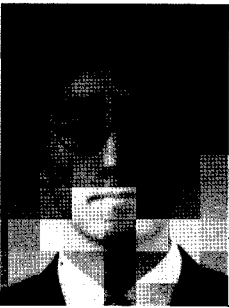


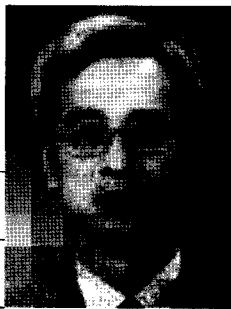
3차원 측정기를 이용한 검사 자동화 기술 개발



박 찬 훈

(KIMM 자동화연구부)

- '94. 2 영남대학교 기계공학과(학사)
- '96. 2 포항공과대학교 기계공학과(석사)
- '96. 3 - 현재 한국기계연구원 연구원



김 두 형

(KIMM 자동화연구부)

- '82. 2 서울대학교 기계공학과(학사)
- '90. 2 한국과학기술원 생산공학과(석사)
- '82. 3 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

자동화된 무인 공정 시스템은 작업준비, 가공, 물류, 측정 등 여러 개의 셀의 조합으로 이루어진다. 본 연구에서는 자동화된 무인 생산공정에 투입될 측정 및 보정 시스템의 개발에 관해 소개한다. 측정 작업은 출고 단계에서 이루어지는 것이 보통이지만 측정결과를 생산라인에 피드백하기 위해서, 그리고 고정도를 요구하는 제품 혹은 소량의 제품이 생산되는 라인의 경우 측정 시스템은 생산공정의 일부로 포함되어야 한다.

무인 생산 공정 시스템에 인라인으로 설치된 검사 자동화 시스템은 전체의 무인생산 라인의 생산 계획과 가공 방식, 가공 허용오차 및 정밀도에 대해서 서버와 정보를 공유함으로써 정확히 파악하고 있어야 한다. 따라서 측정셀의 관리 프로그램은 무인 생산공정을 총괄하는 서버와 서로 통신하며 정보를 수시로 주고받을 수 있어야 하며 새로이 생산하고자 하는 제품의 설계가 완성되었을 경우에 진행중인 생산공정에 아무런 변화 없이 새로운 제품이 생산되고 측정될 수 있도록 새로운 제품이 생산라인에서 생산되기 전에 측정기의 동작 명령이 미리 계획될 수 있어야 한다. 이를 위해서 측정기의 오프라인 프로그램이 필요하다. 측정결과 얻어진 데이터는 적절히 처리되어서 제품의 가공정도에 대한 정량적인 판단이 이루어져야 하는데 측정결과에 따라서 가공공정의 문제점 혹은 설계상의 문제점이 파악되면 이전의 공정들 중 문제가 있는 곳

에 정보를 피드백 해야 하며 특정 모듈에서의 재가공을 위해 가공품을 이전의 공정으로 돌려 보낸다.

그림 1은 위에서 설명한 필요에 따라서 본 연구에서 개발된 시스템을 개념적으로 보여준다. 그림 1에서 알 수 있듯이 측정셀 관리 프로그램은 측정기 운용프로그램, 팔레트 운반 제어프로그램 그리고 오프라인 프로그램 등을 전체적으로 관리하며 가공공정을 총괄하는 서버와 정보를 주고받을 수 있다. 또한 가공될 제품의 설계도면을 미리 넘겨받아 측정 및 평가 전에 미리 수행되어야 할 제반의 작업을 수행한다. 가공공정으로부터 가공된 제품이 측정셀로 운반되면 팔레트 운송기에 의해서 측정기로 운반되어 측정되고 이 결과는 측정셀 관리 프로그램으로 전송된다. 이후의 모든 측정셀의 처리는 측정셀 관리 프로그램에 의해서 이루어진다. 또한 측정셀 관리 프로그램은 가공공정을 총괄하는 서버와의 통신 기능을 가지며 각각의 독립된 프로그램들(팔레트 운반기 제어프로그램, 측정기 운용프로그램, 오프라인 프로그램)은 하나의 PC에 위치하며 적절히 통신한다. 또한 측정셀 관리 프로그램은 측정기 운용프로그램, 팔레트 운반기 제어프로그램, 오프라인 프로그램을 관리한다.

측정기 운용프로그램은 3차원 측정기를 운전하고 측정결과를 분석하며 처리된 결과를 저장·관리한다. 팔레트 운반제어 프로그램은 가공공정으로부터 운반 되어온 가공물을 3차원 측정기로 운반하는 역할을 한다. 오프라인 프로그램은 3차원 측정기가 운전되고 있는 동안에 측정기의 DMIS 파일을 외부에서 생산하기 위해서 사용된다.

즉, 운전중인 3차원 측정기를 직접 사용하지 않고 화면에 나타나는 3차원적으로 시각화된 도면상에서 측정기가 측정할 부분들과 측정기가 통과해야 할 점 등을 오프라인으로 설정해서 가상으로 컴퓨터 상에서 실험해 본 후에 이 결과로 DMIS 파일을 생성하고 적절한 시기에 측정

기가 이 DMIS 파일을 읽어 들어서 측정 작업을 수행한다. 따라서 측정기의 운전을 멈추지 않고서도 새로운 측정물을 위한 DMIS 파일을 생성할 수 있게된다. 3차원 측정기 오프라인 프로그램의 또 하나의 기능은 가장 적절한 측정 점의 개수 및 측정 계획의 선정 기능이다. 이는 수동으로 측정 점을 선정하고 측정 계획을 결정 할 경우에는 얻을 수 없는 이점을 제공한다.

현재 이 기능은 완전히 개발된 단계는 아니며 좀 더 효율적인 측정계획의 생성을 위해서 계속 연구될 계획이다. 팔레트 운반기 제어프로그램은 AGV로부터 이송되어 온 팔레트 위의 측정물을 3차원 측정기로 이송하는 역할을 수행하는 팔레트 운반기의 제어장치와 RS232C로 통신하며 측정셀 관리 프로그램의 지시에 따른다.

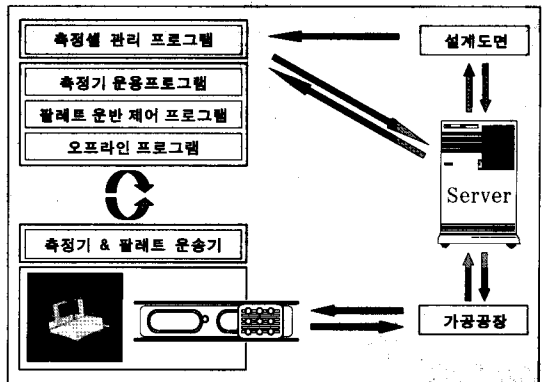


그림 1. 검사 자동화 간략도

2. 하드웨어

2.1 3차원 측정기(CMM)

제품가공을 위한 공작기계에 있어서 NC의 영역은 CAD로서 설계한 기술 설계정보가 데이터베이스로서 축적되고, 그 정보를 사용하여 NC가공을 위한 NC데이터를 작성하고 NC 공작기계로 가공하게 된다. 이와 같은 이유로 과거와는 달리 많은 생산 현장에서 생산 부품이 설계자가 의도한 형상, 치수 공차로 가공되었는지를 신속

하고 비교적 정확하게 판단하기 위해서 인라인 측정에 3차원 측정기를 사용하고 있다. 본 연구에서는 측정셀의 구성을 위해서 에어베어링 지지 구조를 가지는 (주)덕인의 3차원 측정기(MHB-800)가 사용되었다. 생산라인에서 발생하는 먼지에 대한 취약성의 문제가 아니더라도 측정기는 온도차에 의한 열변형에 매우 취약하므로 항온항습실을 필요로 한다. 그림 2 및 표 1은 본 연구에서 사용된 측정기와 Spec.을 보여준다.

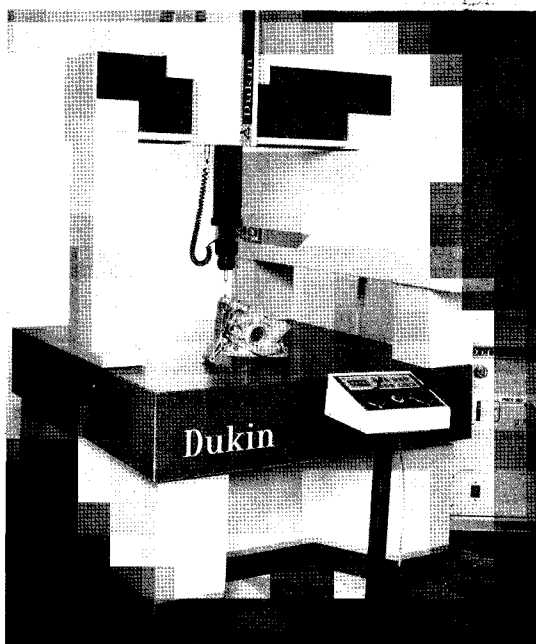


그림 2. 본 연구에서 사용된 3차원 측정기

표 1. 3차원 측정기의 사양

| 항목/축명 | X | Y | Z | 비고 |
|--------|-----------|--------|--------|-----------|
| 측정범위 | 650 | 600 | 500 | mm |
| 측정물 크기 | 800 | 1200 | 540 | mm |
| 외형크기 | 1400 | 1520 | 2670 | mm |
| 직선정도 | 0.0033 | 0.0039 | 0.0032 | |
| 체적정도 | 0.008/400 | | | B89.1.12M |
| 반복정도 | 0.0025 | | | B89.1.12M |
| 분해능 | 0.0001 | | | |
| 중량 | 2270 | | | Kgf |
| 취급중량 | 1135 | | | Kgf |

2.2 팔레트 운송기

본 연구에서는 측정기에 측정물을 공급하기 위해서 팔레트 운송기(그림 3)를 사용한다. 생산라인에서 가공된 제품은 팔레트에 고정되어 AGV에 의해 수송되어서 측정셀에 도착하게 된다. 측정셀은 전체 무인공정을 관리하는 서버로부터 AGV가 측정셀로 출발했다는 정보를 입수하고 대기하고 있다가 센서정보 및 중앙의 서버와의 통신을 통해서 AGV의 도착이 감지되면 팔레트 수송기를 이용해서 팔레트를 항온항습실 내의 측정기로 이동시키게 된다. 팔레트 운송장치는 수동모드 및 자동 모드에서 사용될 수 있도록 디자인되었으며 구동모터, 체인 이동장치, 제어기 및 공압 세척대로 구성되어있다. 팔레트 운송기의 구조와 작동 원리는 그림 4, 5, 6에 나타나 있다.

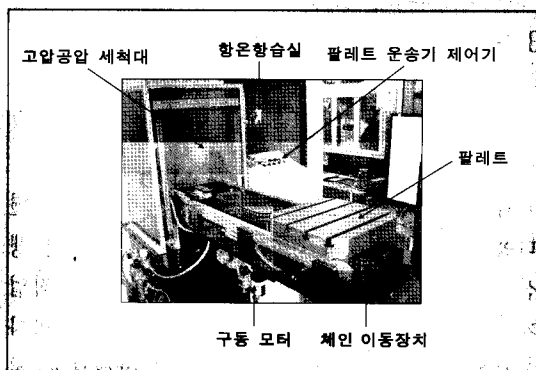


그림 3. 팔레트 이송기

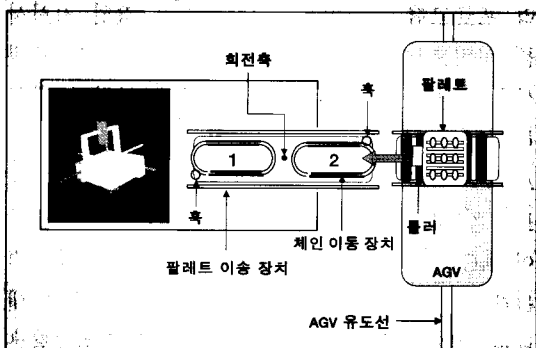


그림 4. 팔레트 이송기 구조

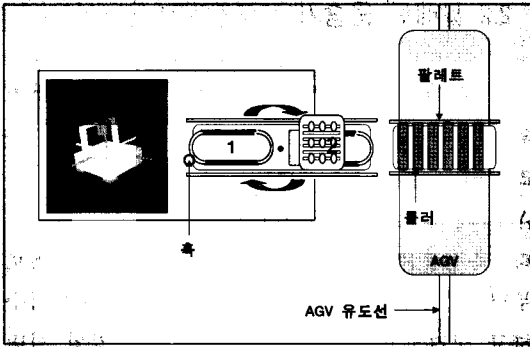


그림 5. 팔레트 이송기 구조

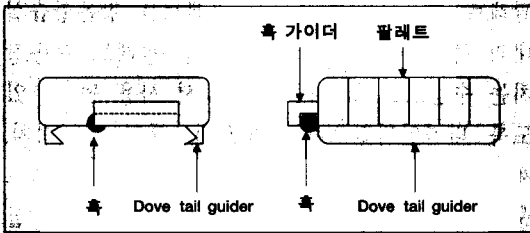


그림 6. 훅킹(Hooking) 메커니즘

3. 측정셀 관리 프로그램

3.1 운영 로직

측정셀의 작동 메커니즘을 간단히 설명하면 다음과 같다. 측정셀의 호스트 컴퓨터는 무인 생산 시스템의 전체를 총괄하는 서버로부터 작업 지시정보를 받고 측정셀의 상태가 변할 때마다 정보를 보고한다. 작업지시 정보와 상태보고 정보는 표 2, 3과 같은 내용을 가진다. 측정셀 관리 프로그램은 서버로부터 읽어 온 작업 지시서를 바탕으로 측정물을 싣고 오는 AGV가 측정셀을 향해서 출발했는지 계속해서 서버에 확인하고 출발이 확인되면 팔레트 운전 프로그램이 AGV가 팔레트 이송기 앞에 도착했다는 신호를 보내올 때까지 기다린다. 팔레트 운전 프로그램이 AGV가 도착했음을 알리는 신호를 보내오면 팔레트 운전 프로그램에 적절한 작업 명령을 내린다. 작업 명령을 받은 팔레트 운전 프로그램은 AGV로부터 이재작업을 수행하고 측정할 준비

가 끝나면 측정기 운전 프로그램을 호출해서 측정 작업을 진행시킨다. 호출된 측정기 운전 프로그램은 측정작업을 진행하고 측정작업이 끝나면 결과를 적절한 포맷으로 저장하고 다시 측정셀 관리 프로그램에게 측정 작업이 끝났음을 알리고 팔레트 이송기 제어프로그램을 다시 호출하며 호출된 팔레트 이송기 제어프로그램은 측정

표 2. 작업지시 정보 구조

| 항 목 | 변수타입 | 내 용 |
|-----------|-------|-------------------|
| OrdSeqNo | Char8 | {지시번호}1-8 |
| MachNo | Char3 | {설비번호}9-11 |
| OrdFlag | Char1 | {0-미확인, 1-지시확인}12 |
| OrdNo | Char8 | {오더번호}13-21 |
| ItemNo | Char8 | {품목번호}22-29 |
| Cell_ID | Char2 | {Cell번호}30-31 |
| Work_ID | Char1 | {작업구분}32 |
| RoutSeq | Char1 | {공순: End공정은 9번}33 |
| WorkNo | Char5 | {작업번호}34-38 |
| FromAGV | Char3 | {출발지}39-41 |
| ToAGV | Char3 | {목적지}42-44 |
| RepDay | Char8 | {작업일자} |
| StartTime | Char8 | {착수시간} |
| EndTime | Char8 | {완료시간} |
| QcFlag | Char1 | {1:합격, 2:불합격} |

표 3. 상태보고 정보 구조

| 항 목 | 변수타입 | 내 용 |
|------------|----------|----------------------------|
| MachNo | Char3 | {설비번호, Uni}1-3 |
| InSeqNo | integer | {보고일련번호} |
| MachState | Char2 | {설비상태}4-5 |
| EventTime | Char8 | {보고시간}6-13 |
| Location | Char3 | {현재 AGV위치}14-16 |
| QcFlag | Char1 | {1:완성, 2:실패, 3:다음 공정 발행}17 |
| OrdSeqNo | Char8 | {지시번호}18-25 |
| OrderNo | Char8 | {오더번호}26-33 |
| ItemNo | Char8 | {품목번호}34-41 |
| RoutSeq | Char1 | {공순}42 |
| Work_ID | Char1 | {작업구분}43 |
| RemainTime | integer5 | {잔여작업시간/초} |

작업이 끝난 측정물을 AGV도착 지점으로 운반한다. 측정셀 관리 프로그램으로부터 AGV가 팔

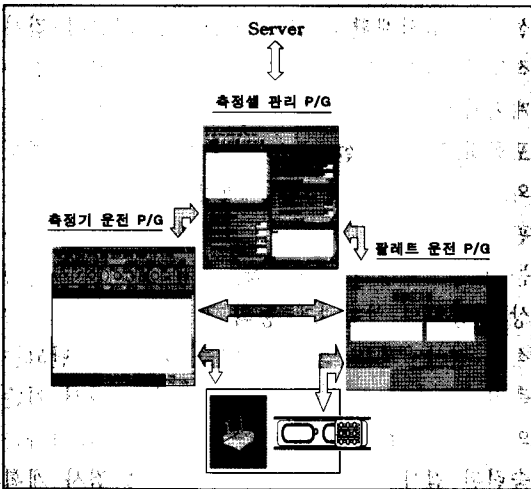


그림 7. 측정셀 개념도

레트 운송기로부터의 적재를 위해서 다시 도착했다는 신호를 받으면 팔레트를 AGV로 밀어 넣는다. 측정셀 관리 프로그램은 측정 결과 파일을 읽어와서 적절히 처리해서 측정 결과로부터 유용한 데이터를 추출해내고 이 정보를 저장하거나 혹은 이전의 가공셀로 피드백한다. 이것을 간단히 그림으로 표현하면 그림 7, 8, 9와 같다. 그림 7, 8에서 화살표는 제어의 흐름 혹은 정보의 전달을 묘사한다.

3.2 측정결과와의 피드백

측정작업이 끝나면 측정결과와의 피드백이 이루어지게 된다. 사실 측정의 목적은 측정결과와의 처리와 이 결과의 피드백이 목적이라고 할 수 있다. 이러한 측정결과에 대한 피드백의 개념이 그림 10에 간단히 나타나 있다. 현재 상용화된 대부분의 측정기의 운전 프로그램은 측정결과와의 2차원적, 3차원적 단순 해석에 관해서는 우수한 성능을 나타내지만 측정결과와의 재구성 및 3차원적 재구현에 있어서는 만족할 만한 결과를 보여 주지 못한다. 따라서 상용 측정기 운용프로그램으로는 단순 측정 및 측정결과와의 저장 기능만 이용하고 본 연구에서 개발한 측정셀 관리 프로그램에서 측정결과를 재처리하고 결과를 3차원적으로 재구성할 수 있다. 본 연구에서는 Unigraphics Solutions의 Parasolid Modeller를 사용해서 3차원 솔리드 모델로의 재구성이 가능하도록 연구를 진행하고 있다. 이러한 측정결과로부터의 3차원 재구성이 완성되면 원래의 3차원 도면과 측정결과로부터 재구성된 3차원 Model을 비교·분석해서 3차원 가공 에러에 관한 정보를 3차원적으로 계산해 낼 수 있다. 이 결과로부터 CL Data 및 NC Code를 수정해서 수정된 Code를 공작기계로 보낸다. 공작기계는 수정된 NC Code를 다시 열변형 및 기타의 오차 등을 고려해서 다시 보정하고 이를 이용해서 가공을 수행하고 생산된 제품은 다시 측정셀로 검사를 위해

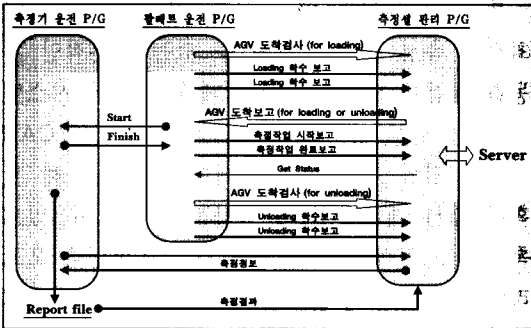


그림 8. 측정셀 관리프로그램 개념도

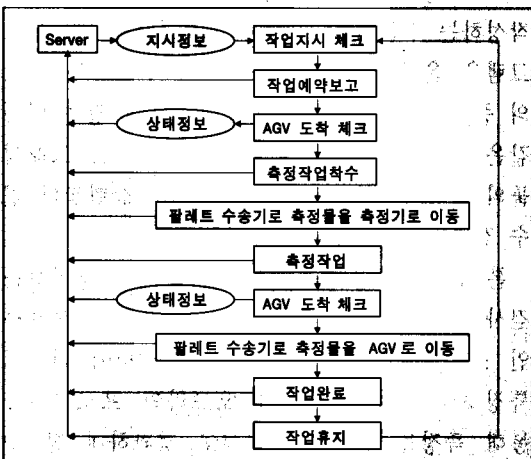


그림 9. 검사셀 운영 로직

서 보내진다. 이와 같은 반복적인 작업을 수행함으로써 좀더 나은 품질의 제품이 생산될 수 있다.

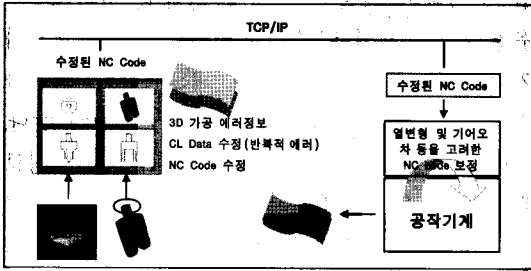


그림 10. 가공오차 보상

3.3 측정결과

본 연구에서 사용된 덕인(주)의 측정기 운용 프로그램(뉴로메저)은 측정 결과를 MS Excel을 이용해서 검사 성적서를 정리하고 저장한다. 검사 성적서에 접근하기 위해서 개발된 측정셀 관리 프로그램은 ActiveX Automation Client 기능을 지원한다. 이 작업의 실제적인 구현을 설명하는 것은 너무 많은 코드와 지면의 할애를 요구하기 때문에 생략한다. 검사 성적서로 부터는 순번(측정된 순서), 기준값, 상한공차, 하한공차, 측정값, 편차, 판정결과를 읽어온다.

3.4 측정결과의 관리

측정된 결과를 비롯해서 많은 유용한 정보들은 데이터 베이스관리 기능에 의해서 저장된다. 본 연구에서는 MS Access를 이용해서 데이터 베이스를 관리한다. 사용된 DB에 관해서는 설명을 생략한다.

4. 측정계획 오프라인 프로그램

검사작업은 생산과정의 최종단계로서 제조된 제품의 품질을 파악하고 이를 관리하는 자료를 제공하여 차후에 생산되는 제품의 품질을 향상

시키기 위해 도입되는 과정이다. 검사 계획이란 제품의 기하형상, 공차, 기능적 특성을 고려하여 검사 부위, 검사 방법 등을 계획하는 과정이며 설정된 검사계획은 검사 기준서에 의하여 검사 작업에 반영된다. 기존의 검사계획 과정은 검사 계획자가 설계된 제품의 형상과 공차 정보 등을 포함하고 있는 설계도면을 이용하여 도면 정보와 검사 계획자의 경험을 바탕으로 하는 주관적 판단으로 수행되었다. 이 과정에서 검사 계획자는 도면으로부터 가공형상, 공차 그리고 가공형상과 공차의 상관관계 등의 정보를 인식하고 최적의 검사결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되는 측정경로와 측정점을 선택하게된다. 따라서 기존의 검사 계획 과정에서는 도면을 읽고 해석하는 숙련된 검사 계획자가 필요하며 이는 검사 계획의 자동화를 어렵게 하는 요인이 되고 있다.

본 연구에서는 도면정보를 적절히 이용하여 최적의 측정 결과를 얻을 수 있는 기본적인 자동화된 검사 계획 시스템을 개발한다. 본 시스템은 특징 형상 정보와 Parasolid modeller의 CAD 파일을 입력 정보로 하여 내부 연산을 통해 계획된 검사 계획에 따라 검사를 수행할 수 있도록 DMIS 형식의 3차원 측정기 구동명령을 오프라인 방식으로 생성한다. 따라서 본 시스템은 3차원 측정기의 검사 과정을 계획하는 부분과 계획을 바탕으로 구동명령 라인을 DMIS 형태로 작성하는 부분으로 나눌 수 있다. 오프라인 프로그램은 온라인 프로그램에 비해 현격한 생산성의 증대를 가져온다. 따라서 선진국의 경우 이와 같은 3차원 측정기를 위한 오프라인 프로그래밍들의 사용이 점차 확대되어 점차 생산현장의 필수 장비가 되어가고 있는 경향이다.

본 연구에서는 효율적이고 신뢰성을 보장하는 검사 계획을 통해 기존의 3차원 측정기 오프라인 프로그래밍 틀에서의 사용자 입력에 더해서 특징형상 정보를 이용한 오프라인 프로그램을 통해 측정을 보다 효율적이고 정확하게 할 수 있는 시스템을 개발한다.

4.1 Parasolid modeller

오프라인 프로그램의 많은 기능 중 빼놓을 수 없는 기능은 3차원 시각화 기능이다. 범용의 CAD 프로그램들처럼 일반적인 CAD 기능을 모두 구현할 필요는 없지만 범용의 3차원 CAD 프로그램으로부터 생성된 도면이 인식되고 3차원적으로 화면에 뿌려질 수 있어야 하며 사실 이것은 단순한 작업이 아니다. 따라서 본 연구에서는 시장에 나와 있는 모든 3차원 CAD 프로그램에서 생성된 CAD Format을 지원하는 것은 포기하고 Parasolid Modeller를 사용해서 Parasolid XT 포맷을 지원하는 CAD 툴만 지원하기로 한다. Parasolid XT 포맷을 지원하는 대표적인 3차원 CAD 툴로는 Solid Works가 있다. 그림 11은 Solid Works에서 Parasolid XT Format으로 저장된 3차원 도면을 Parasolid Modeller를 사용해서 제작된 오프라인 프로그램에서 읽어 들인 화면이다.

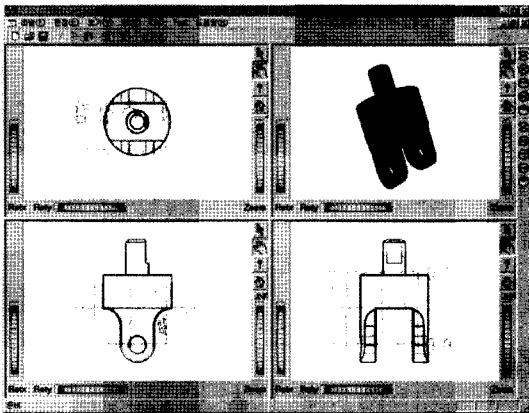


그림 11. 3차원 도면 인식기능

4.2 측정 대상 선정

측정 대상의 선정은 제품에서 공차가 설정되어 있는 면들 중에서 검사를 필요로 하는 부분을 선정하는 과정으로서 제품의 각 부분들의 공차 지정 여부를 바탕으로 선정되어야 한다. 이는 설계

에서 지정된 공차는 그 가공 결과를 검사해야 할 필요가 있으며 공차가 지정되지 않은 부분은 측정을 수행하더라도 그 결과의 확인이 불가능하기 때문이다. 읽어 들여진 도면을 보고 사용자가 화면의 특정 부위를 클릭하면 특정부분의 특징 형상이 선택된다. 이것은 원, 타원, 평면, 원통, 구 등과 같이 간단한 기하학적 정보만 포함하고 있을 수도 있고, 아주 복잡한 기하학적 정보를 포함하고 있을 수도 있다. 그림 12에는 측정 대상이 선정된 결과 화면이 나타난다. 붉은색으로 빗금이 쳐져서 표시된 부분이 측정을 위해서 사용자가 마우스로 선택한 후 측정 대상으로 선정된 부분이다. 이와 같이 측정된 대상이 되는 파트가 선정되면 이 부분에 대한 모든 기하학적 정보를 포함한 CAD 정보가 익혀지고 측정점 선정, 측정점 개수 선정 등에 사용되게 된다.

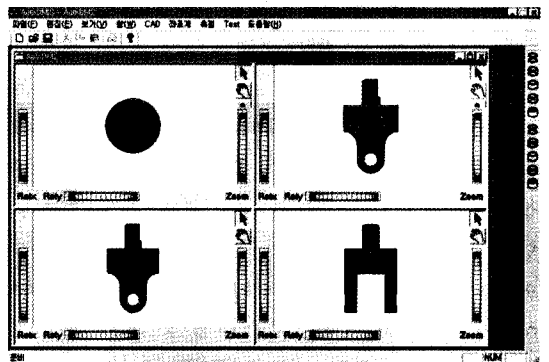


그림 12. 측정 대상 선정

4.3 측정 가능 여부 판단

측정을 위한 제품의 셋업 방향은 사용자 입력에 의해 결정된다. 가공을 위한 셋업 방향과 마찬가지로 측정 셋업 방향은 대상물의 측정 가능성 여부와 측정 경로 최적화에 중요한 요인이 된다. 본 시스템은 사용자의 셋업 방향 선택 단계에서 프로브의 볼 팁의 크기 정보와 스타일 길이 정보를 바탕으로 지정된 셋업 방향에서 측정 가능한 측정 면을 공차 지정여부와 함께 판단하여 제안해 줌으로써 사용자의 셋업 방향의

선택에 도움을 주도록 개발되고 있다.

4.4 측정점 개수 선정

현재 일반적으로 사용되는 측정 방식에서는 측정시간을 단축시키기 위하여 대상 부품의 크기 혹은 공차의 정밀도와 관계없이 직선을 측정하는 경우에는 3~5점, 평면의 경우에는 4~8점, 원의 경우에는 4~8점을 측정하는 방법이 사용되고 있다. 측정점 개수 선정과 관련된 과거의 연구 사례로는 Least Square Approximation과 시뮬레이션을 이용한 평면도 측정을 위한 측정점 개수 결정에 관한 연구, 통계적 방법을 이용한 접근 방법 등 다양한 시도가 있었으나 아직 측정비용과 측정 오차 혹은 측정 정밀도를 고려한 측정점 개수 결정에 대한 체계적인 연구는 수행되지 않고 있다.^[3, 4, 5] 3차원 측정기를 이용하여 제품의 기하공차를 측정하는 과정은 Minimum Zone 방법을 고려할 때 측정 대상면의 무수히 많은 측정 위치 중에서 최고값 및 최저값을 찾는 과정이므로 측정점의 개수와 이에 상당하는 신뢰도를 보장하여 계통 오차가 아닌 임의의 오차를 찾아내는 것은 어렵다. 측정 대상면의 오차분포를 임의의 오차만을 고려하여 평균값이 기준치수가 되며 표준편차가 공차 영역의 1/3이 되는 정규분포를 가정하고 측정 대상면의 특징을 반영하는 평면도 공차를 대상으로 240×240의 Mesh를 갖는 Z-map에 정규분포의 임의의 오차를 생성하여 균일하게 분포하는 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81 개의 측정점 개수 그룹으로 나누어 Least Square를 통한 Minimum Zone 방법을 이용하여 측정하는 시뮬레이션을 통해 측정점의 개수를 선정하는 방법이 제안되기도 했다.^[2] 많은 방법들이 제안되었지만 대부분의 방법들은 비교적 구현하기가 까다롭고 측정점의 개수가 신뢰도에 미치는 영향이 크지 않다고 판단되어서 [2]에서 제안된 방법을 이용한다. 또한 사용자가 원할 경우 사용자의 입력에 따라서 측정점

의 개수가 선정 되도록 프로그램 되었다.

4.5 측정점의 위치 선정

기존의 측정점 위치 선정에 관한 연구는 주로 측정기를 이용하여 제품의 기하학적 정보를 추출하기 위한 목적으로 이루어 졌다. 대표적인 측정점 위치 선정 방법으로는 균일측정(Uniform Sampling), 임의측정(Random Sampling), 그리고 계층측정(Stratified Sampling)방법 등이 있으며 Caskey의 연구에 의하면 위 세 가지 방법 중 Stratified Sampling 방법이 가장 효율적인 것으로 보고되었다.^[3] 이외에 MonteCarlo 방법을 이용하여 Hammersley가 주장하고 Woo 등이 평면형상 측정을 위해 사용한 Hammersley 방법이 있다.^[4] 다음은 Hammersley 방법과 이를 이용한 측정점 위치 선정의 예이다.

$s_i \geq 0, t_i \leq 1$ 이라고 하면 2차원에서의

Hammersley 측정점의 좌표(s_i, t_i)는 다음과 같이 정해진다.

$$s_i = i/N$$

$$t_i = \sum_{k=1}^{i-1} (|i/2^k| \text{ Mod } 2) \times 2^{-k}$$

여기서 $i \in \{0, \dots, N-1\}$, N 은 전체 측정점의 수, $k = \lfloor \log_2 N \rfloor$ 즉, $\log_2 N$ 보다 같거나 큰 최소의 정수, $|i/2^k|$ 는 $i/2^k$ 보다 같거나 작은 최대의 정

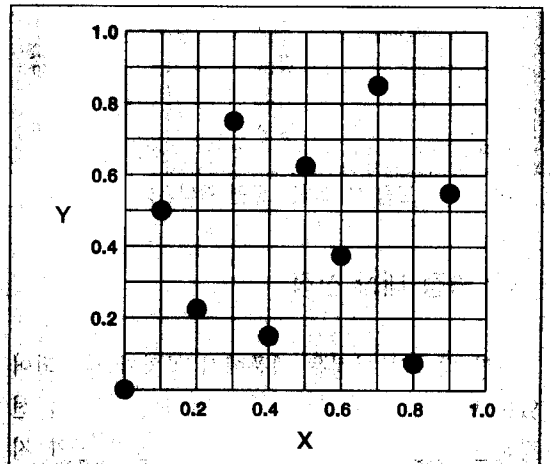


그림 13. 예제의 결과

수를 의미한다.

예로서 측정점의 개수 N 이 10개로 정해 졌다면, 다음의 순서에 따라 측정점의 위치가 계산되고 그 결과는 그림 13의 경우와 같다.

1. k 결정 : $k = \lfloor \log_2 10 \rfloor = 4$
2. s_i 계산 : $N=10$ 이므로, 0/10, 1/10, ..., 9/10로 결정된다.
3. t_i 계산 : $N=10$ 이므로, 0/16, 8/16, 4/16, 12/16, 10/16, 6/16, 14/16 그리고 9/16로 결정된다.

또한 측정기를 직접 운전하여 측정점을 선택할 때와 마찬가지로 측정물의 표면을 마우스로 간단히 클릭 함으로써 측정점을 선택 할 수도 있다. 사실 대부분의 경우 이 방법이 직관적이고 또한 측정기를 운전해서 이 작업을 수행 해온 사람들에게 익숙한 방법이 될 것이다. 측정점을 선택할 때 반드시 지정해 주어야 할 사항은 측정시 프로브가 접근을 시도할 방향이다. 사실 이것은 다음절에서 고려될 특징형상을 이용한 측정 경로의 선정과 관련이 있지만 3차원으로 적절히 시각화된 시뮬레이터를 사용할 경우 3차원 측정기를 직접 구동해서 측정계획을 생성하는 것과 같이 직관적으로 프로브가 접근을 시도할 방향을 결정할 수 있다. 그림 14는 위에서 언급된 방법을 통해서 선택된 측정점과 측정점들 사이의 경로점들을 보여준다. 화면 좌측의 다이얼

로그바를 이용해서 측정점의 선정을 미세하게 수행할 수 있다.

4.6 측정 경로 선정

과거의 CMM Off-line 프로그램들에서의 측정 경로 선정은 기존의 CNC 경로 생성 모듈을 차용하여 사용되었다. 그러나 이러한 기존 모듈의 추가를 통한 프로그램 생성은 CMM Off-line 프로그램의 실패의 잠재적 요인이 될 수 있다. 측정경로의 선정에 있어서 가장 바람직한 방법은 특징형상의 계층구조와 사용되는 특징형상의 특징, 측정기의 자세, 그리고 측정기와 측정물과의 충돌회피 등을 고려하는 것이다. 도면의 해당하는 부분을 선택하면 그 부분을 구성하는 하부구조가 붉은 육면체로 표시되고 해당되는 특징형상 트리는 푸른색의 가로막대로 반전된 상태가 된다(그림 15). 반대로 특징형상 트리의 해당 부분을 마우스로 클릭하면 도면의 해당 부분이 붉은 색의 육면체로 표시된다. 측정물의 특징형상과 그 트리구조 정보의 추출 그리고 측정물과의 충돌회피에 대한 알고리즘은 현재 구현 중에 있다. 본 연구에서는 측정기로 측정물을 직접 다룰 때와 마찬가지로 측정점이 선정되면 다음 측정점으로 이동하기 위해서 측정기가 지나갈 중간 점을 사용자가 임의로 지정할 수 있도록 했다. 측정점과 프로브의 접근방향 그리고 측정점

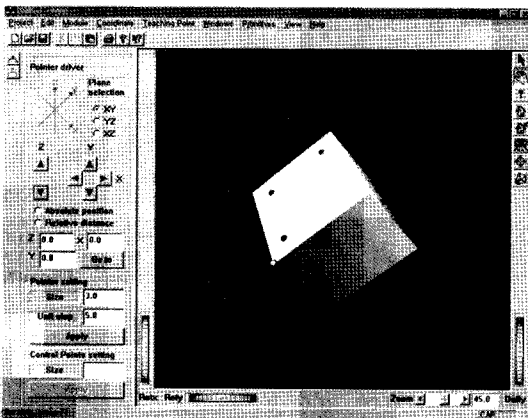


그림 14. 측정점 선정

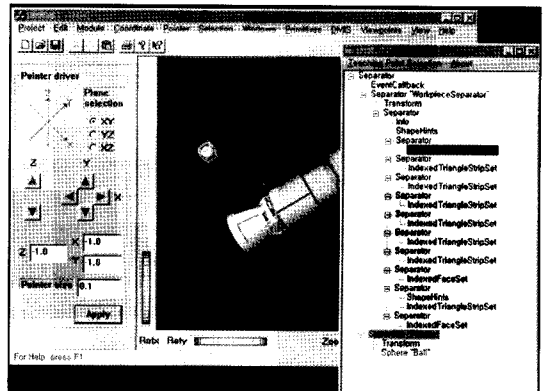


그림 15. 특징형상의 추출

- sampling," Computer-Aided Design, Vol.25, No.4, pp.233-239, 1993
- [5] G. Lee, J. Mou and Y. Shen, "Sampling strategy design for Dimensional Measurement of Geometric Features Using Coordinate Measuring Machine," International Journal of Machine Tools and Manufacturing, Vol.37, No.7, pp.917-934, 1997.
- [6] 서태일, "공구 궤적 재구성에 의한 밀링 가공 오차의 보상에 관한 연구," 한국정밀공학회, 제5권, 제11호, pp.137-144, 1998. 11.
- [7] Pramod N Chiva and Andrei Jablokow , "Solid-model generation from measured point data," Computer-Aided Design, Vol.25, No.9, pp.587-600, 1993.