

# PC 기반의 다이싱 공정 자동화 시스템 개발

김형태\*, 양해정\*\*, 송창섭\*\*\*

## A Development of the PC-Based Automatic System for Dicing Process

Hyoung-Tae Kim\*, Hac-Jeong Yang\*\* and Chang-Seop Song\*\*\*

### ABSTRACT

In this study, PC-based dicing machine and driving software were constructed for the purpose of automation of wafer cutting process. To automate the machine, hard automation including vision, loading, and software were considered in the development. Auto loading device and vision system were adopted for the increase of productivity, GUI software programmed for the expedient operation. The dicing machine is operated by the control algorithm and some parameters. It is verified that this kind of PC based automation has a great potential compared with the conventional dicing machine when applied to manufacturing some kinds of wafers as a test purpose.

**Key Words** : Dicing Machine (다이싱 머신), Sawing (소오잉), Semiconductor Manufacturing (반도체 생산), OOP (객체 지향 프로그래밍), PC-Based CNC (PC 기반 CNC), Wafer Cutting(웨이퍼 절단)

### 1. 서론

반도체 조립 공정은 다이싱(dicing), 다이 본드(de bond), 와이어 본드(wire bond), 몰딩(molding) 또는 웰딩(welding), 도금(soldering), 최종 검사(testing), 마킹(marking), 패키징(packaging)등의 공정으로 구성되어 있다.<sup>1)</sup> 이 중에서 다이싱 공정은 커다란 웨이퍼를 개개의 칩(chip)이나 다이로 절단하기 위하여 x-y 방향으로 2축 절단을 수행하는 공정이며, 소오잉(sawing)이나 싱글레이션(singulation)으로 불리기도 한다. 다이싱 공정에서 웨이퍼를 절단시 사용되는 방법으로는 브레이킹(breaking), 에치 커팅(etch cutting), 초음파 다이싱, 레이저 스크라이빙(laser scribing)등 여러 가지 방법이 사용되어서 왔으며, 최근에는 다이싱 및 소오잉 기술이 많이 사용되고 있다. 다이싱 혹은 소오잉은 웨이

퍼를 자르는 툴(tool)로 연마지석이나 공업용 다이아몬드로 만들어진 날(blade)을 사용하여 5,000rpm ~ 100,000rpm 정도로 고속 회전시키면서 톱으로 자르듯 절단하여 다이를 분리하는 방법이다. 이 방법이 현재로서 가장 신뢰도와 효율이 높아 광범위하게 사용되고 있으며, 실리콘 웨이퍼, SAW Filter, LD, LED, MR Head 등을 절단하는 공정에 투입되고 있다.<sup>2)4)</sup>

다이싱이나 슬라이싱등, 반도체 절단 공정에 투입되는 장비는 기술의 발전에 따라 평균 수명이 비교적 짧고, 종합적인 기술을 필요로 하며, 대당 가격이 수십만 달러에 달하지만, 생산원가는 30% ~ 50% 정도로 이윤이 높은 편이며, 다른 분야에 파급되는 효과가 크다는 특징이 있다.<sup>5)</sup> 그러나 다이싱 장비의 경우 허용되는 공차가 10 $\mu$  ~ 500 $\mu$  정도로 다른 공정에 비하여 낮은 수준이고, 고속

\* 한양대학교 대학원  
\*\* 한국산업기술대학교 기계설계학과  
\*\*\* 한양대학교 기계공학부

으로 회전하는 날로 x 방향 및 y 방향으로 2 단계에 걸쳐서 절단하기 때문에 지그(jig)나 팔레트(palette), 혹은 진공에 의해 다이를 고정시키기가 매우 까다롭다. 또한 하나의 웨이퍼에서 여러 개의 다이를 분리하기 때문에 작업 도중 한번 오동작이 발생하면 대부분의 경우 웨이퍼 한 장을 폐기 처분해야 하고, 반도체 생산 현장의 특성상 하루 20 시간 이상 작업을 수행해야 하므로 장비의 높은 신뢰성이 요구된다.<sup>6)</sup> 이와 같이 까다로운 조건을 가진 이유로 다른 공정에 비하여 수율이 낮고 다이싱 장비 자체를 제작하는데도 많은 노하우가 요구되며, 제작된 장비도 수동조작이 많다. 따라서 다른 공정에 비하여 투입되는 인력이 많아지게 되므로 작업자의 부주의에 의한 불량 발생 가능성이 높고, 생산 라인에서 차지하는 면적도 커지기 때문에 시설 투자 및 유지비 상승, 생산 원가 상승, 생산 효율 저하의 원인이 되고 있다.

그러므로 이와 같이 생산 현장에서 다이싱 공정의 문제를 해결하려면 장비 자체가 기계, 전기, 정보 기반의 메카트로닉스(mechatronics) 기술을 사용한 자동화가 이루어져야 한다.<sup>7)9)</sup> 여기서 자동화는 작업자는 장비를 감독 및 관리만 하는 완전 자동화를 말한다. 이렇게 장비의 완전 자동화를 이루기 위하여는 하드웨어 적으로 자동 정렬 및 오차 보상을 위한 비전 시스템과 선 공정과 후 공정으로 제품 생산을 연결시켜주는 로딩 시스템이 채용되어야 한다. 또한 소프트웨어적으로 다이싱 장비의 운용 및 비전, 로딩 시스템을 감시·감독·운용하는 프로그램이 요구된다. 이와 같은 자동화는 의 소프트웨어를 도입하여 어느 정도 작업의 유연성을 확보하지만, 실질적으로 웨이퍼를 절단하는 작업을 수행하는 것이므로 하드 오토메이션(hard automation)에 가깝다고 할 수 있다.<sup>10)11)</sup>

따라서 본 연구에서는 다이싱 공정의 생산성 향상과 작업의 편리를 위하여 다이싱 공정의 자동화를 실시하였다. 이를 위하여 비전과 로딩 시스템을 포함한 자동화 장비를 제작하고 이를 운용할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 이것을 프로그래밍하기 위하여 소프트웨어를 구성하는 알고리즘을 제작하고, 기능별로 객체화하였고, 각 객체마다 데이터를 포인터로 연결하는 기법을 사용하였다. 그리고 최종적으로 제작된 장비를 실제 공정에 투입하여 시험 생산을 해 보고 그 결과를 도표로 나타내어 자동화 결과의 타당성을 검토하였다.

## 2. 하드웨어 구성

### 2.1 다이싱 머신

다이싱 머신은 크게 정반, X, Y, Z 및  $\theta$  의 4축 테이블, 서보 모터, 비전 인식 시스템, 에어 스피들(spindle), 인버터(inverter), 절삭수 노즐, 로딩·언로딩 장치(loader·unloader), 지그 컨테이너(jig container), 클램프(clamp)와 팔레트(palette), 급속 건조 장치(ionizer), 다이아몬드 블레이드(diamond blade), 바디(body)로 구성되어 있다.<sup>12)</sup> X, Y, Z 축은 직선 운동을 하고, 모터와 보울 스크류(ball screw)가 커플링되어 있다.<sup>13)</sup>  $\theta$  축은 회전 운동을 하며 모터와 하모닉 드라이브(harmonic drive)가 커플링되어 있다.<sup>14)</sup> 정반 위에는 X, Y 테이블이 설치되어 있으며, 각각  $\theta$  와 Z 테이블이 올려져 있다.  $\theta$  테이블 위에는 지그를 고정시키는 클램프, 팔레트가 설치되어 있으며, Z 테이블에는 스피들이 고정되어 있어서 레일을 따라 상하로 움직인다. 따라서 X와  $\theta$  축은 공작물을 이송하고, Y와 Z 축은 스피들을 이송시키는 역할을 하고 있다. Fig. 1은 각 축의 운동과 방향을 나타낸 것이다.

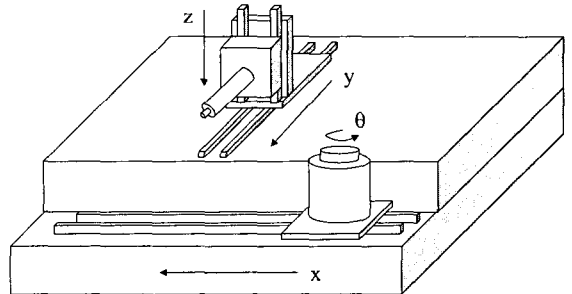


Fig. 1 Movement and directions for each axis

생산성 및 품질 향상을 위해 에어 스피들을 채용하고 스피들 끝에는 웨이퍼등을 절단하는 다이아몬드 블레이드와 절삭수를 분사하는 노즐이 설치하였다. 에어 스피들의 회전속도는 인버터(inverter)로 설정하며, rpm 미터로 속도를 감지하여 피드백(feedback)되어 조절된다. 웨이퍼의 자동 정렬 및 위치 보정을 위해 비전 시스템이 설치되어 있고, 카메라는 Y 테이블에 고정되어 있다. 비전으로 읽은 상태를 보여주기 위하여 PC와는 별도로 화면을 설치하였고 데이터는 RS-232로 통신하도록 되어 있다. 전 공정에서 제품이 넘어오면 지

그 컨테이너에서 지그를 꺼내어 제품을 삽입 및 고정시키고 로더로 보내진다. 로더·언로더는 지그를 들어 올리도록 집게 모양의 아암(arm)으로 제작하였고, 로딩과 동시에 언로딩이 되도록 하나의 레일 위에서 동시에 작동되도록 구성되어 있다. 로딩된 지그를 고정하기 위하여 팔레트가 설치되어 있고, 2차 절단시 절단된 칩들이 지그 밖으로 튀어 나오거나 지그 안에서 흔들리지 않도록 클램프를 설치하였다. 이오나이저는 절단 작업 후에 지그에 남아 있는 절삭수를 급속으로 증발시키기 위하여 설치하였다. 절단 작업이 종료되면 다음 관정의 장비가 준비하도록 작업 종료 신호를 발생시킨다. Fig. 2는 다이싱 머신에 커버를 씌우기 전의 모습으로, 좌측에 비전 시스템, 우측에 PC 제어장치, 중앙에 다이싱 머신의 몸체를 보여주고 있다. Fig. 3은  $\theta$  테이블 부분을 촬영한 것으로 지그에 제품이 삽입되어 있는 것과, 팔레트를 보여주고 있다.

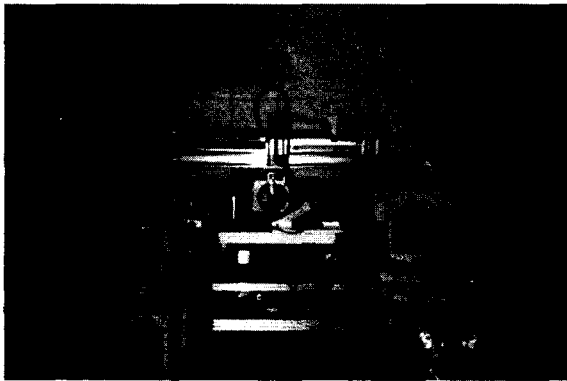


Fig. 2 Photo of dicing machine

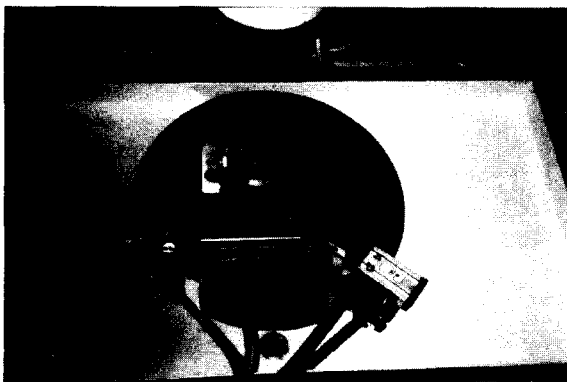


Fig. 3 Photo of  $\theta$  table

## 2.2 PC Interface

PC는 다이싱 머신을 동작, 관리, 모니터링, 디스플레이 및 데이터 저장, 비전 데이터 송수신 등의 역할을 수행하고 있으며, OS는 Windows NT이다. 내부에는 사용자가 NC 코드로 지령을 내릴 수 있는 모션 컨트롤러(motion controller)가 설치되어 있다. 모션 컨트롤러가 수행하는 기능은 위치 및 속도 제어, 파라미터 설정 및 변경, 디지털 입출력과 송수신, 리미트 체크, 예러 감지등이다.<sup>15)</sup> 모션 컨트롤러에서 나가는 신호는 인덱서 보드(indexer board)를 통과하며, 이 보드를 통하여 모터, 엔코더, 디지털 신호, 조이스틱, 리미트, 홈, 트리거, 비상정지 등의 배선이 이루어진다. 모터로 들어가는 신호는 드라이버에 의해 증폭되며, 디지털 신호는 릴레이를 통하여 전력이 증폭된다. 각 축의 피드백 신호는 X, Z,  $\theta$  축의 엔코더(encoder)와 Y축의 리니어 스케일(linear scale)에 의해 감지되고, 모션 컨트롤러가 비례제어(P control)로 수행하게 된다. 신호의 입출력은 Fig. 4와 같다.

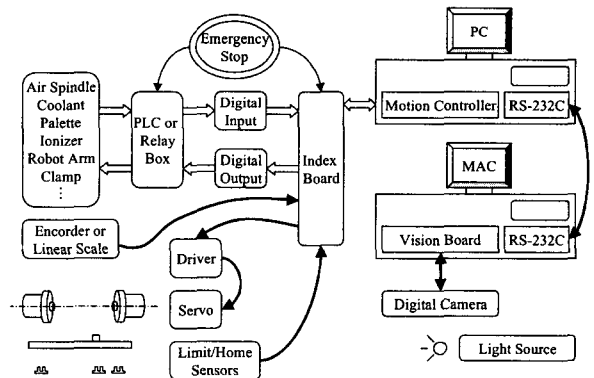


Fig. 4 Signal interaction between PC and dicing machine

## 2.3 Vision System

웨이퍼를 절단할 때 허용되는 공차는  $10\mu \sim 500\mu$  정도이므로 작은 오차가 발생되더라도 불량 발생할 여지가 많다. 공정상 오차가 발생할 수 있는 원인으로서는 지그와 제품의 삽입 상태, 지그와 팔레트의 고정 상태 등이 대표적이다. 이러한 원인들은 아무리 자동화를 잘 하더라도 어느 정도 이하로 오차를 줄이기 어렵기 때문에 오차가 발생한 만큼 보상해 주는 것이 가장 확실한 방법이다. 이를 위하여 로딩 후 웨이퍼의 영상을 디지털 카메라로 읽어 들여 분석한 다음, 이상적인 경우

에서  $x$ ,  $y$  및  $\theta$  가 오차가 얼마나 발생하였는지 계산하여 절단작업 수행시 보상한다. 구체적인 인식 알고리즘은 3.4.2 절에서 언급하도록 한다. Fig. 5에서 우측 위쪽이 비전 카메라와 조명이 장착된 것을 볼 수 있다.

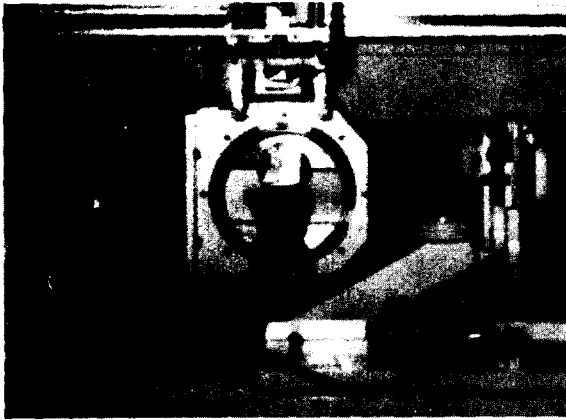


Fig. 5 Photo of spindle and vision camera

### 3. 소프트웨어

#### 3.1 프로그램의 구조

프로그램은 크게 데이터 처리부, 머신 인터페이스 처리부, 작업자 커뮤니케이션 루틴 등으로 나누어진다. 데이터 처리부는 데이터를 저장, 호출, 분석, 정리하는 등의 역할을 수행하며 이에 해당하는 것이 자료 객체(document object)이다. 머신 인터페이스 처리부는 모션 콘트롤러, 비전등 외부 기기와 신호의 송수신, 감시, 모니터링 및 처리, 이상 유무 체크 등의 역할을 메인 프레임 객체가 수행한다. 여기서 처리하는 신호는 위치, 속도, 디지털 I/O, 리미트 신호등이다. 또한, 작업자에게 정보를 표시하거나 데이터 입력을 받고, 필요에 따라 메시지를 처리하고 사용자에게 통보하는 역할은 뷰(view) 객체가 수행한다.<sup>16)</sup> 이들은 서로 독립되어 있는 객체지만 처리 결과를 상호간에 참조하기 때문에 프로그램의 근간을 이루고 있으므로 기본 클래스에 속하며, 프로그램을 실행시켰을 때 제일 처음 화면에 나타난다. 한편, 각 축에 대한 모션이나 신호의 발생, 비전 인식등 일정한 패턴을 갖는 경우나 혹은 프로그램 코드가 긴 경우, 반복적으로 자주 사용되는 부분들은 따로 서브루틴(sub-routine)으로 처리하여 라이브러리(library)를

만들어져 있고 메인 프로그램에서 호출한다. 프로그램이 처리되는 과정의 한 예로 I/O 상태를 디스플레이 하는 경우는 다음과 같다. 디스플레이를 하는 경우 이므로 뷰에서 DLL(Dynamic Linking Library)로부터 I/O를 디스플레이하는 서브루틴을 호출한다. 여기서 루틴은 I/O를 직접 읽는 것이 아니라, 도큐먼트에서 I/O 액세스(access)에 관한 정보를 얻어서 메인 프레임에 액세스하여 메인 프레임이 갱신하고 있는 I/O 정보를 읽어 출력한다.

파일 구조의 관점에서 기본 클래스는 실행파일로 되어 있고, 라이브러리는 DLL로 되어 있다. 이렇게 라이브러리를 따로 만드는 이유는 실행 파일의 크기를 줄이고, 프로그램의 수정을 용이하게 만들기 위해서이다. Fig. 6는 프로그램의 클래스 기본 구조를 나타낸 것이다.

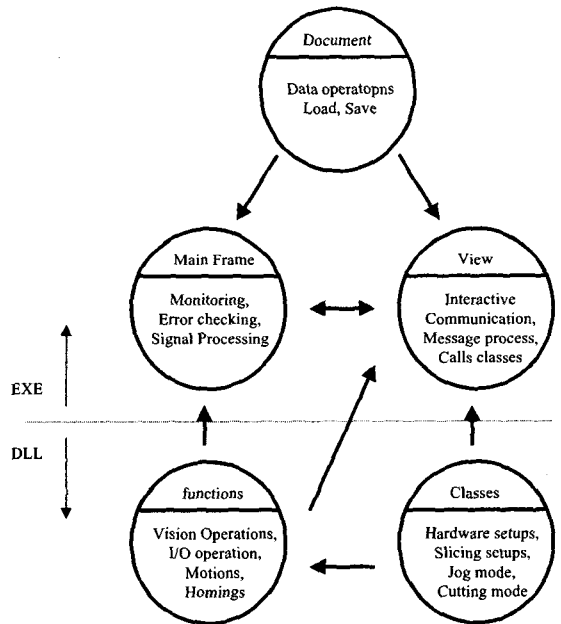


Fig. 6 Diagram of program structure

#### 3.2 메인 화면의 구성

메인 화면은 풀-다운(pull-down) 메뉴와, 툴바(toolbar), 로그 리스트(log list), 정보 디스플레이 등으로 구성되어 있다. 풀-다운 메뉴는 파라미터 변경, 파일 오퍼레이션, 부분 동작 시행, 기기 테스트, 작업 시작 등 다이싱 머신을 조작하기 위한 내용으로 구성되어 있으며, 일반적인 윈도우 어플리케이션(application)과 같이 트리(tree)식 계층 구조를 가지고 있다. 각각의 항목은 파일, 편집, 보

기, 하드웨어 셋업, 하드웨어 작동, 윈도우 디스플레이, 다이싱, 도움말 등의 8 가지 항목으로 나누고 하위 항목으로 세분화된 기능을 추가 하였다. Fig. 7은 메뉴 트리(menu tree)를 나타낸 것이다. 파일의 호출 및 저장과 조그 모드(jog mode), 호밍(homing), 비전, 로딩, 초기화, 내부 장치 on-off, 자동 및 수동 생산 같이 자주쓰이는 항목을 쓰기 편하도록 아이콘(icon)으로 만들어 놓은 것이다. 로그 기록은 다이싱 머신 사용 중에 발생한 중요한 사건을 기록한 것으로 3.3.1 절에 자세히 설명한다. 정보 디스플레이는 다이싱 머신의 각 축의 위치와 속도, (+)·(-) 홈 리미트, 각 장치의 신호 상태를 표시한다. Fig. 8은 메인화면을 나타낸 것으로 위쪽으로 풀-다운 메뉴, 그 아래 아이콘으로 된 것이 툴바, 아래 좌측으로 로그 리스트, 우측으로 정보 디스플레이를 볼 수 있다.

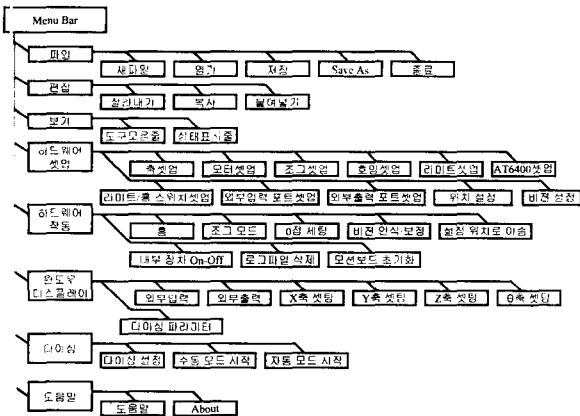


Fig. 7 Hierarchical structure in pull-down menu

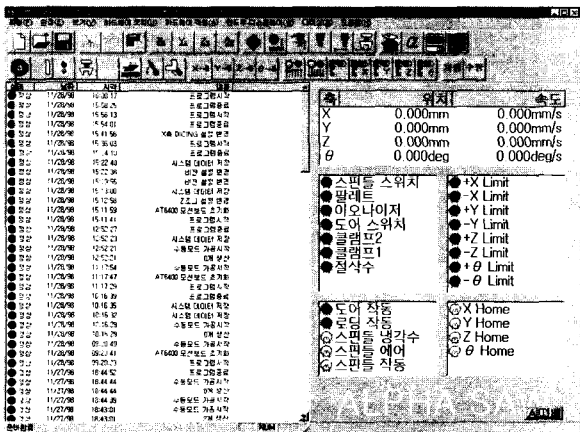


Fig. 8 View of main program

### 3.3 데이터 처리 알고리즘

프로그램 상에서 다루는 데이터는 크게 다이싱 머신에 관한 데이터와 이벤트(event)에 관한 데이터로 나눌 수 있다. 즉, 다이싱 머신에 관한 데이터는 하드웨어 설정이나 다이싱 설정같은 사용자에 의해 변경되어지는 파라미터이며, 신호나 변수를 체크하여 이벤트로 발생되어지는 데이터는 로그 기록이다. 두가지 데이터는 모두 필요에 따라 기록, 호출, 표시할 수 있는 공통점이 있지만, 로그 기록은 수정이 불가능하다는 차이도 있다. 또한 로그 기록은 데이터가 내부 데이터 변수에 거의 영향을 주지 않지만, 파라미터는 내부 데이터 변수에 영향을 주기 때문에 종종 하드웨어 및 소프트웨어적으로 업데이트(update)를 시켜야 하는 경우도 발생한다.

#### 3.3.1 로그 기록

로그 기록은 크게 비상정지, 초기화 실패, 리미트, 스핀들 이상, 드라이버 이상(driver fault), 모터 이상, 컨트롤러 이상, 공압 저하, 냉각수 부족 등 작동 오류와 데이터 호출, 저장, 작업 시작, 종료, 파라미터 변경 등 작동 정상으로 분류될 수 있다. 로그 기록은 이벤트의 기록으로, 미리 정해진 이벤트의 발생 조건을 정의해 놓고 하드웨어의 상태 및 변수를 체크하는 방법으로 모니터링을 실시하면서 각 신호들로부터 이벤트 발생 조건을 체크하다가 조건이 충족되면 이벤트가 발생된다.

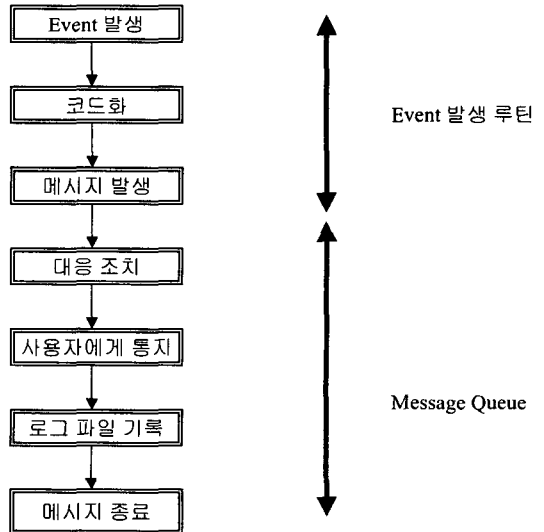


Fig. 9 Diagram of event flow

Table 1 Event codes and their contents

Code	내용	조건	대응 조치	상태
0	H/W 비상정지	H/W 비상정지 버튼 작동	전체 운전 정지	Error
1	S/W 비상정지	S/W 비상정지 버튼 작동	전체 운전 정지	Error
2	모션 콘트롤러 초기화	초기화 성공	N/A	Normal
3	모션 콘트롤러 초기화 실패	초기화 실패	Program 실행중단	Error
4~11	$\pm X, \pm Y, \pm Z, \pm \theta$ H/W Limit	Limit sensor 의 신호 감지	전체 운전 정지	Error
12~14	Load/Save/New Data	각 항목의 클릭	N/A	Normal
15~22	$\pm X, \pm Y, \pm Z, \pm \theta$ S/W Limit	S/W Limit 범위 이탈	전체 운전 정지	Error
23~26	X, Y, Z, $\theta$ driver fault	드라이버, 모터의 배선 이상	전체 운전 정지	Error
27	모션 콘트롤러 메모리 이상	메모리의 overflow 발생	Program 실행중단	Error
28~29	스핀들 회전 속도/공압/냉각수 이상	스핀들 작동 후 각 신호의 감지가 되지 않는 경우	스핀들 가동 중단 / 전체 운전 정지	Error
30~59	파라미터 변경	각 파라미터의 변경	N/A	Normal
60	작업 종료	절단 모드의 종료	생산량 저장	Normal

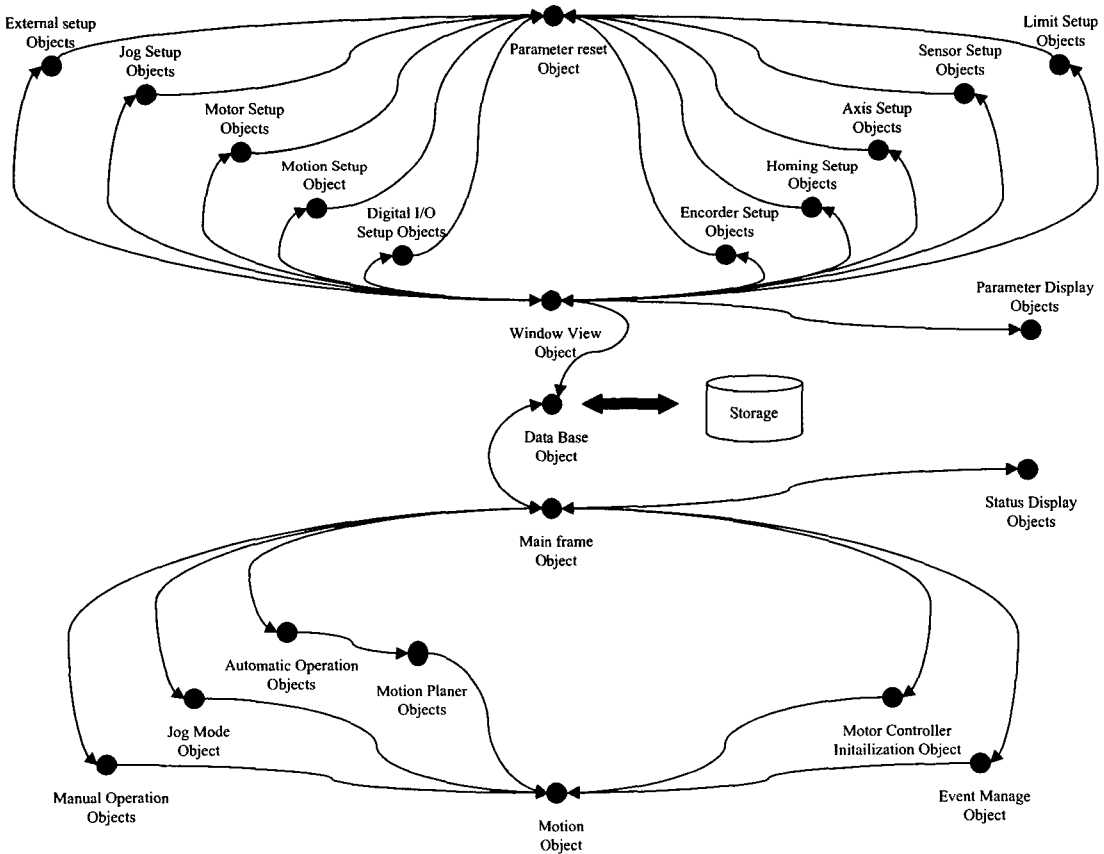


Fig. 10 Data flow structure in program

사건은 중요도에 따라 순위 별로 체크된다. 즉, 순위가 낮을수록 중요도가 높으며 처리도 우선적으로 행해진다. 일단 이벤트가 발생하게 되면 이벤트 코드를 메시지 큐(message queue)로 전송한다. 메시지 큐에서는 사건을 코드에 따라 대응 동작을 실시한 다음, 메인 화면에 기록을 남김으로써 이벤트를 종결한다. 만일 처리 도중에 다른 메시지가 도착하면 FIFO 형태의 버퍼(buffer)에 저장하여 이벤트 처리 후 다음 메시지를 하나씩 도착한 순서대로 처리한다. 이러한 사건의 감지, 코드화된 메시지 전달, 대응조치, 통지 및 기록의 과정을 통하여 사건 처리를 자동화 시킬 수 있다는 것을 보여준다. 한편, 로그 리스트는 텍스트로 저장할 수 있도록 프로그램을 작성하였다. Fig. 9 는 메시지의 전달 과정을 보여주고 있고, Table. 1 은 이벤트 코드를 정리한 것이다.

**3.3.2 파라미터 설정**

사용자가 설정할 수 있는 파라미터는 크게 머신 파라미터와 공정 파라미터로 나눌 수 있다. 머신 파라미터는 기계 자체에 관한 파라미터로 피치나 모터 펄스같이 기계를 구성하고 있는 부품의 스펙에 의해 정해지기도 하고, 가속도, 감가속도, 호밍 방법, 운동 곡선(motion curve)같이 기계의 특성에 따라 제작자의 노하우에 의해 약간 변화를 줘가면서 정하기도 한다.

한편, 기계를 구성하는 부품도 기계의 특성에 따라 선정되는 것을 감안한다면, 머신 파라미터는 주로 기계의 특성을 좌우하며, 제작자에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 공정 파라미터는 공정 자체에 관한 파라미터로 작업자가 제품에 따라 인덱스나 절단 거리 등을 변화시키기도 하지만, 절단 속도나 절단 횟수 같이 생산량이나 품질의 관계에 대하여 경험에 의해 결정되기도 한다. 따라서 주로 제품의 특성을 좌우하는 파라미터이며, 작업자에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 프로그램 상에서 설정된 공정 파라미터는 절단 동작을 수행하기 위한 NC 코드를 자동으로 생성하도록 되어있다.

머신 파라미터를 입력 및 수정을 하려면 먼저 풀다운 메뉴에서 하드웨어 설정을 눌러서 서버 메뉴가 나타나게 한다. 이 중, 원하는 파라미터를 선택하면 다이얼로그 박스를 통해 대화형식으로 수정할 수 있도록 하였다. 공정 파라미터는 다이얼로그 설정에서 변경시킬 수 있도록 하였다. 변경된 파

라미터는 포인터에 의해 자료 객체(document object)로 전달된다. 자료 객체(document object)가 가지고 있는 데이터는 포인터에 의해 대부분의 서브루틴에서 참조하고 있다. Table. 2 는 프로그램 상에서 변경이 가능한 파라미터들을 데이터 저장 순서대로 정리하였다. 프로그램 작성시 데이터의 관리와 전달을 효율적으로 처리하기 위해 기능별로 객체를 작성하였다. Fig. 10 은 프로그램 전체적인 관점에서 데이터가 포인터에 의해 전달되는 경로를 보여주고 있다.

Table 2 Changeable parameters in the program

분류	항 목	내 용
공정 파라미터	다이얼로그 파라미터	1 차 절단 파라미터(초기위치, 절단거리, 인덱스, 절단깊이, 이송 속도, 절단속도, 복귀점, 다단절단, 인덱스 횟수, 보정치), 2 차 절단 파라미터(1 차 절단 파라미터와 동일), fast index, mode(A, B, C, D)
	모션보드	Address, IRQ, DMA
머신 파라미터	리미트	X, Y, Z, $\theta$ : (+), (-), 홈, H/W 리미트 감가속도
	모터	X, Y, Z, $\theta$ : 펄스, 펄스폭, CCW
	디지털 입력	조그, 비상정지, 스피들, 로딩, 냉각수, 공압, 터치 센서, 도어
	디지털 출력	조그, 경광등, 비상정지, 절삭수, 클램프, 팔레트, 이오나이저, 로딩, 작업 종료, 도어
	각 축의 파라미터	X,Y,Z, $\theta$ : 기본설정(피치, 감·가속도), 홈(감·가속도, 속도, 최종속도, 방법), 조그(감·가속도, 고속, 저속)
	S/W Limit	X,Y,Z, $\theta$ : 감·가속도, $\pm$ 한계
	Vision	통신(포트, 속도, 프로토콜, 흐름 제어, 패러티, Stop bit), 오차 허용 한계, 커맨드(인식, 보정)
	위치	비전, 로딩, 터치
	기타	브레이드 교체 주기

**3.4 작동 알고리즘**

본 다이얼로그 머신으로 실제 웨이퍼 절단 작업을

하기위해 거치는 작업 순서는 Fig. 11 과 같다. 선 공정에서 컨베이어를 통해 웨이퍼가 도착하면 버퍼에 쌓인다. 로딩이 시작되면 버퍼의 웨이퍼를 꺼내어 공압 실린더를 사용하여 지그에 밀어 넣고 로봇 아암(robot arm)을 사용하여 작업 테이블 위에 올려 놓고 공압을 사용하여 테이블에 단단히 고정시킨다. 그리고, 웨이퍼가 스핀들과 얼마나 각을 이루는지 비전으로 측정하여 오차만큼 보상시켜 정렬한 후, 절단 작업에 들어간다. 절단 작업이 끝나면 로봇 아암으로 지그를 꺼내는 동시에 급속 건조시켜 후공정으로 절단된 다이를 보내게된다. 작업중에서 중요한 알고리즘은 크게 절단 모드에서 작업 수행시 공구의 경로를 생성하는 부분과 비전으로 로딩 후 웨이퍼의 각도를 읽는 부분 두가지가 있다.

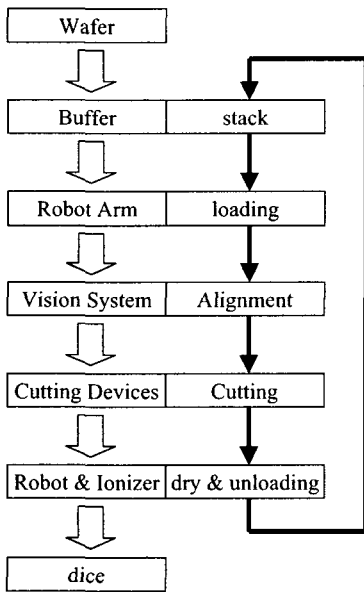


Fig. 11 Working Procedure

### 3.4.1 절단 모드

다이싱 공정에서 공구의 경로는 A·B·C·D의 4 가지 모드로 표준화가 되어 있으며, 각각은 단방향 절단, 왕복 절단, 단방향 2 단 절단, 왕복 2 단 절단을 의미한다. 각 모드의 공구 경로는 초기 위치, 절단 거리, 인덱스, 절단 깊이, 이송속도, 절단 속도, 복귀점, 다단 절단, 인덱스 횟수, 보정치에 의하여 정의할 수 있다. 단방향 절단과 왕복 절단의 차이는 복귀 동작에 있다. 단방향 절단의

경우 한번 절단하고 Z축 복귀한 후 절단에 들어가지만 왕복절단의 경우는 반대 방향으로 절단에 들어가게 된다. 또한 인덱스 동작에서, 단방향 절단은 Z축이 복귀점에서 인덱스가 이루어 지지만, 왕복 절단은 인덱스 후에 Z축이 복귀하는 차이가 있다. 통상적인 A 모드 동작은 Fig. 12 와 같다.

이와 같은 절단 동작은 다음과 같이 시나리오를 작성할 수 있다. 먼저 로딩을 한 후, 팔레트로 지그를 고정시키고 비전으로 오차를 측정하여 이후 동작에 보상 시킨다. 절단 동작은 초기 위치로 이송하여 절단 깊이로 다단 절단 횟수 만큼 반복하여 절단하고, 인덱스만큼 이동하여 1 회 인덱싱을 종료한다. 정해진 수 만큼 인덱싱을 하면  $\theta$  테이블이 90 도 회전한 다음, 클램프로 웨이퍼를 덮고, 2 차 절단 동작을 실시한다. 모든 절단 동작이 종료되면 클램프와 팔레트를 열고 언로딩을 하는 동시에 이온나이저를 분사시켜 절삭수를 증발시킨다.

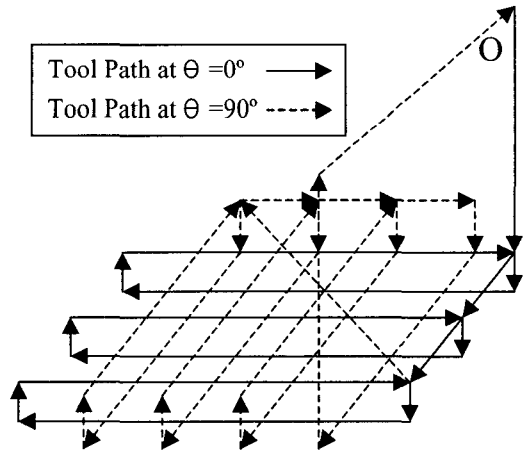


Fig. 12 Example for conventional tool path in dicing

절단 모드의 화면은 현재 실행 중인 동작과 다음 동작, 동작과 공정의 진행 상황 등을 표시해 준다. 조작 버튼으로는 시작, 일시 정지가 있으며, 각축의 호밍 동작과 비전 테스트, 스핀들, 로딩, 팔레트, 클램프, 이온나이저 등을 조작할 수 있다. 이러한 기능을 추가한 이유는 브레이드 파손이나 스핀들 이상, 모션 콜트roller 오류 발생 등으로 인하여 절단 작업이 중단된 경우 수동으로 해제 작업을 하고 작업 이전의 초기상태로 만들기 위해서이다. 공정의 진행 상황은 현재까지 진행된 동작



수와 전체 공정을 이루는 부분 동작수의 비로 나타내어진다. 전체 공정의 부분 동작수  $n_T$ 는  $x$ ,  $y$ 의 절단 동작수  $n_x$ ,  $n_y$ 와 절단 외 동작수  $n_n$ 의 합으로 나타낼 수 있다. 절단 동작은 인덱스 수  $n_{xi}$ ,  $n_{yi}$ 와 각 인덱스에서 다단 절단 수  $n_{xs}$ ,  $n_{ys}$ 로 나타낼 수 있다. A 모드의 경우 (1)~(3)과 같이 표현되며, C 모드의 경우  $n_{xs}$ ,  $n_{ys}$ 에 2를 대입하면 된다.

$$n_x = (n_{xi} - 1) \cdot (5n_{xs} + 1) + 5(n_{xs} - 1) \quad (1)$$

$$n_y = (n_{yi} - 1) \cdot (5n_{ys} + 1) + 5(n_{ys} - 1) \quad (2)$$

$$n_T = n_x + n_y + n_n \quad (3)$$

또한, B 모드의 경우 (4)~(6)에 의해 전체 부분 동작수를 계산할 수 있으며, D 모드인 경우  $n_{xs}$ ,  $n_{ys}$ 에 2를 대입한다.

$$n_x = (n_{xi} - 1) \cdot (2n_{xs} - 1) + 2(n_{xs} - 1) \quad (4)$$

$$n_y = (n_{yi} - 1) \cdot (2n_{ys} - 1) + 2(n_{ys} - 1) \quad (5)$$

$$n_T = n_x + n_y + n_n \quad (6)$$

한편, 절단 모드를 호출하였을 때 나타나는 화면은 아래 Fig. 13 과 같다.

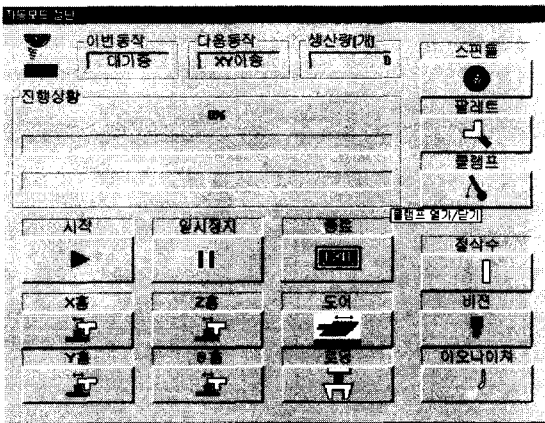


Fig. 13 Monitoring of cutting mode

### 3.4.2 비전에 의한 오차 보상

로딩 동작에 의해 테이블에 올려 놓여진 지그와 웨이퍼는 팔레트에 의한 지그의 물림 또는 지그에 의한 웨이퍼의 물림 상태,  $\theta$  테이블의 틀어짐에 의해 아무리 잘 맞추더라도 브레이드와 약간의 각을 이루게 된다. 웨이퍼를 절단하는 과정에서 허용되는 수평 공차는  $0.2^\circ$  내외이므로 이와 같은 사소한 원인에 의한 오차도 반드시 고려하여야 한다. 오차를 보상하는 방법으로 비전으로 물림 상태를 인식하여 발생된 오차만큼 보상하는 알

고리즘을 채택하였다. 물림 상태는 웨이퍼가 로딩 동작이후 이상적인 위치 및 각도에서 어긋나있는 정도를 말한다. 따라서 기준으로 잡을 곳 샘플 (good sample)은 비전 카메라의 중심을 원점으로 하여 웨이퍼를 정교하게  $x$ ,  $y$ ,  $\theta$ 에 대하여 0으로 될 때 위치, 스레쉬홀드(threshold)등의 데이터를 기록한다. 그 후에 실제로 절단을 수행할 때 데이터 기록과 비교하여  $\Delta x, \Delta y, \Delta \theta$ 를 계산하여 이송 및 절단 동작중에 보정한다.

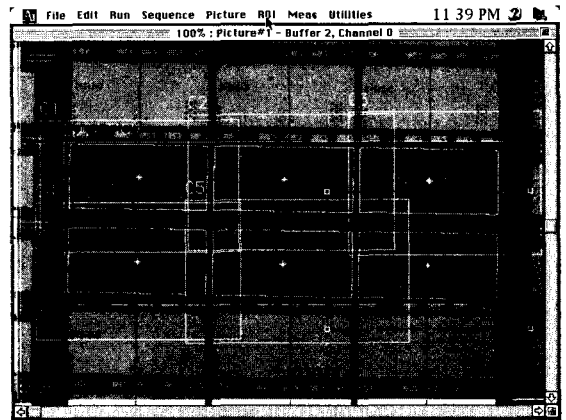


Fig. 14 Image of wafer and ROI

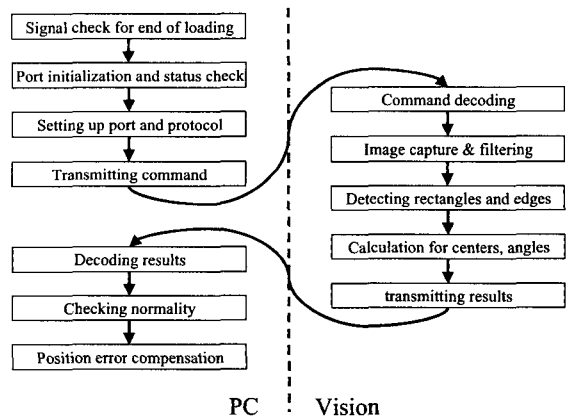


Fig. 15 Signal interaction between PC and vision

웨이퍼에서 오차를 계산하는 방법으로는 다음과 같다. 먼저 Fig. 14와 같이 웨이퍼 상에 C1~C6까지 6개의 ROI(region of interest)를 설정하여 각각 사각형을 검출하도록 하되, 표면의 반사가 고르지 못한 편이므로 검출 기법은 각각의 ROI에 대하여 설정값을 사용하는 액티브 스레쉬홀딩 기법(active

thresholding)으로 검출한다.<sup>17)-18)</sup> 그 다음, C1~C6의 중심을 계산하고 C1과 C4, C2와 C5, C3와 C6 각각의 중심점의 중심 C7~C9을 계산한다.  $\Delta x, \Delta y$ 는 곳 샘플과 C7~C9의 평균값의 차이로 계산하고,  $\Delta \theta$ 는 C7과 C9이 이루는 각과 곳 샘플과의 차이로부터 구한다.

비전 시스템과 PC의 통신은 RS-232로 연결되어 있으며, PC에서 비전 인식 커맨드(command)를 전송하면 인식 작업을 수행하고 데이터를 다시 PC쪽으로 전송하도록 세팅되어 있다. Fig. 15는 PC와 비전 시스템 간의 신호 송수신 과정을 나타낸 것이다.

#### 4. 실험 및 고찰

##### 4.1 실험

우선 다이싱 머신을 제작하고, 자동화 소프트웨어를 설치하여 파라미터 입력 및 전체적인 보정 작업을 수행하였고 테스트를 수행하여 발견된 오류를 수정하였다. 생산 라인에 설치한 후에는 그라파이트(graphite) 절단을 통해 정밀 보정 작업을 하였다. 테스트 생산을 한 제품은 Fig. 16과 같이 3종류로서 웨이퍼 자체의 크기는 같지만, 인덱스 값은 다이의 높이와 폭과 같으므로 제품에 따라 인덱스를 변경시켰다. 절단은 재질이 연질이 아니기 때문에 A 모드로 수행하였고, 두께가 2.3mm이므로 단수는 1 단으로 하였다.

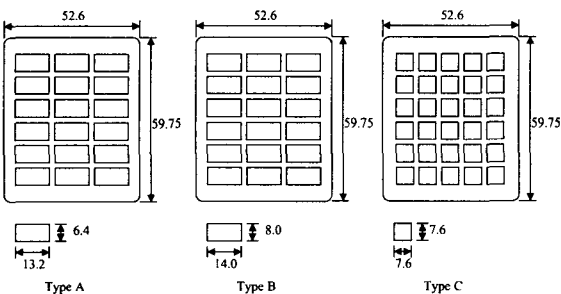


Fig. 16 View of test pieces

##### 4.2 결과 및 고찰

자동화의 타당성을 검토하기 위해 관리 및 생산성 측면에서 자동화 이전과 이후의 차이를 비교하였다. 고려된 항목은 셋업 시간, 공정 변경 시간, 교육시간, 1일 생산량, 투입 인력, 개당 평균 생산

시간 등으로 Table. 3과 같다.

설치 시간이 길어진 것은 로딩·언로딩, 비전 등 여러가지 시스템이 연결되어 있기 때문에 배선이 복잡하고 기기를 보정하는데 다소 시간이 걸리기 때문이다. 공정 변경 시간이 단축된 것은 사용자가 공구 경로를 생성하지 않고, 인덱스나 절단 거리등을 수정하는 것으로 공정이 쉽게 바뀌기 때문이다. 또한, 화면 구성이 대화형으로 되어 있고, 오류 발생시 조치가 자동으로 행해지므로 교육시간이 대폭 단축되었다.

기존 작업시 절단 전에 접착성 필름(film)으로 웨이퍼를 고정하여 테이블에 직접 없는 테이프 마운팅(tape mounting) 작업이 필요하였으나, 자동화 이후 이러한 수작업이 없어지고, 단지 언로딩 후의 지그를 지그 컨테이너에 넣어 주는 작업만 수작업으로 수행한다. Table. 3에서 보여주는 작업 인력은 이런 인력까지 포함한 것이다.

생산량은 10.5% 증가, 평균 생산 시간은 10.1% 감소를 보였다. 여기서 각각 많은 차이를 보이지 않는 것은 기구적으로 큰 차이를 보이지 않기 때문이라고 사료된다. 하지만, 자동화 이전 라인에 투입되는 인력이 숙련자들임을 감안한다면 비숙련공을 가지고도 생산량을 많이 높이지는 못하더라도 생산은 할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 작업 인력은 약 40%정도 감축되었고, 비숙련공을 사용할 수 있는 점까지 고려하면 인건비를 대폭 낮출 수 있음을 유추할 수 있다. 교육 시간과 공정 변경 시간은 각각 75%와 76% 감소하였다. 이것은 다른 요소에 비하여 두드러지게 나타나는 현상으로 PC 기반 다이싱 머신이 교육이 용이하고 공정 변경에도 유리하다는 장점이 있다는 것을 보여주고 있다.

Table 3 Comparison of manufacturing tact time

항목	자동화 이전	자동화 이후
설치 시간	5 일	6 일
공정 변경 시간	50 분	12 분
교육 시간	24 일	6 일
1 일 생산량	190 장	210 장
평균생산시간	4 분 16 초	3 분 50 초
작업 인력	5 대/5 명	5 대/3 명
1 일 동원 인력	15 명	9 명

## 5. 결론

본 연구에서는 웨이퍼 절단을 위한 다이싱 공정을 자동화하기 위해 로딩 장치와 비전 시스템을 채용한 PC 기반 다이싱 머신을 제작하였다. 또한 이를 구동시키기 위한 프로그램을 객체 지향적 언어를 사용하여 GUI로 구성하였다. 그리고 시스템을 실제 공정에서 절단 작업을 수행함으로써 생산에 관한 정보를 얻을 수 있었고 타당성을 검토하였다. 이를 근거로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1. 반도체 다이싱 작업을 PC 기반으로 자동화할 수 있으며, 다이싱 머신을 구동하는 소프트웨어는 GUI 환경에서 객체 지향형 언어로 구성할 수 있다.

2. 다이싱 작업을 자동화하기 위한 파라미터를 추출하고 알고리즘을 작성하였으며, 서브루틴으로의 데이터 전달 경로를 data flow structure로 보았다.

3. 절단 이전에 오차를 보상하기 위하여 비전 시스템을 채용하였고, 오차를 인식하기 위한 알고리즘을 구성할 수 있다.

4. 자동화된 다이싱 머신을 실제로 절단 작업을 수행한 후, 생산적 및 관리적 요소를 비교하여 타당성을 검토하였으며, 자동화 후에 생산적·관리적 측면에서 괄목하게 향상된 측면은 교육시간과 작업 변경 시간임을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 오점준, "반도체 칩 Saw 변수 최적화를 통한 품질향상에 관한 연구," 한양대학교 산업대학원 석사학위 논문, pp. 1-7, 1993.
2. Honda, "Method and apparatus for slicing semiconductor wafers," US patent No. US5524604, 1993.
3. Boruta, "Multi cut wafer saw process," US patent No. US5786266, 1996.
4. 이동준, "반도체 개요·제조·기술," 금호출판사, pp. 170-203, 1987.
5. 생산기술연구원, "공업기술 수요조사 보고서 (IV) - 전기 전자분야," 상공부, pp. 1091-1108, 1990.
6. 고경영, 이중호, 차영엽, "역전파 알고리즘을 이

용한 웨이퍼의 다이싱 상태 예측," 제어계측·자동화·로보틱스연구회 합동학술발표회, pp. 107-110, 1999.

7. Rolf Isermann, "Mechatronics Systems - Concepts and Applications," Proceedings of the 5th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Vol. 2, pp. 1175-1188, 1998.
8. Bright, Potgieter, "PC-Based Mechatronic Robotic Plug and Play System for Part Assembly Systems," Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 426-429, 1998.
9. 西本 澄 外 4 人, "生産システムとメカトロニクス," 日本精密工學會誌, Vol. 64, No. 6, pp. 813-818, 1998.
10. Serope Kalpakjian, "Manufacturing Engineering and Technology 2<sup>nd</sup> Ed.," Addison Wesley, pp.1116-1123, 1992.
11. Sava, Puztai, "Computer Numerical Control Programming," Prentice-Hall, pp. 210-214, 1990.
12. 김형태, 양해정, 송창섭, "윈도우 기반의 반도체 절단 공정의 자동화 시스템," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.750-753, 1998.
13. Jack W. Chaplin, "Instrumentation and Automation for Manufacturing," Delmar Publishers Inc., pp. 360-378, 1992.
14. Phillip J. McKerrow, "Introduction to Robotics," Addison Wesley, pp. 113-116, 1991.
15. 김형태, 양해정, 송창섭, "GUI를 이용한 슬라이싱 머신의 자동화 알고리즘 개발," 한국정밀공학회지, Vol. 16, No. 7, pp. 85-93, 1999.
16. Insook, Robin, "Human-Machine Performance Configuration for Computational Cybernetics," Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 4254-4259, 1997.
17. Ramesh, Rangachar, "Machine Vision," McGraw Hill, pp. 80-82, 1995.
18. Rafael, Richard, "Digital Image Processing," Addison Wesley, pp. 443-458, 1992.