

CFD 해석을 통한 인공호흡기 유량조절디스크의 압력 강하 성능개선

김영수 · 김민욱* · 박용환*†

(주)산청, *호서대학교

Improvement on Pressure Drop Performance of Flow Control Disk in Portable Resuscitator

Young-Soo Kim · Min-Wook Kim* · Yong-Hwan Park*†

Sancheong Co., Ltd.

*Hoseo University

(Received September 2, 2015; Revised January 12, 2016; Accepted January 28, 2016)

요 약

최근 심장 혈관 질환 등으로 인한 심정지 발생이 증대됨에 따라, 응급 시 수동 작동 장치나 전기적 구동 장치 없이, 공급 산소의 압력만으로 자동으로 작동되는 휴대용 인공호흡기가 전 세계적으로 보급되고 있다. 그러나 이러한 인공호흡기의 구체적인 압력강하 특성에 대해서는 잘 알려진 바가 없어 본 논문에서는 호흡저항과 관련하여 핵심부품인 유량조절디스크의 다양한 홀 크기에 대한 압력강하 특성을 CFD 시뮬레이션 해석을 통하여 규명하고 압력강하를 최소화할 수 있는 홀 형상의 최적설계 안을 제시하였다.

ABSTRACT

Cases of cardiac arrests due to cardiovascular ailments have increased recently., portable Current portable resuscitators which can be automatically supply oxygen operated by the pressure of supplied oxygen without manual or electronic actuators are now widely used in emergency worldwide. However, reductions in Pressure drop characteristics through the extended use of this type of resuscitator, however, is are not well-known described. This paper describes the reduction in pressure loss drop performance of the various holes in within the flow control disc of with various hole size of the portable resuscitators using on breathing resistance through the CFD simulation, and suggests the an optimum optimal design of the hole shapes for the minimization of alteration in order to minimize this pressure drops.

Keywords : Portable resuscitator, Flow control discs, CFD simulation, Pressure drop, Breathing resistance

1. 서 론

우리나라의 심장질환 사망률은 2004년에는 인구 10만당 36.9%에서 2014년 53%로 매년 증가하고 있는 추세이다⁽³⁾. 심장 혈관 질환 등으로 인한 심정지 발생 시, 산소 공급 압력만으로 자동 구동되는 휴대용 인공호흡기에 있어서 환자의 호흡과 가장 밀접한 흡기/호기(배기) 저항 성능은 매우 중요하다. 이러한 흡배기 저항 성능은 인공호흡기의 본체인 자동전환기내 유량조절디스크 홀의 크기 및 형상에 크게 좌우되는데, 본 연구에서는 최근에 국내에서 개발된 휴대용 인공호흡기의 다양한 직경의 유량조절디스크 홀 크기에 대한 CFD 해석프로그램인 FLUENT를 통하여 압력강하량을 예측하고 홀 형상 개선을 통해 압력강하를

최소화할 수 있는 방안을 도출하였다.

2. 기존 설계모델 해석

Figure 1은 해석 대상 인공호흡기 모델의 자동전환기의 메인밸브를 나타낸 것으로 가운데 부분이 유량조절디스크이다. 유량조절디스크는 호흡주기와 호흡유량을 조절하는 역할을 하며, 크기가 다른 총 12개의 홀이 존재하는데 6개는 호흡주기를 조절하고 나머지 6개는 호흡유량을 조절한다.

본 연구의 해석 모델은 유량조절디스크 홀을 중심으로 좌측의 원통몸체(하)와 우측의 원통몸체(중)까지를 해석 공간으로 하였다. 호흡주기를 결정하는 총 6개의 홀은 0.05 mm의 홀 4개와 0.071 mm의 홀 2개로 되어 있고, 호

†Corresponding Author, E-Mail: yhpark@hoseo.edu
TEL: +82-41-540-5733, FAX: +82-41-540-5738

ISSN: 1738-7167
DOI: http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2016.30.1.001

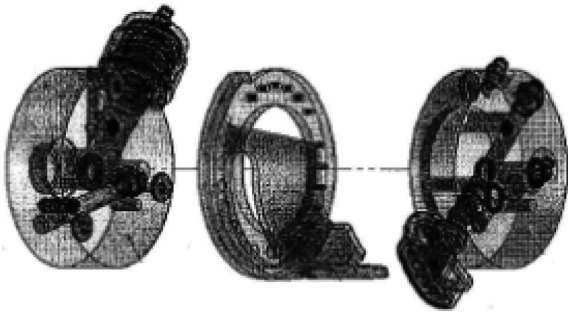


Figure 1. Flow control disks and cylinder bodies.

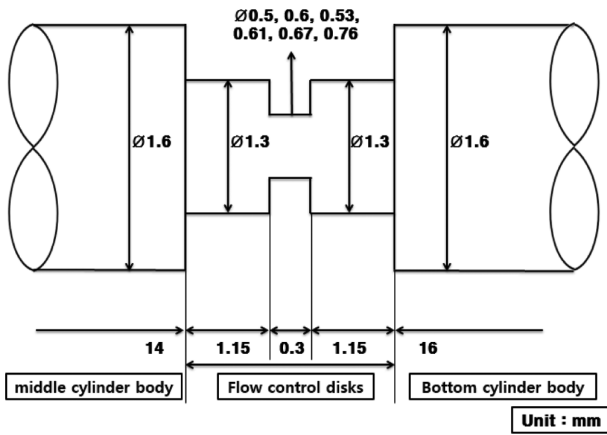


Figure 2. Drawing of flow control disk and cylinder bodies.

흡유량을 결정하는 6개의 홀은 Figure 2와 같이 Ø 0.5, 0.6, 0.53, 0.61, 0.67, 0.76 mm의 크기로 되어 있다.

각각의 홀에 대한 호흡유량은 0.76 mm 홀은 600 ml/min, 0.67 mm 홀은 500 ml/min, 0.61 mm 홀은 400 ml/min, 0.53 mm 홀은 300 ml/min, 0.60 mm 홀은 200 ml/min, 0.50 mm 홀은 150 ml/min인 것으로 되어 있다⁽⁵⁾. 총 메쉬는 309346~314472개로 형성 되어있으며, Figure 3은 해석 모델 중 중심 홀 0.76 mm의 유량조절디스크에 대한 해석모델의 전처리 작업의 결과를 나타낸 것이다.

각 홀에 대한 입구 유속은 호흡유량으로부터 산정하였다. 입구와 출구를 제외한 부분은 유체의 누설이 생기지 않도록 벽조건으로 지정하였다. 0.76 mm 홀의 경우 호흡유량 600 ml/min으로부터 입구유속이 4.97 m/s로 계산되었다. 실제 인공호흡기에서 사용되는 기체는 99.9% 이상의 산소이므로 해석에 사용한 유체의 물리적 성질은 산소

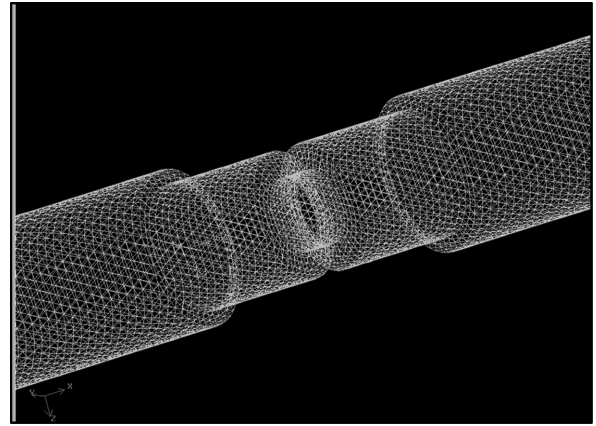


Figure 3. Meshes of the CFD analysis model (0.76 mm hole).

에 대한 것을 적용하고 본 연구에서 사용한 모델로서는 난류 유동장 해석의 경우 표준 k-ε 모델을 사용하였으며, 속도와 압력의 연결은 SIMPLE 알고리즘을 사용하였고, 온도 변화에 따른 가스 밀도 계산은 비압축성 이상기체의 상태방정식을 적용하였다. 압력강하량은 홀 전후 단면에서의 평균값의 차로 식(1)을 참고하여 구하였고, 압력강하율은 수식(2)를 통하여 구하였다.

$$\Delta P[\text{pa}] = P_i - P_o \tag{1}$$

$$P_r[\%] = \frac{P_i - P_o}{P_i} \times 100 \tag{2}$$

여기서 ΔP는 압력강하량, P_i는 압력강하율, P_i는 홀 직전면의 평균압력, P_o는 홀 직후면의 평균압력을 의미한다.

각 모델의 해석결과 압력강하량과 압력강하율 값은 Table 1에 나타내었으며, Figure 4는 압력강하율을 그래프로 나타낸 것이다.

Figure 4의 그래프에서 보면 공통적으로 중심 홀을 지나면서 약 77~92%에 이르는 큰 압력강하가 발생하는 것을 알 수가 있으며, 압력강하량 및 압력강하율의 크기는 홀의 크기와 공급유량에 의해 큰 영향을 받지만, 전반적으로 홀의 크기가 작을수록 압력강하율이 더 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, Table 1에서 0.6 mm 홀과 0.61 mm 홀의 경우와 0.53 mm의 홀과 0.50 mm의 홀의 경우 홀의 크기가 비슷하지만 유량이 2배 큰 쪽의 압력강하량이 약 3배 이상 늘어난 것으로 나타났지만, 압력강하율은 비슷하게 나

Table 1. Pressure Drop in Flow Control Disk

Diameter [mm]	Flow rates [ml/min]	pressure drop [Pa]	Rate of pressure drop [%]	Diameter [mm]	Flow rates [ml/min]	Pressure drop [Pa]	Rate of pressure drop [%]
0.76	600	509.33	77.9	0.53	300	668.53	92.7
0.67	500	599.55	84.4	0.60	200	174.79	85.5
0.61	400	586.35	88.0	0.50	150	233.40	92.2

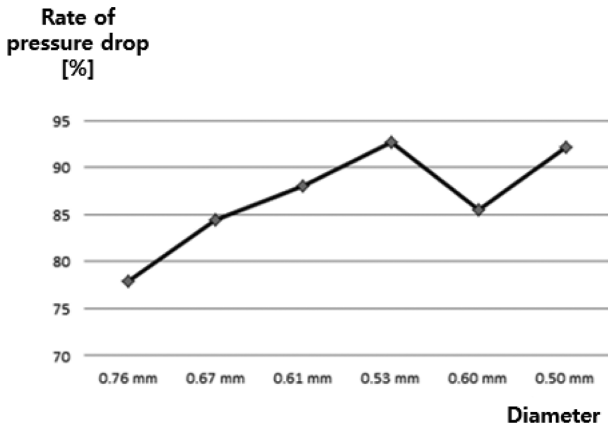


Figure 4. Rate of pressure drop between inlet and outlet of the holes.

타났다. 이는 압력강하량은 유량의 영향을 받지만, 압력강하율은 홀의 크기에 영향을 받는 것을 알 수 있다⁽¹⁾. 홀 주변에서의 이러한 큰 압력강하의 원인은 홀 전후에서의 기하학적 형태가 급 축소, 급 확대관의 형태이며, 중심 홀 부분의 폭 길이가 지름보다 훨씬 짧기 때문에 홀 주변에서 오리피스 효과가 발생하기 때문으로 추정되었다.

Figure 5에서 보는 바와 같이 중심 홀 통과 이전에는 650~662 Pa의 범위에서 중심 홀에 가까울수록 낮은 압력 분포를 보였고 중심 홀을 지난 후에는 128~163 Pa의 범위에서 중심 홀에 가까울수록 높아지는 압력분포를 보였다. 최고압력 값은 6개의 모델 전체에서 중심 홀 직전 부분에서 나타났으며, 최저압력은 모든 모델에서 중심 홀 통과 직후의 와류가 형성되는 부분에서 나타났다. Figure 6은 중심 홀 부근에서의 유속의 분포를 확대하여 나타낸 것으로 중심 홀을 지난 직후 유로의 벽면 근처에서 와류가 형성되는 것을 나타내고 있다.

이러한 와류의 생성은 모든 해석 모델에서 유사한 형태로 형성됨을 확인하였다. 홀 통과 전 직경이 일정한 구간에서의 유속 크기는 거의 일정한 분포를 가지며, 중심홀 내에서도 홀의 직경 감소로 인하여 유속이 빨라졌을 뿐 일

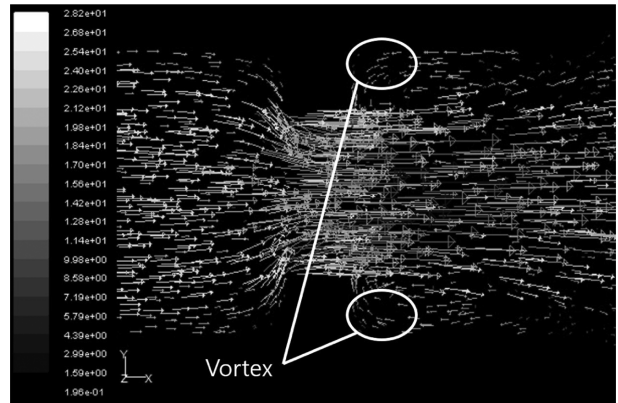


Figure 6. Velocity vectors near 0.76 mm hole.

정한 분포를 유지하였다. 하지만 중심 홀을 지나 급 확대 되는 구간에서는 속도분포가 일정하지 않고 오리피스 효과로 인하여 와류가 형성됨을 알 수 있으며, 일부 역방향의 흐름도 관찰되었다. 이러한 와류 구간을 지나면 유체가 진행방향으로 계속 흐르면서 유속이 점차 일정하게 회복 되는 것을 확인할 수 있다⁽⁶⁾.

3. 설계 변경모델

설계 변경 모델은 홀 주변에서의 압력강하를 최소화하기 위하여 기존 모델을 바탕으로 급축소, 급확대되는 홀 부분의 형상을 변경한 것으로 모따기를 이용한 방법이다. Figure 7은 기존의 유량디스크 해석모델 중 압력강하율이 가장 높았던 0.5 mm 홀 해석모델의 형상을 변화시킨 모델과 모따기 각도와 모따기 변의 길이를 나타낸 것이다. 축소/확대 부분의 모따기 변의 길이는 0.05~0.1 mm까지 0.01 mm 간격으로 변화시켰으며, 각각에 대한 모따기 각도는 30°, 45°, 60°의 3가지로 변경하고 CFD 시뮬레이션으로 압력강하량을 계산하였다. Table 2는 CFD 해석 결과를 표로 정리한 것이고, Figure 8은 모따기 각도 60°, 45°, 30°일 때 모따기 변의 길이별 압력강하 해석 결과를 나타

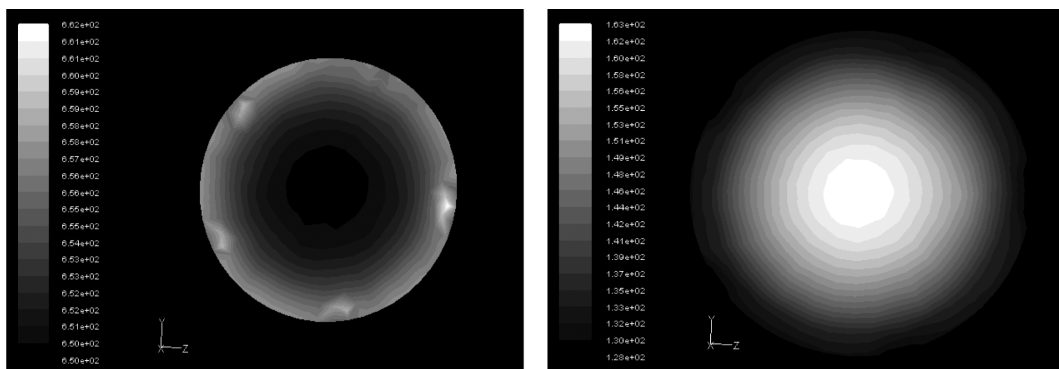


Figure 5. Pressure distribution near 0.76 mm hole.

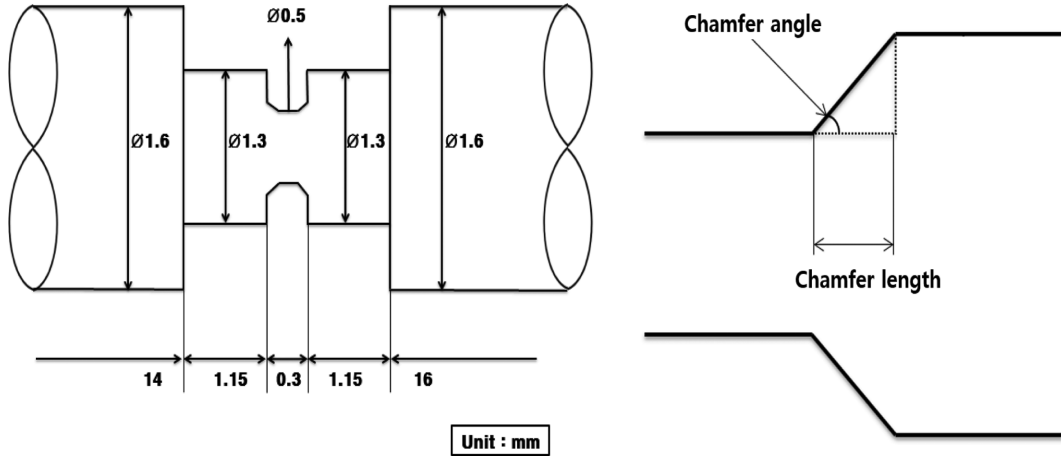


Figure 7. Chamfer design near center hole.

Table 2. Pressure Drops in Flow Control Disk with Different Chamfer Angles and Lengths

Chamfer angles	30°						45°						60°					
Chamfer lengths [mm]	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
Pressure drops [Pa]	83	95	87	101	93	114	119	116	120	121	119	125	142	148	146	145	127	147

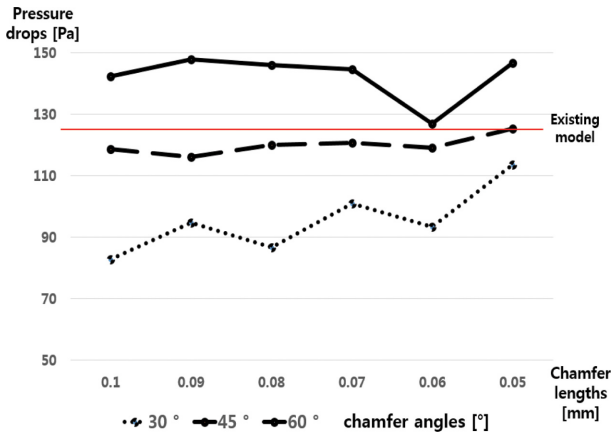


Figure 9. Pressure drops vs. chamfer angles and chamfer lengths.

낸 그래프이다.

모따기 각도 60°의 경우 기존모델의 압력강하 125 Pa보다 더 높은 압력강하가 일어나 오히려 성능이 저하됨을 알 수 있다. 모따기 각도 45°의 경우 모따기 변의 길이에 관계없이 모두 기존모델의 압력강하 125 Pa보다 근소하지만 낮은 압력강하가 확인되어 기존모델대비 성능이 약간 향상됨을 알 수 있다. 모따기 각도 30°의 경우 모든 모따기 변의 길이에 대해 기존모델보다 확연하게 낮은 압력강하가 일어나 기존모델 대비 압력강하 성능이 크게 향상될 수 있음을 확인할 수 있으며, 특히 모따기 변의길이 0.1 mm 인 모델의 경우 압력강하 83 Pa로 기존 모델 대비 약 25% 정도 개선될 수 있음을 알 수 있다⁽²⁾.

일반적으로 모따기 각도가 작고 모따기 변의 길이가 길

수록 압력강하가 작게 일어나는 것이 유체역학적인 사실이다. 하지만 이는 홀의 길이가 지름의 50배 이상일 경우에 적용되는 사실이다. 본 해석에서는 홀의 지름에 비해 길이가 매우 짧기 때문에 불규칙적인 결과가 나온 것으로 예상된다⁽⁶⁾.

4. 결 론

산소 공급 압력만으로 자동 구동되는 휴대용 인공호흡기의 유량조절디스크의 6개의 홀을 CFD 해석을 통하여 압력강하를 예측한 결과 중심 홀을 지나면서 약 77~92%에 이르는 큰 압력강하가 발생하는 것을 알 수가 있으며, 압력강하량 및 압력강하율의 크기는 홀의 크기와 공급유량에 의해 영향을 받으며, 홀의 크기가 작을수록 압력강하율이 더 크게 나타났다.

압력강하율이 가장 높은 0.5 mm홀 형상 입·출구를 모따기를 이용하여 다양하게 변화시켜 해석한 결과 모따기 변의 길이보다 모따기 각도의 영향이 지배적으로 보이며 해석모델 중 최고의 개선효과가 있는 모델은 모따기 변의 길이 0.1 mm, 모따기 각도 30°일 경우로 약 83 Pa의 압력강하를 나타내어 기존 형상에 대한 압력강하 약 125 Pa 대비 약 34% 정도의 압력강하 개선 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 모따기 각도가 작고 모따기 변의 길이가 길수록 압력강하성능이 개선된다는 것을 확인할 수 있다.

후 기

본 연구는 중소기업청 중소기업기술개발 사업(구매조건

부 신제품개발사업) 지원을 받아 수행되었으며, 관계제위에 감사드립니다.

References

1. M. W. Kim, Y. S. Kim and Y. H. Park, "CFD Analysis on the Pressure Drop of Flow Control Disk in Resuscitator", Proceedings of 2014 Annual fall Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 45-46 (2014).
2. Y. S. Kim, C. M. Mo, M. W. Kim and Y. H. Park, "Improvement on Pressure Loss Performance of Flow Control Disk in Portable Resuscitator", Proceedings of 2014 Annual fall Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 49-50 (2014).
3. Cause of death statistics, Statistical Korea (2014).
4. ISO 10651-5: 2006, "Lung Ventilators for Medical Use - Particular Requirements for Basic Safety and Essential Performance - Part 5: Gas-powered Emergency Resuscitators".
5. Sancheng Co. "The Main Part Drawing of Portable Resuscitator" (2014).
6. S. K. Lee, Y. H. Park, D. M. Ha, J. H. Koo, Y. K. Kim, H. S. Sang, F. C. Lee and Y. H. Hong, "Fire Protection Fluid Mechanics", Donghwa Technology Publishing, pp. 166-214 (2012).