머신비전을 이용한 PWM Shaft의 자동검사 시스템 개발

배진호*, 김성관⁺

(Manuscript received: Jun, 18, 2012 / Revised: Jan, 23, 2013 / Accepted: Jan, 24, 2013)

Development of an Automatic Inspection System for PWM Shaft Using Machine Vision

Jin-Ho Bae*, Sung-Gaun Kim⁺

Abstract

In this paper, in order to overcome shortcomings of manual inspection for the automotive PWM Shaft, we developed an automated inline inspection system. The automated inline inspection system consists of the work feeder unit, conveying unit, outer diameter check unit, run-out and roundness check unit, machine vision, defective separation unit and status alarm unit. We used the machine vision system for automatic inspection process and designed the inline systems for automatic feeding and selecting process. Also the repeated operation test was performed in order to verify the precision and reliability of the proposed automated inline inspection system.

Key Words : Automation system(자동화 시스템), Image processing(영상 처리), Machine vision(머신 비전), Power window motor shaft(PWM 샤프트)

1. 서론

2011년 미국자동인식협회(AIA : Automated Imaging Association)에 조사된 자료를 보면, 세계 머신비전 시장규모는 2010년 한국 시장이 1억8710만 달러의 매출을 기록했으며, 미국은 19억, 중국은 1억4020만 달러의 시장을 형성하고 있다. 작년도 대비 현재까지 전반적인 세계머신비전의 시장규모는 20~30%의 성장률을 보이고 있다. 머신비전 산업은 생산 자동화 산업의 고부가가치 창출 및 불량률 제로를 위한 획기적인 대안으로 성장을 거듭해왔다. 국내의 경우에는 머신비전 산업의 선진국인 미국이나 일본 등에 비하여 머신비전 도입 자체가 늦긴 했지만, 최근 몇 년간 다양한 산업현장에서 머신비전의 적용이 급속히

증가하고 있다⁽¹⁾.

본 논문에서 다루게 될 PWM(Power Window Motor) Shaft는 자동차 차문의 유리를 자동으로 열고 닫는 기기의 요소부품이다. 다음 Fig. 1은 PWM Shaft의 3D 모형을 나타낸다. 현재 국내 자동차용 PWM Shaft에 대한 전수검사 과정이 대부분 수동검사로 이루어져 있다. Shaft의 외경, Run-out, Roundness 항목을 수동으로 각각의 계측기 별로 검사하고, 윌기어의 치형은 샘플로 수동검사에 의존하고 있다⁽²⁾.

위와 같은 수동검사의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 머신비전을 이용한 자동검사 시스템과 각각의 수동검사로 진행되었던 부분을 통합한 Inline System을 제시한다.

* 공주대학교 대학원 기계공학과

+ 교신저자, 공주대학교 기계자동차공학부

주소: 331-717 충청남도 천안시 서북구 천안대로 1223-24

✉ Corresponding Author E-mail: kimsg@kongju.ac.kr

Fig. 1 Power Window Motor Shaft

2. 시스템 구성

2.1 하드웨어

Fig. 2는 완성품의 모습이며, PWM Shaft의 자동검사를 위한 (a)공급장치, (b)이송장치, (c)외경검사장치, (d) Run-out/Roundness 검사장치, (e)머신비전, (f)불량품 선별 장치, (g)상태 알람 장치로 구성되어 있다.

2.1.1 공급 장치

작업자에 의하여 수동으로 공급 장치에 검사대상이 담겨지면 계단식으로 만들어진 공급 장치에 의해 검사 대상이 한 개씩 차례로 계단을 따라 이송되어진다. 공급 장치를 통해 이송되어진 검사대상은 근접센서에 의해 감지가 된다. 근접센서로 감지된 검사대상은 Stopper로 한 쪽 면의 기준점을 고정하며, Pusher Cylinder로 검사대상의 위치를 결정을 한다.

2.1.2 이송 장치

이송장치는 검사대상을 각각의 검사장비로 이송시키는 역할을 한다. 이송장치에는 PWM Shaft의 크기에 맞도록 홈이 있으며 이것은 V블록과 같은 역할을 하여 이송 시, 검사대상이 움직이지 않도록 고정하여 준다. 이송장치는 Air Cylinder에 의해 상승과 이동 그리고 하강을 반복하며 정해진 피치만큼 피치 이동을시켜주는 장치이다.

2.1.3 외경검사 장치

PWM Shaft의 외경검사는 Air Micrometer를 사용하였다. 공기마이크로미터(Air Micrometer)는 길이의 미소변위를 공기의 압력, 유량 및 유속으로 변환하여 확대지시하는 측정기로서, 측정압력이 극히 작고 배율이 10만배까지 가능하여 μm 이하의 계측도 가능하다. 정도는 $\pm 10 \sim 20 \mu\text{m}$ 를 가진다.

2.1.4 Run-out, Roundness검사 장치

Run-out과 Roundness를 측정하기 위해 전자마이크로메타를

사용하였다. 전자마이크로메타는 차동변압기(LVDT Probe)구조로 Run-out과 Roundness의 정밀 치수측정에 용의하여, 차동변압기(LVDT)를 사용하게 되었다. Run-out은 제품의 편심을 측정하는 것이고, Roundness는 제품의 동심원으로 측정하고 있다. 측정범위는 $\pm 1,000 \mu\text{m}$ 이며, 측정 데이터들은 RS232 통신 Port에 의한 품질관리 데이터 전송이 가능하다⁽³⁾.

또한, Run-Out과 Roundness를 검사하기 위해서는 검사대상을 회전시켜주는 별도의 장치가 필요하게 되는데 이를 위해서 Fig. 3과 같은 Rotation Unit을 사용한다. 검사대상이 Run-out 검사부 혹은 Roundness검사부 위치에 있게 되면 제품감지 Sensor의 신호를 받아 검사 지그가 하강하여 LVDT Sensor와 검사대상물이 밀착 된다. 다음으로 검사대상물을 회전시키면서 측정에 들어가게 되고, 측정이 완료되면 검사 지그가 상승하여 원위치로 복귀하게 되어 있다. 측정이 완료되면 허용오차범위 안에 측정 결과를 만족하게 되면 양품으로 신호를 전송하고, 만족하지 못하면 불량품으로 신호를 전송하여 다음 공정의 불량품 선별장치로 이송된다.

2.1.5 머신비전

PWM Shaft의 치형검사를 위하여 NI(National Instruments)사의 Smart camera를 사용하였다.

Fig. 2 PWM Shaft Inline System

Fig. 3 Rotation System Unit

Smart camera는 이미지 센서가 부착된 산업용 컨트롤러와 비전소프트웨어가 통합이 되어 카메라에서 바로 이미지 처리가 가능한 임베디드 장비이다. 영상처리에 필요한 이미지 처리 및 머신 비전 알고리즘은 소프트웨어에서 지원되는 기능들을 이용하여 프로그램을 작성하였다.

다음 Fig. 4는 스마트 카메라를 나타내며, Table. 1은 스마트 카메라의 사양을 나타내었다^(4,5).

2.1.6 불량품 선별 장치

불량품 선별장치는 외경검사, Run-out, 머신비전과 Roundness를 통한 치형검사 및 진원도가 완료된 PWM Shaft는 허용오차범위에 따라 양호와 불량으로 분류되어 진다. 각각의 검사장비 다음 공정에 위치하며, 검사가 완료된 다음 RS232통신으로 PWM Shaft의 허용오차범위에 따라 양호와 불량신호가 전달된다. 불량품이 발생되면 상승/하강 실린더에 의해 불량품 선별 장치로 이동이 된다. 불량품 선별 장치에는 만재센서가 장착되어 일정량의 불량제품이 감지 될 경우 사용자로 하여금 만재되었다는 알람 기능을 갖추고 있다. 다음 Fig. 5는 불량품 선별 장치를 나타낸다.

Fig. 5 Defective separation unit

Fig. 6 Status alarm unit

2.1.7 상태 알람 장치

상태 알람 장치는 PLC와 연동하여 Inline System 전체적인 상태를 알려주는 장치이다. System의 문제가 없을 경우 녹색 램프가 점등되며, System Error가 발생이 되면 붉은색의 램프가 깜박이게 된다. 이때 문제를 해결하기 위하여 비상해지를 하게 되면 문제가 해결되기 전까지 황색의 램프에 불이 들어오며, 문제 해결 시, System이 안정화가 이루어져 녹색램프에 점등이 된다. 다음 Fig. 6은 상태 알람 장치를 나타낸다.

Fig. 4 Smart Camera

Table 1 Specification of Smart camera Properties

Processor	533 MHz PowerPC
System Memory RAM	128 MB
Resolution	640 × 480
Maximum Frame Rate	60 fps
Pixel depth	8-bit
Focal Length	25 mm

2.2 소프트웨어

머신비전을 이용한 PWM Shaft의 자동검사에 사용된 프로그램은 PLC(Programable Logic Controller)와 LabVIEW 소프트웨어를 사용하였다. 프로그램은 크게 PLC와 영상처리로 나뉜다. PLC프로그램은 전체적인 통합 시스템을 담당하며 영상처리 프로그램은 머신비전부분에서 Smart Camera를 이용하여 자동검사를 하게 된다. PLC프로그램은 다시 세부적으로 검사 대상의 이동 및 양불량 판정과 통신으로 나뉜다. 다음 Fig. 7은 PLC프로그램의 순서도이다.

머신비전 부분은 Smart Camera를 이용한 영상획득부터 영상처리 그리고 Clamp function을 통한 검사대상의 양불량 판단을 하여 PLC로 결과값을 전송한다. 다음 Fig. 8은 실시간 이미지를 얻는 과정이며, Fig. 9는 검사대상의 이미지로부터 정확한 검사를 하기위해 Threshold 및 Prewitt 연산자를 적용하여 필터링된 이미지이며, 이 이미지를 통하여 정확한 Edge를 검색하게 되어 있다. 그리고 Fig. 10은 최종적으로 영상 필터링이 적용된 후, 측정을 하는 과정을 나타내는 그림으로 외경 검사 부분이다. ①은 검사영역을 표시하는 것이며, ②는 가로 영역의 Edge Position을 나타내고, ③은 Edge Point를 나타내고 있으며, ④는 최종적인 Edge Line를 뜻하며, 검사 결과에 해당한다. 영상처리의 프로그램 순서도는 Fig. 11과 같다.

Fig. 7 PLC Program flow chart

Fig. 8 Real-time Image

Fig. 9 The figure of Image filtering

Fig. 10 The figure of Measurement dimensions

Fig. 11 Image processing Program flow chart

3. 실험방법 및 결과 고찰

3.1 실험방법

PWM Shaft 자동검사의 정확성 및 신뢰성 평가를 위하여 정밀측정기와 비교 검사를 통해 평가하도록 하였다. 평가에 사용된 표본은 총 5개로 5번의 반복실험을 하였으며, 외경검사에는 Laser OPTO Control(ODC2600-4G), Run-Out 측정은 LVDT DONGDO(ML-16PW5T-R1), Roundness는 3차원진원도 측정기 Mitutoyo(RA-10)를 사용한 측정결과와 비교하였다.

비전검사를 이용한 자동검사는 치형부분의 이 끝원 지름, 이 뿌리원 지름, 나사 피치를 측정하며 비교검사에 사용된 정밀 측정기는 투영기 Mitutoyo(PH-350)를 사용하였다⁽⁶⁾. 모든 부품의 허용오차 범위는 0.02mm~0.03mm를 갖는다. 다음 Fig. 12는 측정부위를 나타낸다.

3.2 결과 및 고찰

3.2.1 외경검사

외경검사에 사용된 실험표본은 총 5개로 5번의 반복 실험을 하였으며, 수동검사와 자동검사로 구분하였다. 외경검사의 결과는 다음 Table 2와 같으며, 단위는 mm로 나타내었다. 측정 결과 최대 오차는 0.01mm로 외경 오차범위를 만족하는 결과를 얻었다.

3.2.2 Run-Out검사

Run-Out검사도 외경검사와 동일하게 실험이 진행되었다.

Run-Out검사는 제품의 편심을 측정하는 것으로, Run-Out의 결과는 다음 Table 3에 나타나 있다. 검사결과 시편에 따른 차이점이 나타나 보이는데, 이는 서로 다른 시편을 사용하였기 때문에 다른 data값이 형성 되는 것을 볼 수 있다. 수동과 자동과의 차이점은 수동검사는 측정자에 따라 생기는 오차이며, 자동검사는 많은 오차가 나는 것으로 보이지만 정밀한 측정기기로 단위가 μm 이다. 측정 결과를 보면 실제 측정은 최대 오차가 0.017mm로 허용오차 범위에 만족하는 결과를 얻었다.

3.2.3 Roundness검사

Roundness검사도 외경검사와 동일하게 실험이 진행되었다. Roundness는 제품의 동심원을 측정하는 것으로, 원의 중심점으로부터의 오차를 측정하는 것이다. Roundness의 결과는 다음 Table 4와 같으며, 단위는 μm 로 나타내었다. 자동검사 결과 값에 나타난 측정 최대 오차는 0.006mm로 허용오차 범위를 만족하는 결과를 얻었다.

Fig. 12 PWM Shaft Measuring part

Table 2 Inspection data for PWM Shaft diameter

		Sample [mm]				
		1	2	3	4	5
1st	Manual	7.99	7.98	7.98	7.99	7.98
	Automatic	7.98	7.97	7.98	7.99	7.98
2st	Manual	7.99	7.98	7.98	7.99	7.98
	Automatic	7.98	7.97	7.97	7.98	7.98
3st	Manual	7.99	7.98	7.98	7.99	7.98
	Automatic	7.98	7.97	7.98	7.98	7.98
4st	Manual	7.99	7.98	7.98	7.98	7.98
	Automatic	7.98	7.97	7.97	7.98	7.98
5st	Manual	7.99	7.98	7.98	7.99	7.98
	Automatic	7.98	7.97	7.97	7.98	7.98

Table 3 Inspection data for PWM Shaft Run-Out

		Sample [μm]				
		1	2	3	4	5
1st	Manual	5	5	5	6	4
	Automatic	11	13	18	28	11
2st	Manual	2	2	2	2	2
	Automatic	15	9	5	15	14
3st	Manual	4	4	4	4	5
	Automatic	4	10	10	3	5
4st	Manual	4	4	4	4	4
	Automatic	11	4	12	8	6
5st	Manual	4	4	4	5	4
	Automatic	8	4	16	22	10

Table 4 Inspection data for PWM Shaft Roundness

		Sample [μm]				
		1	2	3	4	5
1st	Manual	8	8	2	7	7
	Automatic	5	3	7	1	5
2st	Manual	7	9	2	7	7
	Automatic	5	5	6	4	5
3st	Manual	7	9	2	7	7
	Automatic	5	4	6	1	2
4st	Manual	7	8	3	7	7
	Automatic	4	4	6	2	2
5st	Manual	7	8	3	7	7
	Automatic	5	4	7	2	6

Table 5 Inspection data for PWM Shaft Vision system

		Outer Diameter [mm]	Inner Diameter [mm]	Screw pitch [mm]
Mitutoyo (PH-350)	Sample1	7.967	4.764	2.508
	Sample2	7.979	4.759	2.518
	Sample3	7.911	4.762	2.618
	Sample4	7.929	4.69	2.467
	Sample5	7.906	4.763	2.552
Vision inspection system	Sample1	7.97	4.76	2.51
	Sample2	7.98	4.76	2.52
	Sample3	7.91	4.76	2.62
	Sample4	7.93	4.69	2.47
	Sample5	7.91	4.76	2.55

3.2.4 비전검사

비전검사도 외경검사와 동일하게 실험이 진행되었다. 비전검사의 결과는 다음 Table 5와 같으며, 단위는 mm로 나타내었다. 비전검사를 통한 외경, 내경, 나사 피치의 값이 허용오차 범위를 만족하는 결과를 얻었다.

4. 결론

본 논문에서는 PWM Shaft의 정밀측정을 각 계측기별 수동 검사에 의존하고 있는 문제점을 해결하고, 자동으로 검사하여 얻어진 결과값들의 신뢰성을 알아보기 위하여 수동검사와 비교분석한 결과값을 제시하였다. 비교분석한 결과값에서 나타나 있듯이 PWM Shaft의 허용오차 범위를 모두 만족하는 값을 얻었다. PWM Shaft 한 개의 자동검사 시간은 검사대상의 투입부터 완제품 통에 담기기까지 16초의 시간의 걸리며, 그 다음 검사대상이 나오기까지는 3.5초의 시간이 걸린다. 즉 Cycle Time은 3.5초가 소요된다. 이는 각각의 수동검사 장비로 검사할 경우 숙련자에 한해서 소요되는 시간 30초보다 검사 시간이

빠른 장점을 나타낸다. 자동으로 검사할 때의 장점은 빠른 검사 시간과 정확도에 있다. 또한 영상처리 프로그램의 시간은 2.5초의 시간이 소요되며, PLC프로그램과 기구적인 Setting을 변경할 경우 Cycle Time을 줄일 수 있다는 결론이 나오지만 빠르게 검사할 경우 검사의 정확도와 신뢰성을 입증하는 실험이 요구된다.

후 기

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2008년도 산학연협력 기업부설연구소 지원사업(No.산기연08-1-150)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- (1) AIA : (Automated Imaging Association), n.d., viewed January 2010, <www.MachineVisionOnline.org>.
- (2) Bae, J. H., and Kim, S. G., 2009, "Development of an Automotive PWM Shaft Inspection System using Machine Vision," *Proceedings of KSPE Fall Conference*, Vol. 39, No. 10, pp. 229~230.
- (3) Dong Do Tech., 2007, viewed May 2010, "Run-out User's Manual," <<http://www.dongdotech.co.kr>>.
- (4) Monthly Control Engineering & Process Control, n.d., viewed December 2007, "NI Smart Camera." <<http://www.thecontrol.co.kr>>.
- (5) National Instruments, 2008, viewed September 2009, "NI 17xx Smart Camera User's Manual," <<http://korea.ni.com/>>.
- (6) Bae, J. H., 2011, *Development of Automatic Inspection System for PWM Shaft*, A Thesis for a Master, Kongju University, Republic of Korea.