

< 기술논문 >

## Whirling machine의 성능 개선을 위한 연구

이정기<sup>†</sup> · 양우석\* · 손재석\*\* · 한희덕\*\*\* · 김한수\*\*\*\*  
(2004년 10월 4일 접수, 2005년 8월 1일 심사완료)

### A Study on Performance Improvement of Whirling Machines

Jung-Ki Lee, Woo-suk Yang, Jea-seok Son, Hui-duck Han and Han-soo Kim

**Key Words:** Whirling Machine(워링 머신), Whirling Unit(워링 유닛), Whirling Ring(워링 링) Loading System(소재공급부), Head Stock(주축대), Unloading System(배출부), Vision System(비전 검사 장비)

#### Abstract

In order to meet the increasing competitive pressures coupled with higher demands for component quality, whirling machines have been at the cutting edge of the automobile industry for more than 25 years. The hard whirling process can save on machining time and operation elimination. Hard whirling is done dry, without coolant. The chips carry away nearly all of the heat during cutting, leaving the workpiece cool and minimizing any thermal geometry variations. The surface finish and profile accuracy are close to grinding quality. Whirling machines usually consist of four major parts; 1) loading system that requires the necessary axial speeds, 2) head stock that needs high precision clamping and positioning system at the chuck and tailstock, 3) whirling unit that demands the high cutting speeds and cutting power for cutting deep thread profiles and 4) unloading system that requires an easy workpiece unloading. Also, capabilities of the whirling machine can be improved by attaching a vision system to the machine. Most of whirling machines in Korean automobile industry are imported from the Leistritz company, Germany and the Hasegawa company, Japan. In this paper, a basic research will be performed to improve and enhance the existing whirling machines. Finally, a new Korean whirling machine will be proposed and developed.

#### 1. 서론

웜 샤프트(worm shaft) 절삭가공법 중 whirling 가공 방식은 가장 최근에 국내에 소개된 가공기법으로서, 현재 고 정밀 가공이 가능한 고가의 독일 Leistritz사의 whirling machine과 Leistritz사의 제품보다 저렴하나 상대적으로 성능이 떨어지는 일본의 Hasegawa사의 whirling machine이 국내시장의 대부분을 차지하고 있다.

자동차 산업에서 품질의 고급화 및 경량화가 요구됨에 따라, whirling machine을 사용한 고출력 및 저소음을 만족시킬 수 있는 웜 샤프트의 가공 기술이 자동차 업계에서 필요 불가결의 기술이 되었다. 일반적으로, whirling machine의 구성은 크게 네 부분으로 나뉘는데, 1) 소재를 공급해주는 소재공급부(loading system), 2) 공작물을 지지해주는 주축대(head stock), 3) 공작물을 가공하는 가공부(whirling unit), 그리고, 4) 가공이 완료된 소재를 배출하는 배출부(unloading system) 등으로 구성된다. 또한, 가공된 웜 샤프트에서의 결함 여부를 확인할 수 있는 비전 검사 장비(vision system)를 whirling machine에 장착함으로써, 장비의 고급화를 꾀할 수 있다.

본 논문에서는 이제까지 전량 수입에 의존해 오던 whirling machine을 국산화하기 위하여, 일차

† 책임저자, 회원, 홍익대학교 기계정보공학과

E-mail : inq3jkl@wow.hongik.ac.kr

TEL : (041)860-2619 FAX : (041)866-9129

\* 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학과

\*\* 신한정밀공업(주)

\*\*\* 홍익대학교 대학원 기계정보공학과

\*\*\*\* 홍익대학교 대학원 전기공학과

적으로 기존의 whirling machine 주요부의 기능을 이해하고 또한 문제점들을 파악한다. 그 다음에, 신한정밀공업(주)를 비롯한 자동차 업계에서 사용하는 불편함이 없도록, 기존 장비의 성능을 개선하기 위한 기초적인 연구를 수행한다.

## 2. Whirling machine 주요부

Whirling machine의 기본 구성은 적재된 소재를 개별적으로 주축대(head stock)에 삽입하는 소재공급부와 소재공급부에 의하여 공급된 소재를 가공하는 가공부와 가공부에서 가공이 완료된 소재를 모아 배출하는 배출부로 이루어지며, whirling machine의 성능을 강화하기 위하여 비전 검사 장비를 장착할 수 있다. Fig. 1은 whirling machine의 기본구조를 간략하게 나타낸다.

Fig. 2는 소재공급부(loading system)에 대한 3차원 형상을 나타낸다. 주축 회전에 사용되는 동력으로 서보 모터(servomotor)의 동력을 사용하는데, 서보 모터의 회전속도를 감속하기 위하여 중간 풀리(pulley)를 사용한다. 또한 볼나사(ball screw)를 사용하여 소재의 공급 속도 및 공급 위치(가공 위치)를 제어한다. 그리고 주축대(head stock)에 설치되어 있는 특수 공기 척(air chuck)을 사용하여, 소재를 정확한 위치에 고정시킨다. Fig. 3은 주축 회전속도의 감속을 제어하기 위하여, 회전속도 감지 센서(encoder)를 부착한 모습이다. 일반적인 나사 가공 시 1 리드(lead)를 1회전 당 1 피치(pitch)로 택하여 가공을 하므로, 저속 회전이 필요하다.<sup>(1-3)</sup> 따라서 상단의 회전속도 감지 센서 및 벨트 장치를 사용하여 주축의 회전속도를 엄격히 조절함으로써, 정밀 가공이 가능하게 된다. Fig. 4는 가공부의 주요부에 대한 3차원 형상

을 나타내고, Fig. 5는 가공부의 주요부에 대한 실제 형상을 나타낸다. Fig. 6은 배출부의 일부인 배출 컨베이어(out conveyor) 및 칩 배출부를 나타낸다. Fig. 7은 가공된 워임 샤프트에서의 결함 유무를 확인할 수 있는 비전 검사 장비를 나타낸다.

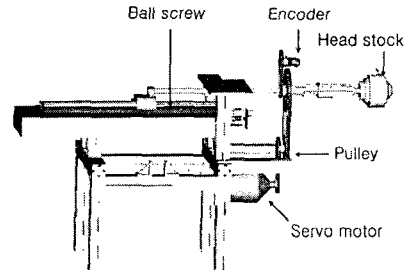


Fig. 2 Loading system

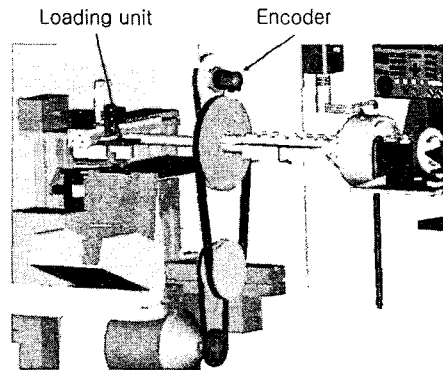


Fig. 3 Loading system (enlargement)

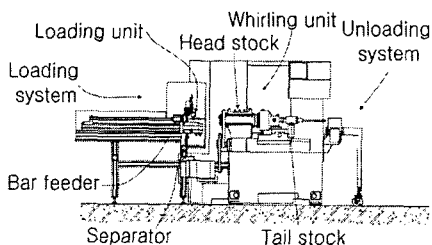


Fig. 1 Basic structure of whirling machine

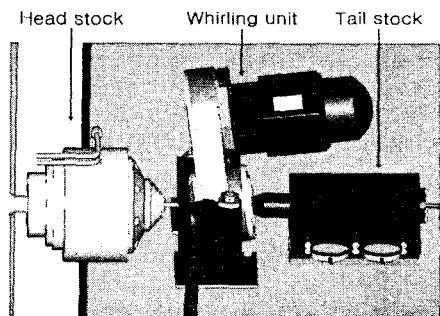


Fig. 4 Head stock, whirling unit and tail stock (3-dimensional model)

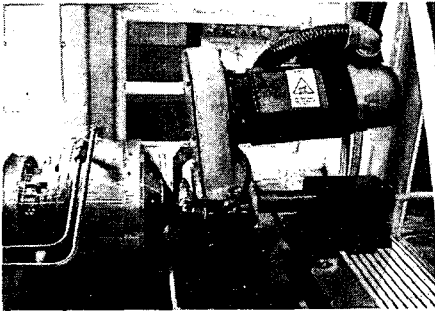


Fig. 5 Head stock, whirling unit and tail stock (Real picture)

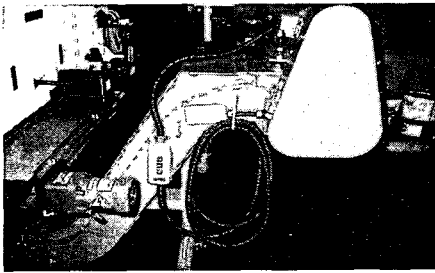


Fig. 6 Unloading system (Real picture)

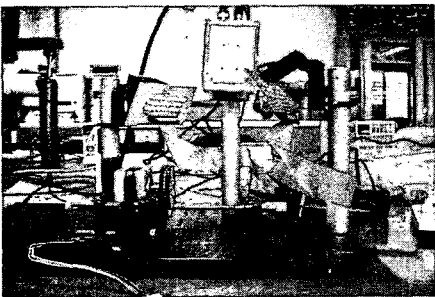


Fig. 7 Vision system (Real picture)

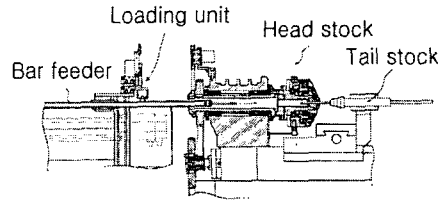


Fig. 8 Basic structure of loading and unloading system

여 공급된 소재를 지지하기 위한 심압대(tail stock)로 구성되는 가공부에서 가공된다. 여기서 심압대는 중공파이프가 심압대 내부에 슬리브로 연결되어 있어, 심압대의 중공파이프 안으로 가공이 완료된 소재가 이동된다. 배출부는 심압대의 중공파이프의 후방 끝단에서 떨어지는 가공 완료된 소재를 이동시킬 수 있는 배출 컨베이어와 배출 컨베이어로부터 이동된 소재를 적재하는 작업상자 그리고 절삭작업으로 인한 칩(chip)을 이동시키는 칩 컨베이어(chip conveyor)로 구성되어 있다.

본 연구에서 개발하고 있는 장비는 주축대와 심압대의 중앙부에 소재를 이동시킬 수 있도록 중공이 형성되어 있기 때문에, 가공이 완료된 소재가 새로 공급되는 소재에 의하여 심압대에 형성된 파이프로 들어가며, 심압대 내부로 밀린 소재는 소재공급부의 반대편에 설치되어 있는 배출부로 떨어지게 된다. 이를 통하여, 직선형 연속작업이 가능하게 설계되었다. 즉, (1) 종전의 각운동에 의하여 공작물을 공급, 배출하던 것을 직선적으로 공급과 배출이 이루어지도록 하여 구성을 간소화하였고, 또한 설치면적 감소로 인하여 적은 면적에 많은 장치를 설치할 수 있도록 하였으며, (2) 공작물의 공급과 배출을 위하여 많은 장치를 요구하지 않고 종전의 장치에 약간의 변경만을 가함으로써 공작물을 배출할 수 있도록 하여, 장치의 생산단가가 감소되었고 이에 따라 가격경쟁력이 높은 제품 생산이 가능해졌으며, (3) 소재의 공급과 배출이 따로 수행되지 않고, 새로 공급되는 소재에 의하여 가공이 완료된 소재가 배출되도록 하여 작업의 흐름이 끊기지 않으며, 이에 따라 소재의 가공을 위한 작업시간이 감소되었고 제품의 대량생산이 가능하게 되었다.<sup>(4-6)</sup> (Fig. 8)

### 3. Whirling machine 주요부의 개선 사항

#### 3.1 소재공급부와 배출부

소재공급부의 주요부는 소재를 주축대의 중심축 상에 위치시키는 소재이동장치(loading unit)와 앞서 이동된 소재를 주축대의 중공사이로 밀어주는 바피더(bar feeder)로 구성되어 있다. (Fig. 8 참조) 소재공급부에 의하여 공급된 소재는 실린더에 의하여 척이 움직여 소재의 일단을 고정시키는 주축대와 절삭가공을 수행하는 워링 유닛(whirling unit) 그리고 주축대의 반대편에 위치하

### 3.2 주축대 및 가공부

샤프트 상에 나선형 홈을 가공하는 일반적인 방법은 선반, 탭, 나사밀링커터 등을 이용하여 절삭 가공하는 것이다. 그런데, 선반, 탭, 나사밀링 커터 등을 이용하여 절삭 가공하는 방식은 완성된 제품을 만들기 위하여 한 개의 공구를 이용하여 수차례 절삭작업을 반복해야 한다. 따라서, 가공시간이 많이 소요되며, 그에 따라 가공비용도 증가하게 된다.

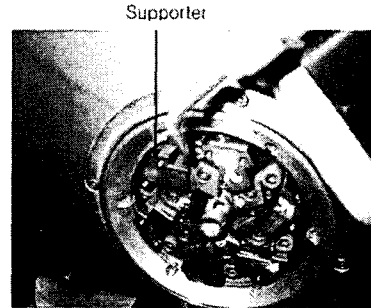
또한, 상당히 경도가 높은 재료의 경우에는 앞에서의 절삭가공 방식들로는 원활한 절삭을 하기 어렵다. 이에 따라 소재의 절삭가공 작업이 선행한 후에야 열처리 등의 경화작업을 하여야 하는데, 이 경우 열처리 등에 따르는 재료의 변형이 수반되는 문제가 발생할 우려가 있다.

이와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 whirling 가공 방식이 개발되었으며, whirling 가공 방식을 사용하면 한번의 절삭작업으로 가공이 완료되고, 또한 고경도 재료의 가공도 가능해진다.

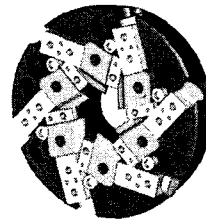
가공부의 주요부는 소재공급부에서 공급된 소재의 일단을 척(chuck)에 의하여 고정시키면서 지속적으로 회전하는 주축대, 주축대와 심압대 사이에 위치하여 다수의 인서트(inserts)를 가지고 나선형 홈소재 주위를 고속으로 회전하면서 나선형 홈을 제작하는, 워링 링(whirling ring)이 장착된 워링 유닛 그리고 주축대의 반대편에 위치하여 공급된 소재를 지지하기 위한 심압대(tail stock)로 구성된다.

Fig. 9는 whirling 가공 방식에 사용되는 대표적인 워링 링을 나타내며, 원형 고리의 내주면에 다수의 인서트가 배치 정렬되어 있는 형태를 가지며, 인서트의 회전 중심축은 재료의 중심축과 평행하면서 편심을 이루고 있다. 따라서, 워링 링의 내부로 소재를 삽입한 후, 워링 링을 6,000~8,000 rpm의 고속으로 회전시키면서 인서트로 소재를 절삭한다. 이 때 인서트의 회전 중심축은 재료의 중심축과 평행하면서 편심을 이루고 있기 때문에 모든 인서트가 가공을 위하여 소재와 동시에 접촉되는 것이 아니라 순차적으로 하나의 인서트를 가지고 수차례 절삭한 것과 같은 효과를 얻게 된다.

따라서, 워링 링의 회전에 따라 인서트가 연속적으로 소재를 조금씩 절삭하여 가는 과정이 반복되므로, 1회의 가공으로 작업을 완료할 수



(a) Real picture



(b) Three-dimensional model

Fig. 9 Whirling Ring

있고, 경도가 높은 소재를 가공할 때에도 소재나 인서트에 무리를 주지 않고 원활한 가공을 할 수 있게 된다.

#### 3.2.1 워링 유닛(whirling unit)에 관한 동특성 해석

가공부의 핵심 장치인 워링 유닛에 관한 동특성 해석을 통하여, 현재 개발 중인 whirling machine이 원래 설계 목적대로 기능을 발휘하고 있는지를 점검한다.

상업용 동역학 해석 프로그램인 ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) Version 12를 이용하여, 6,000rpm으로 고속 회전하는 워링 링이 장착된 워링 유닛으로 웜 샤프트(worm shaft)를 가공할 때, 각 인서트에 작용하게 되는 반력(reaction force)과 spindle assembly에 부착되어 있는 베어링(bearing)에 작용하는 반력을 계산하였다.<sup>(7-10)</sup>

Fig. 10은 워링 유닛에 대한 ADAMS model을 나타내고, Fig. 11은 워링 링이 장착되는 spindle

assembly에 대한 ADAMS model을 나타낸다. Fig. 11에서 베어링은 FAG사의 고속 스피들 베어링으로서, 모델명은 HSS71917 C. T. P4S. UL이다. 모델 번호의 C. T. P4S는 고속 스피들 모델을 나타내고, C는 접촉각 15°를 의미하며, ball의 개수는 37개이다. 베어링의 특성은 약 0.58kg의 질량을 가지며, basic dynamic load rating(radial)은

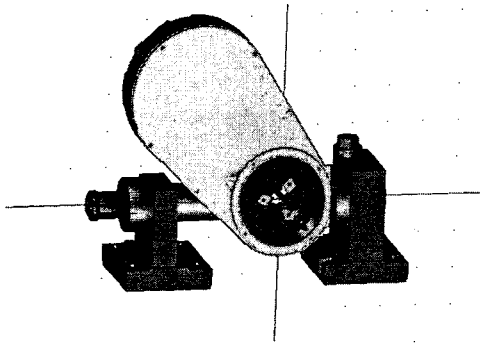
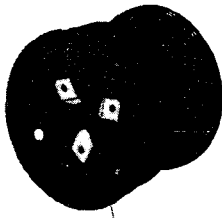
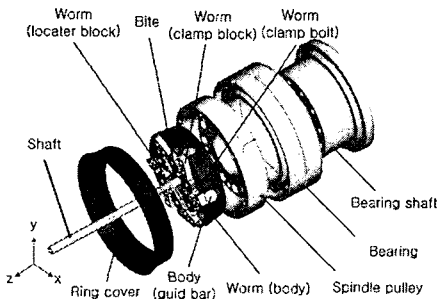


Fig. 10 Whirling unit model (ADAMS)



(a) Spindle assembly

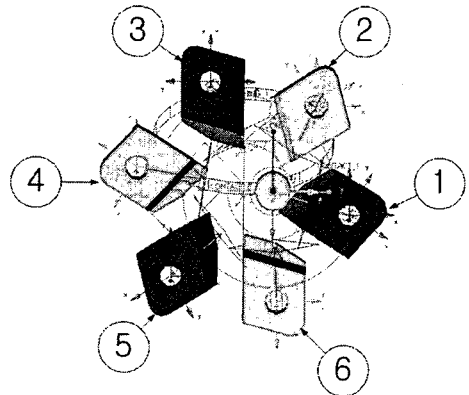


(b) Parts of spindle assembly

Fig. 11 Spindle assembly model (ADAMS)

22,000N이며, basic static loading rating(radial)은 26,000N이다. 그리고 limiting speed for grease lubrication은 14,000 1/min이며, fatigue limit load(radial)은 850N이다. ADAMS에서 베어링에 대한 모델링을 위하여 Bushing이라는 기능을 사용하였다. Fig. 12는 워링 링에 장착되는 인서트들의 형상 및 위치를 나타낸다. Fig. 12에서 1, 3, 5번 인서트는 황삭 바이트(rough cutting bite)를 나타내고, 2, 4, 6번 인서트는 사상 바이트(fine cutting bite)를 나타낸다. Fig. 13은 워밍 샤프트를 가공할 때 황삭 바이트와 사상 바이트의 워밍 샤프트 가공 깊이의 차이가 원주 방향으로 0.086mm 임을 나타내고 있다. 현재 신한정밀공업(주)에서 Fig. 14에 나타나 있는 피치각(pitch angle)이 7°인 워밍 샤프트와 피치각이 11.5°인 워밍 샤프트(1,2)를 제작하고 있는 관계로, Table 1에 나와 있는 해석 조건에 대하여 가공 시에 황삭 바이트와 사상 바이트에 작용하는 반력과 스피들(spindle) assembly에 부착되어 있는 베어링(bearing)에 작용하는 반력을 계산하였다.

베어링에 대한 해석을 위하여 ADAMS의 Bushing이라는 기능을 이용하였으며, 해석에 사용된 입력 데이터들이 Table 2에 나타나 있다. 특히 베어링의 특성을 나타내는 axial, conical, radial 값이 translational properties 값에 사용되었다. 또한 본 연구에서 개발 중인 whirling machine의 부품들에 대한 밀도와 질량이 Table 3에 나타나 있으며, ADAMS 해석에 사용되었다.



Insert 1, 3, 5 : Rough cutting bite  
Insert 2, 4, 6 : Fine cutting bite

Fig. 12 Inserts in whirling ring

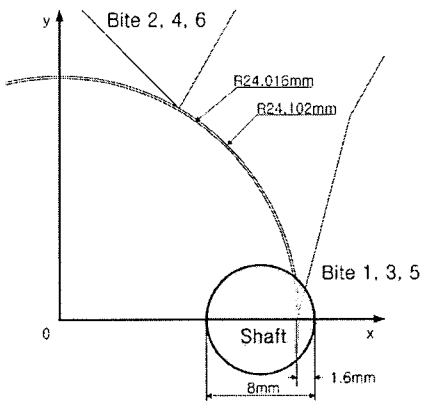
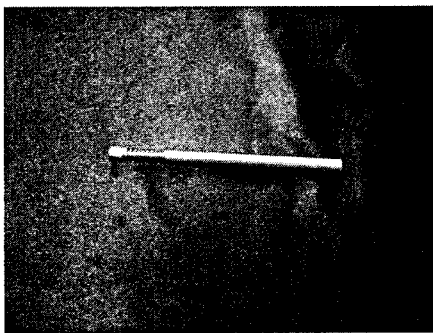
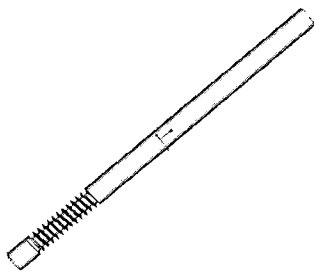


Fig. 13 Gap between rough cutting bites and fine cutting bites



(a) Real picture



(b) Three-dimensional model

Fig. 14 Worm shaft (Pitch angle 7°)

Table 1 Analysis conditions

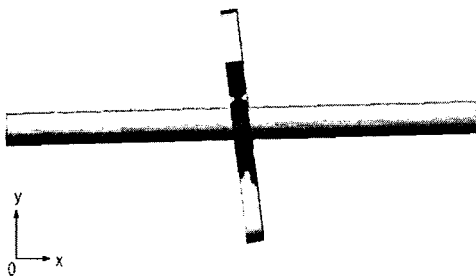
Case	Pitch angle	Moving speed	Moving direction	Cutting depth
1	7°	0.00mm/s		1.60mm
2	7°	3.75mm/s	- z-axis	1.60mm
3	11.5°	6.545mm/s	- z-axis	1.60mm

Table 2 Input data used in ADAMS analysis

Parts in Whirling unit	ADAMS Tool	Input data
Spindle		6000rpm (cw)
Shaft		100rpm (cw)
Bearing	Bushing	Stiffness (newton/mm) Translation x = (4800 * 37) y = (4800 * 37) z = (4800 * 37) Properties (x, y, z component) Damping (newton-sec/mm) x = (4.80 * 37) y = (4.80 * 37) z = (4.80 * 37)
		Stiffness (newton-mm/deg) x = (1.0E+06) Rotational y = (1.0E+06) Properties z = (0.0) (x, y, z component) Damping (newton-mm-sec/deg) x = (1.0E+03) y = (1.0E+03) z = (0.0)
Reverse action	Contact force	Impact force parameters Stiffness (newton/mm) (1.0E+5) Damping (newton-sec/mm) (100)

**Table 3** Material properties of the parts used in ADAMS analysis

Part	Density (kg/mm <sup>3</sup> )	Mass (kg)
Worm (body)	7.85E-06	6.94E-01
Worm (clamp block)	7.85E-06	9.89E-03
Worm (guide bar)	7.85E-06	1.43E-02
Worm (clamp bolt)	7.85E-06	9.89E-04
Worm (locater block)	7.85E-06	2.42E-03
Spindle pulley	7.85E-06	1.06E+00
Bearing shaft	7.85E-06	1.06E+00
Ring cover	7.85E-06	4.03E-01
Bite	1.25E-05	1.23E-02
Shaft	7.85E-06	5.66E-02

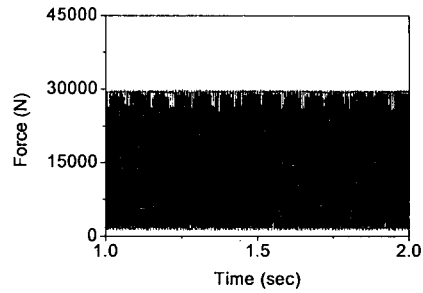


**Fig. 15** Shape of 7° declined whirling unit

3.2.1.1 Case 1

우선 ADAMS 해석 결과를 검증하기 위하여, Table 1에 있는 이송 속도가 0인 경우, 즉, 정지되어 있는 상태에서, 피치각이 7°인 워밍 샤프트를 절삭 가공할 때를 고려하였다. 가공 시작 후 1초와 2초 사이에 각 바이트 및 베어링에 작용하는 반력을 계산하였다. Fig. 15는 워밍 유닛이 7°만큼 기울어진 모습을 나타낸다.

Fig. 16은 베어링에 작용하는 반력을 나타내고, Fig. 17은 각 바이트에 작용하는 반력을 나타낸다. 예측한 대로, 황삭 및 사상 바이트에 작용하는 반력의 크기들이 거의 일정함을 알 수 있다.



**Fig. 16** Reaction force in bearing for case 1

3.2.1.2 Case 2

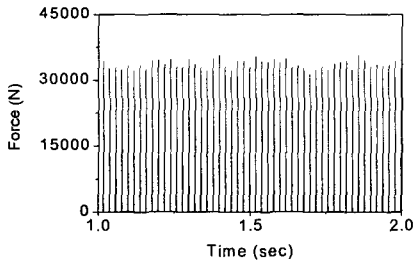
이번에는 shaft가 3.75 mm/s의 속도로 이송하면서, 피치각이 7°인 워밍 샤프트를 절삭 가공하는 실제의 가공 조건을 고려하였다. 가공 시작 후 1초와 2초 사이에 각 바이트 및 베어링에 작용하는 반력을 계산하였다. 원래는 워밍 유닛이 움직이면서 가공을 하지만, 해석상의 편의를 위하여 shaft가 움직이는 것으로 가정하였다.

Fig. 18은 베어링에 작용하는 반력을 나타내고, Fig. 19는 각 바이트에 작용하는 반력을 나타낸다. 이번에도, 황삭 및 사상 바이트에 작용하는 반력의 크기들이 거의 일정함을 알 수 있다. 즉, 개발 중인 whirling machine이 원래 목적대로 기능하고 있음을 보여주는 한 예로 판단할 수 있다.

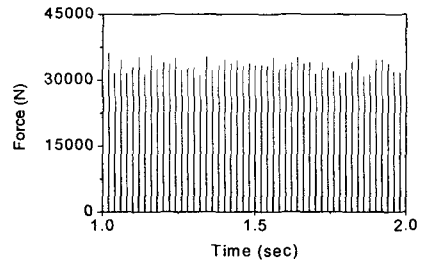
3.2.1.3 Case 3

다음으로 shaft가 6.545 mm/s의 속도로 이송하면서, 피치각이 11.5°인 워밍 샤프트를 절삭 가공하는 실제의 가공 조건을 고려하였다. 가공 시작 후 1초와 2초 사이에 각 바이트 및 베어링에 작용하는 반력을 계산하였다.

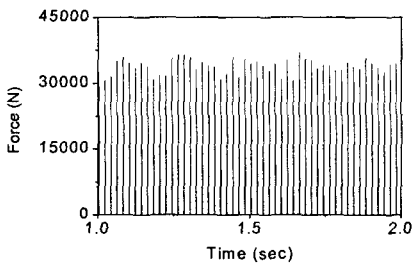
Fig. 20은 베어링에 작용하는 반력을 나타내고, Fig. 21은 각 바이트에 작용하는 반력을 나타낸다. 이번에도, 황삭 및 사상 바이트에 작용하는 반력의 크기들이 거의 일정함을 알 수 있다. 즉, 개발 중인 whirling machine이 원래 목적대로 기능하고 있음을 보여주는 한 예로 판단할 수 있다.



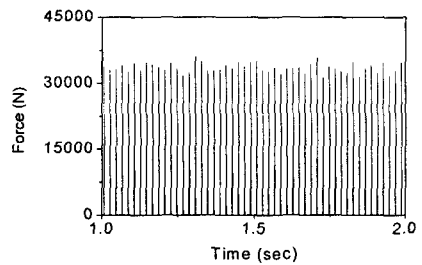
(a) Reaction force in No. 1 bite



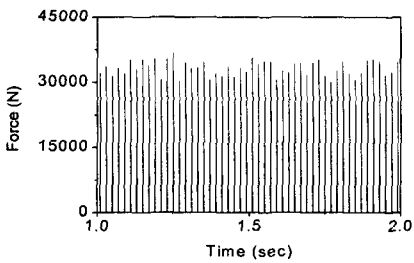
(b) Reaction force in No. 2 bite



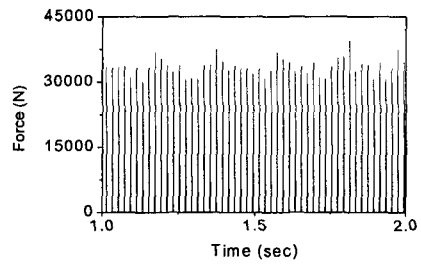
(c) Reaction force in No. 3 bite



(d) Reaction force in No. 4 bite



(e) Reaction force in No. 5 bite



(f) Reaction force in No. 6 bite

Fig. 17 Reaction force in each bite for case 1

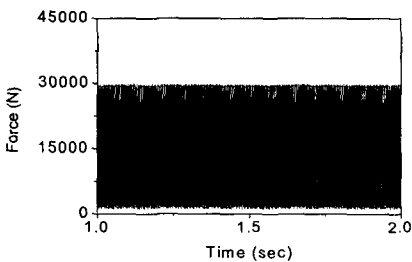
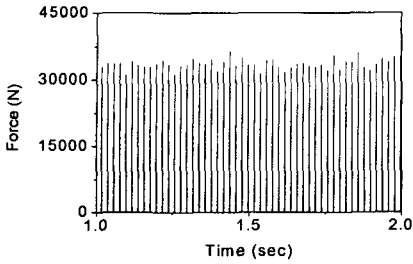


Fig. 18 Reaction force in bearing for case 2

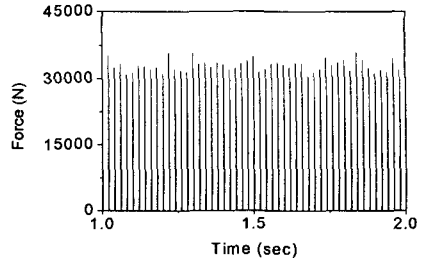
CASE 1~3 결과에서 각 바이트에 작용하는 반력들의 크기가 각 case 별로 일정하게 나타남을 알 수 있다. 또한, 베어링에 작용하는 힘도 각 case 별로 일정하게 나타남을 알 수 있다.

이러한 결과로부터, 황삭 바이트와 사상 바이트의 회전시 바이트 끝 부분에 그려지는 원주 간격이 0.086 mm의 차이가 나지만, 황삭 바이트와 사상 바이트에 작용하는 반력들의 크기에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

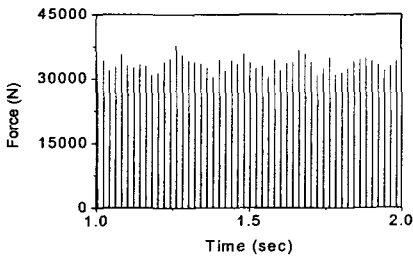




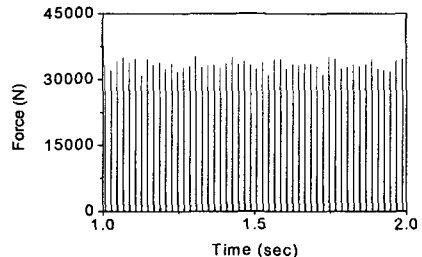
(a) Reaction force in No. 1 bite



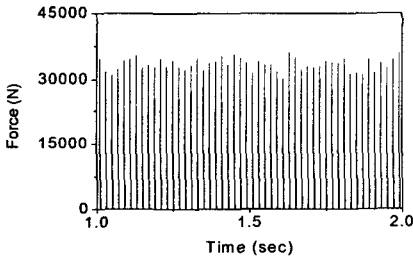
(b) Reaction force in No. 2 bite



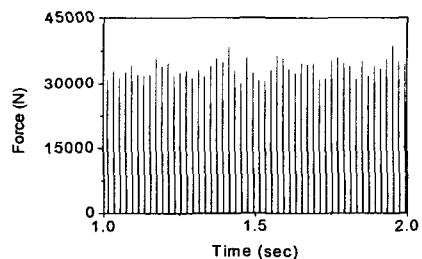
(c) Reaction force in No. 3 bite



(d) Reaction force in No. 4 bite



(e) Reaction force in No. 5 bite



(f) Reaction force in No. 6 bite

Fig. 19 Reaction force in each bite for case 2

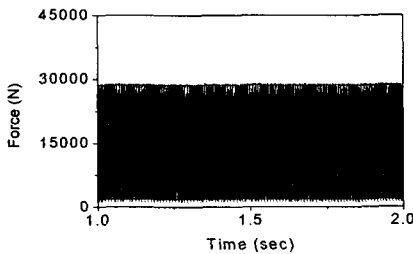
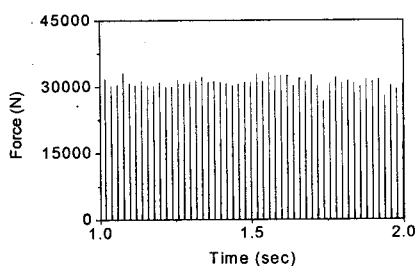


Fig. 20 Reaction force in bearing for case 3

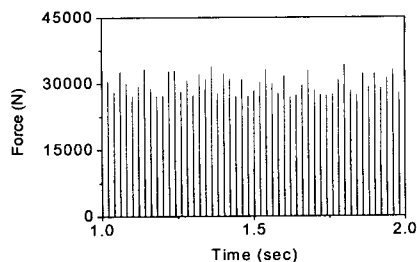
또한, 이러한 해석 결과는 본 연구에서 개발 중인 whirling machine에서의 각 바이트의 공구 수명이 거의 동일하다는 사실과 잘 일치됨을 알 수 있다.

3.2.2 웜 샤프트(worm shaft) 가공 시간

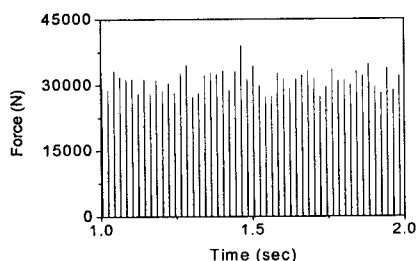
본 연구에서 개발 중인 whirling machine에서 가공되는 피치각이 7°인 웜 샤프트의 피치는 2.238 mm이고, 웜 샤프트 1개에 대한 전체 가공시간은 실가공부인 웜 부분에 대한 가공시간인 7.8 초를 포함하여, 약 10초 정도이다. 또한, 피치각



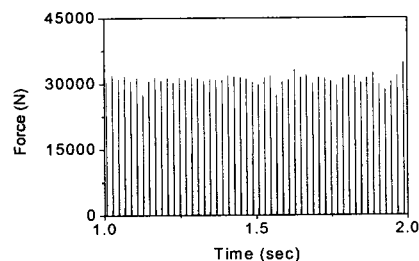
(a) Reaction force in No. 1 bite



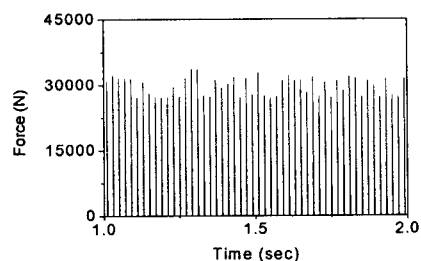
(b) Reaction force in No. 2 bite



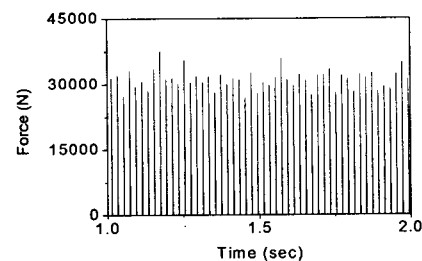
(c) Reaction force in No. 3 bite



(d) Reaction force in No. 4 bite



(e) Reaction force in No. 5 bite



(f) Reaction force in No. 6 bite

Fig. 21 Reaction force in each bite for case 3

이  $11.5^\circ$ 인 워밍 샤프트의 피치는 3.927 mm이고, 워밍 샤프트 1개에 대한 전체 가공시간은 실가공부인 워밍 부분에 대한 가공시간인 4.2초를 포함하여, 약 8초 정도이다.

여기서, 피치각에 따른 워밍 부분에 대한 가공시간은 정해져 있지만, 총 가공시간은 사용자가 소재 공급과 배출 시간을 어떻게 정하느냐에 따라 다소 달라질 수 있다. 즉, 피치각  $7^\circ$ 인 워밍 샤프트에 대해서는 10초, 그리고 피치각  $11.5^\circ$ 인 워밍 샤프트에 대해서는 8초를 기준으로 한 개의 완제품을 가공한다.

### 3.2.3 가공부의 개선 사항

우선, 기존 whirling machine 가공부가 갖는 몇 가지 문제점을 분석해 보면, (1) whirling machine의 경우 워밍 유닛을 부착하고 있는 이동장치가 설치되는데, 이 이동장치는 통상의 선반에서 공구대가 장착되는 왕복대에 해당하는 부분이 된다.<sup>(11)</sup> 그런데 통상의 선반에서 왕복대가 지면과 평행하게 좌우로 이송 가능한데 반해, 현재 상용화되어 있는 whirling machine의 경우 워밍 유닛을 부착하고 있는 이동장치가 지면과 수직하게 배치된 엘엠 가이드(LM guide) 상에서 좌우로 이

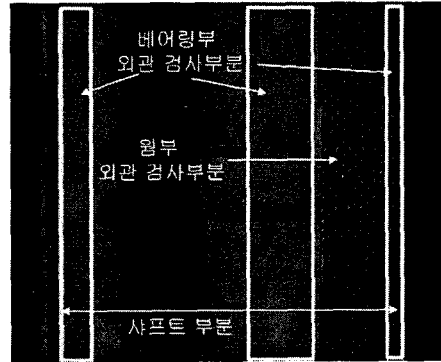
송하도록 구성되어 있어, 통상의 선반에 부착하여 사용하기가 쉽지 않다. (2) 기존 whirling machine의 워링 유닛은 하나의 지지대에 의하여 이동장치에 부착되어 있어, 장시간 작업시 워링 유닛의 부착강도 면에서 문제가 발생할 수 있으며, 부착강도가 약화되면 가공시 흔들림 또는 떨림이 발생하여 가공제품의 정밀도에 영향을 줄 수 있다. (3) 또한, 기존의 whirling machine에서 이동장치를 좌우로 이송시킬 때 이동레일로써 열 엠가이드를 사용하는데, 장시간 운전시 가이드에 열 변형이 일어나서 가공제품의 정밀도에 악영향을 줄 수 있다. 등을 들 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 앞에서의 문제점들을 개선하기 위하여, (1) 워링 유닛이 부착된 이동장치를 지면과 수평면 상에서 이송될 수 있도록 구성하여, 기존의 자동선반(CNC 선반)의 베드에 용이하게 부착할 수 있도록 하였다. (2) 워링 유닛을 이동장치에 부착할 때 2개의 지지대를 이용함으로써 작업시 흔들림 없이 안정적인 작업이 이루어지게 하였으며, 또한, 심압대의 센터부는 화살촉 모양으로 전 반부를 좁게 함으로서 워링 링의 절삭공구와 보다 근접하게 위치시킬 수 있게 하여 정밀하면서도 안정적인 가공이 가능하게 하였다. (Fig. 8) (3) 워링 유닛이 부착된 이동장치를 일반적인 선반의 베드 상에 장착하여 이송할 수 있도록 구성하되, 베드의 재질을 열 변형에 강한 미하나이트주철로 함으로써 장시간 이동장치를 사용하여도 정밀도 높은 제품을 생산할 수 있도록 하였다. 한편, 워링 링에서는 인서트 위치를 고정하고 있는 서포터(supporter)를 워링 링 몸체에 견고하게 부착시켜, 장시간 절삭작업을 수행하여도 인서트의 위치가 변하지 않고 일정하게 유지되어 정밀도 높은 작업이 지속적으로 가능하게 하였다.<sup>(4-6)</sup> (Fig. 9)

3.3 비전 검사 장비

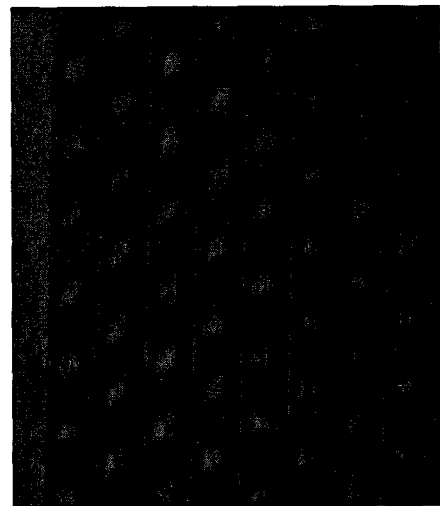
Fig. 22는 일반적인 샤프트의 외관을 보여준다. Fig. 22 (b)는 (a)의 피치각이 7°인 워밍 샤프트를 회전시키면서 line scan 카메라를 이용하여 1900개의 line 영상을 취득, 2048×1900의 해상도의 2차원 영상으로 재구성한 것이다. Line scan 카메라는 정밀한 resolution을 위해 mega pixel의 해상도를 가지며 움직이는 물체의 영상을 취득해야 하기 때문에 prograssive scan방식을 지원하는



(a) Worm shaft (Pitch angle 7°)



(b) 2-D surface image of a worm shaft



(c) Detail image of a worm shaft

Fig. 22 2-D image of a worm shaft

CV-A1 모델을 사용하였으며, 렌즈(lens)는 FOV(field of view)와 WD(working distance)를 고려하여 ML-1614를 사용하였다. 또한 grabber board는 analog방식의 카메라를 지원하는 NI1409를 사용하였다. Fig. 22 (c)는 (b)의 워밍 부분을 확대한 영상이다.

Fig. 22에서 보는 바와 같이 워밍 샤프트 불량에

대한 외관 검사는 베어링 부분 외관 검사와 워 부분 외관검사로 나뉘어 진다. 베어링 부분 외관 검사는 일반적으로 목측 검사에 의해 이루어지며, 목측이 어려운 워 부분 외관검사는 주로 측각을 이용한 검사가 수행된다. 그러나 목측과 측각에 의한 수작업 검사는 숙련된 작업자를 필요로 하며, 불량에 대한 정확하고 정량적인 측정이 불가능하여 검사 결과에 대한 100% 확신을 갖기가 어렵다. 또한 단순한 수작업에 의해 검사가 이루어지므로 불량에 대한 데이터 관리에 의한 불량 원인 규명이 어려우며, 이는 품질 향상에 있어 중요한 장애 요인으로 작용한다. 뿐만 아니라, 워 부분 외관 검사는 손톱과 손가락을 사용하는 측각 검사로 검사 작업자의 손톱이 쉽게 훼손되어 여성 작업자가 대부분인 검사 공정에 대한 불만으로도 작용하고 있다.

웜 샤프트는 모터 종류에 따라 다양한 모양과 크기를 갖고 있어 수십 가지에 달하는 제품에 대한 품질을 관리해야 한다. 더욱이 이들 품질은 생산 품목이 바뀔 때마다 함께 바뀌어져 수작업에 의한 완벽한 불량 검사는 거의 불가능하다고 할 수 있다. 그러나 워 샤프트의 워 부분 외관검사 자동화는 쉬운 일이 아니다. Fig. 22 (c)에서 보는 바와 같이 워 부분에 나타나는 절삭에 의한 여러 가지 노이즈는 외관 불량 자동 검사를 매우 어렵게 한다.

본 논문의 워 샤프트 외관 검사를 위한 비전 검사 장비는 모터 구동 기구부, 영상 취득부, 검사 알고리즘, 그리고 사용자 인터페이스의 네 부분으로 구성된다. 모터 구동 기구부는 워 샤프트를 고정시키는 기구부와 line scan 카메라 영상을 얻기 위해 스텝 모터를 사용하여 1회전 당 1000~2000 스텝으로 샤프트를 회전시키는 모터 제어부로 이루어진다. 모터 제어부는 카메라 영상 취득부와 동기화 된다. PWM 방식을 이용하여 스텝 모터(steping motor)를 제어하였으며 라인 스캔 카메라와 모터의 동기가 맞도록 라인 스캔 카메라의 동작 속도와 샤프트의 반경을 고려하여 모터의 회전 속도를 결정하였다. 모터의 제어를 위해 micro-controller인 80C196 프로세서를 사용하여 하드웨어를 구성하였으며, C언어를 이용하여 프로그램을 작성하였다.

영상 취득부는 샤프트의 영상을 취득(grabbing)하는 부분으로 조명부와 광학부로 구성된다. 샤프트는 표면이 매끄러워 일반적인 조명을 사용하면 정밀한 영상을 얻을 수 없으므로 엘이디(LED)에 의한 국부 조명 방법을 개발한다. 검사 알고리즘은 영상을 이용하여 검사작업을 수행하는 부분이다. 영상처리에 있어서 조명은 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 좋은 영상을 얻기 위해서는 빛의 반사율, 반사각, 조도 등을 고려한 설계가 필요하다. 재질이 금속인 샤프트 표면의 빛 반사를 최소로 하기 위하여 58개의 적색 엘이디(LED)를 사용하여 조명부를 제작하였다. 여러 개의 다이오드를 작동시키기 위하여 많은 전류를 필요로 하기 때문에, 전류를 증폭시킬 수 있는 ULN2003 소자를 사용하여 조명부를 제작하였다.

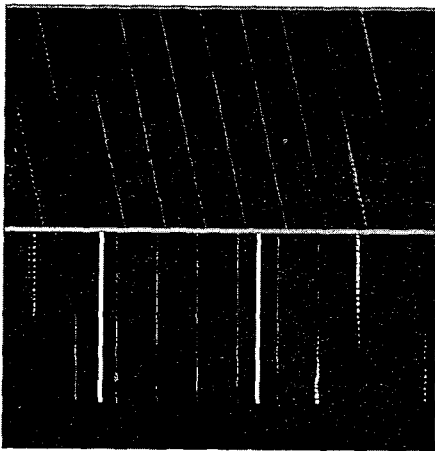
카메라는 해상도를 극대화하기 위하여 2048X1 라인 스캔 카메라 HVSOLO를 사용하였으며, 카메라 동작 모드는 다음의 세 가지로 구분된다; (1) 외부의 트리거(TRIGGER) 신호없이 사용자가 HCCT에서 입력한 라인 주기와 노출 시간에 맞추어 계속적으로 CCD 데이터를 읽어내는 Free Run Mode, (2) 외부의 EXSYNC 신호가 한번 입력될 때마다 하나의 라인 정보를 읽어내는 Ext Sync Mode, 그리고 (3) 카메라의 내부 동작 상태를 검사할 수 있는 Test Mode. 본 시스템에서는 Free Run Mode를 사용하였다.

라인 스캔 카메라를 이용하여 획득한 영상을 그래픽 카드(grabber card)를 통해 받아내어 영상처리를 수행한다. 알고리즘은 크게 이미지를 수직으로 세우고, 영상을 보정하며, 에러를 찾아내는 세 가지 과정으로 나눌 수 있다. 전처리 과정으로 영상내의 잡음을 없애고 기울어진 이미지를 세우기 위하여 LMSE 방법을 사용하여 영상의 기울기를 찾아낸 후 효율적인 영상처리를 위해 영상을 수직으로 세운다. 이미지 보정을 위하여 모폴로지와 LPF를 사용하였으며, 마스크를 이용하여 워 샤프트의 워 부분에서의 불량 부분을 찾아내었다. 영상처리 결과 얻은 영상은 다음과 같다. Fig. 23은 2개의 샘플 샤프트를 본 시스템에 적용하여 얻은 이미지들이다. 상단의 이미지가 원본 영상이며, 하단의 영상들은 에러를 찾아서 원으로 표시한 영상이다. 또한, 수직으로 굵게 표시된 선의 사이가 에러를 찾는 영역을 나타낸다. Fig. 24는 불량 검사 결과를 보여주며, (a)와 (b)는 각각 영상처리 결과와 사용자 인터페이스 화면을 나타낸다.

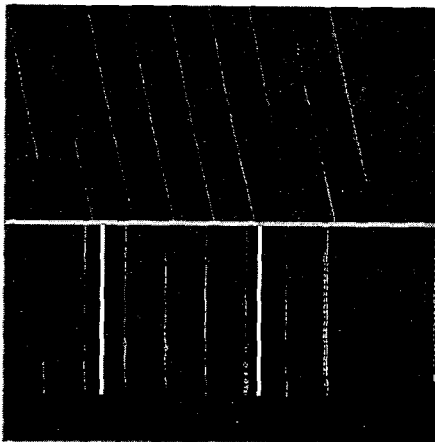
4. 결론

본 연구에서는 주로 외국 회사의 제품들 위주로 국내에 보급되어 있는 *whirling machine*을 국산화하기 위한 기본연구를 수행하였으며, 기존 *whirling machine*의 성능을 다음과 같이 개선하였다.

첫째로, 소재공급부 및 배출부에 대하여, (1) 종전의 각운동에 의하여 공작물을 공급, 배출하던 것을 직선적으로 공급과 배출이 이루어지도록 하여 구성을 간소화하였으며, (2) 공작물의 공급과 배출을 위하여 종전의 장치에 약간의 변경만을

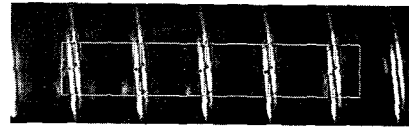


(a) Image of worm shaft 1

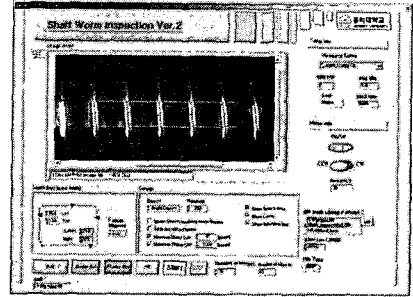


(b) Image of worm shaft 2

Fig. 23 Sample image



(a) Inspection result



(b) User interface

Fig. 24 Inspection result

가함으로써 공작물을 배출할 수 있도록 하였으며, (3) 새로 공급되는 소재에 의하여 가공이 완료된 소재가 배출되도록 하여 작업의 흐름이 끊기지 않도록 하였다.

둘째로, 가공부에 대하여, (1) 워링 유닛이 부착된 이동장치를 지면과 수평면 상에서 이송될 수 있도록 구성하여, 기존의 자동선반(CNC 선반)의 베드에 용이하게 부착할 수 있도록 하였으며, (2) 워링 유닛이 부착된 이동장치를 일반적인 선반의 베드 상에 장착하여 이송할 수 있도록 구성하되, 베드의 재질을 열 변형에 강한 미하나이트주철로 함으로써 장시간 이동장치를 사용하여도 정밀도 높은 제품을 생산할 수 있도록 하였다. 또한, (3) 워링 링(*whirling ring*)의 구조를 변경하여, 장시간 절삭작업을 수행하여도 인서트 위치가 변하지 않도록 함으로써 정밀도 높은 작업이 지속적으로 가능하게 하였다.

셋째로, 비전 검사 장비에 대하여, (1) 소규모 모듈로 이루어진 엘이디(LED) 조명 시스템을 설계하여 금속 표면의 반사를 최소화함으로써 검사에 적합한 영상취득이 가능하게 하였으며, (2) 비전 검사 알고리즘을 개발하여 목측과 촉각에 의존하던 워밍 샤프트의 워밍 부분 외관 검사를 자동화하였다. 비전 시스템과 주변기기를 결합시켜 부가가치를 높일 수 있는 장비는 무수히 많으며, 제품의 성격에 따라 알고리즘과 사용자 인터페이스

스를 수정하면 다양한 장비의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

끝으로, 본 연구에서 개발 중인 whirling machine은 시작품 제작이 완료되어 시운전 중에 있으며, 계속해서 장비의 성능 개선을 위한 연구를 진행하고 있다.

### 후 기

본 논문은 산업자원부와 한국산업기술재단의 2003년도 지역혁신 인력양성사업 지원(CN-27)에 의하여 연구되었습니다. 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

- (1) Crosher, W. P., 2002, Design and Application of the Worm Gear, New York, ASME Press.
- (2) Dooner, D. B., 1995, The Kinematic Geometry of Gearing, New York, Wiley.
- (3) Kalpakjian, S., 2001, Manufacturing Engineering and Technology, New Jersey, Prentice Hall.
- (4) Sinhan Precision Co. Ltd., 2004, "A lathe-type Manufacturing Machine with a Whirling Unit (Submitted)," Korean Patent Application No. 10-2004-0054873.
- (5) Sinhan Precision Co. Ltd., 2004, "Whirling ring in a lathe-type Manufacturing Machine Using a Whirling Unit (Submitted)," Korean Patent Application No. 10-2004-0054870.
- (6) Sinhan Precision Co. Ltd., 2004, "Unloading System for Unloading Manufactured Workpiece Continuously (Submitted)," Korean Patent Application No. 10-2004-0054875.
- (7) ADAMS/View User Manual, 2000, Version 11.0, Mechanical Dynamics.
- (8) Song, K. C., 2003, ADAMS Ver. 12 for Snalysis of Kinematics and Dynamics, Interscience.
- (9) Harris, T. A., 1984, Rolling Bearing Analysis, New York, Wiley.
- (10) Yang, B. S., 2002, Vibration in Rotating Machinery, Interscience.
- (11) Edwards, J. G., 2003, Lathe Operation and Maintenance, Hanser Gardner Publications.