

벨로우즈방식의 정밀 나사 체결기

정규원*, 오의진**

Precision Screw Driver utilizing a Bellows

Kyu Won Jeong*, Wi-Jin Oh**

Abstract

A screw driver is widely used in assembling machine parts or electronic products such as the printed circuit board with a housing. As the parts to be assembled becomes small and precise, the higher precision of the controlling screw driver torque is required. However, because the operator controls the fastening torque based on experience, it must be inexact and the setting procedure will be time consuming job. Thus the screw driver which can exactly control the fastening torque is developed utilizing a bellows in this paper. The bellows is expanded by the inner air pressure and contracted by the spring operation. The bellows type driver is composed of a clutch mechanism with two solenoid valves and a pressure sensor. Those valves are controlled using the detected bellows pressure by the sensor. When the pressure reaches the setting value, the exit solenoid valve is opened to release the air pressure from the bellows so as not to deliver further torque. Through a series of experiments, the performance is examined and verified.

Key Words : Screw driver (나사체결기), Pneumatic bellows (공압 벨로우즈), Fastening torque control(체결력 제어)

1. 서론

나사 체결기는 기계 부품의 조립 또는 가전제품의 PCB를 조립할 때 등 다양한 분야에서 필수적으로 사용되고 있다. 조립공정에서는 생산성의 향상을 위하여 동시에 다수의 나사를 체결하는 경우가 많으며, 여러 단계의 체결 과정을 거친다. 체결성능은 제품 수명에 큰 영향을 미치기

때문에 많은 연구들이 되어 있다.⁽¹⁻³⁾ 그러나 체결과정은 나사 체결기를 이용하여 주로 자동으로 이루어지고 있다. 이러한 나사 체결기는 공압 또는 전기 모터를 이용하여 체결력을 주며, 미리 설정한 체결력에 도달한 체결기부터 동력전달을 끊도록 되어 있다. 정확하게 체결력을 제어하기 위하여 스트레인 게이지를 이용하여 체결력을 측정하는 방식, 모터에 흐르는 전류의 세기를 이용한 방식등이 있

* 충북대학교 기계공학부(jeong@cbuucc.chungbuk.ac.kr)
** 강원레일테크

다.^(4,6) 그러나 가장 많이 사용되는 것은 수동으로 작업자가 미리 새겨진 눈금을 기준하여 체결력을 설정하고 사용하는 방식이다. 이 방식에서는 스프링의 반력을 이용하여 미리 설정된 체결력 이상이 되면 동력전달이 바뀌어지도록 하는 것이다. 이 방식은 내구성은 우수하나, 기구적인 구조와 스프링의 마찰, 비선형성등으로 인하여 정확한 체결토크의 크기를 알 수 없고, 작업자가 체결기마다 일일이 조절용 링을 이용하여 직접 설정하여야 하기 때문에 작업 시간이 많이 소요되는 점이 있다. 따라서 본 논문에서는 체결력을 정밀하게 설정하고 제어하면서, 내구성이 있는 방식을 개발하고자 한다.

2. 나사 체결기의 구조 및 원리

일반적으로 조립공정에 많이 사용되는 자동 나사 체결기의 구조를 Fig. 1에 나타내었다. 모터에서 나온 회전력은 감속기어를 거쳐서 구동축으로 동력이 전달된다. 구동축과 경사압판 (pressing slope block) 사이에 볼 리테이너가 있으며 여기에 4개의 강구가 있다. 구동축과 같이 회전하는 롤러가 강구에 접촉되어 이들 강구를 회전시키면 볼 리테이너가 회전하게 되며, 종동축이 같이 회전하게 된다. 경사압판은 상하 슬라이딩 홈을 통하여 상하방향으로 움직일 수 있으며, 그 아래에 스프링이 설치되어 있어서 스프링 반력으로 지지된다. 체결 초기 과정에는 나사에 작용되는 반력이 약하므로, 롤러와 강구가 접촉되어 회전된다. 체결이 진행되면 나사에 작용되는 반력이 증가하고, 따라서 롤러와 강구사이의 접촉 반력이 증가하여 강구를 바깥 방향으로 밀어내게 되며, 동시에 경사압판이 아래쪽으로 내려간다. 계속 진행되어 강구가 볼 리테이너에서 빠지게

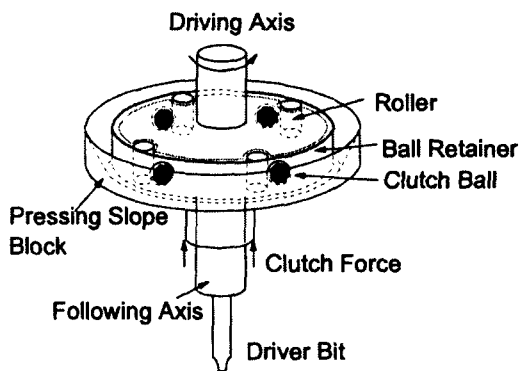


Fig. 1 Ball/Slope clutch mechanism

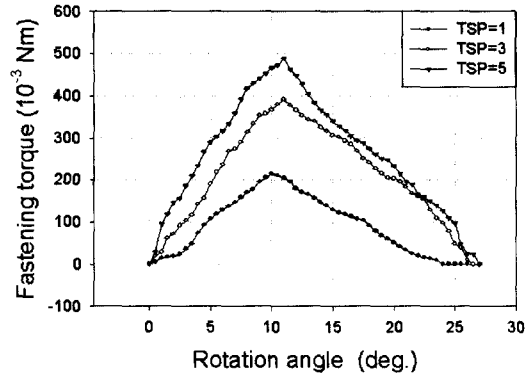


Fig. 2 Fastening torque using a conventional driver

되면 롤러로부터의 회전력을 더 이상 전달할 수 없게 되어 나사체결이 중지된다. 체결력을 조절하기 위해서는 경사압판 하부에 작용되는 반력을 조절한다.

기존의 스프링을 이용한 체결기에 대하여 구동축의 회전각도에 따라서 발생하는 체결토크를 반력토크셀을 이용하여 측정한 것을 Fig. 2에 보였다. 설정위치 (Torque set position: TSP)는 체결기에 그어져 있는 눈금을 표시한다. 초기부터 회전각도가 증가함에 따라 체결토크가 증가하며, 약 10도 부근에서 최고값에 도달하였다가 점차 작아져서 약 27도에서 더 이상 체결 토크가 전달되지 못하여 체결이 종료된다. 설정위치에 따라 최고값이 바뀌는 것을 볼 수 있으며, 작업자가 이를 기초로 설정위치를 조절한다. 회전각도에 따라 체결력의 곡선이 매끄럽지 못한데, 이는 불순물등이 롤러, 강구등의 기구부분에 있어서 마찰이 불규칙하기 때문인 것으로 보인다.

3. 벨로우즈방식 나사 체결기

기존의 스프링을 이용한 체결기의 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 공기압력에 따라 팽창 수축을 하는 벨로우즈를 이용한 체결기를 개발하였다. 여기에 사용된 벨로우즈는 스테인레스박판을 용접하여 제작한 것으로, 내외 2중 구조를 갖도록 하였으며, 중공부분으로 드라이버의 종동축이 지나도록 하였다. 사용된 벨로우즈의 규격은 Table 1과 같다. 내측 벨로우즈의 내경은 15 mm, 외경 23 mm, 외측 벨로우즈의 내경 25 mm, 외경은 45 mm이며, 설계의 기본 특성을 실험으로 검증하였다. 또한 벨로우즈를 기존의 스프링 대신에 체결력 조절용으로 사용하

Table 1 Specifications of the Bellows

Terms	Value
Inside Bellows	(ID15, OD23)x0.12x24sheet
Outside Bellows	(ID25, OD45)x0.25x12sheet
Travel	5 mm
Free length	35.0 mm
Pressure	(0~5)x 9.8×10^4 N/m ²
Material	SUS304 Heat Treatment
Spring Constant	36.064×10^3 N/m
Effective area	6.78 mm ²
Maker	Valqua Seiki

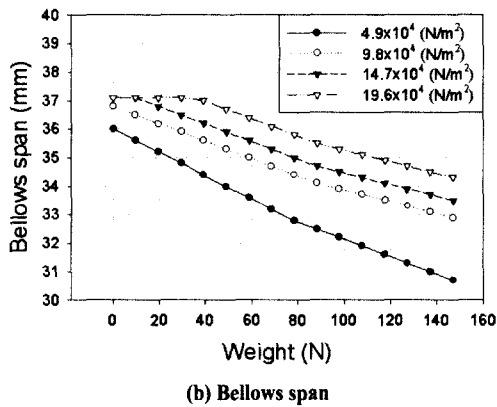
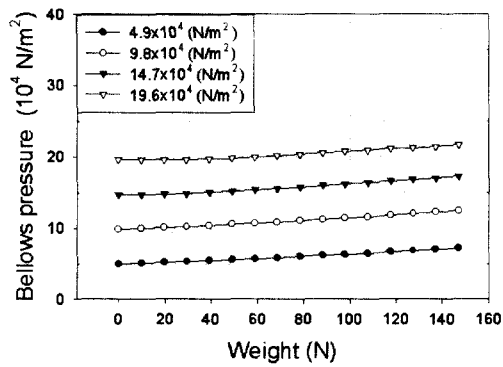


Fig. 3 Behavior of the bellows

기 위하여 그 특성을 시험하였다. 벨로우즈를 체결기에 설치할 경우와 같은 구성과 조건을 가정하여 벨로우즈내의 압력과 작용되는 외력의 변화에 따른 내부 압력의 변화,

신축 길이의 변화를 보았다. 벨로우즈의 유효단면적은 6.16×10^2 mm² 이며, 압축공기를 넣지 않은 상태의 벨로우즈의 길이는 35.7 mm 이다. 클러치 동작을 하기 위해서는 여유길이가 필요하기 때문에 기구적인 형상을 고려하여 압축공기를 넣었을 때 37.1 mm 가 되도록 설치한다. 이 상태에서 공기를 넣고 밸브를 막아서 초기 압력을 갖도록 하고, 벨로우즈 위에 추를 놓아서 힘을 가하면서 벨로우즈내의 압력의 변화를 측정하여 Fig. 3에 보였다. 이 그림에서 보듯이 초기압력이 4.9×10^4 N/m² 에서 19.6×10^4 N/m² 의 모든 경우에 하중이 증가함에 따라 내부 압력이 단조 증가하는 것을 볼 수 있으며, 거의 선형적이다. 또한 벨로우즈의 길이 변화를 보면, 압력이 0 N/m² 과 9.8×10^4 N/m² 의 경우에는 초기의 길이가 37.1 mm 가 되지 못하여 기구적으로 경사압판을 받쳐 주지 못하고 있으며, 압력이 14.7×10^4 N/m² 와 19.6×10^4 N/m² 일 때는 기구적인 한계까지 팽창하고 있다. 그러나 모든 경우에 하중이 증가하면 길이가 점점 수축되는 것을 볼 수 있다. 따라서 체결이 진행되는 중에 벨로우즈는 스프링 역할을 할 수 있으며, 더욱이 내부압력이 증가하기 때문에 이를 이용하여 체결력을 제어할 수 있음을 알 수 있다.

위의 특성을 이용하여 Fig. 4와 같이 나사 체결기를 구성하였다. 이를 Fig. 5의 순서도에 따라 동작시키면 소기의 원하는 체결력을 갖도록 할 수 있다. 이 그림을 이용하여 동작순서를 설명하면 다음과 같다. 첫 단계로서 압력 조절기를 이용해서 초기 공압을 조절한 후 입구 솔레노이드 밸브를 작동시켜 압축공기를 벨로우즈에 들어가게 한 후, 입구 솔레노이드 밸브를 닫아서 일체의 공기 출입이 없게 한다. 이후 모타를 구동시키면서 체결을 진행한다. 이 과정에서 체결력 제어는 두 가지 방법으로 할 수 있다.

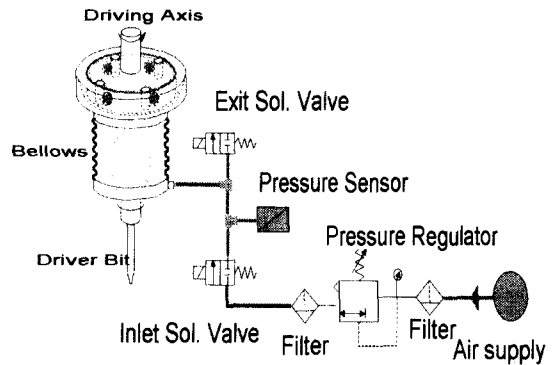


Fig. 4 Screw driver set using bellows

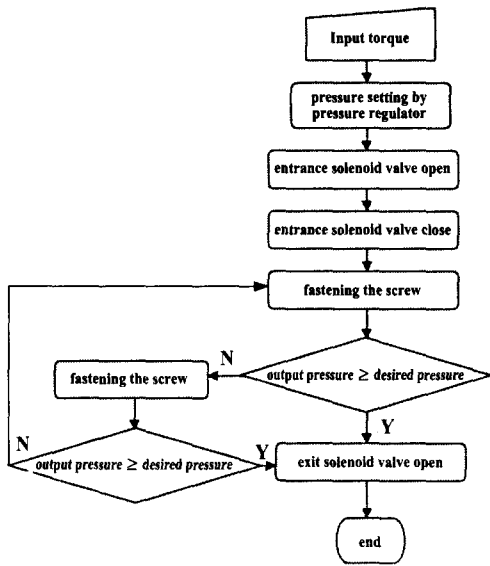


Fig. 5 Flowchart for the bellows screw driver controller

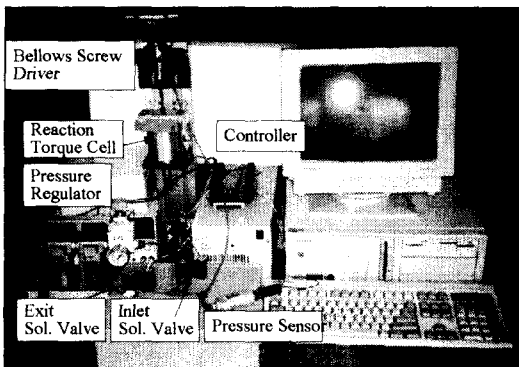


Fig. 6 Experimental setup for the bellows screw driver

첫 번째 방법은 체결을 시작하기 전에 출구 솔레노이드 밸브가 닫혀있는 상태에서 벨로우즈에 주는 초기공압에 의하여 결정되는 것으로서, 벨로우즈가 밀폐되어 있는 상태에서 체결을 진행하여 경사압판이 최저점으로 내려왔을 때 즉 기구적으로 강구가 리테이너에서 이탈되었을 때 끝나게 되는 것이다.

두 번째 방법에서는 앞의 방법을 따라서 체결을 진행하면서, 압력센서를 이용하여 벨로우즈내의 압력을 측정한다. 이 압력이 기준값 이상이 되면 출구 솔레노이드를 열

어서 벨로우즈내의 공기를 방출한다. 첫 번째 방법에서는 체결토크가 벨로우즈내의 초기 압력에 따라 결정되는 반면, 두 번째 방법에서는 측정된 내부 압력을 이용하여 임의의 체결 토크를 설정할 수 있다.

4. 나사 체결 실험

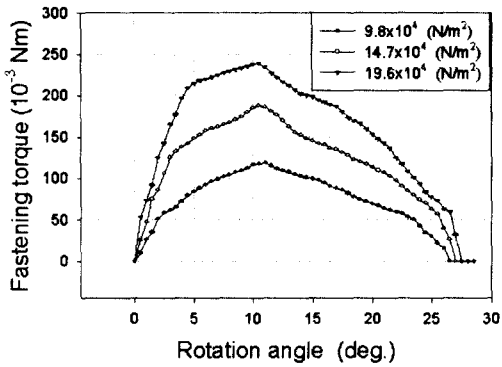
Fig. 6에 본 논문에서 사용한 실험장치를 보였다. 벨로우즈 스크루 드라이버 위에는 회전각도를 측정할 수 있도록 각도기가 설치되어 있고, 아래쪽 드라이버 비트는 판재에 나사를 체결할 수 있도록 하였다. 판재 아래에 반작용 토크 셀을 설치하여 체결 토크를 측정하였다. 이 토크 셀의 사양은 Table 2에 보였다.

첫 번째 방법을 사용할 때의 체결토크의 변화를 Fig. 7에 보였다. 그림에서 보면 체결력이 작용하기 시작하여 약 3도가 지나면 체결력 증가율이 둔화되며, 약 10도에서 최대값에 도달하고, 그 후 점점 감소하여 약 27도에서 체결력이 더 이상 전달되지 않는다. 이때가 강구가 리테이너에서 이탈될 때이다. 전체적으로 Fig. 2에서 보인 것과 같은 경향을 보이며, 벨로우즈내의 초기압력에 따라 체결토크의 최대값이 결정되는 것을 알 수 있다. Fig. 7 (b)는 Fig. 7 (a)와 동시에 측정한 것으로 회전각도에 따라서 벨로우즈 내의 압력의 변화를 보여준 것이다. 회전각도가 증가함에 따라 경사압판이 내려옴으로 압력이 점차 증가하고, 강구가 이탈되어 체결이 끝나면 압력이 초기상태로 되는 것을 알 수 있다.

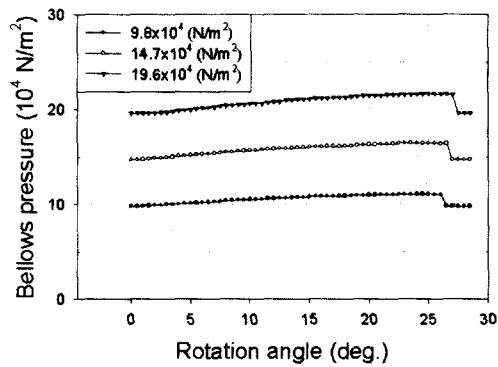
두 번째 방법을 이용하여 체결 실험을 하였을 때 결과를 Fig.8에 보였다. 이 실험에서는 Fig.7의 실험 결과로부터 체결토크와 압력의 관계를 찾아서 체결토크에 해당하는 압력에 도달할 때 출구 솔레노이드 밸브를 열어 압축공기를 방출시킨 것이다. 이 실험에서는 목표 체결토크는 $98 \times 10^3 \text{ Nm}$ 일 때이며, 세 가지 초기압력의 결과를 보

Table 2 Specifications of the torque cell

Terms	Value
Type	Reaction Torque Cell
	Strain gage
	350Ω, Full Bridge
Capacity	4.9 Nm
Max output	5.003V
Maker	Power Engineering Co.



(a) Fastening torque of the bellows type driver



(b) Pressure for the bellows type driver

Fig. 7 Experimental results of the bellows screw driver for the various bellows pressure

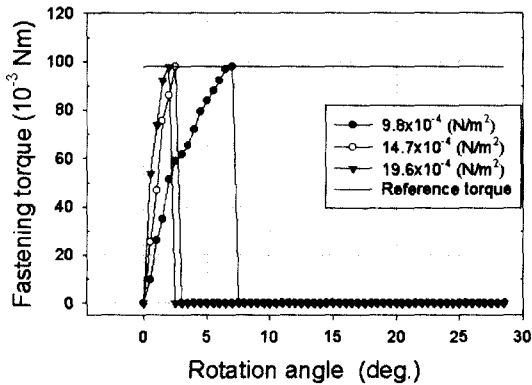
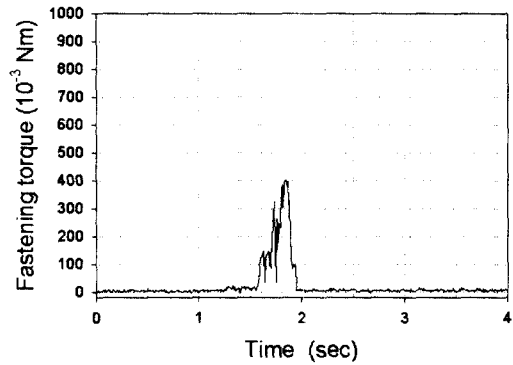


Fig. 8 Fastening torque control with the bellows type driver

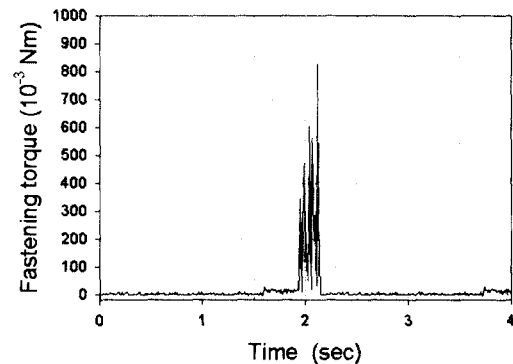
여준다. 모든 경우에 정확한 체결토크를 설정할 수 있으며, 초기압력이 증가할수록 조기에 설정토크에 도달한다.

구동모터를 이용하여 체결할 때의 체결결과를 알아보기 위하여 실제 체결과정과 같이 실험을 하였다. 또한 이를 기존의 스프링을 이용한 체결기의 경우와 비교하였다. Fig. 9는 기존의 Delvo 3131나사체결기를 사용하여 체결할 때의 체결토크를 반작용 토크셀을 이용하여 측정한 것을 보여주고 있으며, (a)는 TSP=1 인 경우로 체결토크가 $392 \times 10^{-3} \text{ Nm}$ 를 나타내고 있고, (b)는 TSP=3 인 경우로 체결토크는 약 $490 \times 10^{-3} \text{ Nm}$ 이다. 두 경우 모두 체결토크의 변화를 보면 체결력이 작용하는 시간이 길고, 체결과정의 체결력이 고르지 못하다. 이는 체결되는 제품에 불규칙한 충격이 가해지고 있음을 말한다.

Fig. 10은 본 논문에서 개발된 벨로우즈를 이용하여 체결했을 경우로서, Fig. 5의 과정을 따라서 실행되었다. 설

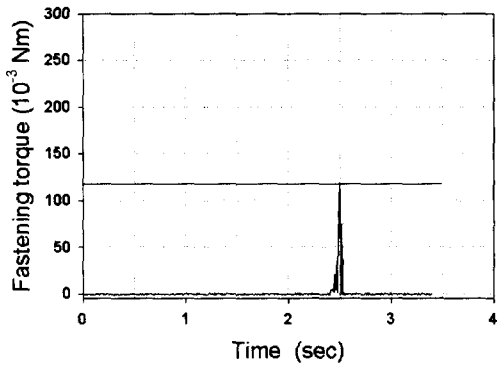


(a) Torque set position: 1

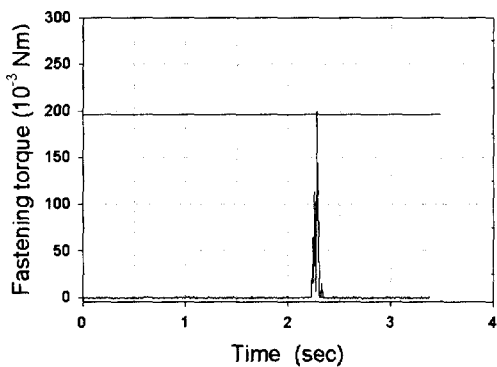


(b) Torque set position: 3

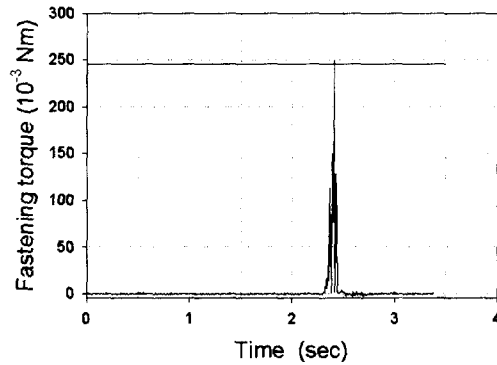
Fig. 9 Fastening torque of spring type screw driver



(a) Bellows pressure: $9.8 \times 10^4 \text{ N/m}^2$



(b) Bellows pressure: $14.7 \times 10^4 \text{ N/m}^2$



(c) Bellows pressure: $19.6 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

Fig. 10 Fastening torque of bellows type driver

정 체결력은 각각 Fig. 10 (a)는 $117.6 \times 10^3 \text{ Nm}$, (b)는 $196 \times 10^3 \text{ Nm}$, (c)는 $245 \times 10^3 \text{ Nm}$ 일 경우이며 모두 기온이 14°C 일 때다. 모두 체결이 정확하게 이루어졌으며, 체결

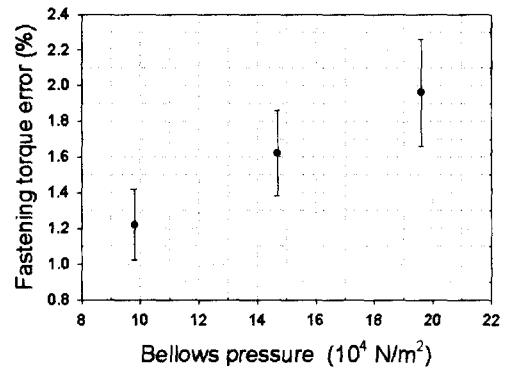


Fig. 11 Error distribution for the fastening torque of bellows type screw driver

과정도 짧은 시간에 끝났다. 이는 체결제품에 충격을 가하지 않고 체결이 이루어졌음을 알 수 있다. 본 논문의 드라이버는 압축공기를 사용하므로, 이는 기온의 영향을 받을 수 있기 때문에 다양한 기온에서 실험을 하였다. Fig.11은 앞의 Fig. 10의 실험을 기온이 14°C 에서 20°C 일 때 수행하여 얻은 결과를 표시한 것으로 체결 토크 오차는 약 2.5% 이내임을 알 수 있다. 이로써 본 논문의 방법이 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 단지 작업자의 경험 값으로 조절하는 자동 나사 체결기의 클러치 및 회전 토크 특성을 분석하였고, 내부 공기압력에 따라 수축·팽창하여 스프링 역할을 할 수 있는 벨로우즈를 설계하여 제작하고, 이를 이용하여 나사 체결기를 개발하였다. 또한 체결기의 체결 토크를 원격에서 토크조절신호를 이용하여 정밀하게 제어할 수 있는 기법을 개발하고, 일련의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 이중 벨로우즈를 이용하여 기존의 스프링을 이용한 체결기를 대체할 수 있는 체결기를 개발하여 기존의 체결기보다 더욱 자동화된 것을 개발하였다.
- (2) 체결력 제어기를 이용하여 체결 실험한 결과 입력된 토크에 대응되는 회전 토크를 얻을 수가 있었고, 실제 체결실험에서는 체결토크가 입력된 토크 값에 비해 약간 크게 나왔으며, 오차는 2.5% 이내로 양호한 결과를 얻을 수가 있었다.

- (3) 벨로우즈 클러치를 다양한 실내기온에서 수행한 실험에서 기온은 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 송준혁, 김종규, 강희용, 양성모, "체결력에 따른 볼트 결합부의 접촉응력분포계수 평가", 한국공작기계학회지 제8권 제2호, pp. 73~79, 1999.
- (2) 손승요, 신근하, 홍민성, "TC 볼트의 스트리핑 메카니즘에 대한 실험적 연구", 한국공작기계학회지 제9권 제1호, pp. 111~118, 2000.
- (3) S. S. Malek, Y. J. Chiang and J. E. Mason, "Multi-variable effects on an automatic screw-torquing process", J. Manuf. Syst., Vol. 12, No. 6, 1993.
- (4) L. Seneviratne, "On the use of mechatronics for intelligent screw insertions", Proc. of IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Vol. 1, Nov.18~21, Hawaii, pp. 193~198, 1996.
- (5) R. F. Wolffenbuttel and J. A. Forester, "Noncontact capacitive torque sensor for use on a rotating axle", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 22, pp. 82~88, 1989.
- (6) J. D. Turner, "The development of a thick film non-contact shaft torque sensor for automotive applications", J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol. 22, pp. 82~88, 1989.