

# 기어날끝의 표면마무리에 대한 품질검사시스템\*

김성준\*\* · 임준묵\*\*

## An Automated System for Inspecting Surface Finishes of Gear Teeth

Seong-Jun Kim, Joon-Mook Lim

### 〈Abstract〉

This paper presents an automated system for inspecting surface finish quality of gear teeth. The purpose of the presented system is to improve both efficiency and reliability of a gear inspection process with a lower cost. The system consists of two modules; one is for data collection and the other for data analysis. While an A/D converter is built in a PC to efficiently obtain digitized data, a window-based software for conducting quality tests is provided using VISUAL BASIC as well as C++. We successfully connect them with the existing gear tester. This system would be also useful for the gear quality improvement by means of a continuous data management.

### 1. 서론

지난 10여년간 자동차 시장의 폭발적인 성장에 힘입어 우리나라는 어느덧 세계 5위권을 바라보는 자동차 생산대국이 되었다. 국내 자동차 생산은 소수의 재벌기업에 의해서 주도되고 있지만, 실제로 대부분의 자동차부품은 주로 부품제조를 전문으로 하는 중소기업으로부터 조달하고 있는 실정이다. 그러한 대표적인 부품 중 하나로서 각종 기어류를 들 수 있는데, 이는 자동차의 핵심이라 할 수 있는 감속기, 변속기, 엔진 등의 제작에 주로 이용된다. 강원도 강릉시에 소재하고 있는 21세기 기계공업 주식회사(이하 21세기(주)라 함)는 기어류를 생산하고 있는 중소기업으로서 주로 국내의 K 자동차회사에 납품하고 있다. 여기서

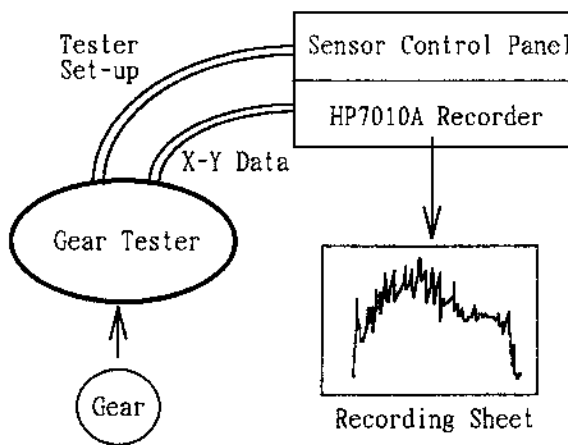
는 완성된 기어의 품질규격검사를 위해 기어검사기(gear tester)를 이용하여 기어의 이빨(gear tooth, 이하 날끝이라 함)에 대한 표면마무리 정도를 측정한다. <그림 1>의 기어검사기는 오래전에 독일의 H社로부터 도입된 장비로서, <그림 2>에 나타나 있듯이 표면마무리측정용 감지기를 통해 측정된 값은 일정비율로 증폭, HP7010A 레코더에 전송되어 용지에 인쇄되도록 되어 있다. 그러므로 표면마무리 데이터를 분석하기 위해서는 작업자가 인쇄된 값을 다시 편집하여 수작업으로 공차를 계산해야 하는 데 이는 매우 비능률적인 절차로서 시간과 인력의 불필요한 투입을 야기할 수 있다. 또한 데이터 분석에 대한 전문지식의 미비로 인해 어렵게 얻어진 데이터를 다양하게 이용하고 있지 못하다는 점에서 2차손실이 발생하고 있는 것으로

\* 본 연구는 95년도 산·학·연 공동기술개발 지역컨소시엄 연구비지원에 의해 이루어졌음

\*\* 강릉대학교 산업공학과



〈그림 1〉 H社로부터 도입된 기어검사기



〈그림 2〉 기어검사기에 의한 표면마무리 검사 개략도

자 오류가 발생할 수 있다는 데 있다. 따라서, 이와 같은 품질검사공정의 효율성과 신뢰성을 개선하기 위해서는 표면마무리 데이터를 계량화하여 수집할 수 있는 데이터 수집장치와 얻어진 데이터를 분석하기 위한 적절한 소프트웨어가 필요하다. 그러나 국내에서는 아직까지 이러한 측정 및 수집장치와 분석시스템의 개발이 이루어져 있지 않고 있으며, 또한 품질관리나 통계분석을 위한 많은 상용 소프트웨어들도 이러한 기계가공 측정시스템과 연계되어 활용되기에는 많은 어려움이 있다. 특히, 관련업계에서 재측장비에 데이터 수집과 분석을 위한 시스템을 연결하여 품질검사시스템을 구축한 사례는 아직까지는 보고된 바 없는 실정이다. 한편 21세기(주)에서는 최신 측정 및 분석 장비를 외국으로부터 도입할 것을 검토한 바 있으나 그 비용이 수억원 대에 이르고 있어 투자가 용이하지 않은 것으로 판단하고 있다.

본 논문은 21세기(주)에서 이루어진 산학협동연구

로 파악된다.

이 검사방법의 또다른 문제점은 육안에 의한 검사

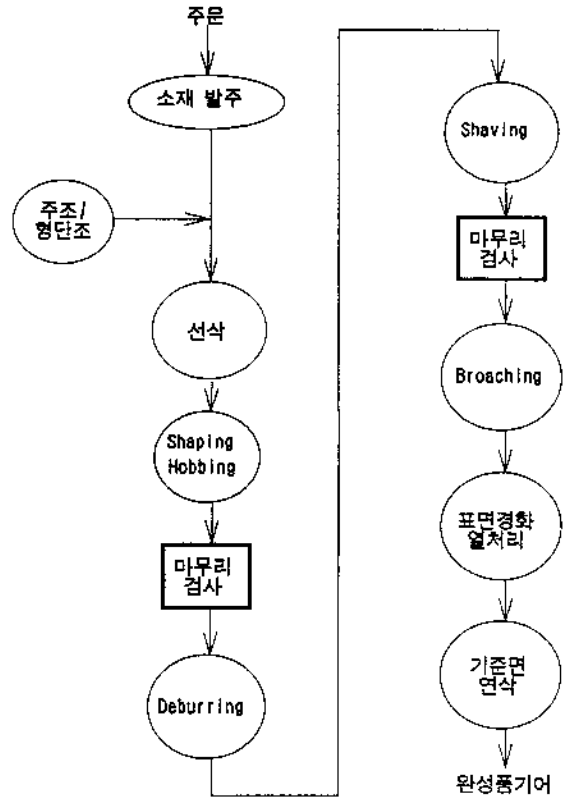
로서 각종 기어류의 품질검사공정의 자동화를 위한 시스템의 개발에 관한 것이다. 이를 위해, 기존의 데이터 수집절차를 대체할 수 있는 효율적인 데이터 수집장치를 구축하였으며 이를 통해 얻어진 데이터를 적절히 분석하기 위한 전용 소프트웨어를 개발하였다. 본 논문은 다음과 같은 내용으로 구성되어 있다. 우선, 기어류의 품질검사가 어떻게 수행되고 있는가에 대해 2절에서 소개하고, 3절에서는 측정데이터 수집 및 품질평가를 위한 통합적인 자동시스템의 개발에 대해 설명하고자 한다. 또한, 4절에서는 개발된 시스템의 기대효과에 대해 논의하고 결론을 맺고자 한다.

## 2. 기어 표면마무리의 품질검사

### 2.1 기어의 생산공정

21세기(주)에서는 철저한 주문형 생산방식을 취하고 있어 주문이 있을때만 소재 발주를 내고 기어생산에 들어간다. 여기서 주로 생산하고 있는 기어는 디젤 엔진에 쓰이는 인벌루트(involute) 타입의 엔진 타이밍 기어 6종으로서 매우 높은 정밀도를 요구하는 품목이다. 다음의 <그림 3>은 21세기(주)의 기어 생산과정을 간략하게 나타낸 것이다.

발주에 따른 입하는 대략 일주일 정도 소요되며, 입하되는 소재는 주로 주조나 형단조에 의한 품목으로서 보통 강도증가를 위한 열처리가 가해진 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 표면마무리 검사는 2회에 걸쳐서 수행된다. 우선, Hobbing이나 Shaping이 끝나면 1차 검사가 수행되는 데 이 때 적용되는 규격공차는 나중의 2차 마무리검사에서의 그것보다 엄격하게 주어진다. 왜냐하면 Shaving이나 Deburring 등과 같은 후속 가공공정에 의해 발생하게 되는 표면뒤틀림은 표면마무리를 미세하게나마 악화시킬 가능성이 있으므로, 1차 검사시 이 차이를 감안하여 규격검사를 하고자 하는 것이다.

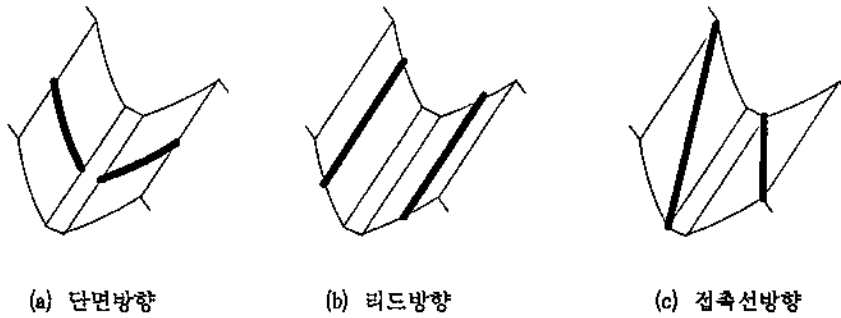


<그림 3> 21세기(주)의 기어생산과정

### 2.2 기어의 품질특성

기어의 품질을 결정짓는 요소 중 대표적인 것으로서 강도, 각종 치수, 표면마무리 등을 들 수 있다[3]. 본 논문에서 개발한 시스템은 이러한 품질특성 중 표면마무리에 관한 것이다. 기어날끝의 표면마무리는 주로 소음발생과 관계가 깊으며 또한 마모에 의한 고장의 주요 원인이 되기도 한다. 21세기(주)에서는 표면마무리를 검사하기 위해 기어날끝의 단면방향, 리드방향, 접촉선방향의 세가지 방향으로 감지기를 작동시켜 표면마무리를 측정하고 그 오차를 평가하고 있다. 세가지 측정방향은 다음 <그림 4>에 나타낸 바와 같다.

경험적으로 볼 때 접촉선방향의 검사결과는 앞의 두 방향의 결과로 알 수 있는 경우가 대부분이므로 특별한 경우가 아니면, 단면과 리드방향으로의 검사만



〈그림 4〉 기어날끝의 표면마무리 측정방향

수행하게 된다. 또한 한 기어에는 보통 20개 이상의 기어날끝이 있는 데, 이를 모두 검사하는 것은 아니고 보통 90도 간격으로 4개의 기어날끝을 검사하며, 이 때 날끝의 양쪽면을 모두 검사한다. 이와 같은 표면마무리 검사작업은 크게 마무리측정과 마무리오차 평가의 두가지로 구성되는 데, 요구되는 작업시간은 기어 한 개당 각각 약 15분으로 기어 하나를 검사하는 데는 총 30분 정도가 소요되고 있다. 이 검사작업은 대략 다음과 같은 순서로 진행된다.

- ▶ 준비: 측정방향을 결정하고 검사할 기어를 치구에 물린다.
- ▶ 측정: 감지기를 작동시킨다.
- ▶ 출력: 기록용지에 출력시킨다.

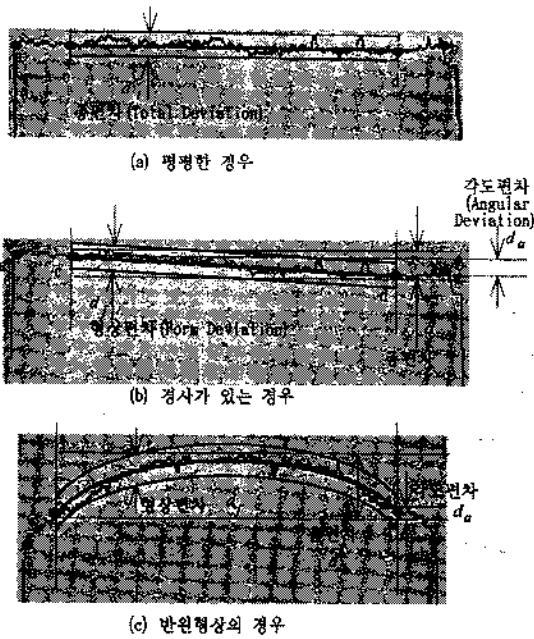
앞의 측정과 출력은 온라인으로 동시에 이루어진다. 이 작업을 기어날끝, 측정방향, 측정면을 변화시켜가면서 계속 반복하는 데, 이 것이 끝나면 용지에 인쇄된 출력그림을 검사자가 육안에 의해 다음과 같이 규격검사를 수행한다.

- ▶ 마무리편차계산 : 출력결과를 보고 적절한 참조선을 그어 각 편차를 계산한다.
- ▶ 규격비교 : 각 편차의 값이 주어진 규격을 만족하는가 비교한다.

### 2.3 품질규격검사

기어의 종류에 따라 다소 차이는 있으나 기어검사의 측정에 의한 표면마무리의 출력은 측정방향에 관계없이 대체로 〈그림 5〉와 같은 세가지 형태를 취하게 되는 데, 각 경우에 대한 마무리편차 검사방법을 설명하고자 한다. 여기에 대한 보충 설명은 참고 문헌 [3]을 참조하기 바란다.

업체의 요구에 따라 차이가 있지만 시작점 a와 끝점 b에서 각각 10%씩 혹은 8%씩 절사한 후, 새로운 기준점 c와 d를 잡는다. 우선 〈그림 5(a)〉의 경우, c와 d를 잇는 직선을 그은 후 이를 아래위로 평행이동시켜 데이터를 벗어나지 않는 범위 내에서의 최대수직거리를 계산하여 표면마무리편차를 계산한다. 〈그림 5(b)〉는 약간의 경사가 나타나는 경우로, 역시 c와 d를 잇는 직선을 그은 후 데이터를 벗어나지 않는 범위 내에서 이 직선을 아래위로 각각 평행이동시켜 두 직선 간의 최대수직거리를 측정하는 데 이 값이 바로 형상편차가 된다. 그리고, 이 직선과 수평선 간의 차이로 인해 생기는 각도가 각도편차이다. 마지막으로, 데이터를 벗어나지 않는 범위 내에서 수평선을 평행이동시켜 얻은 최대수직거리가 총편차에 해당된다. 〈그림 5(c)〉는 반원형상을 보이는 경우로서, 이 때는 직선 대신 곡선을 이용하여 형상편차를 계산한다. 즉, c와 d를 잇는 부드럽게 연결하는 곡선을 그은 후 아래위로 각각 평행이동시켜 그 수직거리로서 형상편차를 얻는다. 각도편차와 총편차의 계산방법은 〈그림 5(b)〉의 그것과 동일하다.



〈그림 5〉 기어 종류에 따른 표면마무리 출력형태 및 규격검사

이러한 작업은 한 날끝의 왼쪽면과 오른쪽면에 대해서 한 번씩 이루어지고, 또한 한 기어에 대해 90도 간격으로 4개의 날끝을 검사하므로 총 8번의 제산작업인 셈이다. 그리고, 단면과 리드의 두가지 방향으로 검사를 하므로 결국은 한 기어에 대해 16회의 측정과 계산이 이루어지는 것이다. 따라서, 최소한 16개의 편차값이 계산되는 데 이중 어느 하나라도 규격을 위해 하게 되면 그 기어는 불합격 처리된다. 불합격된 기어는 경우에 따라 연삭 등의 재작업을 거친 후 다시 검사하게 되지만, 대부분 재작업이 여의치 않으므로 폐기처분하고 있다.

### 2.4 문제점

외국업체의 경우에는 전수검사에 의해 생산되는 모든 기어의 표면마무리를 검사하고 있는 것으로 알려져 있으나, 국내의 경우는 샘플링을 통한 일부검사에 그치고 있는 실정이다. 현재 21세기(주)에서는 하루 평균 10개에서 20개 정도에 대해 표면마무리검사를 수

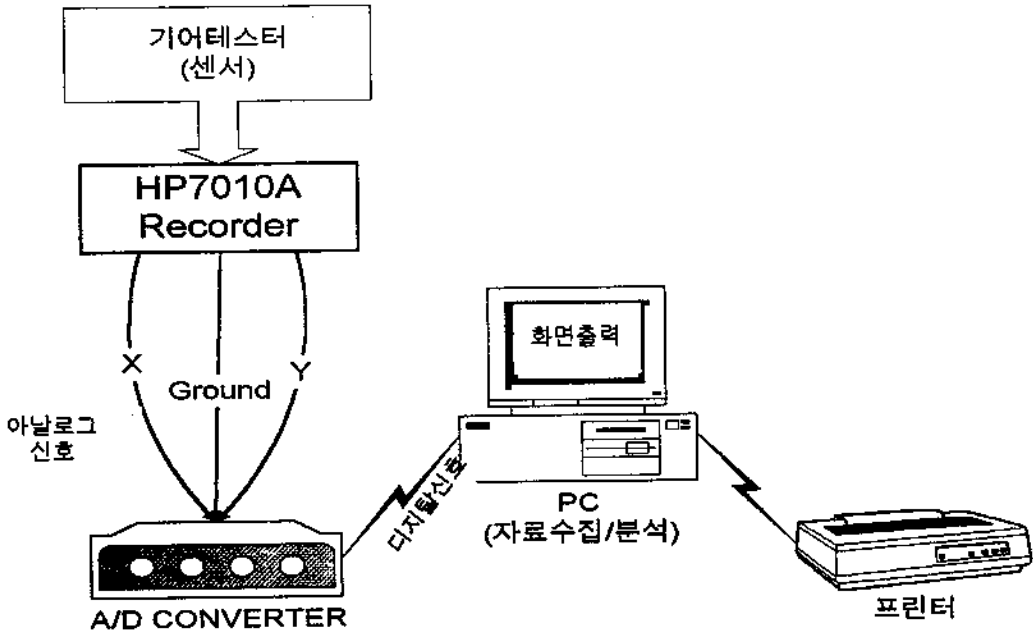
행하고 있는 데, 이는 일간평균생산량에 비하면 매우 적은 수라고 볼 수 있다. 품질보증의 차원에서 그리고 시장불량률의 개선 차원에서 21세기(주)도 더 많은 기어에 대한 마무리검사를 원하고는 있으나, 검사 시간 및 검사인력의 부족으로 인해 곤란을 겪고 있는 실정이다. 또한 앞서도 지적하였듯이, 이와 같은 현행의 검사공정은 정확성 결여 및 주관적요소 개입 등의 문제점을 갖고 있어 개선이 시급하게 요청되고 있다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서 개발한 시스템의 구성과 기능에 대해 다음 절에서 설명한다.

## 3. 표면마무리에 대한 품질검사시스템

### 3.1 하드웨어 구성

시스템을 구성하기 위해서는 기어검사기로부터 HP7010A 레코더로 전송되는 아날로그 신호를 잡아내는 것이 가장 필요하다고 판단되었다. 따라서 기어검사기에서 레코더로 연결되는 입력단자를 조사한 결과, 수평축과 수직축 데이터가 각각 1번선과 7번선을 통해 들어 오고 있음을 확인할 수 있었다. 여기에 A/D 변환기를 연결하고 이를 PC 슬롯에 장착함으로써 일단 하드웨어 구성을 마칠 수 있었다. 본 시스템을 개념적으로 도시한 것이 〈그림 6〉에 나타나 있다.

본 시스템에서 이용된 A/D 변환기는 Advantech社의 제품으로 매뉴얼([7], [8])에 명시된 사항에 따라 PC와 연결할 수 있었으며 이를 작동시키기 위한 프로그램도 함께 구축하였다. 본 변환기의 최대 샘플링비율은 대략 200Hz/sec 내외지만 기어표면상의 실제 샘플링 간격거리는 감지기 이동속도에 따라 좌우된다. 보통 업계에서 요구하는 샘플링간격거리의 상한은 약 60 $\mu$ m에서 70 $\mu$ m 정도로 이를 만족시키기 위해서는 기어 종류나 측정거리에 따라 감지기 이동속도를 표준화하는 것이 필요하다. 한편, 보다 고성능의 A/D 변환기를 이용한다면 측정시간을 줄일 수 있다.



〈그림 6〉 하드웨어 구성의 개념도

### 3.2 인터페이스 구성 및 기능

기어검사기로부터 효율적으로 데이터를 전송받으려 적절하게 분석하기 위한 그래픽 인터페이스에 대해 설명하고자 한다. 이것은 VISUAL BASIC과 C++

에 의해 구현되었으며, 이에 관련된 데이터 흐름도 (Data Flow Diagram)는 [부록 1]에 제시하였다. 또한, 프로그래밍 기술에 대한 세부적인 내용은 참고문헌 [5]와 [6]을 참조하였다. 초기 화면은 다음 〈그림 7〉과 같다.

초기화면에는 네 개의 버튼이 주어지는데 마우스를 이용하여 클릭하면 실행되도록 되어있다. 다음에 각각의 버튼과 그 기능에 대해서 살펴보기로 한다.

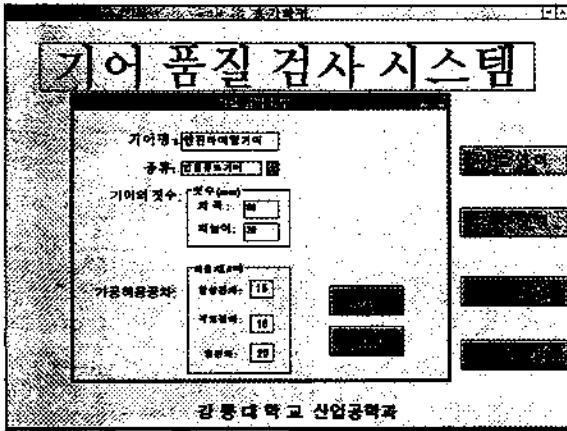


〈그림 7〉 기어품질검사시스템 초기 화면

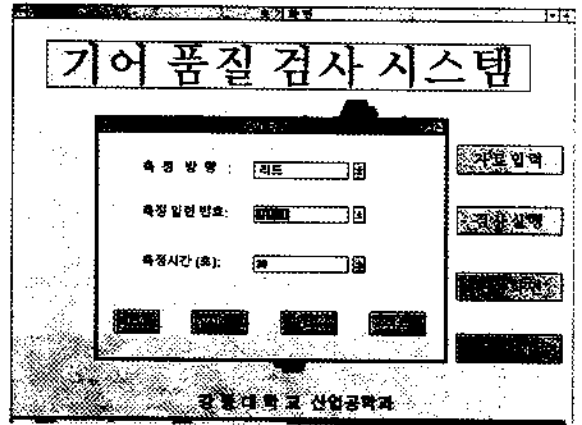
#### 3.2.1 자료입력

기어의 표면을 측정하기에 앞서 측정대상기어의 사양과 특성을 입력해야 하는데, 이는 [자료입력] 버튼을 클릭함으로써 가능하다. 그 실행 예를 다음 〈그림 8〉에 제시하였다.

여기서는 기어명, 기어 종류, 각종 치수(치폭, 치높이) 및 허용공차가 사용자에 의해 입력된다. 각종 치수는 측정시스템을 초기화하는데 필요하며, 허용공차는 측정 데이터의 분석이나 평가를 위해서 사용되는



〈그림 8〉 자료입력화면



〈그림 9〉 검사실행화면

것으로 이는 주문입하시 제공되는 설계도면에 그 값이 명시되어 있다. 입력이 끝난 후 [입력완료] 버튼을 누르면 초기화면으로 되돌아 오게 된다.

### 3.2.2 검사실행

기어표면의 측정을 위해 [검사실행] 버튼을 누르면, 자료입력화면으로부터 입력된 자료를 바탕으로 시스템을 초기화한 후, 입력된 자료의 저장을 위해서 〈그림 9〉에서 보는 바와 같이 측정방향, 측정일련번호, 측정시간의 항목을 선택하게 된다. 측정방향이란, 앞절에서 언급한 바와 같이 단면방향, 리드방향, 접촉선 방향을 의미하는 데, 화살표를 클릭하여 그 중 하나를 선택하면 된다. 표면마무리의 검사는 한 기어당 90도 간격으로 네 개의 기어날끝을 선택하고 그 각각의 양쪽면에 대해 수행된다. 즉, 주어진 한가지 측정방향에 대해 총 8개의 면이 측정되는데, 측정일련번호란 그 해당번호를 의미한다. 측정시간은 측정가능한 시간을 선택하는 것으로, 예를 들어 30초를 선택하면 기어측정시스템이 약 30초 동안 데이터를 수집하게 된다. 보통, 실제로 예상되는 측정시간보다 약간 큰 값을 선택하면 된다.

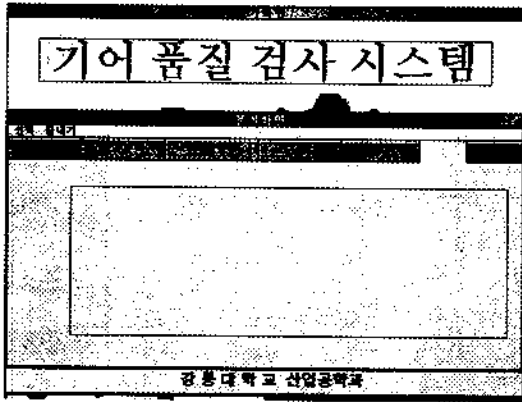
선택사항이 입력되고 나면 검사실행화면에 주어진 네 개의 버튼을 이용하여 검사작업을 실행할 수가 있다. [테스트] 버튼은 현재 하드웨어와 인터페이스 프

로그램이 정상적으로 작동하는가를 검사하게 된다. [테스트] 버튼을 눌러 시스템이 정상적으로 작동하는 것이 확인되고 나면, [시작] 버튼을 눌러 기어날끝의 표면측정데이터를 얻을 수 있다. 측정데이터는 선택 일련번호에 따라 각각 다른 파일에 저장되고 추후 규격평가를 위해 분석된다. 한 면에 대한 측정이 끝나고 나면 선택사항을 바꾸어 선택하고 다시 [시작] 버튼을 누르게 되면 새로운 면에 대한 데이터를 얻을 수 있다. 이 과정을 반복하여 모든 측정이 끝난 후 [완료] 버튼을 클릭하면 초기화면으로 복귀하게 된다.

### 3.2.3 분석화면

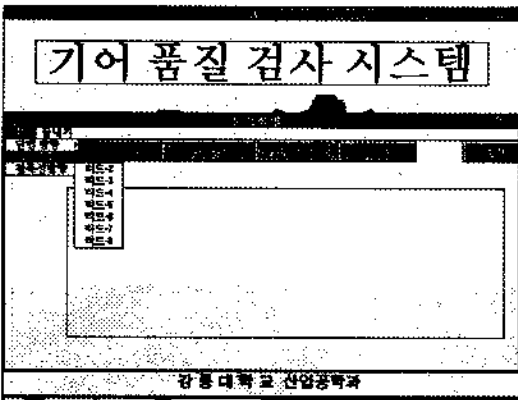
주어진 기어에 대한 일련의 측정작업이 끝나고 나면 데이터분석에 들어가게 되는 데, 이는 초기화면에서 [자료분석] 버튼을 누르면 된다. 자료분석화면에 대한 예가 다음 〈그림 10〉에 나타나 있다.

그림에서 보는 바와 같이, 분석화면은 두 개의 메뉴와 여섯가지의 실행버튼으로 구성되어 있다. 측정된 자료의 분석을 위해서는 우선 [선택] 메뉴에서 측정자료를 선택하여야 하는 데, 3.2.2절의 [검사실행] 화면에서 선택입력했던 “측정방향”과 그에 따른 “측정일련번호”가 〈그림 11〉에서 보는 바와 같이 부메뉴로 등장하여 선택할 수 있도록 되어있다. 예를 들어 측정방향으로는 “리드”, 다시 부메뉴에서 “리드-1”을



〈그림 10〉 자료분석화면

선택하게 되면, 기어날끝의 리드방향으로 측정된 첫 번째 면에 대한 데이터가 분석대상으로 지정된다.

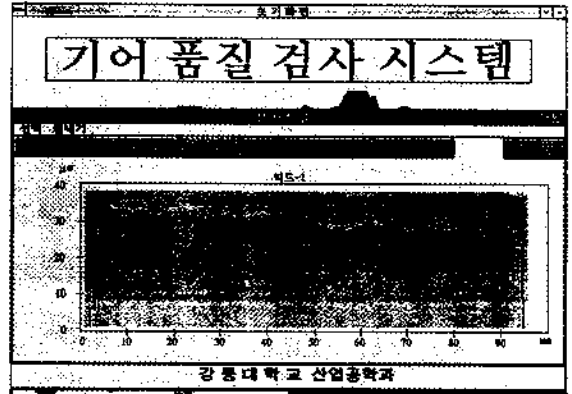


〈그림 11〉 분석화면메뉴

다음으로 [플로팅], [결과분석], [통계량], [표준점검], [출력] 등의 실행버튼이 있는데, 각각의 기능을 살펴 보면 다음과 같다.

① [플로팅] 버튼

[플로팅] 버튼을 클릭하면 [선택] 메뉴에서 지정되었던 측정데이터 해당화일을 열어 적절한 여과과정을 통해 이상치(outlier)들을 제거 또는 대체한 후, 이 결과를 〈그림 12〉에 나타낸 바와 같이 화면에 알아보기 쉽게 그래프로 출력한다.



〈그림 12〉 분석화면-플로팅실행

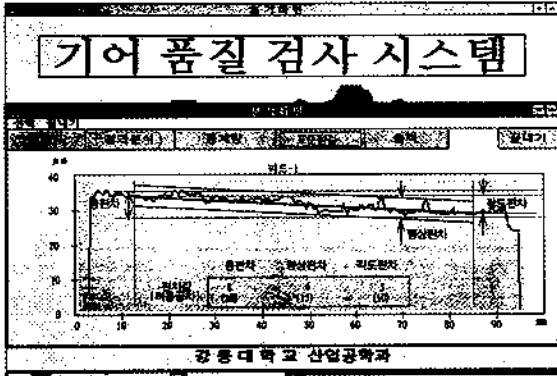
기어날끝의 표면마무리 측정시, 흔들림이나 먼지의 미세한 영향 또는 어떤 미지의 요인 등으로 인해 전송된 데이터 내에는 간혹 극단 이상치들이 존재하는데, 이들을 제거하기 위해 본 시스템에서 이용된 경험적인 여과방법에 대해 설명하면 다음과 같다. 우선 각 데이터의 바로 직전 값과의 차이(first order difference)를 계산하여 순서대로 정렬한다. 그러면 0을 중심으로 산포하는 새로운 데이터가 얻어지는 데 원 데이터의 극단 이상치들은 새로운 데이터의 양쪽 끝에 몰리게 된다. 새로운 데이터의 상하위 각각 20%씩을 절사하여 정상적인 인접값으로 대체시킴으로써 여과과정이 완료된다. 본 연구진의 경험으로 미루어 볼 때, 여과를 위한 절사량의 적절한 범위는 상하위 각각 대략 10% 내지 30% 정도로 생각되며, 그래서 프로그램 상의 초기값으로 20%를 내정하였다.

② [결과분석] 버튼

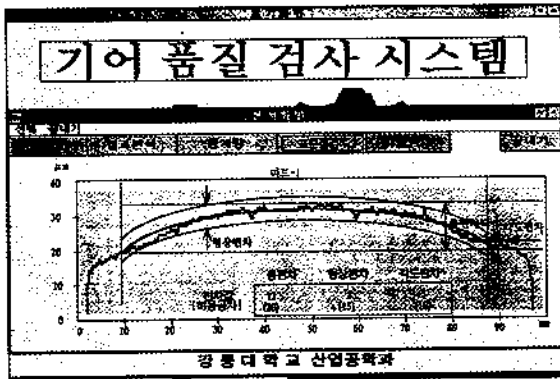
[결과분석] 버튼을 클릭하면, 측정데이터를 분석하여 시작점과 끝점을 찾고 양쪽 끝에서 10%씩의 자료를 절사한 후 나머지 80%의 자료에 대해 각 마무리편차를 계산하여 자료입력화면에서 주어졌던 허용공차를 만족하는가의 여부를 평가하는 작업이 이루어진다. 이를 위해, 방금 출력된 그래프 상에 〈그림 13〉에서 보는 바와 같이, 형상편차를 계산하기 위한 해당 자료들과 평행한 두 개의 상하한 참조선이 붉은 색으로, 각도편차를 알아보기 위한 수평 참조선 두 개가 파란 색으로, 총편차를 나타내기 위한 자료의 최대치와 최



소치를 포함하는 상하한 두 개의 참조선이 초록색으로 각각 제시된다. 그래프 밑부분에는 각 편차 값도 함께 출력됨으로써 주어진 규격과 손쉽게 비교할 수 있도록 하였고, 따라서 초보자라도 규격합격 여부를 용이하게 판단할 수 있다. 또한 반원형의 출력형태를 갖는 경우에도 역시 부드러운 참조곡선을 제공함으로써 규격검사가 가능하도록 하였는데 이는 <그림 14>에서 보는 바와 같다.



<그림 13> 분석화면-결과분석실행1



<그림 14> 분석화면-결과분석실행2

<그림 13>의 경우, 참조선은 기준점 c와 d를 잇는 직선으로서 c와 d의 좌표를 각각 (p, q)와 (r, s)라 하면,

$$y = \frac{s-q}{r-p}x + \frac{rq-ps}{r-p}$$

와 같이 결정된다. 그러나 <그림 13>과 같이 직선적인 경향을 갖는 경우에는 참조선을 찾는 작업이 간단하지만, <그림 14>처럼 표면마무리 출력이 곡선적인 형태를 취할 때 적절한 참조곡선을 찾는 것은 비교적 복잡하다. 이를 위한 방법으로서 본 시스템에서는 회귀분석을 이용한다. 즉, 몇가지 전형적인 곡선모형을 준비해 놓고 전송된 데이터를 가장 잘 적합시키는 모형을 선택함으로써 최종회귀식을 결정하는 방법으로, 특히 본 연구에서는 변수선택에 의한 다항식 모형 적합을 적용하였다. 왜냐하면, 물론 다양한 곡선모형, 예를 들어 원, 타원, 쌍곡선, 구간별(piecewise) 로그함수 등을 생각할 수 있으나 이들은 모두 비선형회귀분석의 범주에 해당되어 적용이 복잡한데다 다항식 모형으로도 이들을 충분히 묘사할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다. 아무튼, 보다 바람직한 곡선적합을 위해서는 앞으로도 이론적 연구가 계속 이루어져야 할 부분으로 생각된다. 한편, 곡선이 기준점 c와 d를 모두 통과해야 하는 제약이 있으므로 제약 하의 최소제곱법(RLSM, Restricted Least Square Method)을 이용하는 데, 그 회귀식 추정에 대해 간단히 설명하면 다음과 같다. 우선, 다항식 모형을

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \dots + \beta_m x_i^m + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

과 같이 m차 다항식으로 설정할 때, 최소제곱추정치  $(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_m)$ 를 구하기 위한 최적화 모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 단,  $\varepsilon_i$ 는 평균 0과 상수분산을 갖는 서로 독립인 랜덤오차를 의미하며, n은 <그림 5(c)>의 점 c와 d 사이의 데이터 갯수로서 측정길이에 따라 대략 200에서 1000 정도의 값을 갖는다.

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i=1}^n [y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \dots + \beta_m x_i^m)]^2 \\ \text{s.t. } & \beta_0 + \beta_1 p + \beta_2 p^2 + \dots + \beta_m p^m = q \\ & \beta_0 + \beta_1 r + \beta_2 r^2 + \dots + \beta_m r^m = s \end{aligned}$$

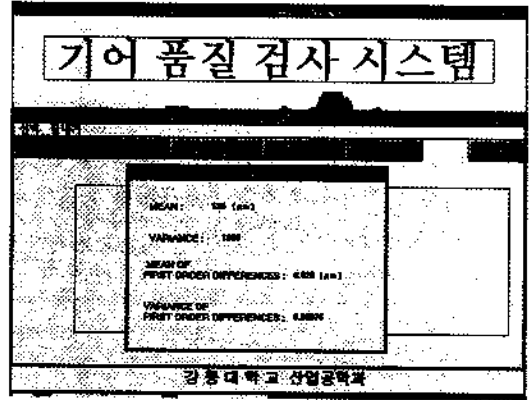
여기서, 라그랑지 승수법을 이용하여  $(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_m)$ 의 최적해  $\hat{\beta}_H$ 를 구하면

$$\hat{\beta}_H = \hat{\beta} + (X'X)^{-1}A [A(X'X)^{-1}A']^{-1}(\theta - A\hat{\beta})$$

을 얻을 수 있다[2]. 단,  $\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y$ 이며  $X, y, \hat{\beta}_H, A, \theta$ 는 각각

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^m \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^m \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

$$\hat{\beta}_H = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_m \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 1 & p & p^2 & \dots & p^m \\ 1 & r & r^2 & \dots & r^m \end{bmatrix}, \theta = \begin{bmatrix} q \\ s \end{bmatrix}$$



〈그림 15〉 분석화면-통계량실행

이다. 또한 변수선택에 의한 최종회귀식 선정기준으로는 결정계수, MSE, 또는 Mallow가 제안한 Cp 통계량 등을 보통 이용하는 데[1], 본 논문에서는 Cp 통계량을 사용하였다.

③ [통계량] 버튼

[통계량] 버튼을 클릭하게 되면, 〈그림 15〉에서 보는 바와 같이 데이터 자체에 대해 평균과 분산 등의 기초통계량들을 제공하며, 특히 표면마무리 정도에 대한 평균적인 대표값으로서 각 데이터의 바로 직전 값과의 차이(first order difference)의 평균과 분산도 함께 출력된다. 표면은 본질적으로 완전한 평면(또는 직선)이라 볼 수 없으므로, 차이 데이터에 대한 평균과 분산은 이러한 비평면적 요소를 고려한 표면마무리의 대표특성이 될 수 있다. 여기서, 그 평균은 0에 가까울수록 바람직하며 분산도 역시 작은 값이 바람직하다. 이들 값들이 누적되어지면 마무리오차의 변동을 날끝별, 기어별, 일별 등으로 파악할 수 있게 된다.

④ [표준점검] 버튼

이 기능은 표준 데이터를 불러 현재 출력된 데이터와 얼마나 차이가 나는가를 알아보기 위한 기능이다. 즉, 현재의 측정결과를 과거의 표준 측정결과와 비교함으로써 현재의 측정계기나 또는 데이터전송장치 상의 이상 유무를 판단할 수 있다. 이 비교는 샘플링 위치나 횟수 등에 있어서 차이가 있을 수 있으므로, 두 집단 t 검정을 이용하여 수행된다.

⑤ [출력] 버튼

데이터 분석 및 규격평가 결과를 이 기능버튼을 이용하여 프린터로 출력하거나 또는 파일에 저장할 수 있다.

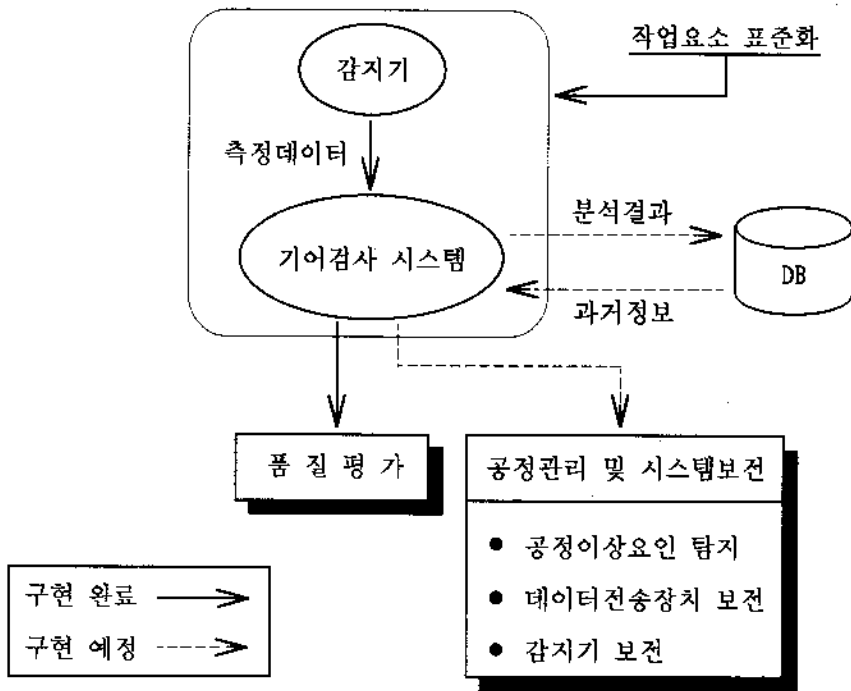
3.3 시스템 활용방안

본 시스템에서 다루고 있는 범위는 표면마무리 검사를 위한 모든 작업이 아니라 2.1절에서 설명한 작업과정 중 출력, 마무리오차계산, 품질규격검사에 국한된 것이다. 본 시스템이 원활하게 활용되기 위해서는 작업자가 측정을 할 때, 일정한 속도로 감지기를 작동시키는 것이 바람직하다. 따라서 그 규정속도를 기어의 종류에 따라 표준화함으로써 검사결과의 신뢰성을 확보할 수 있으며 검사 및 분석절차에 있어서도 효율성이 제고될 수 있다. 한편, 검사의 신뢰성과 효율성 간의 상쇄관계가 알려져 있는 경우에 표준사항을 수정할 수 있도록 한다면 보다 융통적인 시스템 운용이 가능할 것이다.

추가로, 표면마무리 검사결과에 의한 데이터를 연속적으로 관리하고 이를 효과적으로 활용하기 위해서는 적절한 데이터베이스를 구축하는 것이 바람직하다고 여겨진다. 그렇게 되면, 각 마무리편차에 대한 측정방향별 변동, 기어내 변동, 기어간 변동, 기어종류별 변동 등을 보다 효율적으로 비교, 분석할 수 있을 것이다. 특히, 앞의 [통계량] 기능에서 설명한 표면마

무리의 각종 대표특성값의 변화추이를 감시할 수 있어 공정관리상태 진단이나 불량률 해석 등을 용이하게 수행할 수 있다. 이를 지원하기 위해 각종 품질관리 수법이 적용될 수 있는 데, 그 구체적인 내용은 참고문헌 [4]를 참조하기 바란다. 또한 앞의 [표준점검] 기능의 결과를 이용하여 현재 계측장비 및 데이터 전송장비에 이상이 있는가도 검토할 수 있어, 장비보전 등을 위한 정보로 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 본 시스템의 활용방안에 대해 다음 <그림 16>에 그 개념도를 제시하였다.

본 시스템이 운용될 때 예상되는 기대효과는 다음과 같다. 첫째, 데이터 수집 및 품질규격평가 과정을 자동화함으로써 검사작업시간을 단축할 수 있다. 종래에는 숙련작업자라도 약 30분 정도의 시간이 요구되었던 작업이 비숙련자라 해도 20분 이내에 수행될 수 있어 작업시간의 관점에서 약 33% 이상의 개선효과가 있을 뿐 아니라 인력의 투입 및 활용 측면에서도 적지 않은 유연성을 확보할 수 있다. 이를 통해, 현행에 비해 더 많은 수의 기어를 검사할 수 있으며 이는 곧 품질보증활동강화 및 시장불량률개선의 효과를



<그림 16> 기어검사작업을 위한 시스템 활용방안

#### 4. 요약 및 결론

본 논문에서는 기어날끝의 표면마무리 품질검사를 위한 시스템을 개발하였다. 이를 위해, A/D 변환기를 이용한 데이터 전송장치를 고안하였고, 전송된 데이터에 의한 표면마무리의 품질평가를 위한 전용 소프트웨어를 장착하였다. 이 소프트웨어는 C++과 VISUAL BASIC을 이용해 구현되었다.

가져올 수 있다. 둘째, 검사작업의 신뢰성 향상을 들 수 있다. 기존의 육안에 의한 마무리오차 계산은 정확도 결여와 주관성 개입 등의 문제점을 안고 있었으나 이 과정을 모두 프로그램화함으로써 그 문제점을 해소할 수 있다. 셋째, 검사업무의 용이한 이점을 들 수 있다. 기존에는 소수의 기술자만이 처리할 수 있었던 마무리오차계산 업무가 윈도우 프로그램에 의해 구현되어, 초보자라 하더라도 품질평가업무를 신속, 정

확하게 수행할 수 있다. 넷째, 데이터 분석의 운택화를 들 수 있다. 즉 현행의 방법이 출력된 그림에 의한 규격검사만으로 그친 반면, 본 시스템을 이용하면 다양한 통계량을 제공받을 수 있어 보다 많은 정보의 획득이 가능하게 된다. 특히 향후 적절한 데이터베이스가 구축될 경우, 연속적인 데이터 관리가 가능해지기 때문에 공정관리나 불량률 해석이 보다 신속하고 용이하게 이루어질 수 있다. 그 밖에도, 이와 유사한 시스템을 다른 장비에 구현하는 데 필요한 경험 및 노하우의 사내축적이 가능하다는 측면도 생각할 수 있으며, 만일 같은 목적으로 관련 시스템을 해외로부터 직접 도입해야 하는 경우 많은 비용을 지불해야 하는 데, 본 시스템은 이에 대응되는 수입대체 효과도 창출해낼 수 있으리라 여겨진다.

산업공학에 관련된 기존의 산학협동연구는 주로 대기업을 위주로 수행되어왔으며, 따라서 중소기업에서의 산업공학적 방법론의 도입 및 활용은 상대적으로 미진한 가운데 있다고 볼 수 있다. 대기업과는 달리 대부분의 중소기업은 보통 인력확보나 자금회전 등의 측면에서 더 많은 어려움을 겪고 있으며 보다 우수한 제품을 생산하기 위한 기술 및 설비투자가 여의치 않은 경우가 많다. 물론 이러한 투자노력도 병행해야겠지만, 비용절감 및 품질향상을 위한 각종 산업공학기법의 적극적인 도입은 오히려 중소기업의 경우에 더 큰 효과를 거둘 수 있지 않을까 생각된다.

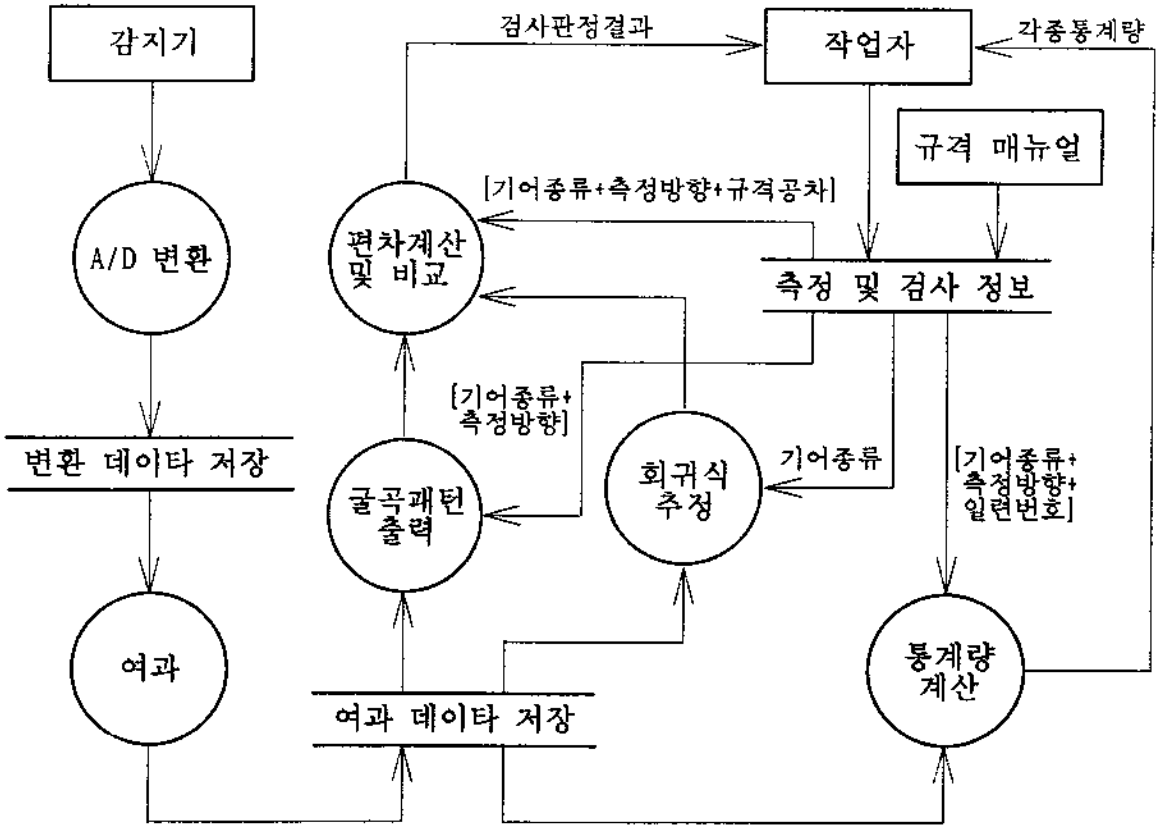
## 후 기

본 연구의 원활한 수행을 위해 협조를 아끼지 않으신 21세기(주)의 이상중 사장님, 이규환 실장님, 품질관리과 직원 여러분, 특히 기술적인 사항에 대해 많은 자문을 주신 김남용 과장님께 감사드립니다.

## 【참고문헌】

- [1] Draper, N.R. and Smith, H., Applied Regression Analysis, 2nd Ed., Wiley, New York, 1981.
- [2] Seber, G.A.F., Linear Regression Analysis, Wiley, New York, 1977.
- [3] 김종하 역, 기어와 호브반 작업, 기전연구소, 1995.
- [4] 배도선, 통계적품질관리, 영지문화사, 1992.
- [5] 신동완, 신동준, 예제로 배우는 비주얼베이직 3.0, 기전연구소, 1995.
- [6] 장해인 역, Borland C++4 Windows Programming, 인포북, 1995.
- [7] User's Manual - PC LabCard, Advantech, Taiwan, 1993.
- [8] User's Manual - PC LabCard DLL Driver, Advantech, Taiwan, 1995.

[부록 1] 기어검사작업을 위한 본 시스템의 데이터 흐름도



**김성준(金成駿)**  
 1989년 연세대학교 응용통계학과 학사  
 1991년 한국과학기술원 산업공학과 석사  
 1995년 한국과학기술원 산업공학과 박사  
 현재 강릉대학교 산업공학과 전임 강사  
 관심분야: 다구치방법 및 실험계획법, 품질관리, AI 응용



**임준묵(林准默)**  
 1988년 서울대학교 산업공학과 학사  
 1990년 한국과학기술원 산업공학과 석사  
 1994년 한국과학기술원 산업공학과 박사  
 현재 강릉대학교 산업공학과 조교수  
 관심분야: 공장자동화, 물류관리, 생산 시스템설계, 시뮬레이션