

항공기 비상 산소 공급 시스템 설계 방안 연구

A Study on Emergency Oxygen System Design

문경일* (한국항공우주산업)

1. 서 론

고고도를 비행하는 여객기, 전투기, 훈련기는 고고도에서 객실 여압 손실, 외부 유독 가스로 노출, 전투기의 경우 비상 탈출(Ejection)에 대비하여 항상 비상 산소 공급 장치를 갖추어야 하며, 비상 시 승객 및 승무원들의 저산소성 저산소증(hypoxic hypoxia)을 대비하여 10,000feet (3,048m)까지 충분히 내려 올 수 있도록 비상 산소 공급 장치가 설계 되어져야 한다.

일반적으로 비상 산소 공급 장치는 High pressure bottle과 Low Pressure bottle가 주로 사용이 되지만 근래의 일반적인 추세는 사용 시간 및 중량 의 영향성 때문에 High pressure bottle을 사용하는 추세로 가고 있으며, 본 논문에서는 High pressure bottle을 사용하는 항공기의 사례와 비상산소 공급 장치를 설계하기 위한 이론적인 배경, 타 항공기에서 실제 사용하여 얻어 진 값들을 비교 분석하여 비상 산소 공급 장치 설계하는데 이론적인 배경이 되고자 한다.

또한, 근래의 많은 항공기(전투기)들은 OBOGS(기내 산소 발생 장치)를 사용하므로, 타 시스템의 영향으로 조종사에게 필요한 산소 공급이 중단이 되는 경우가 발생 할 가능성이 있어, 비상 산소 공급 시스템의 중요성이 커지고 있어, 정확한 해석과 시험을 통해 비상 산소 공급 시스템에 대한 설계를 검증 하고자 한다. 산소 공급 시스템은 조종사의 생명과 연결되는 사항이기 때문에 이론적인 해석부터, 추후 지상 시험, 비행 시험을 통하여 안전하고 성능이 높은 시스템임을 확인 해 나가고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 비상 산소 시스템의 필요성.

아래 1표는 고도별로 산소 공급 없이 사람이 살 수 있는 시간을 나타낸 것이다. 10,000 feet 이하에서는 외부의 인위적인 공급 없이 생활이 가능하지만, 고고도에 갈수록 산소 공급 없이 외부로 노출되는 시간이 짧아진다.

표 1. Human Altitude limits.

Altitude (ft)	Limits
5,000	Maximum for normal night vision without supplemental oxygen
8,000	Altitude at which supplemental oxygen should be used
10,000	Maximum without continuous use of oxygen
18,000	Maximum for emergency without use of oxygen
20,000	Altitude at which consideration should be given to use of pressurized cabins
23,000	Altitude at which there is evidence of decompression sickness
25,000	Approximate time of consciousness without oxygen is 115 sec
28,000	Maximum to avoid decompression sickness. Approximate time of consciousness without oxygen is 70 sec
30,000	Altitude above which slight positive pressure breathing should supplement demand oxygen to avoid air leaks into oxygen mask. Approximate time of consciousness without oxygen is 35 sec
35,000	Maximum for continuous use of demand oxygen system. Approximate time of consciousness without oxygen is 30 sec
40,000	Approximate time of consciousness without oxygen is 23 sec
42,000	Maximum for continuous use of pressure breathing. Bomber and fighter aircraft not having escape capsules but having a requirement to remain above this altitude for periods in excess of five minutes after loss of cabin pressurization require provisions for use of pressure suits.
43,000	Maximum for emergency use of demand oxygen--time of useful consciousness without oxygen is 15 sec
50,000	Maximum for emergency use of pressure breathing demand oxygen. Bomber and fighter aircraft not having escape capsules but having combat ceilings above this altitude require provisions for the use of pressure suits.

예를 들어, 40,000feet(m)인 경우 산소 공급 없이 의식이 있는 시간이 23초 동안이다. 그러므로 고고도 즉 10,000feet 이상 비행을 하는 항공기에 대해서는 비상 산소 공급 장치 설계가 필수적이라고 하겠다.

2.2 비상 산소 설계를 위한 시나리오 선정
비상산소 시스템 설계를 위한 하강 시나리오는 여러 가지 경우가 있겠지만, 비상 시나리오에서 가장 최장의 시간이 걸리는 최악의 시나리오를 기준으로 설계가 되어야 비상 산소는 전 영역에 대해서 충분하게 산소를 공급할 수가 있다.

Starting Altitude (feet)	Time to descent to 10,000feet (sec)	
	Man alone	Man in Ejection Seat*
20,000	60	70
30,000	110	130
40,000	160	175
50,000	190	215
60,000	220	245

* Ejection Seat with 1.62m diameter drogue
표 2. Ejection 시 10,000feet 까지 최대 시간 위의 표2는 각 고도에서 Ejection 시 10,000까지 도달하는 시간을 나타 낸 것으로 60,000feet에서 10,000feet 까지 도달하는 시간은 245초임을 알 수가 있다.

비상 산소 공급 시스템 설계시에는 최악의 하강 시나리오를 선정을 해야 전 영역을 만족하므로 위의 Ejection 시의 시간 보다는 엔진 Flame out 하강 시 시나리오를 사용하여 설계하는 것이 바람직하다.

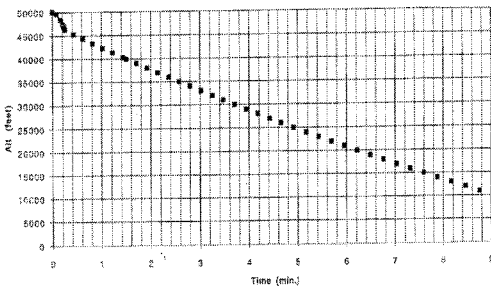


그림 1. F-16 비상 시나리오.

그림1에서 비상 시나리오는 50,000feet에서 10,000feet까지 하강 시 9분이 소요됨을 알 수가 있다. 따라서, 비상 산소 공급 장치는 9분 이상을 공급해야 50,000feet에서 10,000feet까지 충분하게 하강 시나리오에 따라 공급함을 알 수가 있다. 따라서, 비상 설정이 비상 산소 공급 장치 설계에 영향을 주는 중요한 요소임을 알 수가 있다.

2.3 비상 산소의 생리학적 산소요구량

표준대기 상태에서 대기 중에는 질소 78%, 산소 21% 그 외 아르곤, 이산화탄소 등으로 구성되어 있다. 그림. 2는 고도가 상승함에 따라 요구되는 생리학적 산소요구량을 도표로 나타낸 것이다. 일반적인 산소 공급 장치 설계는 아래의 도표에 따라 외부 공기가 혼합이 되거나, 산소 조절기(제어기)에서 조절을 할 수 있다.

그러나 비상 산소 공급 시스템은 전 영역에 걸쳐 외부 공기와 혼합이 되지 않는 방식을 사용하기 때문에 100%의 순수 산소만을 공급을 하게 될 것이다.

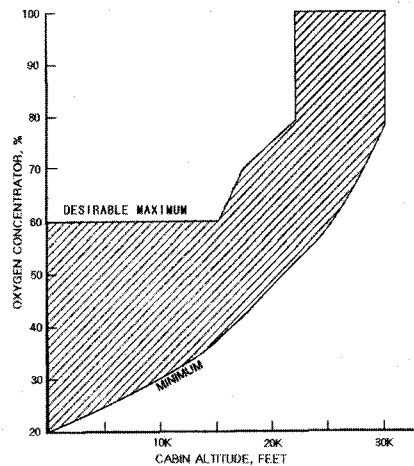


그림. 2 고도별 산소요구량

3. 비상 산소 용량 계산 및 설계

3.1 조종사 인 당 호흡량 계산

산소 시스템 참고 Spec 인 AFGS-87226A, Oxygen Systems, Aircraft, General Specification 에 기준하여, 산소소비 분석은 조종사당 1.2배수를 사용하고 안전압력을 위해 1.1배수를 사용하여 계산을 하면

- Breathing Oxygen : 15 liter/min(BTPS 기준의 조종사 1인 산소요구량)
- Compensate Rate for Crew Number : 1.2
- Compensate Rate for Safe Pressure : 1.1

기호정의

- Pa : 대기압 760 mmHg(NTPD)
- Pw : 수분압력 47mmHg(NTPD)
- Ta : 대기온도 70°F

- Tb : 허파온도(신체온도) 98.6°F
- Ub : 15 liter/min(BTPS)

$$NTPD = \frac{P_a - P_w}{P_a} \cdot \frac{T_a}{T_b} \cdot BTFS \cdot Compensate \ Value$$

$$NTPD = \frac{760 - 47}{760} \cdot \frac{(460 + 70)}{(460 + 98.6)} \cdot 15 \cdot 1.2 \cdot 11 = 17.62$$

조종사 인당 호흡량은 17.62liter/min임을 알 수가 있다.

3.2 비상 산소 설계를 위한 시나리오 선정

아래 그림은 비상 산소 공급 장치를 설계하기 위해 선정 된 비상 시나리오로서 40,000feet에서 10,000feet까지 하강 시 약 9.1분이 소요됨을 알 수 있다.

Emergency Oxygen Performance

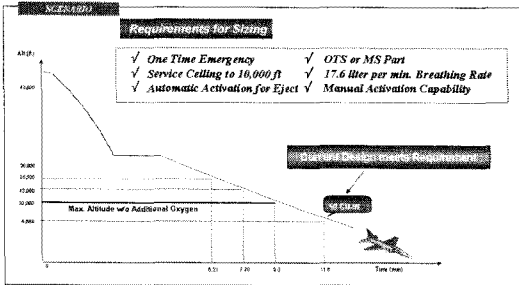


그림3. 비상 산소 장치 설계를 위한 시나리오

비상 산소 공급 장치 설계 시 요구 조건 사항은 1)한번의 비상 시나리오에서 사용 2)10,000feet까지 하강 시 필요한 충분한 산소용량 3) 조종사의 분당 호흡량은 17.6liter/min을 설계 기준으로 하였다.

3.3 최소 필요한 산소용량 분석

그림3.의 Emergency Scenario를 근거로 각 고도에서 소모되는 용량 분석을 하면 전체 소모되는 비상 산소량은 표3.에서 나타난 74.65liter가 된다. 고도별로 평균 압력, NTPD가 변경이 되므로 각 고도별 평균값을 사용하여 계산을 하였고 고도별 소요 시간을 변수값으로 넣어 필요한 산소량을 계산을 하였다. 예로서, 40,000feet에서 35,000feet까지 하강 시 평균 압력은 3.099psi가되며, 평균 NTPD(lpm)는 3.71liter/min이 된다.산소 소모량을 계산해보면

소모되는 시간은 0.7min 이므로 40,000feet에서 35,000feet까지 필요한 소모량은 2.6 liter임을 알 수 있다. 각 고도별 시간과 평균 호흡량을 분석한 결과를 이용하여 비상 산소공급 장치 선정을 해야 한다.

Altitude(ft)		17.62 lpm(NTPD) Base			
Start	Destin	Avr. Pressure (psia)	NTPD (lpm)	Time (min.)	Volume (liter)
40,000	35,000	3.099	3.71	0.7	2.60
35,000	30,000	3.921	4.70	0.7	3.29
30,000	25,000	4.917	5.89	0.7	4.13
25,000	20,000	6.110	7.32	0.7	5.13
20,000	20,000	6.759	8.10	1.9	15.39
20,000	15,000	7.528	9.02	2.2	19.85
15,000	10,000	9.203	11.03	2.2	24.27
Total				9.10	74.65

표.3 고도별 산소 용량 분석

4. 비상 산소 공급 장치 설계 결과

4.1 Bottle Size 선정

비상 산소 Bottle 의 size 선정을 위해 OTS 제품을 검토 해 본 결과 22cubic inches부터 96cubic inch의 용량을 가진 다양한 제품이 있었다, 설계 시 용량이 크면 좋지만, 중량 및 가격의 영향성 때문에 최적의 용량인 50 cubic inch 제품을 선정하게 되었다,

Bottle Size(cubic inches)	Oxygen Gas Stored(Liters, NTPD)
22	44.6
25	50.6
30	60.7
50	101.3
57	115.3
96	194.2

표.4 비상 산소 bottle 표준품

선정 된 50cubic inch High pressure(1,800psi) bottle의 용량은 101.3 liter를 사용할 수가 있어 필요한 용량(74.65liter) 대비 26.65 liter의 여유 용량을 가질 수가 있어, 선정 된 비상 시나리오에 충분히 만족할 수 있는 용량임을 알 수 있다.

4.2 비상 산소 Bottle 장착 및 시스템 구성

비상 산소 공급을 위한 Bottle은 조종사의 Ejection 시에도 공급이 되어야하기 때문에 일반적으로 Seat에 장착이 된다. 비상 산소에서 나온 산소 시스템은 아래 그림은 비상 산소 공급

장치가 장착 된 layout을 나타 낸 것이다.

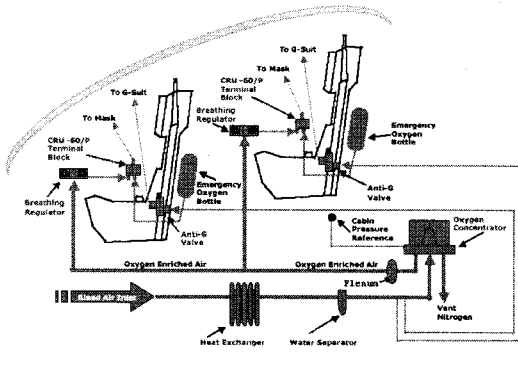


그림4. 비상 산소 시스템 구성

5. 시스템 설계 결과 검증

5.1 고도별 사용 시간

사용 시간은 고도별로 차이가 많이 난다. 실제 이론적인 사용가능시간은 지상에서 5분40초부터 40,000feet 일 경우 비행을 한다면 30분 넘게 공급을 할 수 있는 능력을 가질 수 있다.

고도	압력 (psig)	분당호흡량 (liter/Min)	EOS 사용가능 시간 (Min)
0	14.70	17.62	5.68
5000	12.23	14.66	6.82
8000	10.91	13.08	7.65
10000	10.11	12.11	8.26
15000	8.29	9.94	10.06
20000	6.75	8.09	12.35
25000	5.45	6.54	15.30
30000	4.36	5.23	19.12
35000	3.46	4.14	24.13
40000	2.72	3.26	30.67

표.5 비상 산소 고도별 사용 시간

5.2 지상 시험 결과

지상에서 시험한 결과는 지상에서 요구되는 시간보다 만족 할 만한 수치를 가질 수 있었다. 조종사 2명으로부터 얻은 Data는 조종사의 실제 분당 호흡량을 측정하여 비교 해보니 이론적인 수치보다 더 낮은 사실을 알 수가 있다.

시험횟수	PIIB S/N	EOS 작동시간	분당 산소 호흡량
1	A	6분 05초	16.49 liter
2	B	6분 30초	15.43 liter

표.6 지상 시험 결과

6. 결 론

본 연구를 통해 현재 설계 된 비상 산소 공급 장치는 최악의 시나리오 상태에서도 충분하게 산소를 공급함을 이론적으로 알 수가 있었다.

추가적인 지상시험 및 비행시험을 통해 비상 산소 공급 장치 성능을 입증할 예정이다.

참 고 문 헌

1. JSSG-2010-10, Crew Systems, Oxygen Systems Handbook
2. AFGS-87226A, Oxygen Systems, Aircraft, General Specification For,