

3차원 좌표측정기의 기어측정능력평가를 위한 실험적 연구*

심창건¹ · 변재현²

¹(주) 삼원금속 / ²경상대학교 산업시스템공학부

A Study on the Evaluation of the Gear Measurement Capability of a 3 Dimensional Coordinate Measuring Machine

Chang-Gun Shim¹ · Jai-Hyun Byun²

A coordinate measuring machine (CMM) is a computer-controlled measuring device that uses a probe to obtain measurements on a manufactured part's surface. CMM's have been very popular over traditional hard gauges due to their flexibility, accuracy, and ease of automated inspection. This paper considers the use of a CMM for the inspection of gears. We compare the inspection capability of a CMM and that of a gear-specific measuring machine. The result of this paper may benefit gear manufacturing companies in their dimensional quality assurance activities, especially for special type gears and for large-scale gears which are not measurable by gear-specific measuring machines.

1. 서론

기어는 나사와 베어링과 더불어 대표적인 기계요소로서 전동기(엔진, 전동모터 등)와 작업기 사이에 필요한 동력 또는 운동을 효율적으로 전달하기 위해 필수적인 기계요소이다. 기어장치는 다른 변속장치에 비해 전동성능이 확실하며 부품집수가 적고 콤팩트하여 비용측면에서도 유리하다. 이러한 장점 때문에 자동차의 수동·자동변속기에 많은 기어가 쓰이는 것을 비롯하여 철도, 건설기계, 대형 운반기계 등 대부분의 산업기계는 기어로 구동되고 있다. 동력을 전달하는 기구로써 앞으로 기어의 소요량이 크게 변하지 않을 것이다(有浦 泰常, 1997). 기어에는 평기어(spur gear), 헬리컬기어(helical gear), 스피어이러럴 베벨기어(spiral bevel gear), 하이포이드기어(hypoid gear), 워밍기어(worm gear) 등 여러 종류가 있다. 기어가 기계요소로서 제 기능을 발휘하기 위해서는 저소음과 저진동이 요구된다. 기어의 치수품질을 보증하기 위하여 CNC 기어전용측정기를 사용하면 평기어나 헬리컬기어 등 단순형상의 기어는 정밀하게 측정할 수 있다. 하지만, CNC 기어전용 측정기는 스피어이러럴 베벨기어, 하이포이드기어, 워밍기어와 같은 특수기어와 대형기어를 측정할 수 없는 단점이 있다. 이러한 형태의 기어는

결국 범용성이 뛰어난 3차원 좌표측정기를 이용하여 측정해야 하는데, 3차원 좌표측정기를 기어측정에 활용하기 위해서는 3차원 좌표측정기의 측정능력이 실제로 어느 정도인지 실험적으로 확인하는 것이 필요하다.

3차원 좌표측정기의 측정능력을 알아보기 위해서는 기어측정에서 정확한 측정조건, 즉 3차원 좌표측정기를 이용한 측정 과정에 필요한 측정변수, 예를 들어 샘플 크기, 샘플링 방법 등의 최적조건을 구하는 것이 중요하다(Dowling *et al.*, 1997). 기어의 형상측정에도 이러한 측정변수들의 조건을 제대로 설정해야 기어의 측정 데이터를 신뢰할 수 있다. 따라서 3차원 좌표측정기의 측정능력을 확인하기 위해서는 측정변수의 조건을 잘 결정하는 것이 선결과제이다.

본 논문의 목적은 기어측정에서 3차원 좌표측정기의 실제 측정능력을 실험적으로 평가하여, 기어의 품질보증활동에 활용될 3차원 좌표측정기의 능력을 확인하는 데 있다. 우선 기어 형상특성의 측정값인 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout, 치형오차, 잇줄오차 등 6개의 치수오차와 그에 영향을 미치는 인자를 정해서 측정값과 인자(factor) 간의 관계가 유의한지를 파악하고 기어측정에 있어 3차원 좌표측정기의 최적 측정조건을 구한다. 그런 다음 3차원 좌표측정기의 최적 측정조건에서 구한 치수오차 측정데이터와 CNC 기어전용

* 본 연구는 경상대학교 항공기부품기술연구센터의 지원을 받았음.

측정기의 데이터를 비교·확인하여 3차원 좌표측정기의 실제적인 측정능력을 파악한다. 본 연구에서는 3차원 좌표측정기와 CNC 기어전용 측정기의 능력을 비교할 수 있는 데이터를 구해야 하므로 두 측정장비에서 측정이 가능한 헬리컬기어를 대상으로 실험한다. 기어의 6개 치수오차를 특성치로 하고 3차원 좌표측정기의 측정변수-프로브 접촉속도(probe touch speed), 측정점의 수(sample size)-를 인자로 선택해서 실험을 계획하고, 실험에서 얻어진 데이터는 분산분석(analysis of variance)을 통하여 3차원 좌표측정기의 최적 측정조건을 설정한다. 이 측정조건 데이터와 CNC 기어전용 측정기의 데이터를 비교·분석하여 3차원 좌표측정기의 측정능력을 파악한다.

본 논문의 결과는 현재 CNC 기어전용 측정기에 전적으로 의존하고 있는 기어가공업체가 3차원 좌표측정기를 이용하여 CNC 기어전용 측정기로 측정할 수 없는 특수기어나 대형기어의 품질보증활동을 하는데 도움이 되리라 기대된다.

2. 3차원 좌표측정기

3차원 좌표측정기는 세 개의 직교 이송축(X, Y, Z축)으로 구성 되어 있으며, 각 축에는 정밀 위치검출기가 장착되어 있고, 접촉을 감지할 수 있는 프로브(probe)가 3차원 공간상에서 이동하면서 측정물의 표면(surface)을 접촉한다. <그림 1>은 각 이송축상의 위치검출기가 접촉점의 값을 읽어서 3차원상의 공간 좌표값을 나타내는 장비를 나타낸다. 이때 읽은 좌표값을 통하여 위치, 거리, 각도, 윤곽형상 등을 측정하게 된다(동우 IMS, 1997).

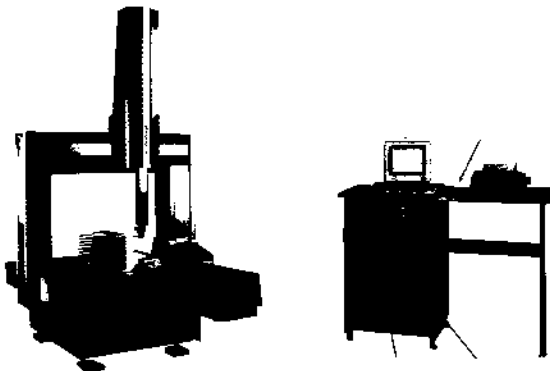


그림 1. 3차원 좌표측정기.

2.1 3차원 좌표측정기 도입의 필요성

3차원 좌표측정기가 도입되기 전에는 Vernier Calipers, Height Gauge, Micrometer, Straight Edge 등이 치수측정에 이용되었다. 그러나 이와 같은 기존 측정기구를 적합하게 이용하기 위해서는 측정자의 전문적 기능, 고도의 숙련 및 충분한 경험이 필요하다. 또한 각 계측기구로 측정 가능한 형상이 제한되어 있

므로, 복잡한 형상을 가진 제품을 측정하기 위해서 여러 가지 계측기를 교대로 또는 동시에 사용해야 하는 단점이 있다. 더구나 절삭가공 분야에서 NC 공작기계가 도입되어 복잡한 부품은 물론 고정밀도의 부품가공이 가능함으로써 복잡한 형상의 가공정도(machining accuracy)를 파악할 수 있는 측정기의 도입이 요구된다.

3차원 좌표측정기는 기존 측정기구를 이용하여 측정하는 방법에서 대두되었던 개인차에 따른 측정기술의 차이, 계측기 판독오차, 측정값을 기록할 때의 실수를 동반하지 않을 뿐더러 복잡한 형상을 쉽게 측정할 수 있어서 다음과 같은 범용성과 효율성 측면의 장점을 가지고 있다. 여기서는 CNC Type의 3차원 좌표측정기의 특징을 설명한다(동우 IMS, 1997; Ni and Wäldle, 1995).

(1) 측정능력의 향상:

측정물을 정반 위에 한 번 세팅(setting)함으로써 세팅면을 제외한 모든 면을 측정할 수 있기 때문에 기준을 여러 번 설정하지 않아도 되어 세팅시간을 단축할 수 있다.

(2) 보조 고정구의 불필요:

측정물을 정반 위에 반듯하게 놓을 수 없는 경우를 제외하고는 보조 고정구(jig and fixture)가 필요하지 않다. 일반적으로 3차원 좌표측정기는 마그네틱 블록(magnetic block)을 이용한다.

(3) 종전에는 어려웠던 측정 문제의 해결:

동일 평면 내에 없는 관련치수 및 내면의 윤곽치수 측정 등을 쉽게 처리할 수 있으며, NC 공작기계로 가공된 곡면윤곽 등도 데이터로 처리할 수 있고, 또한 이들 형상이 허용공차 범위 내에 들어가는지를 판정할 수 있다.

(4) 정확한 데이터 처리:

측정데이터는 측정하는 순간 컴퓨터로 입력되고, 연산과정을 거쳐 출력되므로 계산 착오로 인한 오차나 데이터 정리시 오기(誤記)를 방지할 수 있다.

(5) 측정의 편리함:

비교적 측정에 대한 고도의 지식이나 장기간 숙련이 없어도 복잡한 측정물의 측정 정도, 신뢰성 향상과 측정데이터의 안정성이 확보된다.

(6) 측정시간 단축:

자동 프로그램에 의하여 동일규격의 제품을 다량으로 측정할 수 있으므로 측정시간을 단축할 수 있고, 측정이 이루어지고 있는 동안 다른 업무를 할 수 있기 때문에 측정생산성을 높일 수 있다.

2.2 3차원 좌표측정기 사용환경

3차원 좌표측정기는 정밀측정을 하는 장비이므로 사용환경이 측정데이터에 아주 큰 영향을 미친다. 그러므로 3차원 좌표측정기는 선진국의 표준규격에서 정하고 있는 표준측정실에

서 사용하는 것이 중요하다. 중요하게 관리해야 할 사용환경에는 온도, 습도, 진동 등이 있다.

먼저 3차원 좌표측정기는 정밀측정 환경의 표준상태 2급($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) 정도의 환경을 가진 장소에서 조립, 최종검사를 하는 것이 일반적이다. 온도가 일정하지 않은 곳에서 측정을 하게 되면, 측정기 자체의 신축, 변형 등으로부터 오는 기계 정도의 변화와 측정물의 신축과 변형이 추가되어 측정데이터의 신뢰성이 저하된다. 습도는 측정기의 정도에 직접적인 영향을 미치지 않으나 습도가 높으면 측정물 가공면에 녹이 발생하기 쉽고 컴퓨터 등의 전자부품에 영향을 미치므로 65% 이하의 상대습도를 유지하는 것이 좋다. 진동은 기계정도(machine accuracy)의 유지와 digital 표시장치에 영향을 주기 때문에 3차원 좌표측정기를 설치할 장소에 방진제를 사용하여 콘크리트 바닥공사를 하는 것이 필요하다. 최근에는 3차원 좌표측정기의 정반 하부에 air damping system을 설치하여 진동을 방지하기도 한다. 그 외에 잡음, 강자계, 직사광선, 먼지 등에도 주의가 기울여야 한다.

2.3 3차원 좌표측정기를 이용한 측정방법

자동프로그램을 통하여 CNC Type의 3차원 좌표측정기로 측정물을 측정하는 방법은 다음과 같다.

자동측정 프로그래밍(part programming):

측정자가 실제 제품을 측정한 뒤 자동프로그램을 생성시키는 self-teach programming 방법으로, 측정자가 도면상의 제품치수를 보고 3차원 좌표측정기로 측정점, 측정위치, 측정경로를 설정하면, 3차원 좌표측정기가 프로그램을 생성하여 측정물을 자동 측정한다. 본 논문의 실험에 사용한 기어의 측정에도 이 방법을 이용하여 측정데이터를 구한다. 이 밖에 측정물을 측정하지 않고 도면으로부터 자동프로그램을 생성시키는 Off-Line programming 방법과 CAD 데이터로 자동프로그램을 생성시키는 CAD programming 방법이 있다. NC 공작기계의 발달로 인한 고정밀도의 제품이 생산되고 있는 추세이기 때문에, 보다 정확한 측정을 하기 위해서는 CAD 데이터를 이용한 프로그래밍이 앞으로 널리 이용될 전망이다(Nilsson, 1995).

3차원 좌표측정기를 이용한 측정물의 측정순서는 다음과 같다.

(1) stylus와 probe tip의 보정(calibration):

측정물의 형상과 측정하고자 하는 규격이 무엇인지를 고려하여, 어떤 형태의 stylus와 프로브 팁(probe tip)을 사용할 것인지를 결정한다. stylus와 프로브 팁이 결정되었으면 측정을 위해 이들을 기하학적으로 보정해야 한다. 그런 다음, 측정을 위한 프로브의 측정방향을 정하는데, 이것은 측정물의 형상에 따라 프로브의 공간상 회전각도를 설정하는 것이다.

(2) 측정물의 위치결정:

정확한 측정을 위해서 정반 위에 있는 측정물의 정확한 위치를 결정해야 한다. 위치를 결정하고 나면 측정물의 원점(시작점)을 설정한다. 일반적으로 면보정(leveling), 축보정(alignment), 원점설정(datum)의 순서로 설정한다. 면보정은 3차원상에서 Z축의 기준을 설정하기 위한 것이고, 축보정을 통해서 X와 Y축의 기준을 잡으며, 원점설정으로 3차원 좌표측정기의 X, Y, Z 축의 영점을 정한다.

(3) 측정물의 측정:

3차원 좌표측정기의 프로브 접촉속도, 측정점의 수, 측정점의 위치 등을 고려해서 측정을 해야만 정확한 측정데이터를 얻을 수 있다.

(4) 측정물의 Geometric Parameter 평가:

3차원 좌표측정기는 측정물을 선, 면, 원, 원통 등 각각의 형상으로 측정하고 이 측정된 기하학적인 변수들을 조합하여 하나의 측정물로 인식한다(Ni and Wäldele, 1995). 측정물의 형상 인식을 위하여 수학적 알고리즘을 이용하는데 일반적으로 최소제곱법(least squares method)을 이용하여 기하학적 형상을 구한다. 도면상에 나타나 있는 명목값(nominal value)과 비교하여 측정하고자 하는 형상이 규격에 적합한지 판단하게 된다.

(5) 측정결과 해석:

3차원 좌표측정기로 측정한 데이터를 분석, 측정물의 합격·불합격을 판단하여 품질보증활동에 적용한다.

3. 기어의 치수측정

일반적으로 기어가 도면상에 명시된 기어의 품질등급을 만족하는지 파악하기 위하여 기어의 치수오차를 측정한다. 여기서 치수오차는 가공오차와 측정오차가 결합된 오차값으로 이 치수오차와 허용치를 비교해서 기어의 합격·불합격을 결정한다. 일반적으로 기어에서 품질등급을 결정하기 위한 측정치수인 치수오차는 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout, 치형오차, 잇줄오차 등이며, 이 여섯 개의 측정값을 이용하여 가공된 기어의 치수품질을 평가하게 된다.

3.1 기어의 측정치수

본 논문에서 고려하는 기어의 측정치수는 기어의 치수오차를 말하며, JIS(일본표준규격)의 정밀도 규격에서 규정하고 있는 기어의 치수오차는 다음과 같이 분류된다(김박윤, 1988).

기어의 피치오차(pitch error of gear)

(1) 단일피치오차(individual pitch error):

기어축과 동심인 피치원상에서 측정된 각 원피치(circular pitch)의 측정값과 그 이론값과의 차이(difference).

(2) 인접피치오차(adjacent pitch error):

피치원상에서 서로 이웃하는 두 피치 차이의 측정값과 그 이론값과의 차이.

(3) 누적피치오차(cumulative pitch error):

기어와 동심인 피치원상에서 측정된 임의의 수의 연속해서 기록된 원피치 합인 실제값과 이론값과의 차이.

(4) 이홈의 흔들림(runout):

구슬, 핀 등의 접촉편을 이홈(tooth space) 양쪽의 치면(tooth flank)에 유효 이높이(working depth) 중앙 부근에서 접촉시켰을 때, 반지름방향 위치 눈금의 최대값과 최소값의 차이. 일반적으로 다른 오차값들이 오른쪽과 왼쪽 이의 오차를 각각 나타내는 것과 달리 runout은 하나의 값만 나타낸다.

기어의 형상오차(form error of gear)

(1) 치형오차(tooth profile error):

이론적으로 정확한 치형과 실제 치형의 차이.

(2) 잇줄오차(tooth trace error):

피치원통상에서 필요한 검사 범위 내의 치폭(facewidth)에 대응하는 실제의 잇줄곡선과 이론상의 곡선과의 차이. 피치원주상의 치수로 나타냄.

3.2 3차원 좌표측정기를 이용한 기어의 측정방법

기어의 특수한 형상 때문에, 3차원 좌표측정기를 이용한 기어의 측정은 일반적인 기계부품의 측정방법과는 다르다. 여러 종류의 서로 다른 형상의 기어를 측정하기 위해서는 기어별로 측정방법이 상이한데 본 논문에서는 실험에 이용한 헬리컬기어의 측정방법에 대해서 설명하기로 한다.

원점 및 기준축 설정

원점 설정은 3차원 좌표측정기의 고유기능으로서 모든 측정물 형상의 각 점에 좌표값을 부여하기 위한 것이다. 일반적으로 기어는 안지름(inner radius)의 중심을 원점으로 설정하게 되는데, 측정하고자 하는 기어의 어떤 평면, 선, 원을 측정해서 X, Y, Z축의 원점을 설정한다(Brown and Sharpe,1995). <그림 2> 우선 평면(plane)을 측정하기 위해서 기어윗면의 3~4점을 측정하여 Z축을 기준으로 한 면보정을 한다. 그런 다음 원(circle) 형상인 기어 안지름을 4점 측정해서 X, Y축의 원점을 설정한다. 마지막으로 축보정은 기어의 치폭 윗면을 한 점 측정하여 3차원 좌표측정기의 기계 좌표값을 기어의 선 형상으로 보정한다. 이러한 순서를 거쳐 기어의 원점은 기어 안지름의 중심점으로 설정된다.

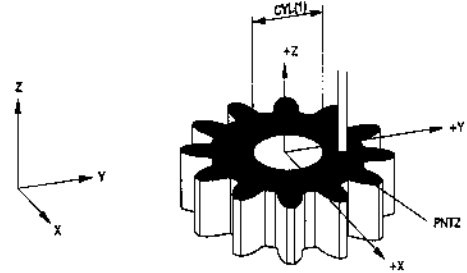
측정방향을 정하기 위해서 하나의 이(tooth)를 기준으로 기준축을 설정하게 되는데, <그림 2>와 같이 이와 이 사이에 프로브를 이동시켜서 양쪽 치면을 한 점씩 측정하게 되면 기준축이 설정된다.

헬리컬기어의 측정

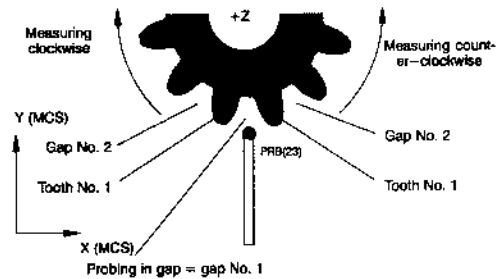
헬리컬기어의 품질등급을 결정하는 치수오차(단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout, 치형오차, 잇줄오차)를 자동으로 측정하기 위한 순서는 다음과 같다.

(1) 준비과정:

먼저 적절한 크기의 Stylus와 프로브 팁(probe tip)을 선택한다. 헬리컬기어를 측정하기 위해서는 프로브가 360° 회전을 할 수 있어야 하므로 프로브를 공간상에서 8개의 각도로 분할해서 각각의 각도에서 프로브를 세팅해서 보정한다.



(a) 원점 설정.



(b) 기준축 설정.

그림 2. 3차원 좌표측정기를 이용한 기어의 원점 설정과 기준축 설정.

(2) 측정물의 고정:

마그네틱 블록을 이용해서 헬리컬기어를 정반 위에 고정시킨다. 이때 프로브가 자유롭게 이동할 수 있도록 기어를 정반의 중앙 위치에 고정시키는 것이 좋다.

(3) 기본 프로그램 작성:

자동 프로그램을 실행시키기 위한 프로그램을 작성한다. 헬리컬기어의 형상치수(이의 수, 모듈, 비틀림각, 압력각, 치폭 등)를 입력한다. 그 다음 측정하고자 하는 이의 번호와 측정변수의 수준값(프로브 접촉속도, 측정점의 수)을 입력한다.

(4) 측정물의 좌표계 설정:

원점 설정과 기준축 설정을 통해서 측정물인 헬리컬기어의 좌표계를 설정한다. 이러한 좌표설정 이전의 좌표계는 3차원 좌표측정기의 기계원점으로 설정되어 있다.

(5) 자동 측정:

위의 (4)번까지의 과정이 정확하게 진행되었으면 프로그램을 실행시킨다.

(6) 데이터 출력:

헬리컬기어의 여섯 개의 치수오차를 출력한다.

4. 실험계획 및 장비

4.1 실험의 계획

(1) 실험목적의 설정:

본 실험은 3차원 좌표측정기를 이용하여 기어의 측정조건 이 기어의 치수오차에 영향을 미치는지 여부를 살펴보고, 영향을 미친다면 치수오차 측정데이터의 신뢰성을 높이기 위한 최적의 측정조건을 찾아서, 측정능력을 제고하는 데 목적이 있다.

(2) 특성값(반응치)의 선택:

기어의 치수오차를 특성값으로 한다. 기어의 치수오차는 3차원 좌표측정기와 CNC 기어전용 측정기에서 출력해주는 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, runout, 치형오차, 잇줄오차를 말한다.

(3) 인자와 인자수준의 선택:

3차원 좌표측정기를 이용하여 기어를 측정할 때 특성값에 영향을 미칠 수 있는 인자로서 프로브 팁이 측정물에 닿을 때의 접촉속도(touch speed)와 측정물의 일정한 범위 내에서의 측정점의 수(sample size)를 선택한다. 각 인자의 수준수는 각각 네 개로 정한다. 본 논문의 실험에 사용된 3차원 좌표측정기의 접촉속도의 범위는 0.1mm/sec에서 20mm/sec까지 조절할 수 있는데, 접촉속도가 너무 느리면 실험시간이 길어지고, 이에 반해 접촉속도가 빨라지면 프로브 팁이 기어의 표면에 세게 부딪혀 정확한 접촉점을 구하기가 어렵고 프로브 팁의 수명을 단축시킨다. 따라서 최대한 낼 수 있는 접촉속도의 1/2보다는 작고 0.5mm/sec 이상의 접촉속도를 고려하여 접촉속도의 수준값은 0.5, 1, 5, 10mm/sec로 설정하였다.

기어의 피치, 치형, 잇줄별로 측정하는 위치와 방법이 서로

다르기 때문에 측정점의 수는 각 치수오차별로 차이가 있다.

피치오차는 기어 이의 좌우 측면을 측정해야 할 수 있으므로 피치를 재기 위한 측정점의 수는 기어 잇수의 2배이다. 본 실험에서 사용한 헬리컬기어의 잇수가 25개이므로 피치오차를 재기 위한 측정점의 수는 50개로 일정하다.

치형과 잇줄오차를 파악하기 위한 측정점의 수는 프로브의 이동속도(moving speed)를 mm/sec 단위로 나타냈을 때, 프로브가 일정구간에 찍을 수 있는 점의 수이다. 예를 들어, <표 1>에 나타낸 치형의 측정점의 수가 37개라는 것은 <그림 3>에서 치형의 측정길이 내에서 ①에서 ②까지 프로브가 초당 1.5mm 간격으로 이동했을 때 시작점에서 끝점까지 측정할 점의 수를 의미한다. 본 실험에서는 프로브를 2, 1.5, 1, 0.5mm/sec로 이동시키며 측정했을 때, 치형과 잇줄오차를 파악하기 위한 측정점의 수를 인자로 삼는다(<표 1>). <표 1>로부터 치형오차를 파악하기 위한 수준별 측정점의 수는 25, 37, 49, 97개이며, 잇줄오차의 경우는 42, 62, 91, 165개이다.

표 1. 프로브의 이동속도에 따른 측정점의 수(sample size)
(단위 : mm/sec)

속도 \ 특성값	2.0	1.5	1.0	0.5
치형	25	37	49	97
잇줄	42	62	91	165

(4) 실험배치:

단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, runout의 데이터를 얻기 위한 실험계획은 인자가 접촉속도 하나인 일원배치이다. 치형오차와 잇줄오차 측정을 위한 실험계획은 인자가 접촉속도(인자 A)와 측정점의 수(인자 B)인 이원배치를 이용한다. 실험의 재현성과 관리상태를 검토하고, 인자 간 교호작용(interaction) 존재의 유무를 파악하기 위해 2회 반복하여 실시한다.

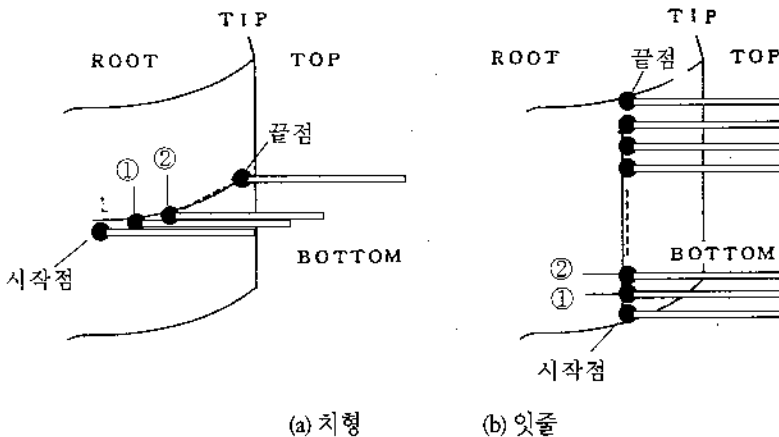


그림 3. 프로브의 이동속도에 따른 측정점의 수를 정하는 방법.

(5) 실험의 실시:

실험에 영향을 줄 수 있는 외부 요인을 가능한 배제하기 위하여 난수표를 이용한 완전 랜덤화 실험을 한다.

(6) 데이터의 분석:

분산분석을 이용하여 각 치수오차에 대한 인자들의 유의성을 판단하고 최적 측정조건을 구한다.

4.2 실험장비 및 측정물

(1) 3차원 좌표측정기와 기어측정 프로그램:

본 실험에 사용된 3차원 좌표측정기는 미국 Brown & Sharpe의 'UHA-Xcel Model 9129' 기종으로, CNC 형태의 장비이다. 기어측정 프로그램은 UHA-Xcel Package의 헬리컬기어 측정용 프로그램이며, 단일피치, 누적피치, 인접피치, runout, 치형, 잇줄 등의 기어형상을 터치(touch)방식으로 측정하고, 결과를 컴퓨터 스크린 또는 프린터로 출력한다. 기어측정 프로그램은 기어별로 package 형태로 주어져 있으며, 각각의 기어형상에 맞는 고유한 측정방법이 있다.

프로브 헤드(probe head)는 영국의 RENISHAW가 개발한 PH10MQ 프로브 헤드와 TP7 터치 트리거 프로브(touch trigger probe)를 사용함으로써 접촉하는 방향성의 오차를 최대한 줄였다(Brown and Sharpe, 1995). 측정시 프로브 팁이 기어의 치면에 닿지 않도록 하기 위해서 지름이 2mm인 팁을 사용한다.

(2) CNC 기어전용 측정기:

CNC 형태로 제작되어 작업자가 측정하고자 하는 의도에 따라 프로그램을 만들어 입력시켜 자동으로 기어만을 측정하는 장비로서, 신속하고 정확한 데이터 분석이 가능하도록 제작되었다. <그림 4> 3차원 좌표측정기와 달리 기어전용 측정기이므로 고정도(high precision)로 측정할 수 있으며, 표면을 스캐닝(scanning) 형태로 측정하기 때문에 측정시간도 짧다[5]. 그러나 측정하고자 하는 기어의 안지름에 맞는 바(bar)를 제작해야 하는 번거로움이 있다. CNC 기어전용 측정장비는 JIS 규격 0급~8급의 모든 기어를 측정할 수 있는 고정밀도 장비지만 대형기어와 하이포이드기어(hypoid gear), 스파이럴 베벨기어(spiral bevel gear), 웜기어(worm gear) 등 특수기어의 측정에는 사용할 수 없는 단점이 있다.

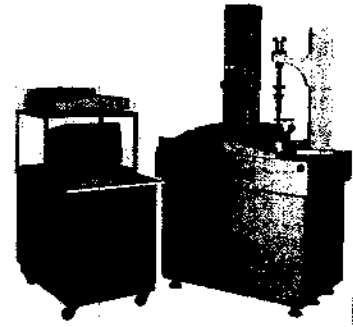


그림 4. CNC 기어전용측정기.

(3) 1단 헬리컬기어(gear-1st speed):

본 측정실험에 이용된 기어는 지게차의 트랜스미션(transmission)에 사용되는 1단 헬리컬기어(helical gear)이다. 구체적인 자료를 보면, 기어의 형상 데이터는 압력각 22.5도, 비틀림각 22도, 잇수 25개, 이폭 28.4mm, 모듈 2.9887이며, JIS 4급 수준의 품질등급을 가지고 있다.

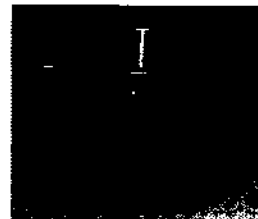


그림 5. 헬리컬기어.

(4) 실험장비의 사양:

앞에서 설명한 본 논문의 실험에 사용된 주요 장비의 사양은 <표 2>와 같다. 여기서 3번의 gear-1st speed에서 M은 기어의 모듈, Z는 기어의 잇수를 나타낸다.

4.3 기어측정시 주의사항

실험을 하는 과정에서 환경에 의한 오차가 발생되지 않도록 표준측정실에서 실험한다. 특히 3차원 좌표측정기뿐만 아니라

표 2. 주요 실험장비

번호	장비명	모델	규격	정밀도
1	CNC Gear Tester	CLP-35 OSAKA SEIMITSU KIKAI	0-340mm	0.0001mm
2	CNC-Test Coordinate Measuring Machines	XCEL Brown & Sharpe	X : 900mm Y : 1200mm Z : 900mm	0.001mm
3	Gear-1st Speed	PR22	M : 2.9887, Z : 25	JIS 4급

표 3. 헬리컬기어의 치수오차 측정데이터

(단위: μm)

No.	Touch Speed (mm/sec)	Sample Size (치형, 리드)	온도 ($^{\circ}\text{C}$)	측정 시간 (min)	단일피치오차		인접피치오차		누적피치오차		Run out	치형오차		잇줄오차	
					L	R	L	R	L	R		L	R	L	R
1	0.5	97, 165	23	68.42	115.2	132.9	137.5	116.6	311.1	246.5	246.4	32.7	24.4	23.5	16.7
2	1	25, 42	22	24.16	114.7	131.5	135.9	112.6	314.1	253.2	247.4	31.0	26.0	22.3	14.5
3	1	37, 62	22	31.40	116.9	134.1	136.6	117.6	306.2	243.7	241.3	30.7	21.8	22.5	14.3
4	1	49, 91	23	38.32	115.5	132.6	137.9	114.3	313.8	249.5	249.0	31.9	24.2	23.8	15.7
5	5	97, 165	22	52.35	109.0	139.6	131.3	128.7	316.8	240.8	251.9	33.6	27.9	25.2	18.5
6	5	25, 42	22	21.03	109.6	139.0	128.6	127.9	312.2	238.0	242.8	31.5	26.2	23.1	17.3
7	5	49, 91	22	31.09	106.9	134.7	125.5	124.0	312.1	238.2	249.8	33.8	26.2	23.0	16.7
8	5	37, 62	22	26.12	110.9	136.6	133.2	125.6	310.4	239.1	238.9	32.4	24.9	22.8	15.9
9	0.5	49, 91	22	38.32	115.5	132.4	143.3	115.0	319.3	254.5	250.5	32.7	25.5	24.1	14.8
10	5	97, 165	22	52.32	110.7	133.8	131.4	118.7	309.0	233.7	236.9	34.7	26.8	24.9	18.3
11	10	49, 91	22	30.57	115.4	134.2	137.1	118.5	304.9	236.2	247.4	31.8	23.9	22.8	15.0
12	10	37, 62	22	25.46	115.9	136.1	140.2	120.7	307.7	242.3	247.5	31.9	23.4	21.7	15.7
13	0.5	37, 62	22	30.49	115.4	134.1	136.4	115.5	309.6	247.8	245.5	32.2	22.1	22.9	14.2
14	10	37, 62	22	25.53	117.2	137.9	145.4	121.1	314.4	244.1	258.4	33.7	24.8	23.3	15.9
15	5	37, 62	22	26.24	118.3	134.2	140.8	121.8	312.2	236.9	241.1	32.8	23.8	22.7	16.8
16	1	49, 91	22	38.50	115.3	136.8	137.6	123.4	307.0	243.6	244.3	31.9	23.9	23.5	15.5
17	1	25, 42	22	24.34	115.3	137.4	136.5	126.2	303.8	240.0	241.8	31.1	24.6	22.2	13.6
18	1	97, 165	22	65.44	116.1	139.5	144.0	129.5	307.4	241.4	240.6	32.0	24.1	24.2	15.2
19	0.5	25, 42	21	24.24	118.8	135.9	149.6	120.2	320.4	254.0	249.0	31.2	24.8	21.8	15.4
20	1	97, 165	21	65.40	114.6	134.4	142.1	118.7	311.1	245.9	243.6	32.9	25.7	23.1	15.8
21	0.5	37, 62	21	31.39	124.8	139.8	153.2	120.3	320.1	249.7	254.3	33.2	23.1	22.8	13.3
22	5	49, 91	21	31.41	117.1	131.1	142.2	114.8	319.3	253.3	250.2	33.5	26.1	23.5	17.0
23	0.5	25, 42	21	24.19	117.9	135.8	143.0	119.5	306.2	240.5	240.3	31.4	23.7	22.0	14.1
24	10	97, 165	21	52.27	113.7	138.8	138.6	124.1	311.0	253.3	248.1	35.7	25.6	24.3	17.3
25	10	25, 42	21	20.50	111.5	137.9	134.9	127.0	306.4	245.6	247.8	31.3	21.5	25.2	15.4
26	0.5	97, 165	21	69.02	115.7	133.4	136.3	118.7	312.3	245.8	249.1	33.2	24.6	23.7	15.8
27	1	37, 62	21	31.50	117.1	133.3	135.6	118.1	307.3	243.5	243.5	31.2	22.8	21.2	15.1
28	10	49, 91	21	30.52	116.4	135.8	139.2	119.8	306.2	238.1	242.8	30.9	23.8	23.9	14.8
29	5	25, 42	21	21.12	108.7	138.2	129.3	125.8	311.4	239.1	244.7	32.1	25.4	24.3	16.9
30	10	25, 42	21	20.44	113.8	135.3	135.8	129.8	305.3	247.9	252.1	31.7	22.7	24.8	15.5
31	10	97, 165	21	51.54	114.1	133.8	140.1	123.6	311.2	241.4	250.3	34.5	24.9	24.7	16.9
32	0.5	49, 91	21	39.18	117.1	134.9	145.8	120.8	315.2	250.8	249.3	33.4	26.2	23.6	15.1

라 측정물인 헬리컬기어도 표준온도에 충분히 노출시켜 측정한다. 3차원 좌표측정기는 앞서 설명했듯이 스캐닝(scanning) 방식이 아니라, 터치(touch)방식으로 측정하기 때문에 장비의 프로브와 관련하여 주의할 점이 있다. 정확한 측정데이터를 얻기 위해서 기어의 모듈에 맞는 프로브 팁을 선택해서 측정 시 프로브 팁이 기어의 치면에 닿지 않도록 해야 하고, 최대한 짧은 프로브 stylus를 이용하며, 프로브 보정오차가 $3\mu\text{m}$ 이내 가 되도록 세팅을 한다. 또한 기어의 정확한 기준점을 설정하고 가공면의 표면조도를 깨끗하게 유지하여 실험을 한다.

4.4 치수오차 측정데이터

헬리컬기어의 치수오차 측정데이터를 실험을 통하여 <표 3>과 같이 구하였다. 치수오차는 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout, 치형오차, 잇줄오차 등으로 구분되며, 일반적으로 기어 가공업체에서는 치형오차, 잇줄오차, 피치오차순으로 중요하게 관리하고 있다. 실험은 총 32회 실시하고, Runout을 제외한 다섯 개의 오차들은 기어의 좌우 치면을 측정하기 때문에 왼쪽(L), 오른쪽(R) 치면으로 구분해서 나타낸다.

5. 실험데이터의 통계적 분석

본 실험은 기어측정용 package를 갖추고 있는 기어가공회사의 CMM을 이용하였다. 회사의 일상적 업무에 방해가 되지 않는 범위에서 동일조건에서 실험을 수행하려고 하다 보니, 휴일날 24시간 연속 측정실험을 하기로 결정하였다. 각각 4수준인 두 개의 인자를 대상으로 하면 16개의 실험조합이 생기는데, 16번의 실험을 하는 데 대략 10시간이 소요되었고, 24시간 내에 실험을 마치기 위하여 2회 반복실험을 하였다.

실험을 통해서 얻은 6가지 치수오차 측정데이터(단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout, 치형오차, 잇줄오차)에 인자들이 유의한 영향을 미치는지 알아보고, 측정의 정확성을 높이는 측정조건을 파악하기 위하여 통계적 분석을 한다. 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout의 데이터는 일원배치법, 치형오차와 잇줄오차 데이터는 이원배치법의 분산분석으로 분석한다. 일원배치법으로 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout에 대한 분산분석 및 접촉속도의 수준별 치수오차의 평균값이 <표 4>부터 <표 11>에

표 4. 단일피치오차의 분석요약표

왼 쪽(L)		오른쪽(R)	
A의 수준	평균	A의 수준	평균
A ₁ (0.5)	117.55	A ₁ (0.5)	134.90
A ₂ (1)	115.69	A ₂ (1)	134.95
A ₃ (5)	111.40	A ₃ (5)	135.90
A ₄ (10)	114.75	A ₄ (10)	136.23

표 5. 단일피치오차의 분산분석표

왼 쪽(L)						오른쪽(R)					
요인	S	ϕ	V	F ₀	p-값	요인	S	ϕ	V	F ₀	p-값
A	159.23	3	53.08	6.78*	0.001	A	10.78	3	3.60	0.58	0.635
E	219.19	28	7.83			E	174.40	28	6.23		
T	378.42	31				T	185.18	31			

표 6. 인접피치오차의 분석요약표

왼 쪽(L)		오른쪽(R)	
A의 수준	평균	A의 수준	평균
A ₁ (0.5)	143.14	A ₁ (0.5)	118.33
A ₂ (1)	138.28	A ₂ (1)	120.05
A ₃ (5)	132.79	A ₃ (5)	123.41
A ₄ (10)	138.91	A ₄ (10)	123.20

표 7. 인접피치오차의 분산분석표

왼 쪽(L)						오른쪽(R)					
요인	S	ϕ	V	F ₀	p-값	요인	S	ϕ	V	F ₀	p-값
A	433.30	3	144.43	6.17*	0.002	A	147.80	3	49.27	2.56	0.075
E	655.15	28	23.40			E	539.60	28	19.27		
T	1088.46	31				T	687.40	31			

표 8. 누적피치오차의 분석요약표

왼 쪽(L)		오른쪽(R)	
A의 수준	평균	A의 수준	평균
A ₁ (0.5)	314.28	A ₁ (0.5)	248.70
A ₂ (1)	308.84	A ₂ (1)	245.10
A ₃ (5)	312.93	A ₃ (5)	239.89
A ₄ (10)	308.39	A ₄ (10)	243.61

표 9. 누적피치오차의 분산분석표

왼 쪽(L)						오른쪽(R)					
요인	S	ϕ	V	F_0	p-값	요인	S	ϕ	V	F_0	p-값
A	207.10	3	69.03	4.21*	0.014	A	319.52	3	106.51	4.12*	0.015
E	459.46	28	16.41			E	724.48	28	25.87		
T	666.56	31				T	1044.0	31			

표 10. Runout의 분석요약표

A의 수준	평균
$A_1(0.5)$	248.05
$A_2(1)$	243.94
$A_3(5)$	244.54
$A_4(10)$	249.30

표 11. Runout의 분산분석표

요인	S	ϕ	V	F_0	p-값
A	165.22	3	55.07	2.85	0.056
E	542.02	28	19.36		
T	707.24	31			

표 12. 치형오차의 분산분석표

왼 쪽(L)						오른쪽(R)					
요인	S	ϕ	V	F_0	p-값	요인	S	ϕ	V	F_0	p-값
A	9.30	3	3.10	9.61*	0.001	A	20.76	3	6.92	7.54*	0.002
B	20.66	3	6.89	21.36*	0.000	B	20.64	3	6.88	7.49*	0.002
$A \times B$	11.11	9	1.23	3.83*	0.009	$A \times B$	9.94	9	1.10	1.20	0.358
E	5.16	16	0.32			E	14.69	16	0.92		
T	46.24	31				T	66.02	31			

표 13. 잇줄오차의 분산분석표

왼 쪽(L)						오른쪽(R)					
요인	S	ϕ	V	F_0	p-값	요인	S	ϕ	V	F_0	p-값
A	5.53	3	1.84	6.40*	0.005	A	26.65	3	8.88	43.07*	0.000
B	12.13	3	4.04	14.03*	0.000	B	13.49	3	4.50	21.80*	0.000
$A \times B$	11.25	9	1.25	4.34*	0.005	$A \times B$	5.87	9	0.65	3.16*	0.022
E	4.61	16	0.29			E	3.30	16	0.21		
T	33.52	31				T	49.31	31			

걸쳐 나타내었고, 치형오차와 잇줄오차 데이터를 접촉속도(A)와 측정점의 수(B) 2개의 인자를 대상으로 이원배치법의 분산분석 결과를 <표 12>와 <표 13>에 나타내었다. 모델의 적합도 검증을 위한 잔차의 정규성(normality) 여부를 검토했는데, 각각의 치수오차에 대하여, 분산분석 후 잔차가 정규분포를 따름을 확인하였다.

치수오차 데이터에 대한 분산분석 후, 최소유의차(least significance difference)를 이용하여 다중비교검정(multiple comparison test)을 수행하였다. 그 결과는 <표 14>에 나타내었다. 분석결과를 요약해 보면, 피치관련오차를 보다 정확하게 측정하기 위해서는 접촉속도를 5mm/sec로 하면 누적피치오차의 왼쪽 치면의 치수오차만 최적조건보다 4µm 정도 증가하고, 다른 부분의 피치관련 오차에는 최적임을 알 수 있다.

표 14. 다중비교검정 결과 최적수준조합군

기어오차	L	R
단일피치오차	A ₃	*
인접피치오차	A ₃	A ₁ , A ₂
누적피치오차	A ₂ , A ₃ , A ₄	A ₃ , A ₄
치형오차	A ₂ B ₂ , A ₂ B ₁ , A ₁ B ₁ , A ₄ B ₃ , A ₄ B ₁ , A ₃ B ₁ , A ₂ B ₃	A ₂ B ₂ , A ₁ B ₂ , A ₄ B ₁ , A ₄ B ₃
잇줄오차	A ₂ B ₂ , A ₁ B ₁ , A ₂ B ₁ , A ₄ B ₂ , A ₃ B ₂	A ₁ B ₂ , A ₂ B ₁ , A ₂ B ₂ , A ₁ B ₁ , A ₄ B ₃
Runout	A ₁ , A ₂ , A ₃	

(* : 최적수준군 없음)

치형오차와 잇줄오차 데이터를 접촉속도(A)와 측정점의 수(B) 2개의 인자를 대상으로 이원배치법의 분산분석을 하였는데, <표 14>의 치형오차와 잇줄오차의 최적수준조합군을 보면, A2B2, 즉 접촉속도가 1mm/sec이고 측정점의 수는 62개일 때 치수측정이 정확하게 나타남을 알 수 있다.

일반적으로 기어가공업체에서는 치수오차의 관리를 위하여 치형오차, 잇줄오차, 피치관련오차의 순서로 중요하게 생각하고 있다. 본 실험연구에서 3차원 좌표측정기로 헬리컬기어를 측정할 때, 기어의 최적 측정조건은 피치관련오차(단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout)를 측정할 때는 접촉속도를 5mm/sec로 설정하고, 치형오차와 잇줄오차의 최적 측정조건은 접촉속도는 1mm/sec, 측정점의 수를 결정하기 위한 프로브의 이동속도는 <표 1>에서 보듯이 1.5mm/sec(치형: 37개, 잇줄: 62개의 측정점)로 설정하면 전반적으로 보다 정확한 측정결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

6. 추가 분석 및 토의

기어측정에 있어서 3차원 좌표측정기의 실제 측정능력을 파악하기 위하여, 측정에 사용한 동일한 헬리컬기어를 대상으로 측정오차를 무시할 수 있는 CNC 기어전용 측정기를 이용하여 측정을 한다. CNC 기어전용 측정기로 3회 반복해서 측정한 데이터는 <표 15>와 같다. 6가지 치수오차 측정데이터에 대한 3차원 좌표측정기와 CNC 기어전용 측정기의 비교가 <표 16>과 <그림 6> ~ <그림 11>에 나타나 있다.

표 15. CNC 기어전용 측정기로 측정된 데이터

(단위: µm)

기어오차	측정데이터		평균	
	왼쪽 치면(L)	오른쪽 치면(R)	L	R
단일피치오차	14.6	16.6	18.53	19.80
	21.4	21.7		
	19.6	21.1		
인접피치오차	12.7	12.5	21.37	18.37
	29.5	22.0		
	21.9	20.6		
누적피치오차	48.0	51.4	40.10	44.40
	40.5	46.4		
	31.8	35.4		
치형오차	15.0	18.0	15.33	18.33
	15.0	19.0		
	16.0	18.0		
잇줄오차	13.0	11.0	12.33	11.00
	12.0	11.0		
	12.0	11.0		
Runout	33.8		34.77	
	42.2			
	28.3			

표 16. 측정기별 치수오차 측정데이터 비교

(단위: µm)

기어오차	3차원 좌표측정기		CNC 기어전용 측정기	
	L	R	L	R
단일피치오차	111.40	135.90	18.53	19.80
인접피치오차	132.79	123.41	21.37	18.37
누적피치오차	312.93	239.89	40.10	44.40
치형오차	30.95	22.30	15.33	18.33
잇줄오차	21.85	14.70	12.33	11.00
Runout	244.54		34.77	

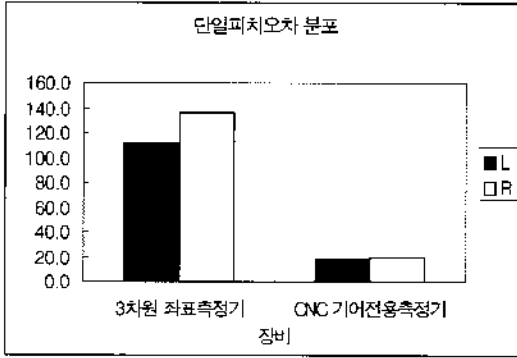


그림 6. 단일피치오차 비교.

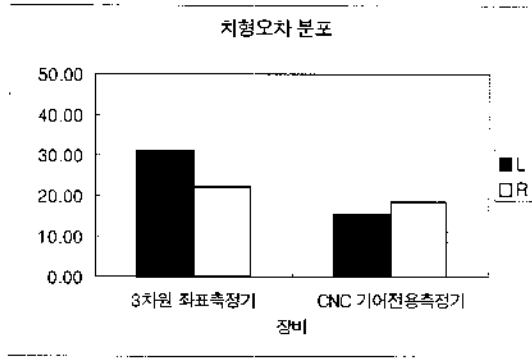


그림 10. 치형오차 비교.

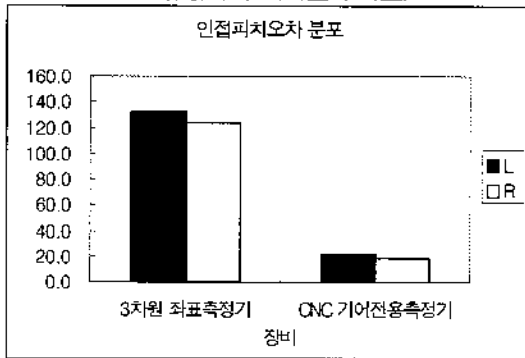


그림 7. 인접피치오차 비교.

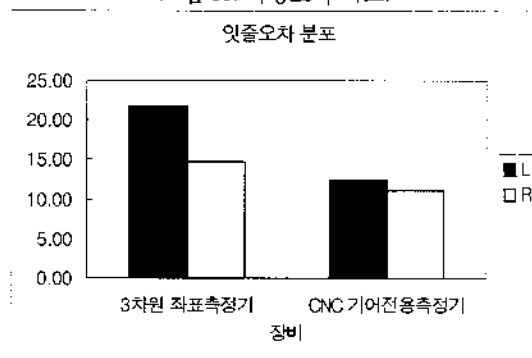


그림 11. 잇줄오차 비교.

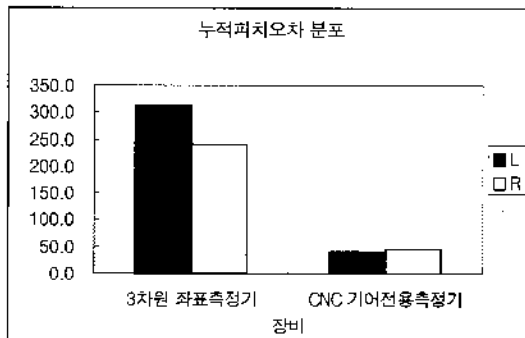


그림 8. 누적피치오차 비교.

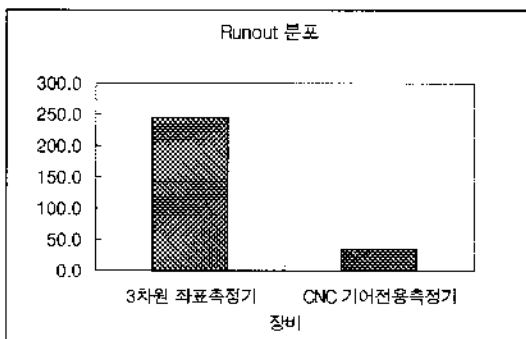


그림 9. Runout 비교.

<표 16>에 나타나 있는 것처럼 기어측정에서 3차원 좌표측정기의 측정능력은 CNC 기어전용 측정기와 비교할 때 크게 떨어진다. 결국 CNC 기어전용 측정기의 측정오차가 무시할 수 있을 정도로 작다는 사실로부터 3차원 좌표측정기의 측정오차가 크게 나타남을 알 수 있다. 본 측정실험의 결과를 요약해보면, JIS 4급의 헬리컬기어를 측정할 경우, CNC 기어전용 측정기는 JIS 4급의 측정능력을 그대로 나타내지만 3차원 좌표측정기는 기어의 실제 가공오차에 4측정장비의 측정오차가 결합되어 JIS 7~8급의 측정능력을 나타낸다.

실제로 3차원 좌표측정기를 판매하는 회사에서는 그들이 개발한 기어측정 소프트웨어를 이용할 때 4급기어까지는 오차 없이 측정할 수 있다고 보장하고 있다. 그러나 현실적으로 측정실험결과를 보면 3차원 좌표측정기로 4급기어를 7~8 등급으로만 측정할 수 있음을 알 수 있다. 3차원 좌표측정기의 측정오차가 크게 나타나는 원인을 파악하는 것이 향후 중요한 과제이다. 현재로는 3차원 좌표측정기가 CNC 기어전용 측정기의 스캐닝(scanning) 측정방식과는 달리 터치(touch)방식으로 측정하는데, 이 터치방식에서 발생하는 프로브 오차(probe errors)가 측정오차를 야기한다고 생각된다. 또한 측정데이터로부터 형상을 나타내는 적합 알고리즘(fitting algorithm)의 문제, 측정기의 노후화와 불충분한 보전활동 등이 측정의 정확성을 떨어뜨리는 원인일 것으로 사려된다. 그러므로 3차원 좌표측정기를 이용하여 기어의 치수품질보증활동을 보다 정확하게 하기 위해서는 1) 3차원 좌표측정기의 보조기구인 모터리 테

이블(rotary table) 이용, 2) 터치방식으로 인한 프로브 오차를 줄이기 위한 스캐닝 프로브를 장착, 3) 최적의 적합 알고리즘 개발, 4) 3차원 측정기의 충분한 교정 및 보전 등의 개선활동이 필요하다고 여겨진다.

본 논문에서는 헬리컬기어를 측정할 때 1) 3차원 좌표측정기의 접촉속도와 측정점의 수를 측정변수로 정하고, 2) 통계적 분석을 거쳐, 3) 최적의 측정조건을 구하고, 4) CNC 기어전용 측정기의 측정데이터와 비교하였다. 그러므로 특수기어와 대형기어도 3차원 좌표측정기를 이용한 측정방법의 특성에 맞게 측정변수를 정해서 통계적 분석을 하면 최적의 측정조건을 구할 수 있을 것이다. 이러한 특수기어나 대형기어의 치수측정에 3차원 좌표측정기를 이용하면 7~8등급의 측정능력을 보여주리라 기대된다. 측정기준을 설정하는 일반적인 순서는 <그림 12>와 같이 나타낼 수 있다.

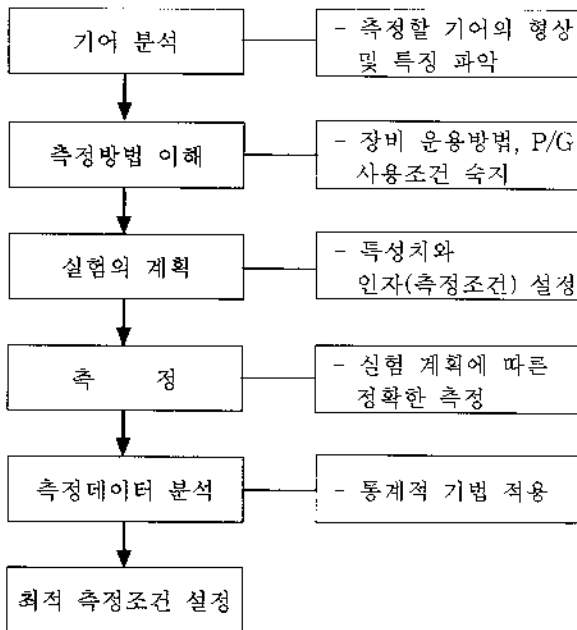


그림 12. 기어 측정조건 설정순서.

7. 결론

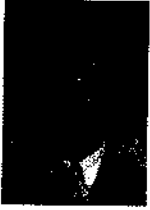
본 논문에서는 3차원 좌표측정기의 실제 측정능력을 파악하기 위하여 JIS 4등급 헬리컬기어를 대상으로 측정실험을 하였다. 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout은 프로브의 접촉속도를 인자로 하여 4수준에 걸쳐 일원배치 실험을 하였고, 치형오차와 잇줄오차는 접촉속도와 측정점의 수를 2개의 인자로 하여 각각 4수준의 이원배치실험을 하였다. 실험

결과 얻은 치수오차 측정데이터를 분석한 결과, 기어의 최적 측정조건은 피치관련오차(단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, Runout)를 측정할 때는 접촉속도를 5mm/sec로 설정하고, 치형오차와 잇줄오차의 측정조건은 접촉속도는 1mm/sec, 측정점의 수를 결정하기 위한 프로브의 이동속도는 1.5mm/sec(치형: 37개, 잇줄: 62개의 측정점)로 설정한다.

본 논문에서는 헬리컬기어를 대상으로 실험을 하여 3차원 좌표측정기의 최적 측정조건을 구해서 CNC 기어전용 측정기와 비교·분석하였다. 이러한 실험적 결과는 스파이럴 베벨기어, 하이포이드기어, 워기어 등과 같은 특수기어와 산업기계에 사용되는 대형기어의 측정에도 적용할 수 있다. 현재 거의 모든 국내의 기어가공업계는 기어전용 측정기로 잴 수 없는 특수기어나 대형기어의 치수품질을 파악하기 위하여 3차원측정기를 사용하고 있지 않다. 단지, “기어 맞물림” 방식을 이용하여 가공된 기어와 맞물림기어를 결합한 다음 회전시켜 소리가 크게 나면 불량이라고 보고 기어를 재가공하는 시행착오를 되풀이하고 있다. 이러한 방법을 이용하면, 특히 제품 개발시 결합된 2개의 기어를 회전시켜 문제가 있을 때, 기어형상의 어느 부분에 문제가 있는지에 대한 판단을 하기가 무척 힘들다. 본 실험적 연구의 결과, 비록 3차원측정기가 특수기어나 대형기어의 치수품질측정에 이용될 경우 7~8등급의 측정능력이 있지만 어떤 부분의 기어치수에 문제가 있는지를 밝혀 줄 수 있다. 그러므로, CNC 기어전용 측정기를 전혀 이용할 수 없는 특수기어나 대형기어의 치수품질보충활동에 측정3차원측정기를 이용하게 되면, 제품개발 초기에 도면에 따라 가공된 기어의 형상치수의 어떤 부분에 문제가 있는지를 신속히 파악하여 제품 개발단계에서 시행착오의 수를 상당히 감소시켜, 궁극적으로는 제품개발기간을 크게 단축시킬 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

- 김박윤 (1988), 기어편람, 技多利.
- 동우 IMS (1997), 3차원 측정기 매뉴얼, 동우 아이엠에스.
- 한국공업표준심의회 (1989), KS 기어용어, 한국공업표준협회.
- 大阪精密機械 (1992), CNC GEAR TEST MANUAL.
- 有浦 泰常 (1997), 기어가공의 현상과 과제, 월간 기계가공기술, 1월호, 54-57.
- Brown and Sharpe (1995), Measuring Systems QUINDOS MANUAL.
- Dowling, M. M., Griffin, P. M., Tsui, K. L. and Zhou, C. (1997), Statistical issues in geometric feature inspection using coordinate measuring machines, *Technometrics*, 39(1), 3-24.
- Ni, J. and Wäldele, F. (1995), Coordinate measuring machines, in *Coordinate Measuring Machines and Systems* (J. A. Bosch, ed.), Marcel Dekker, 40-70.
- Nilsson, J. T. (1995), Application Considerations, in *Coordinate Measuring Machines and Systems* (J. A. Bosch, ed.), Marcel Dekker, 303-320.



심창건

경상대학교 산업공학과에서 공학사(1995), 공학석사(1999)를 취득하였다.

현재: (주) 삼원금속 품질부서에 근무

관심 분야: 계측시스템 관리, 3차원 측정기 활용, 품질정보시스템 등



변재현

서울대학교 산업공학과 공학사(1983), 한국과학기술원 산업공학과 공학석사 및 박사(1985, 1989)를 취득하였다.

현재: 경상대학교 산업시스템공학부 부교수

관심 분야: 품질공학, 계측시스템관리, 공정 이상진단 및 품질정보시스템 등