

산소발생 폐쇄식 SCBA의 서비스 수명 예측 프로그램 -예비연구-

한돈희[†] · 김동천 · 강민선

인제대학교 보건안전공학과 / 의생명공학원

Program for Estimating Service Time for Oxygen Generating Closed-Circuit SCBA -Pilot Study-

Don-Hee Han[†] · Dong Cheon Kim · Min Sun Kang

Department of Occupational Health and Safety Engineering / Institute of Biomedical Engineering, Inje University

A oxygen generating closed-circuit SCBA for escape from fire will be newly developed and then a program for estimating service time for it should be required. A SCBA made on an experimental basis consisted of five components such as half facepiece (mask), KO₂ box, oxygen reservoir, CO₂ remover and hood. The half mask had a good fitting performance since fit factors for 10 subjects were all above 100. It was found that height of subjects should be the best variable to estimate service time. Measured service time was inversely correlated with height of subjects. Service life time could be estimated by interpolation and extrapolation using inverse relationship between height and measured service time, for example, 28 minutes for male and female of 170 cm during resting, 10

minutes at the walk of 4 km/h and 5 minutes at the walk of 6 km/h considering safety margin of 20%. The study implies that program for estimating service time for the SCBA should require subject's height, speed of walk (4 km/h and 6 km/h) and fit testing. Considering safety margin, selecting younger subjects would be better. The study on the number of subjects and selecting facial dimensions should be more needed for the final program.

Key Words : Service time, Oxygen generating closed-circuit SCBA, KO₂

I . 서론

자가공기공급 호흡기보호구(SCBA: Self Contained Breathing Apparatus)는 개방식(open-circuit)과 폐쇄식(closed-circuit)으로 나눌 수 있다. 개방식이란 실린더에 압

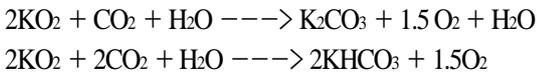
축공기를 충전시켜 호흡에 사용하며 내린 공기는 호흡기보호구 밖으로 나가는 방식으로 사용시간은 대략 30분내지 1시간 정도이다. 개방식 SCBA는 주로 소방관들이 소방작업하는 과정에서 사용한다. 폐쇄식이란 착용자가 내린 공기가 외부로 나가지 않고 다시 흡입하는 방식인데 이때 부족한 산소

접수일 : 2007년 1월 17일, 채택일 : 2007년 5월 30일

† 교신저자 : 한돈희 (경남 김해시 어방동 인제대학교 보건안전공학과,
Tel: 055-320-3285, E-mail: dhan@inje.ac.kr)

를 압축산소로 보충하든지 아니면 산소발생장치를 이용하여 산소를 계속해서 발생시켜야 한다. 압축산소식단 실린더에 산소를 압축시켜 이를 사용하며 산소발생장치식단 화학물질의 화학반응을 통하여 산소를 공급하는 방식이다(NIOSH, 1987; AIHA, 2001). 전자는 이미 개발되어 국내·외에서 탈출용으로 공급되고 있으나 후자는 아직까지 국내에서는 개발되어 사용된 적이 없다.

후자의 산소발생장치를 이용한 폐쇄식 SCBA의 원리는 KO_2 (potassium superoxide)가 호기 중에 나오는 이산화탄소와 물과 반응하여 산소를 발생시키는 원리를 이용한 것이다(NIOSH, 1987).



이 호흡기보호구의 용도는 탈출용, 산소결핍나 IDLH 상황 같이 극히 위급하고 위험한 상황에서 사용할 수 있다. 국내에서 아직까지 개발된 적이 없는 이 호흡기보호구는 개발만 되면 압축산소를 이용한 폐쇄식 호흡기보호구보다 가격이 저렴하고 사용이 간편하여 화재발생 시 혹은 화학사고 발생 시 비상용 즉, 탈출용으로 유용할 것으로 판단된다.

이 같은 형태의 탈출용 산소발생 폐쇄식 SCBA는 제조 사업장의 근로자나 소방관뿐만 아니라 불특정 다수가 사용하게 될 것이다. 그런데 이 SCBA는 한번 화학반응이 일어나면 멈추지 않고 결국 반응이 끝나는 순간 수명이 종료되어 호흡기보호구를 벗지 않으면 착용자는 위험한 상황에 처하게 되어 정확한 서비스 수명시간에 대한 예측이 절대적으로 필요하다. 다시 말해 산소발생 폐쇄식 SCBA를 착용할 경우 누구든지 자신의 신체조건에 부합하여 서비스 시간을 개략적으로 알아야 한다.

산소발생 폐쇄식 SCBA에 대하여 불특정 다수가 착용할 것에 대비하여 자신의 신체조건에 맞는 수명시간을 예측할 수 있는 프로그램의 개발이 필요하므로 본 연구에서는 예비연구(pilot study)를 통하여 이 같은 프로그램의 개발 가능성을 타진하고자 한다.

II. 연구설계 및 방법

1. 연구의 설계

본 연구에 사용된 시제품의 SCBA는 응급 상황 시 특히, 화재 발생 시 긴급하게 대피하기 위한 목적으로 만들어졌다. 앞으로 최종 제품으로 개발되면 불특정 다수가 사용하게 된다. 최종 제품에 대한 서비스 수명 예측 프로그램의 예비연구로서 본 연구의 설계 및 절차는 다음과 같다.

- 제1단계 : 산소발생 폐쇄식 SCBA의 서비스 시간을 가장 잘 예측해 줄 수 있는 신체변수를 찾는다.
- 제2단계 : 시제품에 적용하여 실험하고 얼마나 잘 설명해 주는지를 밝힌다.
- 제3단계 : 최종 프로그램을 만들 때 어떻게 적용할 것인지 를 제안한다.

2. SCBA 시제품 제작

폐쇄식 SCBA 중 화학약품을 이용하는 방법 즉, 산소를 발생시키는 방법은 KO_2 를 이용하는 방식이다(NIOSH, 1987; AIHA, 2001). Figure 1은 본 실험에 사용된 폐쇄식 SCBA를 도식화한 것이다. (주)선양테크에서 시제품으로 제작한 산소

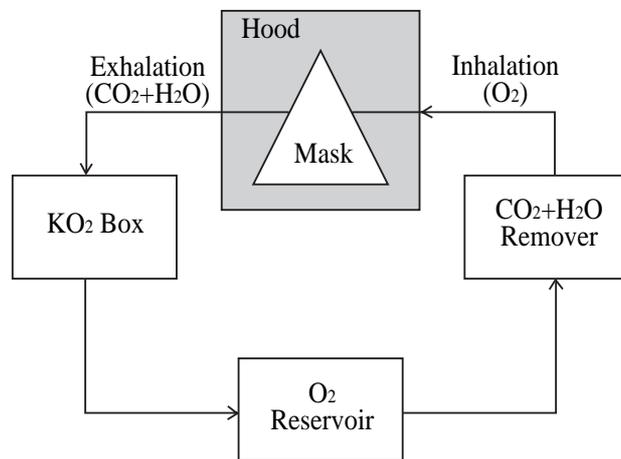


Figure 1. Schematics of oxygen generating closed-circuit SCBA used in this study

발생 폐쇄식 SCBA는 5개 부분인 반면형 마스크(안면부), KO_2 박스, 산소를 담은 주머니, 이산화탄소와 수증기 제거 장치 그리고 안면부를 감싸는 후드로 구성되어 있다. 호기에 서 나온 이산화탄소와 수증기가 KO_2 와 반응하여 산소를 만들어 산소 저장소에 저장하고 흡입 시 압력에 의해 산소가 흡입되는데 이때 이산화탄소와 물은 제거된다. KO_2 의 양은 호흡보호구의 용도가 탈출용이라는 점과 착용 시 무게를 감안하여 90 g으로 하였다. 탈출용은 외부에서 유독물질이 절대로 유입되어서는 안 되기 때문에 면체는 반면형이지만 착용 후에는 두부 전체를 후드로 감싸도록 제작하였다.

3. 피검자의 선정

피검자는 남자 5명(20대 4명, 40대 1명), 여자 5명(20대 5명), 총 10명의 자원자로 하였다. 본 연구는 예비연구로 진행되기 때문에 자원자들의 얼굴의 크기는 고려하지 않았으나 신장과 체중은 개략적으로 대·중·소로 나누었다. 얼굴에 수염이 있거나 마스크를 쓰기에 부적합한 기형의 얼굴은 배제하였다.

4. 밀착도 검사(Fit Testing)

측정기기는 CNC 방식을 이용한 TSI의 최신 기기인 PortaCount 8020을 휴대용 IBM PC에 연결하여 사용하였다. 측정방법은 미국 산업안전보건법에 수록되어 있는 CNC QNFT의 프로토콜에 따라 실시하였다(OSHAct, 2003). 피검자는 여섯 가지의 테스트 운동(정상호흡1, 깊은 호흡, 머리움직임, 읽기, 조깅, 구부림, 정상호흡2)을 실시하였다.

5. 폐활량 검사

폐활량 측정은 일반 폐활량(vital capacity)에 한정하여 측정하였다. 측정기기로는 CHESTGRAPH HI-101(Chestgraph사 제품, Japan)을 이용하였다. 측정방법이 잘못되면 기기가 자동적으로 그래프를 만들지 않기 때문에 계속하여 재 측정하였다. 측정이 완료되어 그래프가 만들어졌더라도 모양이 폐용적그래프처럼 매끄럽게 만들어지지 않았을 경우에는 계속하여 재 측정함으로써 신뢰도를 높였다. 측정기기에 의해 자동으로 산출되는 예측치는 Knudson에 의한 방정식을 사용하였으며 이때의 공식은 다음과 같다.

25세 이상 남자에 대한 SVC(FVC와 동일): $0.0844 \times \text{신장(cm)} - 8.7818 - 0.0298 \times \text{나이(year)}$

69세 미만인 여자에 대한 SVC(FVC와 동일): $0.0444 \times \text{신장(cm)} - 3.1947 - 0.0169 \times \text{나이(year)}$

6. 운동부하량 측정

최대운동부하검사(submaximal graded exercise test: GXT)를 측정하였다. 측정기기로는 가스분석기(Alpha oxygen gas analyser, Jaeger사, 독일)와 트레이드밀(Cosmos사, 독일)을 사용하였다. 측정방법은 피검자가 트레이드밀에서 준비기운동, 4·6·8km/h로 움직이는 운동, 회복기운동에 따라 호흡율, 호흡량, 산소소모량, 심박수, 심박출량 등을 측정하였다. 각 운동에는 5분간씩 25분이 소요되었다.

7. 마스크 사용시간 측정

1) “사용시간”에 대한 정의

산소주머니에 산소농도가 18%에 이르거나 피검자가 가슴이 답답하여 도저히 호흡하기 어려운 단계에 이른 시간을 말한다. 산소농도 18%란 산업안전보건법에 의한 산소결핍농도를 말한다(노동부, 2006).

2) 사용시간 측정방법

화재 발생시 움직이지 못하고 구조를 기다리고 있을 경우, 보통 걸음으로 탈출하는 경우, 이 보다 더 급하게 탈출하는 경우로 나누어 사용시간을 측정하였다. 화재 발생시 앞이 잘 안 보이는 상황에서 뛰는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 뛰는 경우는 제외하였다. 그래서 마스크를 착용하고 1) 앉아서 쉴 때, 2) 4 km/h로 걸을 때, 3) 6 km/h 걸을 때 3개로 나누어 사용시간을 측정하였다.

산소주머니에 산소측정기의 탐침을 삽입하고 호흡과 동시에 산소량을 측정하기 시작하여 산소농도가 18%로 내려갈 때까지 시간을 측정하였다. 산소는 최초 호흡 후 약 1분 정도 지나면 발생하기 시작하여 산소주머니의 최대산소량은 50~60%에 이르렀고 호흡이 계속됨에 따라 줄어들기 시작하였다.

4 km/h와 6 km/h로 걸을 때 사용시간의 측정은 마스크를 착용하고 트레이드밀에서 걷게 한 후 측정하였다. 앉아서 쉴 때 측정은 시간상 독립적으로 실시하였으며 걸을 때 측정은 4 km/h 측정을 마친 후 5-10분간 휴식을 두고 연속하여 6 km/h를 측정하였다. 6 km/h로 걸을 때 측정값은 4 km/h로 측

정한 후에 폐에 대한 물리적 부담이 많은 상태에서 실시하여 최악의 조건으로 실시한 결과가 되기 때문에 충분히 사용시간에 대한 안전을 고려하였다고 할 수 있다. 즉, 4 km/h를 수행하고 5-10분 후 이어서 6 km/h를 수행은 폐의 부담이 큰 상태에서 사용시간은 아무래도 짧아질 것이므로 실제 사용시간은 그만큼 안전계수(safety margin)를 고려한 것이다.

III. 결과 및 고찰

1. 밀착도 검사

1) 밀착계수 FF의 의미

밀착도검사가 법으로 되어 있는 미국에서는 산업용 반면형 마스크의 경우 밀착계수(fit factor: FF)가 100이면 pass로 인정한다(OSHAct, 2003). 반면형 마스크의 경우 FF가 100이라면 산업용 반면형 마스크로서 밀착의 정도가 좋다는 의미이지 오염물질의 유입을 완전하게 막아준다는 의미는 결코 아니다. 밀착계수 값은 크면 클수록 이 마스크가 착용자에게 잘 맞는다고 볼 수 있다.

2) 밀착정도에 대한 평가

밀착도 검사 결과는 Table 1과 같다. 표에서 보는 바와 남녀 불문하고 10명의 피검사 모두 FF값이 100을 넘어서 이 마스크로는 반면형 마스크로서는 피검사들 모두에게 비교적 잘 맞는다고 할 수 있다. 또 팔호 안은 머리카락을 조이지 않고 오로지 손으로 자신의 얼굴에 잘 맞도록 조절하면서 밀착도 검사를 수행한 값이다. 두 손을 가지고 자신을 얼굴에 맞도록 계속하여 조절하기 때문에 일반적인 생각으로는 이 방법이 밀착계수가 클 것으로 예상되었지만 밀착도 검사란 정지된 상태에서만 하는 것이 아니라 계속하여 몸을 움직여야 하기 때문에 오히려 이 경우 대부분의 피검사에게 밀착계수가 더 작은 값으로 나타났다. 이는 비상 상황 시 마스크의 끈을 매지 않고 두 손으로 마스크를 얼굴에 맞도록 붙잡고 움직인다면 밀착이 더 잘 안 된다는 것을 의미하기 때문에 주의해야 한다.

3) 검사결과에 대한 해석 상 주의 사항

밀착도란 마스크와 한 개인의 얼굴과의 관계이다. 그러므로 어떤 한 사람에게는 잘 맞는다고 하여 또 다른 사람에게도 잘 맞는다는 법은 없다. 또 한 착용자가 마스크를 쓸 때마다 달라질 수 있다(한돈희, 1996). 본 연구의 결과가 우연히 10명의 피검사에게 잘 맞았다고도 볼 수 있다. 또 중요한 것

은 반면형으로서 잘 맞는다는 의미이지 전면형 마스크의 미국 pass 기준인 500에(OSHAct, 2003) 비교하면 결코 잘 맞는 것이 아니기 때문에 반면형을 전면형 마스크로 비교해서도 안 된다. 결론적으로 본 마스크는 보편적으로 많은 사람들에게 반면형 마스크로서는 잘 맞는다고 볼 수 있으나 모든 사람에게 잘 맞는다는 해석은 절대 아니다.

4) 시제품 대한 밀착도 의미

탈출용 마스크는 외부의 유독물질이 호흡기보호구 안으로 유입되는 일이 절대 있어서는 안 된다. 비록 밀착계수가 우수하다고 하나 마스크 안이 완전한 양압을 형성할 수 없기 때문에 시제품에서는 면체를 감싸는 후드를 부착하였다. 따라서 외부에서 유독물질의 차단을 이중으로 하여 비록 밀착계수가 불량한 착용자에게도 외부 유독물질의 유입으로 인한 안전상의 문제는 극소화 하였다.

2. 폐활량

폐활량은 폐쇄식 SCBA를 착용하는 시간과 매우 밀접한 관계가 있다. 왜냐하면 폐활량이 크면 산소소모량도 클 것이며 이는 폐쇄식 SCBA의 서비스 시간을 짧게 한다.

폐활량 결과는 Table 1과 같다. 폐활량은 이미 잘 알려진 바와 같이 신장, 성별, 나이에 영향을 받는다(김정진, 1984). 여자들은 1명만 제외하고는 폐활량이 예측치보다 89%이하로 매우 낮게 나타났다. 이는 여자들이 젊음에도 불구하고 운동을 게을리하여 심폐기능이 떨어진 것으로 판단된다.

3. 운동부하량

운동에 따른 호흡율, 산소소모량, 에너지소모량 등을 측정하기 위하여 각 사람의 운동부하량을 측정하였다. 운동부하량을 측정한 결과 중요한 항목을 정리한 것은 Table 2와 같다. Figure 2는 신장과 체중에 따라 비례하는 에너지 소모량을 그림으로 나타낸 것이다. 에너지소모량은 일반적으로 신장과 체중에 비례하였다.

4. 신장과 체중 vs 폐활량과 호흡율

호흡율은 각 5분 동안의 평균값으로 산출하였다. 호흡율은 Table 2와 같다. Figure 3, 4에서 나타난 바와 같이 폐활량과 호흡율은 신장과 체중에 비례함을 알 수 있다.

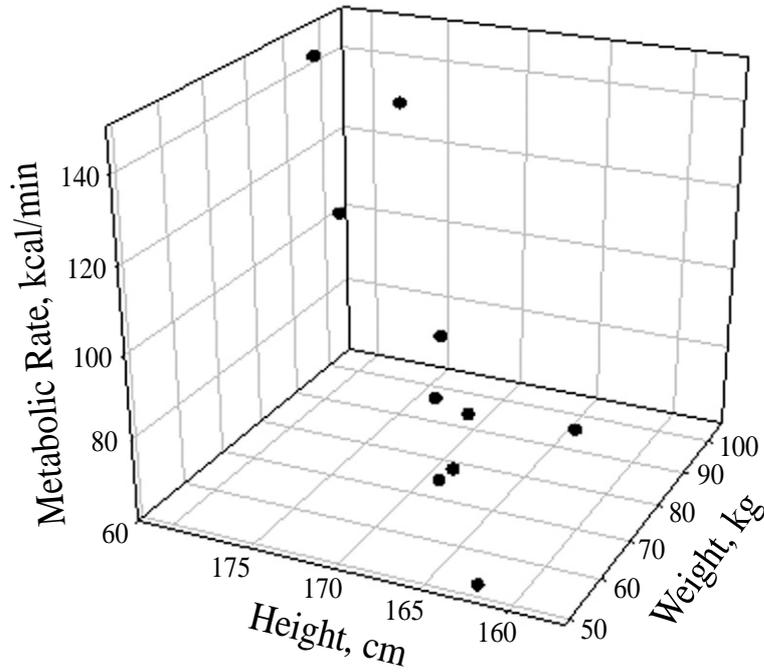


Figure 2. Metabolic rates with heights and weights

Table 1. Vital capacity and fit factor

No.	Sex	Age	Weight (kg)	Height (cm)	Vital Capacity(L)			Facial dimension(cm)			Fit Factors(FF) (FF) ^A
					Observed (O)	Expected (E) ^B	O/E	Face length	Lip length	Face width	
1	Male	26	90	180	5.13	5.64	91	11.9	4.9	14.5	165 (127)
2	Male	26	59	166	4.99	4.45	112.1	11.2	5.6	13.3	121 (160)
3	Female	23	57	160	3.30	3.52	93.8	11.1	3.9	12.8	103 (55)
4	Male	25	105	178	5.77	5.50	104.9	12.3	5.3	13.5	144 (104)
5	Male	26	79	177	5.45	5.38	101.3	11.8	5.2	13.2	142 (100)
6	Female	23	50	162	2.64	3.61	73.1	10.6	4.6	12.5	322 (238)
7	Female	23	28	166	2.79	3.79	73.6	11.5	4.8	12.5	349 (173)
8	Female	23	52	164	2.92	3.70	78.9	11.3	5	13.3	227 (180)
9	Female	23	57	164	3.18	3.70	85.9	11.9	4.8	12.4	135 (154)
10	Male	49	60	166	4.27	3.77	113.3	11.9	4.8	13	222 (2027)

^AParentheses values were determined while wearing the respirator with fitting by only two hands without fastening strip.

^BKnudson's Predicted Formula: Male: $0.0844 \times \text{height(cm)} - 8.7818 - 0.0298 \times \text{age}$, Female: $0.0444 \times \text{height(cm)} - 3.1947 - 0.0169 \times \text{age}$

체중은 신장의 세제곱에 따라 비례하기 때문에(신체가 입체이기 때문임) 신장이 크면 일반적으로 체중이 많이 나간다. 따라서 호흡율이 신장과 비례한다면 체중과도 비례관계가 성립하는 것은 당연하다. Figure 3, 4는 신장과 체중에 따라

폐활량과 호흡율(휴식할 때와 4, 6 km/h로 걸을 때)을 그래프로 그린 것이다. 폐활량과 호흡율은 신장과 체중 모두에서 좋은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

Table 2. Characteristics of subjects and inhalation rate, metabolic rate and service time of the SCBA

No.	Sex	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Basic Metabolism (kcal)		Facial demension(cm)					
					Rest	4km/h	6km/h	8km/h	Rest	4km/h	6km/h	
1	Male	49	166	60	1573	13.23	22.29	36.64	51.51	40	16min. 37sec.	07min. 26sec.
2	Male	26	166	58.5	1871	14.91	24.54	28.2	40.93	41	14min. 56sec.	08min. 51sec.
3	Female	26	177	83	1730	18.16	26.49	39.46	56.24	37	08min. 57sec.	06min. 58sec.
4	Male	26	180	90	2663	21.32	29.71	40.14	52.5	21	08min. 32sec.	06min. 07sec.
5	Male	25	178	105.5	1821	19.74	25.1	36.57	57.64	28	08min. 22sec.	05min. 44sec.
6	Female	23	162	50.5	834	12.16	14.56	21.84	33.74	42	16min	10min
7	Female	22	166	59.6	960	12.55	17.85	28.68	49.53	41	14min. 05sec.	08min. 13sec.
8	Female	22	164	53.6	1017	12.33	18.16	24.53	34.64	43	22min.	09min.
9	Female	22	159	62.5	1384	12.52	18.82	29.83	47.49	39	13min. 48sec.	08min. 08sec.
10	Male	22	164	57.7	1154	12.59	19.85	28.98	41.65	35	15min.	09min.

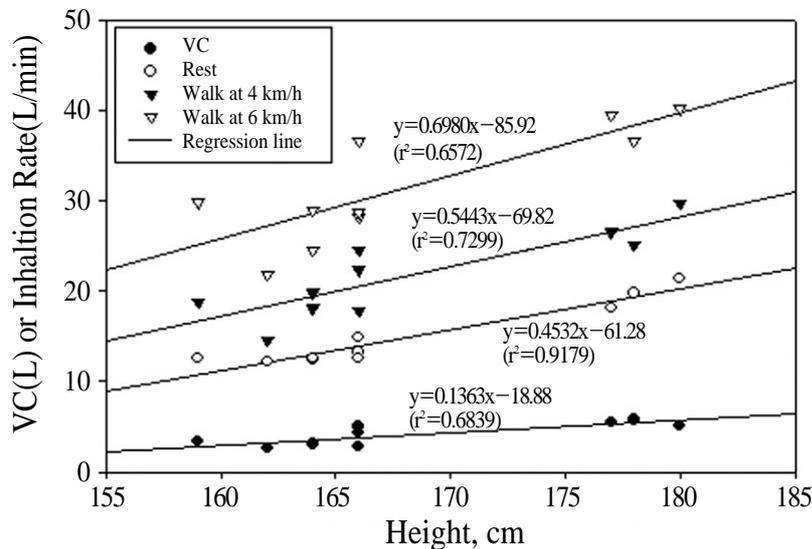


Figure 3. VC or inhalation rate vs height

5. 서비스시간 예측에 가장 적합한 신체 변수

응급 상황시 산소발생 폐쇄식 SCBA를 착용할 경우에는 착용자가 자신이 잘 알고 있는 신체적 변수를 서비스 시간과 연관지어야 할 것이다.

우선적으로 고려해야 할 것은 운동부하량에서 측정된 호흡량, 산소소모량, 에너지 소모량(에너지 대사율)같은 항목이다. 그러나 이들은 산소소모량에 관여하는 가장 좋은 신체적 변수이지만 정상시에 본인이 알 수 없는 것들이기 때문에 산소발생 폐쇄식 SCBA의 서비스 시간 예측에 별 도움이 되지 못한다. 그런데 본 실험결과 기초대사량과 에너지소모량은 일반적으로 신장과 체중에 비례하였다(Table 2 참조).

두 번째 신체적 변수들로 성별, 나이, 신장, 체중 및 폐활량이 있다. 이 중에서 폐활량이 가장 중요한 변수이지만 본인이 측정해 본 적이 없으면 역시 알 수 없다. 그러나 다행히 본 실험결과 폐활량은 신장과 체중과 비례관계가 있었다. 나이 역시 중요한 변수이지만 SCBA의 서비스 시간 예측에 폐활량만큼 유용하지는 않을 것이다. 다만 나이에 따라 폐활량과 호흡율이 점점 떨어지므로 폐활량과 호흡율이 가장 왕성한 젊은 층을 피검 대상으로 하면 연장자에게는 젊은 층보다 산소 소모량이 적을 것이므로 안전상의 문제를 최소화할 수 있을 것이다. 또 체중은 자주 변동이 되지만 신장은 거의 변동이 없어 신장이 폐활량과 호흡율을 결정하는데 가장 중요한 변수로 판단된다.

결론적으로 여러 가지 제한점을 고려하고 본 연구 결과를 바탕으로 산소발생 폐쇄식 SCBA의 서비스 시간을 예측할

수 있는 가장 좋은 신체 변수는 신장과 성별이라고 결론지었다.

6. 서비스 시간의 예측

1) 남자 피검자들에 대한 서비스 시간 예측

Figure 5는 Table 2에 있는 10명의 피검자들 중 남자 5명의 신장과 서비스 시간과의 관계를 알아 있을 때, 4 km/h · 6 km/h로 걸을 때 세 가지로 나누어 측정된 것을 그림으로 나타낸 것이다. 신장과 서비스 시간은 역의 상관관계가 있으며 가장 좋은 상관성을 보인 경우는 4 km/h로 걷는 경우로서 r²의 값이 0.9616으로 나타났다.

2) 여자 피검자들에 대한 서비스 시간 예측

Table 2에 있는 대로 5명의 여자 피검자들에 대해 신장과 서비스 시간에 대한 상관성을 분석하였다. 여자들의 신장과 서비스 시간과는 상관성이 없었다. 이는 여자 피검자들의 신장 범위가 159cm에서 166cm 에 불과하였고 폐활량과 호흡율이 신장과 비례관계가 없었기 때문으로 해석된다.

3) 남녀 피검자들에 대한 서비스 시간 예측

여자 피검자들에게서 신장과 서비스 시간 간에 상관성이 없어 여자들에 대한 예측치는 남녀를 통합한 10명의 피검자들에 대한 신장과 서비스 시간으로 추정하였다. 이들에 대한 것은 Figure 6에 나타나 있다.

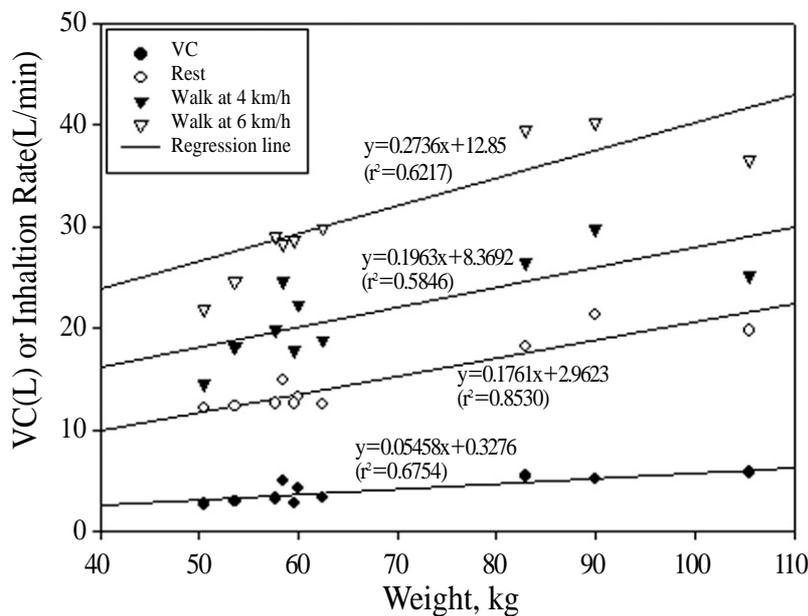


Figure 4. VC or inhalation rate vs weight

상관성이 가장 좋은 경우는 앉아서 쉴 때이며 r^2 값은 0.719이다. 남녀 피검자들의 신장과 서비스 시간을 바탕으로 내삽법 및 외삽법을 이용하여 서비스 시간을 추정하는 것은 Table 3과 같다.

예를 들어, Table 3에 의하면 키가 170.3 cm인 남여가 SCBA를 착용하고 움직이지 않고 앉아서 있다면 35분 00초, 4 km/h로 걷는다면 12분 48초, 6 km/h로 걷는다면 7분 36초를 견딜 수 있다는 의미이다.

4) 남자 피검자와 남여 피검자간 서비스 시간 예측치 비교

남자 피검자들만 대상으로 한 서비스 시간 예측치와 남여 피검자들을 대상으로 한 서비스시간 예측치 비교를 비교한 결과 Table 4와 같다. 두 값은 약간의 차이는 있으나 거의 대동소이함을 알 수 있다.

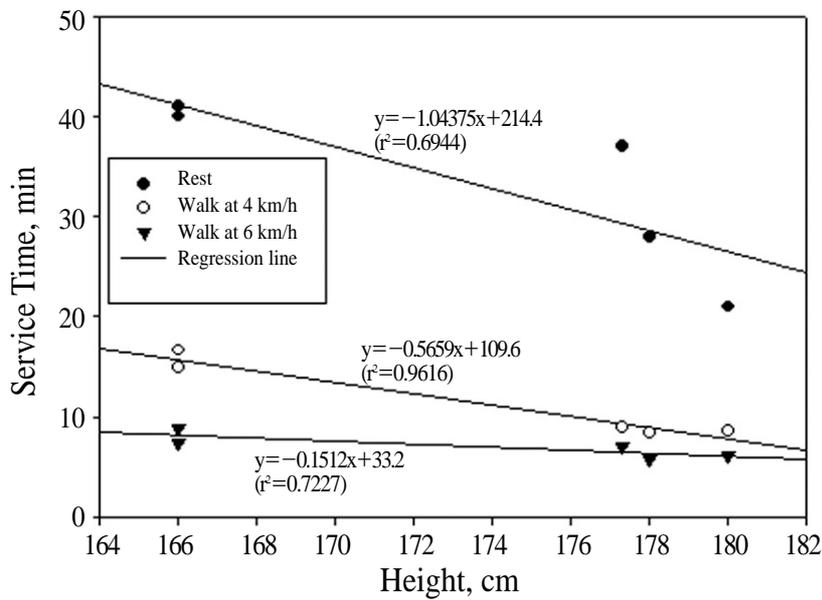


Figure 5. Service time with height in only male

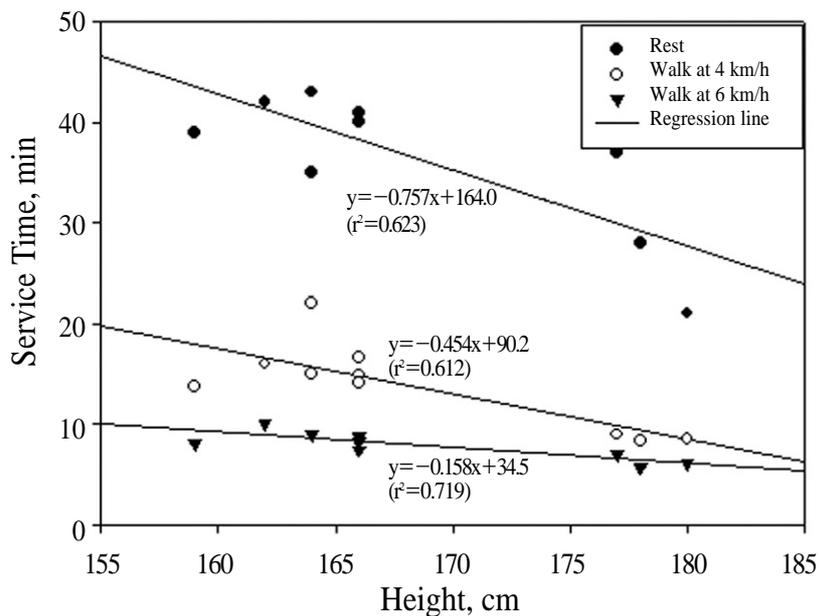


Figure 6. Service time with height in both male and female

Table 3. Estimated service time of the SCBA with height in both male and female

Rest	Walk				
	4 km/h		6 km/h		
$y = -0.7566x + 164.0$ x: Height, cm, y: Estimated service time, min. $r^2 = 0.6231$	$y = -0.4543x + 90.2$ x: Height, cm, y: Estimated service time, min. $r^2 = 0.6122$	$y = -0.1579x + 34.5$ x: Height, cm, y: Estimated service time, min. $r^2 = 0.7185$			
x	y	x	y	x	y
159	43.6	159	18.0	159	9.3
159.4	43.3	159.4	17.8	159.4	9.3
159.8	43.0	159.8	17.6	159.8	9.2
160.2	42.7	160.2	17.4	160.2	9.1
160.6	42.3	160.6	17.2	160.6	9.1
161.1	42.0	161.1	17.0	161.1	9.0
161.5	41.7	161.5	16.8	161.5	8.9
161.9	41.4	161.9	16.6	161.9	8.9
162.3	41.1	162.3	16.4	162.3	8.8
162.7	40.8	162.7	16.2	162.7	8.7
163.2	40.4	163.2	16.0	163.2	8.7
163.6	40.1	163.6	15.9	163.6	8.6
164.0	39.8	164.0	15.7	164.0	8.6
164.4	39.5	164.4	15.5	164.4	8.5
164.8	39.2	164.8	15.3	164.8	8.4
165.3	38.8	165.3	15.1	165.3	8.4
165.7	38.5	165.7	14.9	165.7	8.3
166.1	38.2	166.1	14.7	166.1	8.2
166.5	37.9	166.5	14.5	166.5	8.2
166.9	37.6	166.9	14.3	166.9	8.1
167.4	37.3	167.4	14.1	167.4	8.0
167.8	36.9	167.8	13.9	167.8	8.0
168.2	36.6	168.2	13.8	168.2	7.9
168.6	36.3	168.6	13.6	168.6	7.8
169.0	36.0	169.0	13.4	169.0	7.8
169.5	35.7	169.5	13.2	169.5	7.7
169.9	35.3	169.9	13.0	169.9	7.6
170.3	35.0	170.3	12.8	170.3	7.6
170.7	34.7	170.7	12.6	170.7	7.5
171.1	34.4	171.1	12.4	171.1	7.4
171.6	34.1	171.6	12.2	171.6	7.4
172.0	33.8	172.0	12.0	172.0	7.3
172.4	33.4	172.4	11.9	172.4	7.2
172.8	33.1	172.8	11.7	172.8	7.2
173.2	32.8	173.2	11.5	173.2	7.1
173.7	32.5	173.7	11.3	173.7	7.0
174.1	32.2	174.1	11.1	174.1	7.0
174.5	31.9	174.5	10.9	174.5	6.9
174.9	31.5	174.9	10.7	174.9	6.8
175.3	31.2	175.3	10.5	175.3	6.8
175.8	30.9	175.8	10.3	175.8	6.7
176.2	30.6	176.2	10.1	176.2	6.6
176.6	30.3	176.6	9.9	176.6	6.6
177.0	29.9	177.0	9.8	177.0	6.5
177.4	29.6	177.4	9.6	177.4	6.4
177.9	29.3	177.9	9.4	177.9	6.4
178.3	29.0	178.3	9.2	178.3	6.3
178.7	28.7	178.7	9.0	178.7	6.2
179.1	28.4	179.1	8.8	179.1	6.2
179.5	28.0	179.5	8.6	179.5	6.1
180.0	27.7	180.0	8.4	180.0	6.0

7. 안전계수를 고려한 서비스 시간의 예측

신장과 서비스 시간과의 역의 상관관계를 이용하여 170cm 인 남녀가 사용가능한 시간은 앉아서 쉴 때 35분 00초, 4 km/h로 걸을 때 12분 48초, 6 km/h로 걸을 때 7분 36초로 나타났다. 이상을 종합할 때 신장이 170cm인 사람의 마스크 사용시간은 안전계수를 20%로 잡았을 경우(NIOSH, 1987) 앉아서 쉴 때 28분, 4 km/h로 걸을 때 10분, 6km/h로 걸을 때 5분으로 잡아도 안전상 문제는 없을 것으로 판단된다(Table 5 참조). 이보다 신장이 크고 신체조건이 좋아 호흡량이 많은 경우는 이보다 낮아야 할 것이다.

8. 최종 서비스 수명 예측 프로그램 개발에 대한 제안

현재 KO₂를 이용한 산소발생식 폐쇄식 SCBA에 대한 검정 규정은 국내에 없다. 외국 역시 계속하여 새로운 형태로 변모하는 모든 스타일에 대한 폐쇄식 SCBA에 대한 검정규정은 찾기 어렵다. 더구나 특정 인구집단이 아닌 불특정 인구집단을 대상으로 수명시간을 예측하는 프로그램을 개발한다는 것은 매우 어려운 일이다. 그것은 특정 인구집단을 대상으로 할 경우에는 신체적인 조건이 어느 정도 규격화되어 있

으나 불특정 인구집단인 경우에는 신체조건이 무한대에 가깝기 때문이다. 특히, 화재나 유독화학물질 사고 시 탈출용으로 개발되는 호흡보호구는 순간적으로 자신의 어느 신체 조건을 알고 있는 상태에서 자신에 맞는 사용시간을 예측해야 한다.

첫 번째 고려해야 할 신체조건으로는 산소섭취량으로 이를 알면 탈출용 SCBA에 대한 사용시간을 정확하게 계산할 수 있을 것이다. 그러나 운동부하량을 개인이 알 수 없는 일이기 때문에 이것은 거의 불가능한 일이다. 두 번째는 폐활량을 들 수 있는데 이것 역시 자신의 폐활량을 알고 있는 사람은 거의 없기 때문에 이것 역시 불가능한 일이다. 세 번째는 폐활량과 가장 비례관계가 깊은 신장과 체중을 비교한 결과 신장이 가장 우수한 변수로 파악되었다. 따라서 어느 누구나 자신의 신장을 알고 있기 때문에 신장에 맞추어서 탈출용 산소발생 폐쇄식 SCBA에 대한 서비스 시간을 측정하는 것이 바람직할 것이다.

또 위급 상황에서 탈출할 때 불특정 다수 인간집단에서 운동부하량의 계산은 정지 상황에서 구조를 기다릴 때를 감안하여 정지상태, 4 km/hr로 걸을 때, 6 km/h로 걸을 때를 변수로 할 것을 제안한다.

피검 대상자는 산소부족으로 인한 안전문제를 고려할 때 연장자보다 폐활량과 호흡율이 많은 젊은 층을 선정하는 것

Table 4. Comparison of estimated service time between only male and both male and female of 170 cm tall

Application	Rest	Walk	
		4 km/h	6 km/h
Only male	36 min. 48 sec.	13 min. 19 sec.	7 min. 31 sec.
Both male and female	35 min. 05 sec.	12 min. 51 sec.	7 min. 36 sec.

Table 5. Recommended service time of the SCBA for both male and female considering safety margin of 20%

Height(cm)	Recommended use time		
	Rest(min.)	Walk	
		4 km/h	6 km/h
155	40	17	9
160	38	15	8
165	35	12	7
170	28	10	6
175	25	8	5
180	20	7	4
185	17	5	3
190	15	3	3

이 바람직할 것이다.

탈출용인 경우 안면부가 반면형으로만 되어 있어서는 안 된다. 반면형인 경우에는 반드시 후드로 감싸야 하는데 이때 반면형 면체에 대한 밀착도 검사를 권장한다.

본 연구에서는 예비연구이기 때문에 피검자의 얼굴 사이즈를 감안하지 않았으나 실제 프로그램에서는 한국인의 얼굴 사이즈를 감안한 피검대상자의 선정이 필요하며 피검인구도 10명이 아닌 이 보다 훨씬 많은 피검대상자가 필요할 것이다.

IV. 결론

탈출용 산소발생 폐쇄식 SCBA에 대한 서비스 수명을 예측할 수 있는 측정 프로그램이 필요하여 예비연구(pilot study)를 실시하였다. 불특정 다수가 이 호흡기보호구를 착용한다고 가정하였을 때 서비스 수명 예측에 필요한 신체조건은 폐활량 및 호흡율과 상관관계가 있는 신장을 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 운동부하량은 정지상태에 있을 때, 4 km/h와 6 km/h로 걸을 때를 변수로 사용하는 것을 권한다. 피검 대상자의 선정시에는 가능한 젊은 층을 선정해야 할 것이며 후드가 있더라도 반면형 마스크는 밀착도 검사를 권장한다. 한국인의 얼굴 형태를 대표할 수 있는 인구 집

단의 선정과 피검대상자의 수를 정하는 추가적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

김정진. 생리학. 고문사; 1984. (103-109쪽)

노동부. 산업보건기준에 관한 규칙. 노동부. 노동부령 제259호 (2006.9.25); 2006

한돈희, Willeke K. : 호흡기보호구 착용시 움직임과 매일 착용에 따른 Fit Factors 의 변화, 한국산업위생학회지, 6(2), 1996, 176-186.

American Industrial Hygiene Association (AIHA). Respiratory Protection -A Manual and Guidance-, 3rd ed. AIHA Respiratory Protection Committee; 2001.p.71-4

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Guide to Industrial Respiratory Protection (DHHS/NIOSH Pub. No. 87-116). Washington, D.C., Government Printing Office; 1987.p.54-83

OSHA. 29CFR (Code of Federal Regulations) "Respiratory Protection" Title 29, Part 1910.134; 2003