

외과 수술용 Air-Powered Handpiece 개발

윤길상[#], 이영훈*, 허영무*, 서태일**, 최길운***

Development of Air-powered Handpiece for Surgical Operation

Gil-Sang Yoon[#], Young-Hoon Lee*, Young-Mu Heo*, Tae-Il Seo**, Gil-Un Choi***

ABSTRACT

The purpose of this paper is concerned with a development of an air-powered handpiece for surgical operation. The handpiece is the tool of surgical instruments and it can be used to interchange multiple attachments for drilling, pinning, sawing, driving screws and reaming. Most of domestic medical instruments bring in overseas and the air-powered handpiece imported from foreign countries at 100% too. Therefore we develop new air powered handpiece. we research in 2D and 3D modeling, design of air line, analyze structure. The air-powered handpiece composes of body, power supply air-line, elements for mechanical power transmission, attachment, and surgical tools. The handpiece is developed by several processes that 3D design, machining, heat treatment and coating. The developed handpiece is experimented to confirm check the efficiency.

Key Words: Air-powered Handpiece(공압식 핸드피스), Attachment(공구교환용 연결장치), surgical instrument(의료기기), surgical tool(수술용 공구)

1. 서 론

일반적으로 국내의 의료시장은 대부분은 해외 업체에 의존하고 있으며, 외과 수술용 의료기기 또한 예외는 아니다. 현재 국내 업체들의 점진적인 시장 진출이 이루어지고 있지만, 아직 절대적으로 미흡한 실정이다. 본 연구에서 개발한 공압식 핸드피스(air-powered handpiece)는 외과 수술용 기기로, 주로 뼈를 절단하거나, 다듬질, 구멍을 내는데 사용된다. 산업용 핸드 드릴과 유사하지만 인체의 뼈를 가공한다는 점에서 다른 사용 용도를 가지고 있다. 이 수술용기기 또한 몇 개의 해외업체가 국내 시장에 100% 보급하고 있기 때문에 소비자인 병원에서는 고가의 핸드피스를 구입하고

있다. 또한 기기의 보수와 수리에 소요기간 많이 요구되기 때문에 국내 병원에서는 필요 이상의 핸드피스를 구입하여 보유하고 있어야 하는 부담을 가지고 있다. 핸드피스는 동력원의 종류에 따라 공압식, 전동식, 충전식이 분류할 수 있으며, 국내에도 세 종류 모두 보급되고 있다. 공압식은 소음과 진동이 다른 방식에 비해 떨어지는 단점을 가지고 있으며, 충전식은 회전력이 일정하지 않고 유동적이라는 단점을 가지고 있다. 그리고 전동식은 다른 핸드피스에 비해 기술적인 요구사항이 다른 방식에 비해 많다. 전동식과 공압식은 동력을 공급하는 데 있어 동력 공급 라인이 있기 때문에 수술시 활동 영역에 제한을 줄 수 있어 다소 불편한 점이 있지만, 병원에서 가장 선호하는 방식이

[#] 접수일 : 2003 년 8 월 4 일; 게재승인일 : 2004 년 1 월 9 일

* 교신저자 : 한국생산기술연구원(KITECH), Tel : 032-570-7174

E-mail : seviaygs@kitech.re.kr

* 한국생산기술연구원(KITECH)

** 인천대학교 기계공학부

*** (주)태연메디칼

다. 현재 국내에서는 의용 로봇, 인체 측정, 보철 기기, 수술용 기기 등 의료기기 개발에 공학, 의학 관계자 참여가 지속적으로 늘어나면서 연구가 활발히 이루어지고 있다.^{[1][4]} 공압식 핸드피스는 외형을 비롯한 요소설계(design), 해석(analysis), 제작(machining), 요소 열처리(heat treatment), 코팅(coating), 시제품 테스트(operating test)의 단계를 거쳐 개발되었으며, 현재 ㈜태연메디칼에서 국내 시장에 홍보 및 보급을 준비하고 있다.

2. 공압식 핸드피스 설계와 구조

핸드피스는 외과 수술에 있어 장시간 사용되기 때문에 되도록 다루기 편하고, 가볍게 설계해야 한다. Fig.1 는 국내에 보급되고 있는 외국 제품을 나타낸 것으로, 해외 업체가 제작한 핸드피스는 비교적 무겁고, 손잡이 부분이 일자형이며, 외국인의 체형에 적합하게 손잡이 부분이 대체로 길다. 어떤 제품은 조작 레버가 작업하는 손이 아닌 반대편 손으로 작동하게 되어 있어 다소 불편함이 있다. 본 연구를 수행하기 위해 국내에 보급하고 있는 다른 제품을 평가한 후 제품 외형 설계시 다음과 같은 사항들을 반영/고려하였다.

- (1) 전장의 길이를 되도록 작게 하였다.
- (2) 각 요소는 적당한 강도를 유지할 수 있으며, 되도록 가벼운 재질을 사용하였다.
- (3) 작업하는 손으로 기기의 모든 조작이 가능하게 설계하였다.
- (4) 손잡이(grip) 부분을 동양인의 신체에 맞추어 설계하였으며, 잘 움켜질 수 있도록 손가락이 움켜지는 모양을 반영하여 설계하였다.

Fig.2 는 위의 항목을 고려하여 설계한 핸드피스이다. Fig.2 에 나타난 것과 같이 회전/감속 스위치를 작업하는 손으로 조작할 수 있도록 적당한 위치에 설계하였으며, 손잡이 모양과 크기도 내국인의 체형에 맞게 설계하였다. 전장의 길이는 타 제품에 비해 가로 3-5cm, 세로 4-7cm 정도 작게 설계하였다. 이는 수술시 한 손으로 기기를 운영할 수 있도록 하기 위해서이다. 개발된 핸드피스는 크게 몸체(body), 작동 레버 및 스위치(operating trigger, switch), 공구 교환용 연결장치(attachment), 기계 요

소(mechanical transmission elements)로 구성되어 있으며, 각 부분을 별도로 설계/제작하였다.

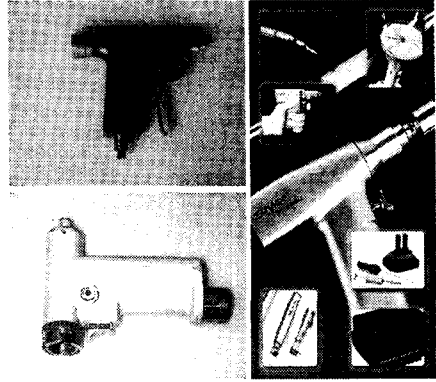


Fig.1 The manufactured handpieces by overseas companies

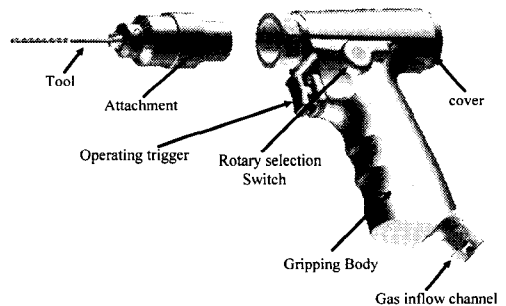
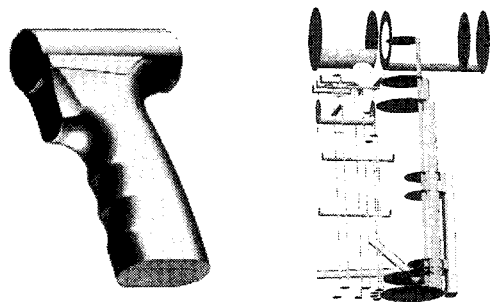


Fig.2 The air-powered handpiece design & structure



(a) Body design

(b) Air supply line design

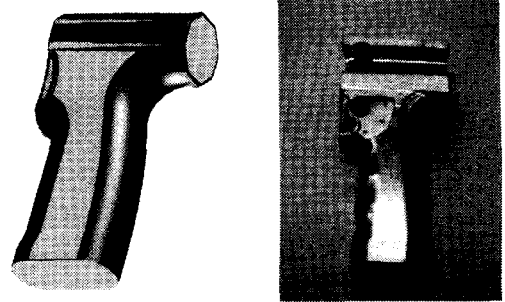
Fig.3 The Body & air supply line design

2.1 몸체 설계 & 구조 해석

몸체의 설계는 크게 외형과 동력원이 공압 라인으로 구성되어 있다.(Fig.3) 또한 몸체 안쪽에는 공압모터, 기어, 샤프트(shaft), 하우징(housing) 등 기계 요소들이 자리하고 있으며, 기계요소 내부와 주변에는 동력원인 공압이 유입된다. 압축공기는 공기와 질소를 사용하며, 일반적으로 수술시 간염을 고려하여 질소 사용을 권장한다. 본 핸드피스의 일반 압축력(normal operating pressure)을 700kPa로 설계되었다. 몸체는 밀폐성과 소음을 고려한 설계가 필요하다. 내부의 공압 유입 라인은 Fig.3(b)와 같이 설계하였다. 공압 라인은 비교적 핸드피스의 크기와 내부의 기계요소를 고려하여 설계되었다. 각 부의 기계가공에 있어서는 몸체 외형은 정밀도에 크게 영향을 받지 않은 곳으로 판단하여 공차를 $\pm 0.1\text{mm}$ 로 하였으며, 내부의 라인은 $\pm 0.01\text{mm}$ 로 설계 및 제작하였다. 몸체의 소재는 비교적 가벼운 Al 계열을 사용하였으며, 기계가공 후 인체에 접할 수도 있는 부분이기 때문에 코팅 작업을 하였다. 그리고 몸체 설계는 ThinkDesign 를 이용하여 3D 로 설계하였으며, 설계된 3D 데이터를 기반으로 역학적인 판단과 안정성 여부를 검토하기 위해 Fig.4(a)와 같이 구조 해석을 수행하였다. 구조해석 결과 몸체 상단 커버(cover)와 손잡이 부분의 중심부에 응력이 집중되는 것을 알 수 있다. 이는 커버와 손잡이 내부에 중공이 있어, 다른 부분에 비해 비교적 두께가 얇기 때문이다. 그러나 역학적으로 집중하중을 받는 곳이 아니기 때문에 크게 우려할 정도는 아니라 판단하였다. Fig.4(b)는 설계와 해석 결과를 이용하여 기계가공을 수행하여 제작한 핸드피스 몸체이다.

2.2 구동부 설계

제작한 핸드피스는 정/역회전과 1/2 감속기능을 가지고 있다. 이는 회전조작 스위치(rotary selection switch)에 의해 조작되며, 회전력은 공급되는 압축공기에 따라 다르게 설계되어 있다. 이는 공급되는 압축공기의 압력이 출력 힘에 직접적인 연관이 있기 때문이다.(식(1),(2)) 핸드피스는 인체의 뼈에 와이어 작업, 드릴, 절단(sawing), 다듬기(reaming) 등 다양한 작업을 수행한다. 그러므로 정/역회전 기능이 필수적으로 필요하며, 속도의 변화도 필요하다. 그러나 핸드피스가 다양한 속도의 변화가



(a) The structure analysis (b) The body machining
Fig.4 The analysis & manufactured handpiece body

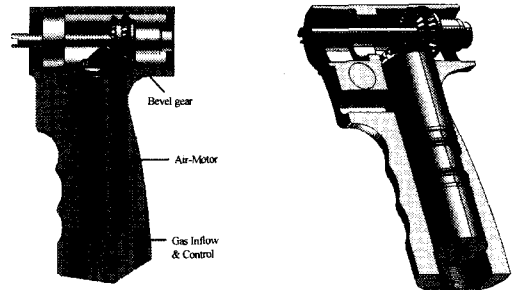
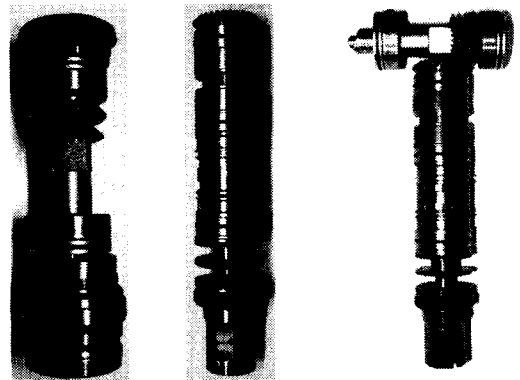


Fig.5 The power transmission elements design



(a) The top elements (b) The lower elements (c) The assembled elements
Fig.6 The manufactured power transmission elements

외과의(外科醫)에게 수술 작업에 불편을 줄 수도 있기 때문에 개발된 핸드피스는 1/2 감속기능만을 고려하여 설계하였다. Fig.5 는 동력원의 기계 전달 구조를 설계한 것이며, Fig.6 는 제작된 각 동력 전

달 요소와 이를 결합한 구조를 나타낸 것이다. 하단부 내부에 공압모터가 자리하고 있다. 구동부는 정격 토크(torque)와 회전수(RPM)를 구현할 수 있는 구동/구동 전달 부품을 설계/제작하였다. 개발된 핸드피스의 실제 출력 토크는 드릴의 경우 4.3N·m 이며, 리머의 경우 15.01N·m 이며, 회전수는 Table.2 와 같다. 구동부의 실제 출력 힘(actual force)은 식(3), (4)을 이용하여 구할 수 있으며, 구동부의 공기 소비량은 식(5), (6)을 이용하여 구할 수 있고, 이를 설계에 반영하였다.

$$F_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot P \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot P \quad (2)$$

$$W_1 = \mu_1 \cdot F_1 \quad (3)$$

$$W_2 = \mu_2 \cdot F_2 \quad (4)$$

$$Q = \left(\frac{L \cdot \pi}{4 \cdot D^2} + \frac{L \cdot \pi}{4 \cdot (D^2 - d^2)} \right) \cdot N \cdot CR \quad (5)$$

$$Q = \left(\frac{\pi}{4 \cdot D^2} + \frac{\pi}{4 \cdot (D^2 - d^2)} \right) \cdot L \cdot (P + 1.033 \cdot N) / 1000 \quad (6)$$

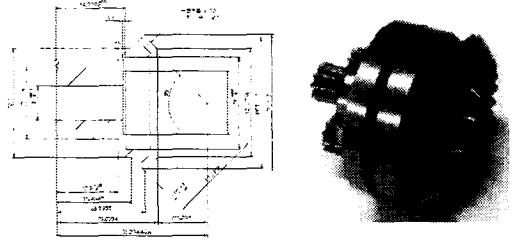
- F_1 (kgf) : output force of cylinder to forward.
- F_2 (kgf) : output force of cylinder to backward.
- W_1 (kgf) : actual force of cylinder to forward.
- W_2 (kgf) : actual force of cylinder to backward.
- μ_1 : pressure factor of cylinder to forward.
- μ_2 : pressure factor of cylinder to backward.
- D (cm) : inside diameter of tube.
- d (cm) : diameter of cylinder rod.
- P (kgf / cm²) : pressure factor of cylinder to backward.
- Q (l / min) : air volume, L (cm) : stroke
- N (rpm) : RPM, CR : compression ratio

2.3 요소 설계

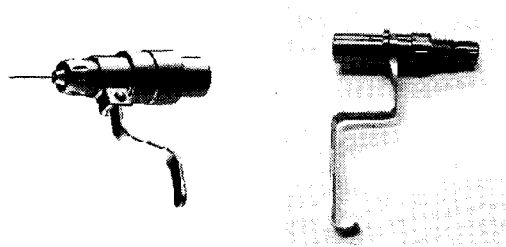
핸드피스에 필요한 각 요소들은 Fig.7 에서 보는 바와 같이 AutoCAD 를 이용하여 2D 로 설계하였다. 기계 요소는 기어, 샤프트, 하우징, 키, 주변 요소로 이루어져 있으며, 각 요소의 재질은 핸드피스의 중량과 용력을 고려해 Al, SUS 계열로 이루어져 있다. Fig.7 는 기계 요소 중 동력 전달부의 1/2 감속기능을 가질 수 있도록 설계한 베벨기어

Table 1 The mechanical elements material/hardness

Element	Material	Hardness
Trigger spool	SUS420	HRC50
Handpiece inset	SUS420	HRC50
Rotor	SUS420	HRC53
Gear	SCM21	HRC45
Shaft	SUS420	HRC50
Pin	SUS420	HRC50



(a) The bevel gear design (b) Bevel gear
Fig.7 The bevel gear design & manufacturing



(a) The wire/pin design (b) Wire/pin
Fig.8 The wire pin attachment design & manufacturing

이다. 전체 기계요소 수는 베벨기어를 포함하여 51 개로 구성되어 있다. Table.1 는 요소들의 재질과 요구되는 경도를 나타낸 것이다. 구동시 마모가 예상되는 요소와 분포하중을 받는 부분의 요소 그리고 기계적인 마찰이 있는 요소들에 대해서 진공 열처리(vacuum heat treatment)를 수행하여 HRC40-50 정도의 경도를 유지할 수 있도록 설계 및 제작하였다. 진공 열처리된 요소는 총 18 개이다.

3. 연결장치(attachment) 설계 및 제작

핸드피스는 수술시 뼈에 구멍을 내거나, 다듬기 등 다양한 작업을 수행해야 하기 때문에 작업에 적합한 회전수의 변화와 운동궤적의 변화가 가능한 연결장치가 필요하다. 각 연결장치를 이용하여 얻을 수 있는 회전수는 Table.2 와 같으며, 본 연구에서 개발한 연결장치는 4 가지이다. 회전운동을 유도하는 연결장치로는 와이어/핀 드라이버(wire/pin driver), 드릴 연결장치(drill attachment), 리머 연결장치(reamer attachment) 가 있으며, 좌우 왕복 운동을 하는 절단용 톱 드라이버(saw driver)가 있다. Fig.8-11 은 설계/개발된 연결장치를 나타낸 것이다. Fig.8 의 와이어/핀 드라이버는 회전시 킬수는 회전기능과 추가적 와이어를 전방 방향으로 이동시킬 수 있도록 별도의 손잡이를 제작하였다. 와이어의 직경은 1.5-3.5mm 까지 사용할 수 있으며 손잡이를 이용하여 와이어를 전진시킬 경우 한 스텝 당 5.43mm 전진한다. Fig.9 는 개발된 드릴 연결장치를 도시한 것으로 드릴의 직경은 0 - 6.35mm (1/4")를 사용할 수 있다. Fig.10 는 절단공구 톱과 리머 연결장치를 설계한 것이다. 리머의 경우 사용할 수 있는 공구의 직경은 0 - 6.35mm (1/4")이며, 진동 톱(oscillating saw)의 경우 진동 각은 6° 를 이루도록 하였다. 위의 사양은 외과 수술용 핸드피스에 대한 국내 규격이 없기 때문에 현재 상용화된 외국 업체의 규격과 일치 시켰으며, 연결장치의 직경 또한 공구의 직경을 고려하여 설계/제작하였다.

4. 테스트 및 실험

개발된 공압식 핸드피스는 토크와 회전수, 왕복 사이클 수에 따른 테스트를 수행하였다. 토크 메타(torque meter)로 각 연결장치에 대한 측정 결과는 Table.2 와 같다. 언급한 바와 같이 현재 국내에서는 외과 수술용 핸드피스에 대한 정해진 사양이 없기 때문에 상용화된 외국 제품과 비교하여 평가하였다. 해외제품의 드릴의 경우 회전수는 0-(900-1200rpm)정도를 가지고 있으며, 절단용 톱의 경우 왕복 사이클은 0-(10000-15000cpm)정도를 유지하고 있다. 리머는 0-(250-300rpm)정도가 상용화된 제품의 사양이다. 그리고 진동각도는 0-6° 를 가지고 있다. 본 연구에서 개발한 핸드피스는 Table.2 에서

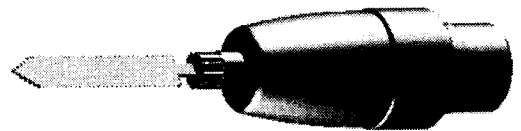


(a) The drill attachment design (b) The manufactured Drill attachment

Fig.9 The drill attachment design & manufacturing



(a) The reammer attachment

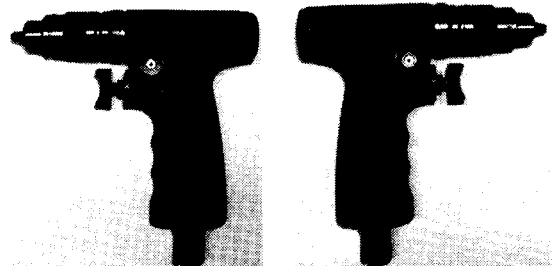


(b) The sagittal saw attachment



(c) The saw attachment

Fig.10 The attachments design



(a) The front (b)The opposite

Fig.11 The manufactured air-powered handpiece

보는 바와 같이 기존의 제품화된 사양에 적합함을 알 수 있다. Fig.11 는 최종 제작한 핸드피스이다.

Table 2 The developed handpiece feature

Model	Speed	Feature
Drill jacsobs	0-1200rpm	0-6.35mm(1/4")
Drill-high torque	0-400rpm	0-6.35mm(1/4")
Reamer	0-250rpm	0-6.35mm(1/4")
Oscillating saw	0-14000cpm	One touch chucking-6° oscillation, arc
Reciprocating saw	0-14000cpm	3.5mm stroke
Wire/Pin dirver	0-1200rpm	1.5-3.5mm

5. 결 론

본 연구에서 개발한 외과 수술용 공압식 핸드피스는 국내에서 개발업체가 없기 때문에 현재 상용화되어 있는 외국 제품에 사양을 맞추어 개발하였다. 사용하고 있는 많은 의료기기들에 대해 각 병원에서는 외국 제품을 고가에 구입하고 있으며, 보수와 수리에 많은 시간을 소비하고 있다. 이런 현실에서 국산화가 시급히 요구되고 있으며, 본 연구 또한 제작사와 공동개발을 추진하여 외과 수술용 핸드피스에 대한 국산화에 성공하였다. 본 연구를 통하여 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

- (1) 외과 수술용 공압식 핸드피스 개발에 성공하였다.
- (2) 설계/제작된 핸드피스의 테스트 결과 상용화된 외국 업체의 핸드피스의 사양에 떨어지지 않았다.
- (3) 향후 국내의 병원에서 사용하고 있는 기존 핸드피스에 대한 보수 및 수리에 기반기술을 확보할 수 있다.
- (4) 개발된 핸드피스를 국내 병원에 보급하여 해외제품을 대체할 수 있는 대체효과를 기대할 수 있다.
- (5) 외과 수술용 기기 개발에 대한 기초 기술로

활용할 수 있다.

참고문헌

1. Joo. J. W, Lee. B. S, "Design and Evaluation of the Tension Sensor for Surgical Steel Wires," KSME, Vol.2, No.21, pp.261-271, 1997.
2. Kwon. D. S, Kim. S. Y, "The present of Medical service Robot System," Korea Society of Precision Engineering, Vol.9, No.17, pp.21-31, 2000.
3. Youn. Y. I, "Bio-Robot and Intelligent Prosthetics," Korea Society of Precision Engineering, Vol.11, No.17, pp.36-48, 2000.
4. Heo. K. H, Yoon. Y. S, Kwon. D. S, Kim. S. Y, Lee. J. J, "Control of a Master/Slave Combined Surgical Robot for Total Hip Arthroplasty," ICASE, Vol.9, No.8, pp.788-794, 2002.
5. Kim S.J, Jin M. G, Ji Y.S, "A Variation Control Scheme for Pitch Errors in a Gear Machining Process," KIIE spring conference, pp. 833-836, 2001.