¹⁴⁾.

$$K = \frac{F}{\delta}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_N} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_H}$$

$$K_S = \frac{A \cdot E}{L}$$

$$K_N = 20,000 \text{ kg/mm}$$

$$K_B = \frac{3 \cdot F_{ao}}{\delta a}$$

$$\delta a = \frac{0.002}{\sin a} \left[\frac{Q^2}{Da} \right]^{1/3}$$

$$Q = \frac{F_{ao}}{Z \cdot \sin a} \tag{1}$$

c) 과부하 검출장치

가공부하에 따른 주축회전수의 저하로 판단하

Table 1 Features of driving circuit

Motor Driving Circuit	MB8713
Excitation Type	1 - 2 PHASE
Step angle	0.9°/step
Phase Current	1.2A/phase
Input pulse	TTL level
Reduction Gear	12.5 : 1
Resolution	0.002mm/step

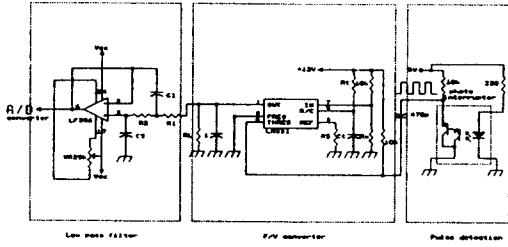


Fig.3 Electrical circuit on the overload detection

는 과부하 측정 시스템은 포토 인터럽터의 펄스신호를 주파수-전압 변환기에 의해 전압값으로 변환한 후 아나로그-디지털 변환기에 의해 디지털값으로 마이크로 프로세스에 전송하는 구조로 되어 있으며 회로도 구성은 Fig. 3과 같다¹⁵⁻¹⁷⁾.

3.2 소프트웨어 설계

미소경 드릴링 머신을 손쉽게 제어하기 위해 시스템 전체를 C 언어로 작성하여 풀다운 메뉴로 구성하였으며, 소프트웨어 설계의 기초가 되는 미소경 드릴링 머신의 감시부 흐름도와 가공 시물레이션은 다음과 같다.

가공순서는 초보자를 위한 대화형 또는 일괄처리를 위한 배치모드로 진행되며, 인터럽트 키를 구비하여 가공도중 트러블이 발생하면 작업이 중단

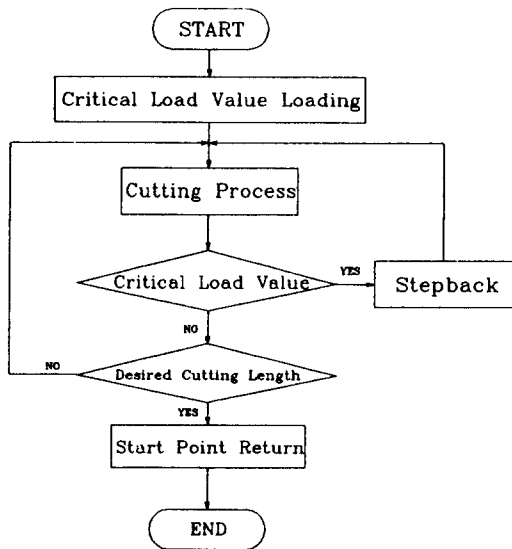


Fig.4 Flowchart of cutting process

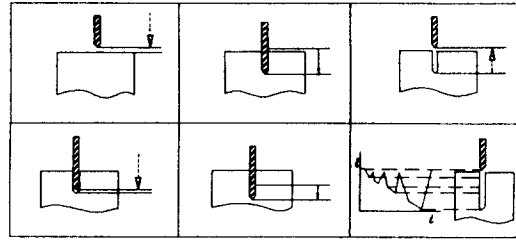


Fig.5 Cutting simulation of micro hole

되고 초기상태로 되돌아 가도록 하였다. 가공에 관한 지령부는 가공펄스, 스텝백 발생, 공구교환 지령 등에 관한 제어부이다. 이 제어부는 드릴과공구의 출력값을 기초로 한 과부하 설정값을 메모리에 로딩하고 이를 기준으로 하여 스텝백과 가공을 반복하여 소정의 절삭깊이를 가공하며 경우에 따라서는 공구교환시기를 알려주는 메시지를 출력한다. 스텝백 발생시는 공회전을 줄이기 위해 급속후퇴, 급속전진으로 이루어지며, 피삭재와 공구 간의 충돌을 방지할 수 있도록 재가공 위치 직전에 인선이 위치하도록 하였다.

3.3 미소경 드릴링 머신의 제작

미소경 드릴링 머신의 형상은 칩 배출이 용이한 수평형 구조로 제작할 수도 있지만²⁾ 본 연구에서는 Fig. 6에 제시한 것처럼 절삭유 주입이 편리하고 급속피드 장치에 의한 스텝백으로 칩제거가 가능한 수직형 구조로 제작하여 실험을 수행하였다.

본 연구에서 시험 제작한 수직형 미소경 드릴링 머신의 조립도를 Fig. 6에 나타내었고 미소경 드릴

Table 2 Specifications of Micro Hole Drilling Machine

Swing	220mm
Drilling Capacity	0.2 - 1mm
Feed Driving Motor	PH266 - 01GK
Z axis Stroke	100m
Feed rate	Variable
Spindle Motor	THM - 56 - 20
Feature of Spindle	20,000rpm, 60W
Machine Size	400×350×590
Machine Weight	28kg

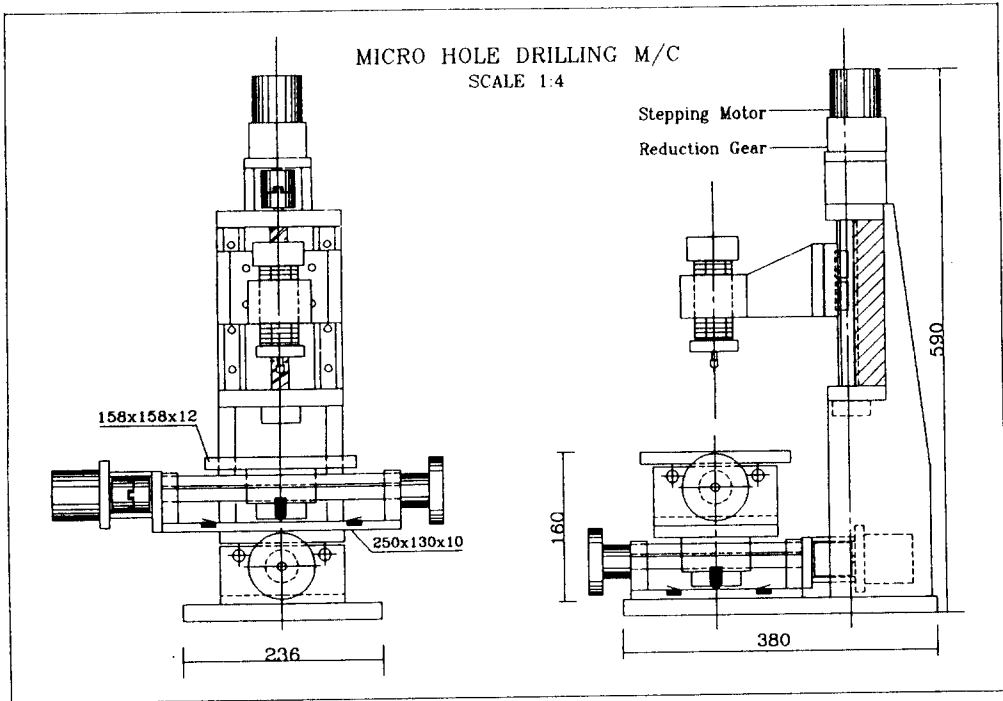


Fig.6 Assembly drawing of micro hole drilling M/C

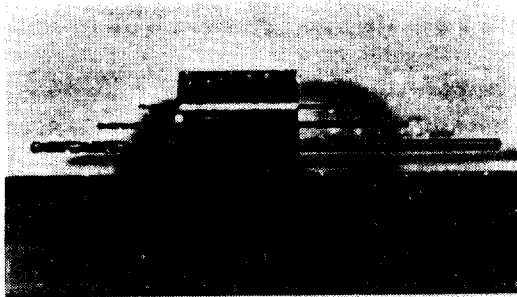
링 머신의 제원이 되는 주요 규격은 Table 2와 같다

4. 가공 및 성능평가

미소경 드릴에는 대개 인선부 직경과 생크부 직경이 같은 스트레이트 형과 인선부에 비해 생크부가 큰 피벗 드릴이 있으며 본 실험에서는 0.2mm~

1mm의 스트레이트형 HSS 드릴을 사용하였다. 본 연구에서 試作한 미소경 드릴링 머신으로 황동의 관통가공사례와 가공에 사용한 드릴을 Fig. 7에 나타내었다.

미세드릴가공에서 주축회전수 저하에 의한 과부하 측정 및 마모판정의 효율성을 보이기 위해 스텝 피이드를 시키지 않고 두께 4mm의 SUS304 피



Drill Diameter : 1, 0.5, 0.3mm
Workpiece : Brass(10mm)

Fig.7 Cutting sample and micro drills

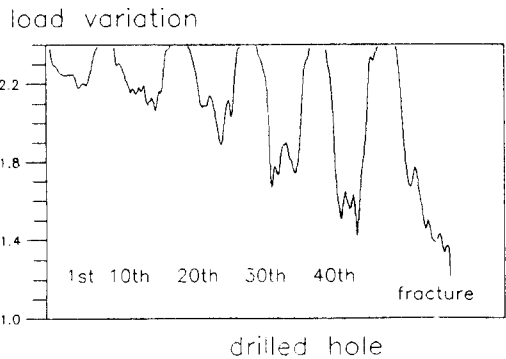


Fig.8 Relation of cummlative cutting length and load variation without stepback
($\phi=0.5$, $n=4000\text{rpm}$, $f=0.004\text{ mm/rev}$, dry cutting)

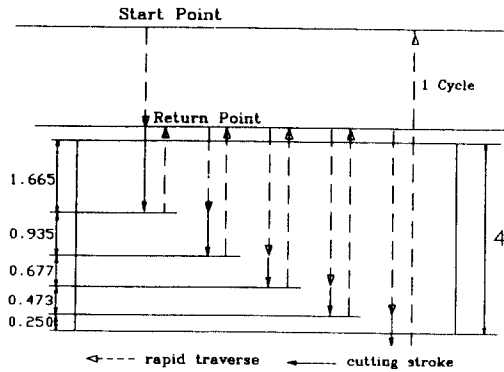


Fig.9 Stepfeed system

삭재의 관통실험을 한 경우 회전수의 변동은 Fig. 8과 같다.

이 그림은 평균화 처리를 한 파형이며 누적가공 깊이가 증가할수록 부하가 증가함을 보이고 있고, 이를 이용하여 스텝 피이드 메카니즘을 구성하여 가공하는 경우 Fig. 9와 같은 위치에서 스텝백이 발생하였다.

회전수의 변동은 드릴에 걸리는 토오크의 변동을 나타내므로 스텝백 발생 기준값은 무부하상태의 최대회전수값과 드릴과단시의 최저회전수값의 차의 70~80%정도로 설정하면 드릴과손을 억제할 수 있는 효과적인 스텝 피이드 메카니즘을 구성할 수 있었고, 가공이 진행될수록 스텝백이 자주 발생하는 것은 가공경화 현상이 심화되고 피삭재와의 마찰부가 증대하기 때문으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구는 복잡한 기구를 배제하고 간단한 시스템으로 고능률 가공을 실현할 수 있는 미소경 드릴링 머신을 개발하여 미세드릴가공의 메카니즘을 규명하고자 한것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 직경 0.2mm에서 1mm까지의 스트레이트형 HSS 드릴을 이용해 황동 및 스테인레스의 가공을 실현하였으며 미세구멍가공에 있어서 스텝백 작용에 의한 가공이 효과적임을 확인하였다.

(2) 주축용 모터의 회전수 감소에 따른 토오크의 변동을 간접적으로 감시함으로써 미소경 드릴에 의한 가공상태를 파악할 수 있었다.

앞으로 최적가공조건의 확립을 위한 가공사례가 축적되어 절삭조건의 모델화, 지식베이스화 등이 이루어져야 하겠으며, 극미세 드릴가공(직경 0.05mm)의 실현, 가공상태의 진직도, 표면거칠기 등의 가공정도의 평가방법, 적절한 제어방법, 효율적인 드릴 형상 등이 아울러 연구되어야 하겠다.

이 논문은 부산대학교 발전기금 학술연구조성비에 의하여 연구되었음을 부기하며 발전기금재단에 대하여 감사를 드립니다.

참고문헌

- 1) 金浴保彦외 2인, “多層プリント配線板用高精度小徑穴あけ機の開發”, 精密機械學術紙, 第54卷, 第12號, pp. 47~51, 1988
- 2) 菅原章, “小徑ドリルによる精密穴加工”, 機械の研究, 第37卷, 第3號, pp. 371~376, 1985
- 3) 岩田一明외 2인, “高速微小深穴ドリル加工の基礎的研究”, 精密機械, 第49卷, 第2號, pp. 98~104, 1983
- 4) 菅原章, “A Few Effects on the Formation of Burr in Micro Drilling”, 精密機械, 第48卷, 第3號, pp. 43~49, 1982
- 5) 大久保修외 3인, “微小徑ドリルの折損原因の究明と折損豫知に関する研究”, 日本機械學會論文集, 第51卷, 第471號, pp.2929~2935, 1985
- 6) “微細小徑深穴加工技術最前線”, 機械技術, 第34卷, 第6號, pp. 33~66, 1986
- 7) “穴加工の最新動向を探る”, 機械技術 第37卷, 第8號, pp. 21~71, 1989
- 8) H. K. Tonshoff, “Developments and Trends in Monitoring and Control of Machining Process”, CIRP, Vol. 37, No. 2, pp. 611~622, 1988
- 9) S. Takata외 3인, “Tool Breakage Monitoring by Means of Fluctuations in Spindle Rotation Speed”, CIRP, Vol. 36, No. 1, pp. 49~52, 1987
- 10) M. A. Mannan외 1인, “Monitoring and Adaptive Control of Cutting Process by Means of Motor Power and Current Measurements”, CIRP, Vol. 38, No. 1, pp. 350, 1989
- 11) 特輯 NC工作機械における センシング事例集, 機械と工具, 第2號, pp. 18~99, 1993
- 12) 柳和久, 機械系 エンジニアの自動計測技術入門, 近

- 代圖書, pp.108~113, 1986
- 13) 東江眞一외 2인, "誘導電動機のすべりと接線研削抵抗", 精密機械, 第49卷, 第4號, pp. 75~81, 1983
- 14) 이봉진, 最新工作機械講義, 電設文化史, pp. 97~111, 1983
- 15) 河合勝司외2인, NC工作機. ロボットのインタ_フェ_
- と基本技術, 近代圖書, pp. 14~76, 1986
- 16) 김응목외 1인, 퍼스컴 제어와 인터페이스 실습, 圖書出版 技文社, pp. 276~281, 1989
- 17) 박정일의 1인, 마이크로 컴퓨터 인터페이스, 大英社, pp. 479~480, 1990