680 大韓機械學會論文集 第19卷 第3號, pp. 680~687, 1995

〈論 文〉

최적 연속전해드레싱 시스템의 개발과 제어특성

김정두* · 이은상**

(1994년 8월 8일 접수)

The Trial Construction of Optimum In-Process Electrolytic Dressing System and the Control Characteristics

Jeong-Du Kim and Eun-Sang Lee

Key Words: Optimum In-Process Electrolytic Dressing System(최적 연속전해드레싱 시스템), Regular Current(정격전류), Cast Iron Bond Wheel(주철결합제 숫돌), Gap Sensor(간극센서), A/D Converter(아날로그/디지털 변환기)

Abstract

In recent years, grinding techniques for precision machining of brittle materials used in electric, optical and magnetic parts have been improved by using superabrasive wheel and precision grinding machine. The completion of optimum dressing of superabrasive wheel makes possible the effective precision grinding of brittle materials. But the present dressing system cannot have control of optimum dressing of the superabrasive wheel. This study has proposed a new optimum in-process electrolytic dressing system. This system can carry out optimum in-process dressing of superabrasive wheel, and give very effective control according to gap increase.

1. 서 론

최근에 전자산업, 정보통신산업의 발달로 첨단산업분야 재료인 실리콘 웨이퍼, 자기헤드 페라이트, 파인 세라믹 등의 경면연삭이 요구되어지며, 이를 달성하기 위해서 연속적인 드레싱이 매우 중요하게 되었다. 연속 드레싱으로 금속결합제 숫돌 주위에 전극을 설치하고, 숫돌회전과 동시에 전해액을 그 사이에 통과하게 하여 펄스전원을 인가함으로써 전기분해작용에 의한 드레싱을 하는 연속전해드레싱 기법[1~4]이 근년에 발표되어 우수한 성능을 나타내고 있으나, 전해드레싱 시간의 경과와 부수적으로 나타나는 불안정한 전류로 인한 문제점으로 항상 일정한 최적의 드레싱을 유지하는데 어려움이 있다. 연속전해드레싱은 전기분해작용에 의해서 숫돌의 금속결합제가 이온용출되어 제거됨으로서, 연삭날이 결합지지력이 약해져서 무디어진 연삭날이 제거되는 공정을 반복하게 되어 간극의 증가는 필연적이다. 연속전해드레싱 진행시 간극의 증가에 따른 전류값의 변화가 발생하며, 간극의 증가량이 적은 초기에는 전해드레싱의 성능에 미치는 문제는 매우 적으나, 연속적인 드레싱과 연삭가공에 따른 간극의 증가, 즉 간극 전류값의 감소로 인하여 전해드레싱의 효과가 감소하게 된다. 드레싱 시간의 증가로 인한 금속결합제가 전기분해에 의해서 제거되는 양이 증가됨으로써 양전극사이에 드레싱상태가 변화되어 지속적인 최적 드레싱상태를 유지하지 못하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 단점을 개선하여

*정회원, 한국과학기술원 기계공학과
**한국과학기술원 대학원 기계공학과

항상 최적상태의 드레싱을 유지하는 컴퓨터 인터페이스용 전해드레싱 시스템을 자체개발하였으며, 시스템을 제어하고 성능을 평가하였다. 이 방식은 간극의 증가에 따른 전해드레싱의 성능 보상을 위한 전극을 이동시키는 기존의 복잡한 장치[5]가 아닌 간극의 증가에 따른 전류값의 변화를 컴퓨터 인터페이스에 의한 조절로 최적의 전해드레싱을 능동적으로 유지하는 방법을 채택하여 연속드레싱 제어를 단순화하여, 드레싱시간 경과의 간극변화에 대한 전류가 항상 일정하게 유지될 수 있는 시스템을 개발제작하였다.

2. 개발된 최적 연속전해드레싱 시스템

2.1 최적 연속전해드레싱 시스템

본 연구에서 금속결합제 숫돌의 연속전해드레싱 최적유지를 위하여 개발한 시스템은 Fig. 1에 나타나 있으며, 정격전류 제어를 위한 컴퓨터가 내장되어 있으며 항상 최적 연속전해드레싱을 유지하도록 구성되어 있다. Fig. 2는 최적 연속전해드레싱 시스템의 구성을 나타낸 것으로 금속결합제 다이아몬드 숫돌을 전원장치의 양극과 연결하고, 숫돌 원주의 1/4 정도에 해당하는 전극(동99%)에 자동조절기의 음극과 연결하며, 간극의 거리를 측정하기 위하여 비접촉 간극센서(gap sensor)를 장착하고, 간극 변환기를 통하여 신호가 컴퓨터에 전달하게 된다. 정격전류 자동조절기에 양극, 음극을 연결하며, 간극의 전류 측정단자와 전해용 전원 펄스폭, 휴지폭, 피크전류 조절단자를 연결기판에 연결하고, 연결기판은 아날로그/디지털(A/D) 및 디지털 입출력(DIO, 12 bit) 변환기와 연결하며, 변환기는 다시 데이터 입출력에 의한 자동조절을 위해서 컴퓨터와 연결함으로서 최적 드레싱 시스템이 구성되어 진다. 점선부분내 장치를 시스템화 구성한 것이 최적 연속전해드레싱 시스템이다. Fig. 3은 전극장치의 구성도를 나타낸 것으로, 전극에 마이크로 미터 헤드(정밀도 : 10 μm)를 설치하여 간극유지를 정확히 조절하였고, 2개의 스프링에 의해서 간극의 균형을 유지하게 하였다. 숫돌 및 전극의 전기분해 작용을 원활하게 하기 위해서 전극 상단에 장착한 전해액 노즐을 설치하였다. Fig. 4는 전해드레싱을 위한 정격전류 조절기의 내부 구성도로서, 전원 공급은 교류 100 V로 하며, 정류기를 통하여 직류 150 V로 변환되어, 펄스발생회로와 펄스파 안정기

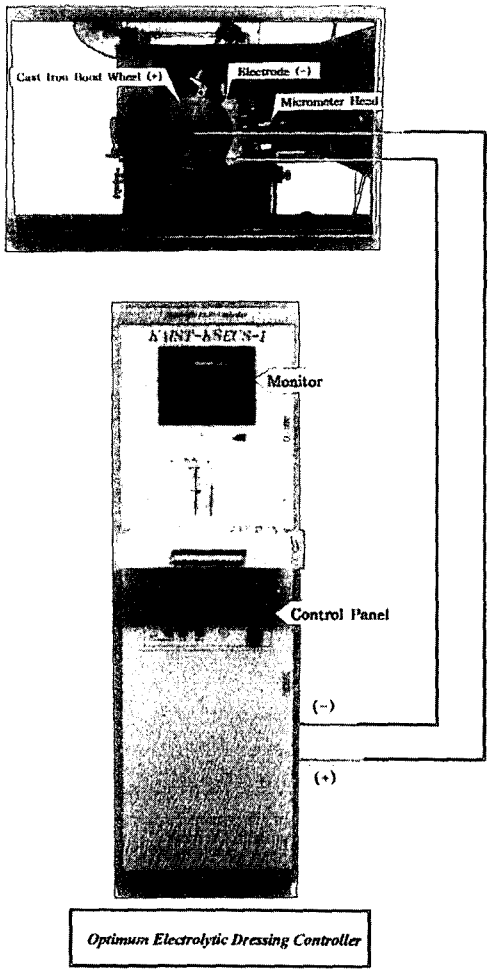


Fig. 1 Optimum in-process electrolytic dressing system(KAIST-KSECS-1)

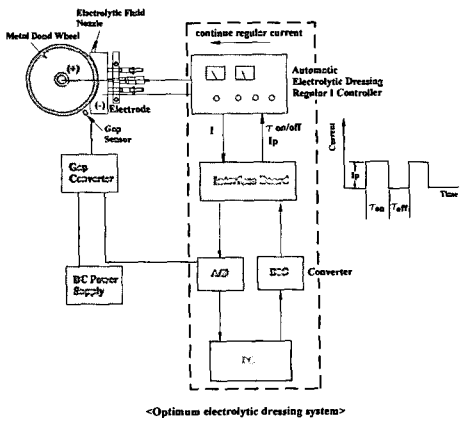
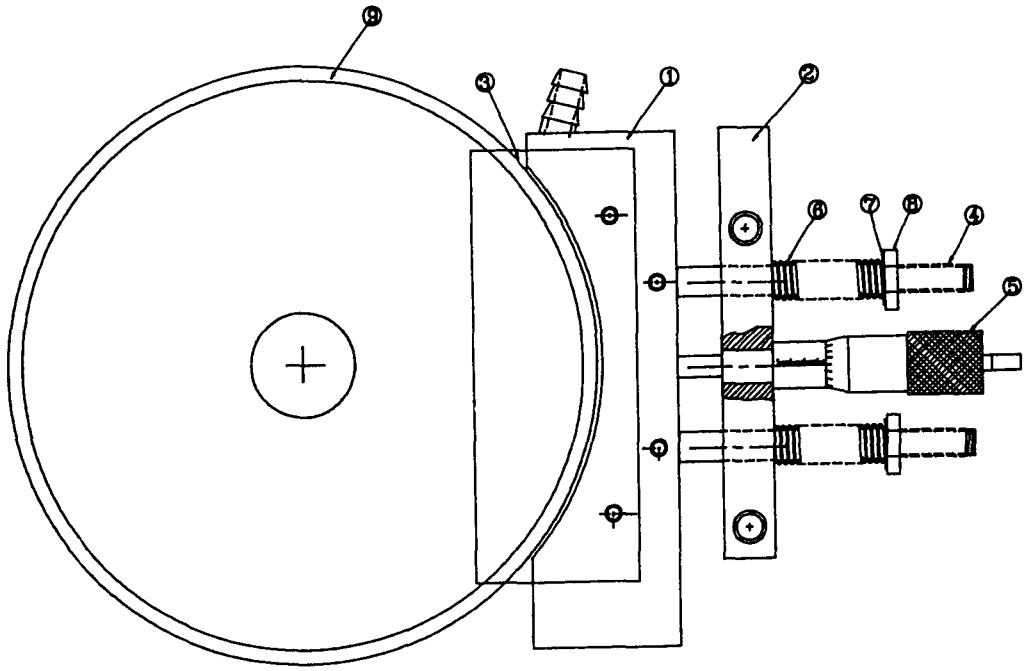


Fig. 2 Optimum control mechanism of regular current for in-process electrolytic dressing



① Electrode
② Electrode support
③ Shelter
④ Shaft
⑤ Micrometer head
⑥ Spring
⑦ Washer
⑧ Nut
⑨ Metal bond wheel

Fig. 3 Electrode equipment for experiment

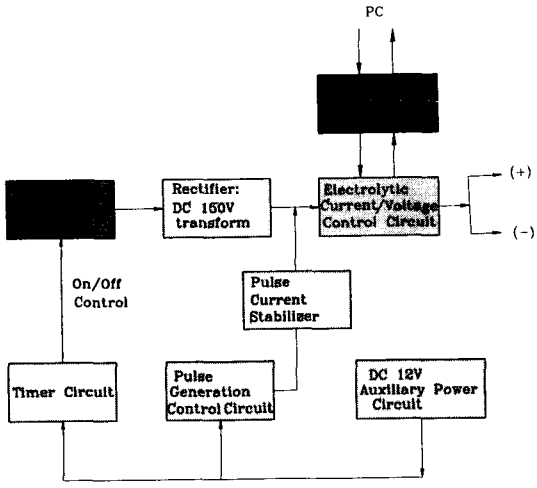


Fig. 4 Electrical schematic of automatic electrolytic dressing regular current controller

를 통하여 전해드레싱에 적합한 펄스 전원을 형성하게 되며, 양극단자를 숫돌에 연결하고, 음극단자를 전극에 연결하여 숫돌과 전극사이에 전해작용을 함으로서 드레싱을 하게 된다. 타이머와 펄스 발생회로는 직류 12 V 보조전원에 의해서 조절된다. 정격전류 조절을 위해서 전해 전류/전압 조절회로에 컴퓨터 연결기판을 설치하여, 정격전류값과 펄스폭, 휴지폭, 피크전류를 조절하게 구성되어 있다. 본 시스템의 구동원리는 아날로그/디지털 변환기(A/D converter)를 통하여 전해 드레싱 상태인 간극 전류값 및 간극을 측정하여 그 상태에 따라 컴퓨터 프로그램으로 처리하여, 최적 조절신호를 디지털 입출력 변환기(DIO converter)를 통하여 전해용 자동조절 전원장치에 보냄으로써 간극의 증가에 따른 전류값을 조절하여 최적의 일정한 전해 드레싱이 되게 한다. 따라서, 정격전류 자동조절 시

스템의 적용이 드레싱효과를 일정하게 유지하여, 기존 방법의 단점이었던 전해드레싱 진행시간 경과에 따른 정격전류의 불안정 등의 현상을 방지하게 되어, 간극변화에 관계없이 실리콘, 페라이트, 세라믹 등 경취재료의 경면연삭을 위한 드레싱을 항상 일정하게 유지 가능하다.

Table 1은 최적 전해드레싱 시스템의 사양을 나타내고 있다. 피크전류(Ip)는 0 A에서 40 A까지 변경이 가능하며, 펄스폭과 휴지폭은 0 μsec에서 999 μsec까지 변경 가능하다. 전해드레싱 전류 및 전

Table 1 Specification of KAIST-KSECS-1

Peak current	0~40 A
Pulse duration/Pause	$\tau_{on/off}$=0~999 μsec
Timer	0~120 min
Data for control	Input : Current, Voltage, Gap Output : Ip, τ_{on}, τ_{off}
Optimum control factor	Regular current
Input/Output data control mode	A/D converter, DIO

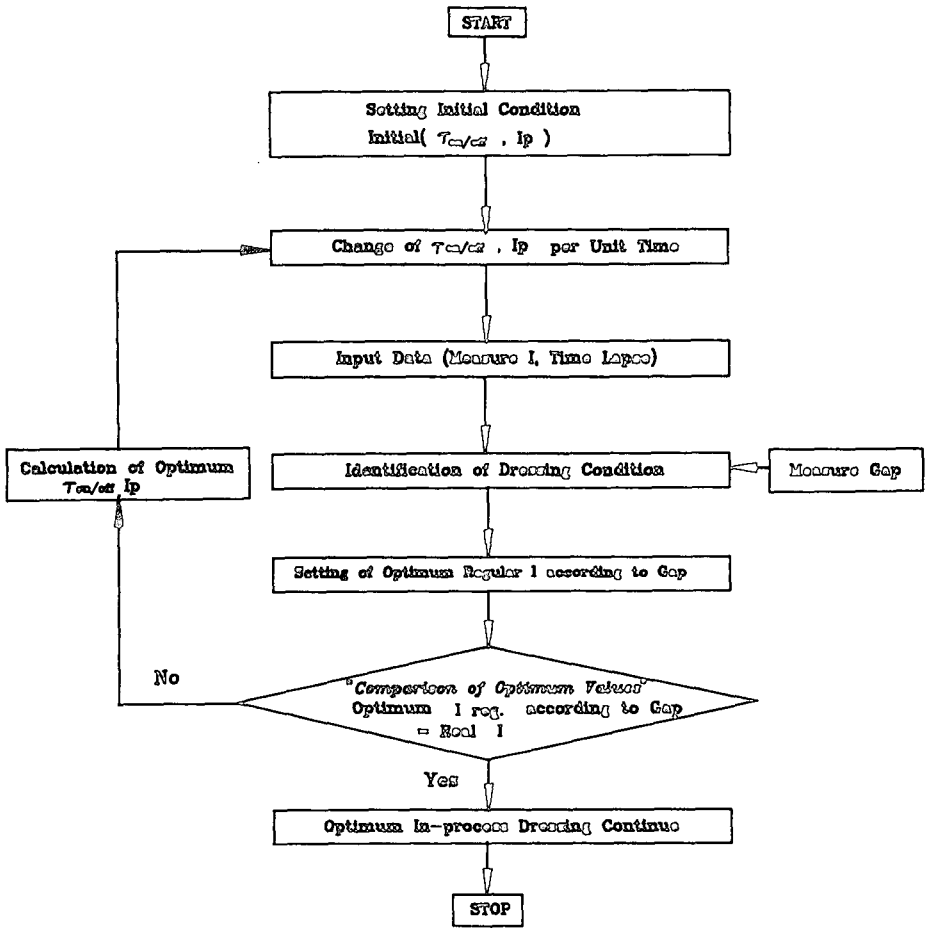


Fig. 5 Flow chart of optimum control of regular current for optimum dressing

압값의 측정을 위한 아날로그 전류계/전압계 계기판이 구성되어 있으며, 전해드레싱 타이머 기능은 0분에서 120분까지 변경을 할 수 있다. 컴퓨터에 의한 자동조절을 위하여 조절기에서 측정된 전류값을 디지털신호로 −5 V에서 +5 V까지로 변환한 후 출력하여 컴퓨터에 입력시킴으로써, 컴퓨터에서 최적의 드레싱을 위한 자동조절 신호인 피크전류 및 펄스/휴지폭 조절값을 자동조절기에 디지털 신호로 입력하여 정격전류의 조정이 가능하다. 그러므로, 간극증가에 따른 전해드레싱 성능 저하를 방지 하게 된다.

2.2 최적제어 소프트웨어

최적 전해드레싱이 유지되기 위해서는 주철결합제 숫돌과 전극사이의 정격드레싱 전류가 크게 변화가 되어서는 안되며, 이를 일정하게 유지함으로서 드레싱효과를 안정적으로 유지할 수 있다. 또한, 전해드레싱시 전해액의 공급상태, 숫돌의 고속회전시 간극상태의 변화 등 드레싱조건의 불규칙적인 변화에 의해서 선형적인 제어가 큰 효과를 나타내지 못한다. 따라서, 드레싱상태를 연속적으로(in-process) 측정하여서 조절하는 방식을 취하였다. Fig. 5는 간극변화에 따른 정격전류 자동조절 컴퓨터 프로그램 흐름도로써, 숫돌의 최적 드레싱을 위한 자동조절의 컴퓨터 프로그램의 동작은 초기 피크전류값과 펄스, 휴지폭을 설정하고, 간극의 전류값과 측정된 간극을 컴퓨터 신호입력으로 하여 연속전해드레싱 상태를 파악한다. 정격전류값을 설정하여 입력하면, 시스템에서 드레싱시 숫돌과 전극사이에서 변화되는 드레싱전류를 측정하여 아날로그/디지털 변환기를 통하여 컴퓨터에 신호를 주고, 그 값을 비교하여 최적 정격전류가 되도록 디지털 입출력기를 통하여 전해드레싱 시스템의 입력값을 계속하여서 변화시킨다. 즉, 실제의 측정값과 비교한 후 최적의 전해드레싱 유지를 위하여, 최적의 정격전류에 따른 피크전류 및 펄스폭, 휴지폭을 자동변환한다. 드레싱전류값을 효과적으로 변화할 수 있는 피크전류값이 주로 조절되었으며, 정격전류의 일정한 값이 5% 이내 수준을 유지하면 드레싱 성능에 거의 영향을 미치지 않아서 정격전류의 변동을 5% 수준에서 조절하였다. 측정된 정격전류에서 5% 이상 오차가 발생할 경우 다시 자동조절함으로서 금속결합제 숫돌의 최적 연속전해드레싱이 되게 하였다.

3. 실험방법

Table 2는 본 실험에서 사용한 조건을 나타낸 표이다. 실험에서 사용한 숫돌은 주철결합제로 되어있는 다이아몬드 숫돌(D12000N100M3)이며, 전해드레싱 시스템의 양극단자와 연결되어 있고, 전해용 전극(순동 99%)에 음극단자를 연결 구성하였으며, 전극에 장착된 마이크로미터 헤드를 이동함으로서 간극변화에 따른 전해드레싱 조절 실험을 하였다. 또한, 간극센서(정밀도 : 0.5 μm)를 이용하여 연속적으로 간극의 변화를 측정하였다. 전해액은 수용성 3종(50 : 1로 희석)을 사용하였다. 정격드레싱전류의 데이터는 시스템의 전류측정기판을 통하여 아날로그/디지털 변환기를 거쳐 0.73초동안 100개를 받아서 평균을 취하는 방식을 사용하여,

Table 2 Experimental conditions

Grinding machine	Surface grinding machine(air spindle)
Wheel	D12000 (D12000N100M3)
Wheel speed	3400 rpm
Dressing system	Optimum in-process electrolytic dressing system (KAIST-KSECS-1)
Electrolytic fluid	Solution type(50 : 1)
Power source	Ip=0~40 A $\tau_{on}/_{off}$=1~10 μsec
Electrode	Copper (1/4 of Wheel size)
Gap sensor	Model AEC 5505 Photonics Co. Resolution : 0.5 μm

순간적 외란(noise)에 대한 영향을 감소시켰다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 6은 펄스폭과 휴지폭의 변화에 따른 최적 연속 전해드레싱 시스템의 드레싱 전류변화 추이를 나타낸 것으로, 펄스폭(τon)/휴지폭(τoff) 변화에 따라 거의 변화가 없음을 알 수 있다. (τon=1)/(τoff=10)인 경우만 드레싱전류가 약간 낮고, 1/1, 5/5, 10/10, 10/1이 거의 같은 수준의 값을 가지므로 펄스폭의 변화가 드레싱전류의 변화에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 이 현상은 펄스폭이 변화하더라도 단위시간당 전기분해작용에 의해서 드레싱되는 양은 거의 같게 되기 때문이다.

Fig. 7은 최적 연속전해드레싱 시스템의 펄스폭, 휴지폭 및 간극을 일정하게 고정하고, 피크전류를 변화시킴으로서 전극과 숫돌사이의 드레싱전류, 전압의 변화를 측정하여 나타낸 것으로서, 피크전류의 증가에 따라 실제 전해드레싱에 적용되는 전류값은 거의 선형적으로 변화되며 전압값은 20 A까지는 경사가 신속하게 상승되고 그 이후에는 완만한 상승을 나타낸다. 수치적으로는 피크전류가 10 A에서 40 A까지 상승하였을 때, 전류는 6.5 A에서 25 A까지 상승되고, 전압은 14 V에서 34 V까지 상승하였다. 따라서, 피크전류의 변화와 간극의 드레싱전류와는 거의 선형적으로 변화됨을 볼 수 있으며, 피크전류의 범위는 0 A에서 40 A까지로 1 A간격으로 변화가 가능하여 시스템의 피크전류의 자동조절을 통하여 드레싱전류를 최적상태로 일정하게 조절이 가능하다. 또한, 전해드레싱 특성상 드레싱전류 1 A이내 변화로 인하여 드레싱 성능에 큰 변화를 주지는 않는다.

Fig. 8은 전해드레싱시 드레싱전류의 데이터를 1, 10, 20분이 지난 후 각각 1000개씩 받아서 표시한 것으로써, (a)는 컴퓨터 제어에 의한 정격전류

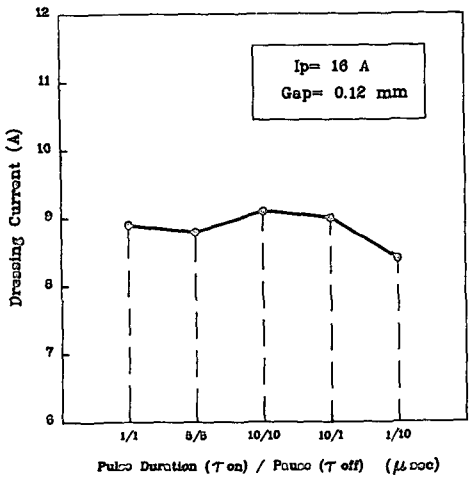


Fig. 6 Electrical behavior of optimum system (KAIST-KSECS-1) according to pulse

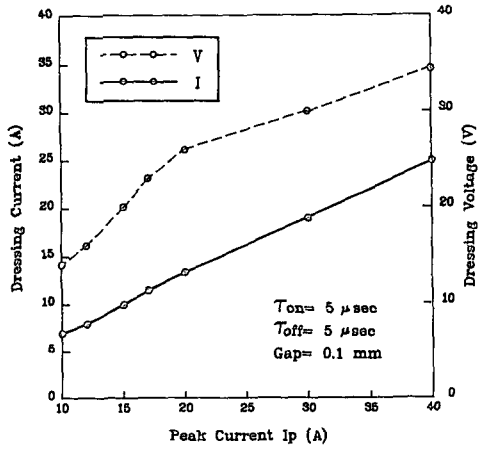
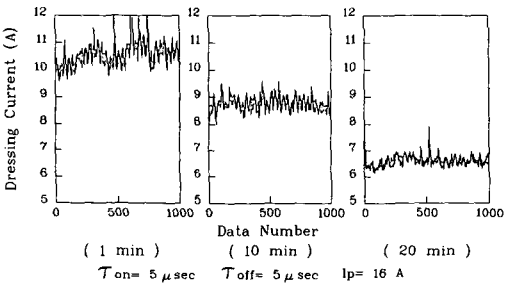
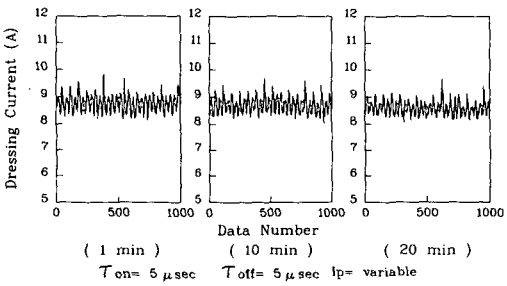


Fig. 7 Electrical behavior of optimum system (KAIST-KSECS-1) according to peak current



(a) Without control



(b) Optimum control

Fig. 8 The change of dressing current with optimum control

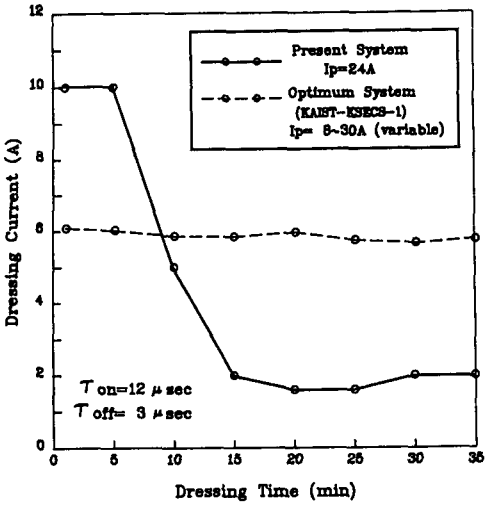


Fig. 9 Relationship between dressing current and dressing time

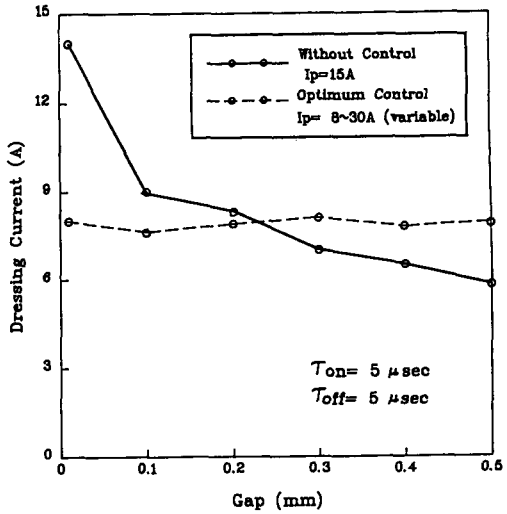


Fig. 10 Relationship between dressing current and gap

를 제어하지 않은 상태의 데이터를 나타낸 것이고, (b)는 최적 정격전류 제어에 의한 데이터를 수집한 상태를 나타내고 있다. 정격전류를 제어하지 않은 경우는 시간의 경과에 따라 드레싱전류 데이터값이 낮아짐을 관찰할 수 있으며, 이 현상은 전기분해 작용에 의한 수산화철 등의 방출을 통해서 절연층의 생성 및 간극의 증가 등에 의해서 발생되는 현상이다. 초기전류를 8.6 A로 설정하고, 컴퓨터 제어에 의한 정격전류의 변동에 따라 피크전류를 변화시킴으로서 드레싱 정격전류를 제어하였을 때에는 거의 8.6 A 부근에서 유지됨을 볼 수 있다. 따라서, 컴퓨터 인터페이스에 의한 정격전류를 제어하는 것이 항상 일정한 드레싱전류를 유지하는 매우 양호한 효과를 나타냄을 볼 수 있다.

Fig. 9는 드레싱시간의 경과에 따른 드레싱전류의 변화추이를 나타낸 것으로서 점선은 기존의 시스템을 사용한 것을 나타낸 것이고, 실선은 본 연구에서 자체 개발한 최적 연속전해드레싱 시스템을 사용한 것을 나타내고 있다. 기존 전해드레싱 시스템은 드레싱상태의 변화에 따라 제어가 불가능하여 피크전류(24 A)를 고정함으로써 정격전류의 변화에 수동적인 반면, 최적 전해드레싱 시스템은 정격전류의 변화를 측정하여 적당한 피크전류로 자동변경되는 능동적인 대응에 따라 항상 일정한 정격 드레싱 전류값을 유지할 수 있다. 이러한 능동적인 제어를 통하여, 우리가 요구하는 정격전류를 자유자재로 조절이 가능하게 되어 최적의 드레싱 조건을 유지할 수 있다.

Fig. 10은 간극의 증가에 따른 드레싱전류의 변화추이를 나타낸 것으로서 간극의 증가는 마이크로미터 헤드에 의해서 정확하게 조절되었다. 정격전류의 변화에 따라 피크전류를 제어하지 않은 경우에는 간극의 증가에 따라 정격전류값이 감소됨을 관찰할 수 있고, 정격전류를 일정하게 유지를 하기 위하여 피크전류(8~30 A)를 컴퓨터 프로그램에 의하여 변화시킨 것은 정격전류가 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. 따라서, 전해드레싱을 이용한 연삭시 간극의 증가에 따른 정격전류의 변화를 방지하여 항상 일정한 드레싱전류에 의해서 연삭하는 효과를 볼 수 있다. 본 개발 시스템은 시간의 경과 및 간극의 증가 등 드레싱에 영향을 미치는 외부의 조건변화에 무관하게 항상 일정한 드레싱을 유지한다는 점에서 그 성능이 매우 우수하다고 하겠다.

5. 결 론

본 시스템의 개발 및 제어를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기존의 전해드레싱 시스템은 드레싱상태의 변화에 따라 제어가 불가능하였으나, 최적제어 소프트웨어에 의한 정격전류 제어방식인 최적 연속전해드레싱 시스템을 개발하여 항상 최적의 드레싱상태를 유지하는데 양호한 효과를 보였다.

(2) 시스템의 입력값인 피크전류와 드레싱 전류

의 관계는 거의 선형적으로 연속전해드레싱시 일정한 드레싱전류를 유지하기 위하여 피크전류를 제어하는 것이 보다 효과적이다.

(3) 본 시스템은 드레싱시간의 경과 및 간극의 증가 등 드레싱에 영향을 미치는 외부의 조건변화와 무관하게 항상 일정한 정격전류를 유지하는 능동적인 제어특성을 갖고 있다.

참고문헌

(1) Ohmori, H., 1992, "Electrolytic In-Process Dressing Grinding Technique for Ultraprecision Mirror Surface Machining," *Int. JSPE*, Vol. 26, No. 4, pp. 273~278.

(2) 大森整, 1991, Elid 鏡面研削技術, Elid 研削研究會, pp. 8~31.

(3) Ohmori, H. and Nakagawa, T., 1990, "Mirror Surface Grinding on Silicon Wafers with Electrolytic In-process Dressing," *Annals of the CIRP*, Vol. 39, pp. 329~332.

(4) Kim, J. D. and Lee, Y. J., 1994 "Mirror Surface Grinding for Brittle Materials with Inprocess Electrolytic Dressing," *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 3, No. 1, pp. 159~167.

(5) Suzuki, K. and Uematsu, T., 1987, "On-Machine Trueing/Dressing of Metal Bond Grinding Wheels by Electro-Discharge Machining," *Annals of the CIRP*, Vol. 36, pp. 115~118.