마이크로 드릴비트의 워터젯 세척 로봇시스템의 공정 시뮬레이션 분석에 관한 연구

국연호¹ · 박상록¹ · 박기진² · 최현진^{2†}

¹(주)인스턴, ²대구기계부품연구원 기계로봇연구본부

A Study on Process Simulation Analysis of the Water Jet Cleaning Robot System for Micro Drill-bits

Youn-Ho Kuk¹, Sang-Rok Park¹, Kee-Jin Park², and Hyun-Jin Choi^{2†}

¹Insten Co., Ltd.

²Mechanics & Robot Research Division, Mechatronics & Materials Institute

Received 2 March 2015; received in revised form 8 April 2015; accepted 12 April 2015

ABSTRACT

A water jet cleaning robot system for micro drill bits is to refurbish micro drill bits used for the PCB manufacturing process. It can refurbish drill bits with the minimum diameter of $\phi 0.15\sim 0.075$ mm of which the total quantity have been discarded before. Micro drill bits with the minimum diameter of $\phi 0.075$ mm can be cleaned by applying the water jet cleaning robot system out of the manual ultrasonic cleaning in the past for the cleaning equipment as the initial process in refurbishing. This study analyzed problems, while applying the apparatus mechanism for the workability such as the robot traces of Transfer Robot I and II, drill bit loading and unloading, and cleaning tasks in the water jet cleaning robot system in an effort to carry out simulations. In addition, the cleaning work process was optimized as the work process was verified in advance and the production quantity was analyzed through simulations.

Key Words: Micro drill-bit, Process simulation analysis, Water jet cleaning robot

1. 서 론

최근 IT산업의 발달과 함께 전기·전자 부품으로 사용되는 PCB의 경우 신호처리 속도 향상, 외부 노이즈에 대한 내저항성 등 보다 고성능의 PCB 개발이 진행 됨에 따라 PCB 제조공정은 점점 고 정밀화 되어가고 있다. PCB는 내외층간의 전기접 속을 위해서는 반드시 드릴 홀이 필요하며 이러한

드릴공정은 PCB 제조공정에서 필요한 핵심 공정 이다. 이러한 드릴공정에서 정확한 깊이와 균일한 직경을 가지는 홀 형성은 PCB의 생산수율을 결정 짓는 매우 중요한 가공공정이라 할 수 있다. 또한 고성능 PCB 개발과 함께 기판의 전기적 접속을 위해 필요한 홀의 크기 또한 점차 미세화 되어가 고 있어 관련 공정에 적용되는 드릴비트 또한 미 세화 되어가고 있다. 과거 $\phi 0.2$ mm의 직경을 갖 는 드릴비트가 전체 70% 이상을 차지 하였으나 최근에는 $\phi 0.15\sim 0.075$ mm의 드릴비트의 수요가 점차 증가되고 있다. 기존에 널리 사용되는 드릴

[†]Corresponding Author, knut21c@dmi.re.kr
©2015 Society of CAD/CAM Engineers

비트 직경 $\phi 0.2\text{ mm}$ 이상의 경우 기존 수작업 장비 또는 대만, 일본 등에서 수입되는 자동화 장비를 이용하여 재연마가 가능하였으나 $\phi 0.15\sim 0.075\text{ mm}$ 의 마이크로 드릴비트의 경우 재연마 공정이 힘들기 때문에 대부분 폐기하는 수준에 머물러 있다. 따라서 기존 PCB 제조공정에 사용되어 전량 폐기되어 오던 마이크로 드릴비트를 재연마할 수 있는 자동 재연마 인라인 시스템을 개발하고자 하였다. 자동 재연마 인라인 시스템은 드릴비트의 세척과 연마, 링세팅 공정을 순차적, 통합적으로 구현하는 시스템으로 사용자의 여러 요구조건에 따라 자동으로 연마와 검사, 세척, 링세팅이 가능하도록 구성되는 시스템이다. 이러한 공정 중 연마 전처리 공정인 세척공정은 기존 초음파 수작업 세척이 아닌 워터젯과 로봇시스템을 적용하여 최소구경 마이크로 드릴비트의 세척이 가능하고 생산수율을 극대화하였다. 세척공정은 파렛트의 자동 공급, 드릴비트의 로딩, 세척, 언로딩하고 파렛트를 연마공정 장비로 이송하는 공정으로 구분된다. 본 연구에서는 워터젯 기반 세척 로봇시스템의 이송로봇의 궤적 및 드릴비트 로딩/언로딩, 세척 등과 같은 작업에 대하여 기구부 메커니즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하여 문제점을 분석하였고 세척공정 프로세스를 시뮬레이션을 통해서 사전에 검증하고 생산량을 분석하여 세척 공정 프로세스를 최적화하였다^[1].

2. 세척 로봇시스템의 구조

워터젯 기반 세척 로봇시스템은 드릴비트를 적재한 파렛트의 이송으로 연마공정 전처리 공정을 수행한다. 워터젯 세척을 적용함으로 0.075 mm 의 최소구경 마이크로 드릴비트도 세척이 가능하여 자동화를 통해 파손 불량률을 95% 이상 절감할 수 있다. 세척시스템은 Fig. 1과 같이 드릴비트 공급 배출을 하는 컨베이어 유니트와 피드 유니트, 이송로봇 및 핸드, 워터젯 유니트로 구성되어 있다.

3. 세척장비 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션의 목적 및 범위

시뮬레이션 분석에 사용된 해석 소프트웨어는 DEL MIA V5 DPM ASSEMBLY를 사용하였으며^[2], 이송로봇 I, II의 로봇 궤적 및 드릴비트 로

Fig. 1 Structure of micro drill-bit precision cleaning system

딩/언로딩, 세척 등과 같은 작업과 구동 궤적 및 간섭 조건에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 문제점을 분석하였으며 드릴비트 세척시스템의 운영 프로세스를 시뮬레이션을 통해서 사전에 검증하고 생산량을 분석하여 공정프로세스를 최적화 하였다. Fig. 2는 워터젯 기반 세척 로봇시스템의 시뮬레이션 3D모델을 보여준다^[3].

이송로봇 I, II 키네매틱은 갠트리 타입의 X, Y, Z 3축에 대하여 프리즈메틱 키네매틱을 정의하였으며 X축은 $0\sim 80\text{ mm}$, Y축은 LM가이드를 따라 $0\sim 900\text{ mm}$ 까지 이동 가능하며, Z축은 드릴비트 핸드 장치가 포함되어 $0\sim 50\text{ mm}$ 이동되도록 키네매틱이 적용되었다. 드릴비트 배출 장치의 키네매틱

Fig. 2 Water jet cleaning robot system of 3D model

Fig. 3 Kinematics and travel

은 Z축으로 프리즈메틱 키네메틱을 정의하였으며 0~80 mm를 Z축 방향으로 이동되도록 키네메틱이 적용 되었다. Fig. 3은 세척 시스템 구동 키네메틱 정의 및 최대작동 범위를 보여준다^{15,6)}.

3.2 로봇 궤적 및 기구부 시뮬레이션 검증

워터젯 기반 세척 로봇시스템의 이송로봇 및 로봇 핸드를 이용한 드릴비트 로딩/언로딩 작업의 구동 궤적과 간섭조건을 기구부 메커니즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과 이송로봇 I은 Fig. 4 처럼 드릴비트 로딩 작업시 Z축을 -50 mm 이동해야만 작업이 가능하며 주변의 프레임과의 간섭은 발생하지 않는다. 또한 이송로봇 I의 핸드부와 드릴비트 장착시 작동 영역은 1열의 드릴비트 10 ea 로딩 작업부터 5열의 드릴비트 10 ea 로딩 작업까지 모두 가능한 것으로 분석되었다. 이송로봇 II의 경우에 대해서도 드릴비트 로딩 작업시 주변 프레임과의 간섭은 발생하지 않는다. 하지만 드릴비트 공급 트라이의 1열 10 ea에 대한 로딩 작업은 가능하나 2열부터는 X축의 실린더 최대 작동범위인 80 mm를 초과하여 작업이 불가능하다. 따라서, 세척 공정 가동시 공급 트라이의 위치를 이송로봇 II 방향으로 약 40 mm 이동할 수 있도록 프로그램 수정 및 보완이 필요할 것으로 분석되었다. 또한 드릴비트를 배출 트라이에 탈착 및 언로딩 하기 위해서는 드릴비트 Release 장치로 Fig. 5와 같이 이송 로봇의 핸드를 고정시킨 후 핸드부의 스프링 장치를 이용하여 탈착과 동시에 배출 트라이에 언로딩 하게 된다. 그리고 드릴비트 배출 장치의 기구적인 메커니즘은 Z축 방향으로 80 mm 다운되어 핸드를 고정할 수 있도록 설계 되었으며 Fig. 6과 같이 이송 로봇 I은 이송로봇 II와의 간섭은 발생되지 않는다. 또한 이송 로봇의 세척장치 투입시 Fig. 7의 (a)와 같이 핸드부를 Z축으로 업하여 진입하여야 세척장치와의 간섭을 피할 수 있다. 또

Fig. 4 Verification of simulation of the mechanism

Fig. 5 The device of release and unloading mechanism analysis

Fig. 6 The device of release and transfer robot I, II mechanism analysis

Fig. 7 Transfer robot I, II of the interference check result

한 진입 후 (b)와 같이 Z축을 50 mm 다운하여 작동해야만 세척 작업이 가능하다. 시뮬레이션 결과

이송로봇이 세척장치에 진입하고 세척 작업 할 때
기구부 간의 간섭은 발생되지 않았다.

Fig. 8 The work zones of the simulation analysis

3.3 세척공정 운영 시뮬레이션 분석(초기안)

위터젯 기반 세척 로봇시스템은 Fig. 8과 같이
주요 구동부의 작업구간이 나누어지며, 이송로봇
I, II는 병렬 방식으로 운영 되어진다. Table 1은 드
릴비트 세척시스템의 주요 작업구간 및 작업속도
에 대한 초기 운영(안)을 나타내고 있다. 드릴비트
세척 로봇 시스템의 이송로봇 I, II의 병렬 작업에
대한 시뮬레이션을 위하여 Fig. 9와 같이 공정 플
로우 차트를 구성하였으며, 플로우 차트 내부의 개
별 공정에 대해서는 작업시간 및 작업속도 등이
정의 되어있다. 초기 세척공정 운영(안)에 대한 시
뮬레이션 결과는 Fig. 10과 같다. 총사이클 타임은
87.9초이며, 이송로봇 I, II는 각각 1회 사이클 작
업을 수행하였다. 각 이송 로봇은 1회 작업 시 드
릴비트를 10 ea 세척할 수 있다. 따라서 초기 운

Table 1 Operating speed of the initial transfer robot and zone for cleaning

Category		Transfer robot (Y-axis)					Transfer robot (x-axis)	Transfer robot (Z-axis)
Work zone		1	2	3	4	5	6	7
Description		Transported between the work zones	Air zone	Entry zone for cleaning	Return to output tray after cleaning	Transported from the output tray to the supply tray	Hand movement on X-axis	Hand device (up/down)
Initial	Speed (mm/sec)	20	0	20	100	100	40	50
	Time (sec)	14	10	21	6.8	2	2	1

Fig. 9 Initial process flow chart

Fig. 10 Simulation results for initial operating

(안)은 20 ea의 드릴비트를 세척하는데 총소요시간 87.9초를 적용하면, 세척시스템의 드릴비트 평균 생산량은 약 4.4초/1 ea이다.

3.4 세척공정 운영 시뮬레이션 분석(수정안)

세척공정 운영수정(안)은 Table 2과 같이 이송로봇의 안전율을 고려하여 최대속도의 40%와 60%로 적용하였고 세척구간 운영속도는 20 mm/s와 30 mm/s로 A와 B로 각각 나누어 시뮬레이션 분석을 수행하였으며 세척 로봇시스템의 이송로봇 유

Fig. 11 Simulation results for the operating revision (A)

니트 및 세척구간의 최대 운영속도는 Table 3와 같다. 운영수정(안) A에 대한 시뮬레이션 결과는 Fig. 11과 같다. 총사이클 타임은 77.4초이며, 이송로봇 I, II는 각각 1회 사이클 작업을 수행하였다. 수정(안)A에 대한 세척시스템의 드릴비트 평균 생산량은 3.87초/1 ea로 분석되었다. 수정(안)B에 대한 시뮬레이션 결과는 Fig. 12와 같이 1회 사이클 작업 시 52.4초에서 이송로봇 I과 II의 충돌이 발생된

Table 2 The operating speed of the revision of transfer robot and zone for cleaning

Category		Transfer robot (Y-axis)					Transfer robot (x-axis)	Transfer robot (Z-axis)
Work zone		1	2	3	4	5	6	7
Description		Transported between the work zones	Air zone	Entry zone for cleaning	Return to output tray after cleaning	Transported from the output tray to the supply tray	Hand movement on X-axis	Hand device (up/down)
Revised proposal A	Speed (mm/sec)	20	0	20	200	200	120	120
	Time (sec)	14	10	21	3.4	1	0.7	0.42
Revised proposal B	Speed (mm/sec)	30	0	30	300	300	180	180
	Time (sec)	9.3	10	14	2.3	0.67	0.46	0.3

Table 3 The maximum operating speed of the cleaning interval

Cat.	Transfer Robot (Y-axis)	Transfer Robot (X-axis)	Transfer Robot (Z-axis)	Zone for Cleaning Speed
Max. Speed	500 mm/sec	300 mm/sec	300 mm/sec	50 mm/sec

Fig. 12 Working collision between the transfer robot I, II

Fig. 13 Simulation results for the operating revision (B)

다. 따라서 이송로봇 I은 이송로봇 II가 세척구간으로 진입할 때까지 약 3초 이상 대기시간이 필요하다. Fig. 13와 같이 수정(안)B의 총사이클 타임은 63.1초이며, 이송로봇간 충돌을 예방하기 위한 대기시간 3초를 추가하면 66.1초가 총사이클 타임이 된다. 따라서, 수정(안) B에 대한 세척시스템의 드릴비트 평균 생산량은 3.3초/1 ea로 분석되었다.

3.5 세척장비 시뮬레이션 분석 결과

드릴비트 세척 로봇시스템의 기구부 시뮬레이션 검증 및 공정 운영프로세스 시뮬레이션 분석결과 이송로봇의 로봇궤적 및 드릴비트 로딩/언로딩 세척 작업성은 양호한 것으로 분석되었으며 작업시 충분한 작업 영역을 확보할 수 있을 것으로 판단되었으며 이송로봇에 적용된 X, Y, Z축의 최대 허용 속도에서 약 60% 정도의 속도로 구동했을 때 드릴비트의 평균 생산량은 약 3.3초로 예상되었다. Table 4는 드릴비트 세척 로봇시스템의 초기

Table 4 Comparative analysis of data average drill bit yield

Category	Initial Process	Revised proposal A	Revised proposal A
Average drill bit yield(sec/1 ea)	4.4	3.87	3.3
Transfer Robot speed	-	Max. speed 40%	Max. speed 60%

운영과 수정(안)의 평균 세척량을 비교 분석한 데이터를 보여 준다.

4. 결 론

위터젯 기반 세척 로봇시스템은 드릴비트를 적재한 파렛트의 이송으로 연마공정 전처리 공정을 수행한다. 위터젯 세척을 적용함으로 $\phi 0.075$ mm의 최소구경 마이크로 드릴비트도 세척이 가능하여 자동화를 통해 파손 불량률 95% 이상 절감할 수 있다. 본 연구에서는 위터젯 세척 로봇시스템의 이송로봇의 궤적 및 드릴비트 로딩/언로딩, 세척 등과 같은 작업에 대하여 기구부 메커니즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하여 문제점을 분석하였고 공정 프로세스를 시뮬레이션을 통해서 사전에 검증하고 생산량을 분석하였다. 그 결과 이송로봇 I, II의 로봇 궤적 및 드릴비트 로딩/언로딩, 세척작업 등과 같은 작업성은 양호한 것으로 분석되었으며 작업시 충분한 작업영역을 확보할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 초기 세척시스템의 드릴비트 평균 생산량은 약 4.4초/1 ea이었으나 이송 로봇에 적용된 최대 허용속도의 60% 정도로 설정하고 이송로봇 간 충돌을 예방하기 위한 공정 대기시간 3초를 추가하여 최대 분당 18개의 드릴비트를 세척할 수 있는 공정 프로세스를 최적화 하였다. 향후 실제 세척 장비 구동에 반영하여 공정 프로세스 최적화 결과의 유효성을 판단할 예정이며 시뮬레이션의 파라미터를 세척장비 공정에 바로 적용할 수 있는 Automation 기반의 인터페이스 S/W를 개발하는 연구를 진행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 광역경제권 거점기관 로봇클러스터 기술 개발사업 “로봇을 이용한 마이크로 드릴비트

($\phi 0.15 \sim \phi 0.075$) Automatic Regrinding In-line System 개발”의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Park, K.J., Son, J.H., Cho, C.J., Kim, B.S. and Kim, N.H., 2013, Development of the Heat Treatment Automation System for the Car-Body Mold, *SAE International. March*. doi:10.4271/2013-01-0008.
2. Park, K.J., Kim, Y.S. and Yoon, S.H., 2013, A Study on the Car-body Mold Heat Treatment Automation Process Based on the Robot OLP Simulation, *Proceeding International Journal of Manufacturing Technology Engineers*.
3. Ro, Y.S., Kang, H.J. and Suh, Y.S., 2006, Development of a Material Handling Automation Simulation Using a Virtual AGV, *CICS' 06*, pp.563-566.
4. Hwang, G.H., Kim, S.I., Yun, J.B., Moon, I.H. and Lee, B.S., 2011, A Study on Material Handling Simulation of Cassette Type Transfer Robot for Thin Films Solar Cell Manufacturing Process, *Proceeding of KIIE Spring Conference*, pp.360-361
5. Kang, J.Y., Lee, H.C. and Um, I.S., 2006, A Study for Design Optimization of an Automated Distribution Center using the Simulation and Metamodel, *Journal of the KSS*, 15(3), pp.103-114.
6. Park, Y.K., Um, I.S. and Lee, H.C., 2011, Design of Experiment and Analysis Method for the Integrated Logistics System Using Orthogonal Array, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 12(12), pp.5622-5632.
7. Mahadevan, B. and Narendran, T.T., 1990, Design of an Automated Guided Vehicle-Based Material Handling System for a Flexible Manufacturing System, *Int. J. Prod. Res.*, 28(9), pp.1611-1622.

국 연 호

1997년 금오공대 기계공학 석사
2014년~현재 금오공대 산업공학과 박사과정
2013년~현재 (사)3D 프린팅산업협회 회장
2010년~현재 (주)인스턴 대표이사
관심분야: Industrial Engineering, Manufacturing system, 3D Printing, CAD/CAM

최 현 진

2000년 금오공대 생산기계공학과 석사
2011년 금오공대 생산기계공학과 박사
2002년~2005년 일본 동양공기제작소 설계 팀장
2005년~현재 대구기계부품연구원 재직
관심분야: CAD/CAE/CAM, Machine Tool, Manufacturing system, Reliability

박 상 록

1993년 금오공대 기계공학 학사
1992년~1998년 태석기계(주) 선임 연구원
2010년~(주)인스턴 기술연구소 소장 재직
관심분야: Industrial Engineering, Manufacturing system

박 기 진

2003년 금오공대 기계공학과 석사
2015년 금오공대 기계공학과 박사 수료
2010년~현재 대구기계부품연구원 재직
관심분야: CAD/CAE, Digital Manufacturing, Virtual Reality