

항공기용 산소 시스템 요건 분석

유승우* · 박근영** · 정봉구***

Requirements Analysis for Aircraft Oxygen Systems

Seung-Woo Yoo* · Guen-Young Park** · Bong-Gu Jeong***

ABSTRACT

Humans rely on the availability of a supply of gaseous oxygen for survival. If the minimal requirements for oxygen are not met, both mental and physical abilities and performance are degraded rapidly. So oxygen systems are required for the aircraft operating at high altitude to prevent physical and psychological problems, or loss of consciousness in an aircraft pilot, flight crew, or passengers. If oxygen system and equipments are to be included in the type design of an airplane, applicant should consider applicable airworthiness requirements and operating rules. In this paper we analyze the various oxygen system requirements for the type of aircraft, oxygen system, and operating conditions.

Key Words: Aircraft Oxygen System, Supplemental Oxygen, Oxygen Dispensing Unit, Oxygen Distributing System, Continuous Flow, Demand Flow, Pressure-demand Type

1. 서 론

대기 중 산소가 차지하는 비율은 약 20%로서 오존층 이하의 고도(70,000 ft)에서는 고도별로 기압의 변화가 발생하지만, 산소가 전체 대기에서 차지하는 비율은 거의 일정하다. 대기압력은 고도가 높아짐에 따라 감소하는데 18,000 ft, 27,000 ft, 33,000 ft에서의 대기압력은 해면 대기압의 1/2, 1/3, 1/4 수준이다. 항공기의 운항 고도가 높아짐에 따라 조종사 및 승객에게 산소결핍 증상이 나타나는데, 호흡수가 증가하

는 것이 가장 대표적인 것이다. 또한 손톱 및 입술의 피부색 변화, 피로감, 두통, 현기증, 무기력함, 졸음, 저림, 시각 장애 등이 나타나기도 한다. 이와 같은 증상은 개인에 따라 차이가 나타나므로, 고도에 따른 조종사의 인지능력 변화를 보다 객관적으로 나타내기 위하여 유효 동작시간(EPT, Effective Performance Time) 또는 유효의식시간(TUC, Time of Useful Consciousness)이라는 척도를 적용하며, Table 1은 보충산소가 공급되지 않는 경우 고도에 따라 조종사의 인지능력을 평균 수치로 나타낸 것이다[1, 2].

고도가 높아질수록 산소량이 적어지는 현상을 해결하기 위해서는 탑승자에게 보충 산소(Supplemental Oxygen)를 추가 공급해주거나,

* 정회원, 한국항공우주연구원

** 정회원, 한국항공우주연구원

*** 정회원, 한국항공우주연구원

연락처, E-mail: swyoo@kari.re.kr

인위적으로 기내 압력을 유지하기 위한 여압 시스템(Pressurization System)을 갖추어야 한다. 여압 상태에서는 항공기가 정상적으로 운용될 경우, 지상과 유사한 기압 상태를 유지하게 되므로 특별히 산소를 공급할 필요가 없다. 하지만 항공기 여압시스템의 고장 또는 기체의 일부 손상이 발생한다면 탑승자는 산소가 부족한 상태에 직면하므로, 이를 대비하여 비상산소공급 시스템(Emergency Oxygen Supply System)을 장착해야 한다.

Table 1. Average EPT or TUC for Flying Personnel Without Supplemental Oxygen

Altitude(ft)	EPT	TUC
15,000	> 30 min	indefinite
22,000	5~10 min	5~10 min
25,000	3~5 min	2~3 min
28,000	2.5~3 min	60~90 sec
30,000	1~2 min	30~75 sec
35,000	30~60 sec	20~45 sec
40,000	15~20 sec	15~30 sec

산소 시스템 관련 규정은 항공기의 운항 고도, 항공기의 형식, 산소 시스템의 종류 등에 따라 세분화되어 있으며, 본 논문을 통해 항공기의 운항 고도에 따라 산소시스템에 적용되는 국내의 요건을 조사 분석하고자 한다.

2. 산소 시스템 관련 규정

항공기 산소 시스템에 관한 우리나라의 규정은 항공법 시행규칙(국토해양부령 제164호, 2009.9.10), 항공기기술기준 KAS Part 23(국토해양부고시 제2009-957호, 2009.9.30) 및 KAS Part 25(국토해양부고시 제2009-380호, 2009.6.18), 운항기술기준(Flight Safety Regulations, 국토해양부고시 제2009-350호, 2009.6.11) 등이 있다. 항공기용 산소 시스템 관련 미국의 요건은 14 CFR Part 23, 25, 91, 121, 135 등에 제시되어 있다.

2.1 항공법 시행규칙 규정

항공법 시행규칙 제131조(산소 저장 및 분배 장치 등)는 비여압 항공기와 여압 항공기에 대한 요건을 구분하여 규정하고 있으며, 항공기 기내 대기압 700 hPa(기압고도 10,000 ft)을 기준으로 여압장치에 대한 요건의 적용여부가 결정되며, 고도조건 대신 항공기 기내 압력을 기준으로 산소 시스템 요건이 규정되어 있다[3].

비여압 항공기의 경우, 기내의 대기압이 620~700 hPa에 해당하는 비행고도(기압고도 10,000~13,000 ft)에서 30분을 초과하여 비행하기 위해서는 모든 승무원과 전체 승객 수의 10%에게 보충산소를 제공하도록 요구하고 있다. 또한, 기내 대기압이 620 hPa 미만인 비행고도(기압고도 13,000 ft 초과)에서 비행하는 경우에는 모든 승객과 승무원에게 산소 공급이 요구된다.

기내의 대기압을 700 hPa 이상으로 유지할 수 있는 여압장치가 있는 항공기의 경우에는 비여압 항공기와는 달리 정상 운용시 보충산소를 별도로 공급할 필요가 없다. 다만 항공기 기체 및 여압장치의 손상 또는 고장으로 인해 항공기 내부의 압력을 유지할 수 없는 감압현상이 발생하여 376 hPa 미만으로 기내 압력이 떨어지는 비상상태에서는 장착된 기압저하경보장치가 작동하고, 필요한 산소를 공급할 수 있어야 한다. 이와 같은 감압현상은 진행되는 속도에 따라 다음과 같이 3가지로 구분한다.

- (1) 완만한 감압(slow decompression) : 객실의 기압이 서서히 낮아지며 귀가 멍멍해지고 통증을 느낄 수가 있다.
- (2) 급격한 감압(rapid decompression) : 기체의 균열, 여압장치의 고장 등으로 약 10초 내에 내부압력과 외부압력이 같아지는 감압상태를 의미하며, 평음이 들리고 객실 내 안개현상이 발생하기도 한다. 온도가 급강하하고 가슴과 귀에 통증을 느끼게 된다.
- (3) 폭발적 감압(explosive decompression) : 기체의 손상정도가 심해 약 1~2초 내에 항공기 내외부의 압력차이가 없어지는 초비상상태의 감압이다.

여압 항공기의 기내 대기압이 700 hPa 미만인 상태에 도달하면, 해당되는 비행환경에 따라 필요한 산소량을 모든 승무원과 승객에게 공급할 수 있어야 한다. 또한 기내 대기압 376 hPa(기압고도 25,000 ft) 이상의 비행고도에서부터 기내 대기압 620 hPa(기압고도 13,000 ft)까지 4분 이내에 강하할 수 없는 경우 또는 기내 대기압 376 hPa(기압고도 25,000 ft) 미만에서 비행하는 경우에는 승객 전원과 승무원 전원이 10분 이상 사용할 수 있는 양의 산소가 공급되어야 한다.

Table 2. 항공법 시행규칙의 산소 시스템 요건

	대기압 (hPa)	기압고도	산소 공급 요건
비여압 항공기	620 ~700	10,000 ~13,000	해당 고도에서 30분 초과 비행시, 승무원 모두와 승객의 10%에 산소 공급
	<620	>13,000	모든 탑승객에 산소 공급
여압 항공기	≥376	≤25,000	13,000 ft 이하로 4분 이내에 강하할 수 없는 경우, 모든 탑승자가 10분 이상 사용할 수 있는 산소 공급
	<376	>25,000	모든 승무원과 승객이 10분 이상 사용할 수 있는 산소 공급

항공기에 장착되는 호흡용 산소의 저장·분배 장치의 비행고도별 세부 장착 요건과 산소의 양 등은 국토해양부 고시로 제정되어 있는 항공기 기술기준과 운항기술기준에서 보다 구체적으로 규정하고 있다.

22 항공기기술기준 및 14 CFR Part 23/25 요건

항공기에 장착되어야 하는 산소 시스템에 대한 요건은 항공기 설계 및 형식증명 단계에서부터 항공기가 갖추어야 할 사항으로서, 항공기 기술기준(KAS)의 Part 23 및 25에는 산소시스템, 최소 산소유동, 산소 공급 등에 관한 요건이 규정되어 있으며, 이는 미국의 14 CFR 해당 항목과 동일하다[4, 6]. 산소 시스템의 주요 구

성품인 공급 시스템(Supply system), 분배 시스템(Distribution system), 호흡 장치(Dispensing equipment), 센서, 시현장치 및 제어장치(Sensors, displays and controls) 등에 대한 세부 요건은 다음과 같다.

§ 25.1439항은 비상시에 항공기 내에 존재하는 유해가스의 흡입을 막기 위하여 장착하는 호흡보호장치(Protective breathing equipment)에 대한 요건으로, 이 항목은 Part 23급 항공기에는 적용되지 않고, 수송급 항공기에만 요구된다.

§ 23/25.1441항은 산소장비 및 공급장치에 대한 일반적인 요건으로서, 항공기 형식에 따라 적용되는 산소 시스템의 일반 사항을 규정하고 있다. 산소 시스템의 고장이 발생할 경우에는 화재 및 폭발의 위험이 있으므로 장착 및 운용에 있어서 특별한 주의가 요구된다. Part 23급 항공기의 경우에는 built-in 형태의 산소 시스템 대신 휴대용 산소 시스템을 탑재하는 것으로도 이 요건에 대한 적합성 입증 가능하다는 특징이 있다.

§ 23/25.1443항은 공급되는 산소의 최소 유량에 대한 요건으로, 산소 흡입 방식에 따라 고도별로 요구되는 최소 산소 유량을 규정하고 있다. 항공기 개발자는 설계단계에서부터 항공기의 운항 고도 및 환경조건을 고려하여, 조종사 및 승객에게 필요로 하는 충분한 산소량을 공급할 수 있도록 산소 시스템을 설계하여야 한다.

§ 23/25.1445항에서 규정하고 있는 산소 분배 시스템에 관한 요건은 고압의 산소 공급원으로부터 호흡장치까지 산소를 공급하는데 필요한 장치에 대한 요건으로서, 산소 공급 시스템은 공급원의 종류에 따라 저장된 산소 탱크로부터 기체산소를 감압하여 공급하는 기체산소 방식(gaseous oxygen type), 저장된 액체산소를 기화시켜 공급하는 액체산소 방식(liquid oxygen type), 화학반응에 의한 산소발생장치를 가동하는 화학적 산소 발생 방식(chemical oxygen generating type)으로 구분하며, 호흡장치를 통해 공급될 때에는 3가지 방식 모두 기체 형태로 공급된다. 이와 같은 산소 공급 방식은 항공기

개발자가 적절한 것을 선택할 수 있으나, 산소 분배 시스템에 해당하는 감압 밸브, 레귤레이터, 배관, 호스, 튜브 등은 관련 요건을 충족하도록 설계, 제작, 설치되어야 한다.

§ 23/25.1447항은 산소흡입장치에 대한 요건으로, 항공기 운항고도 및 산소 시스템 형태에 따라 필요한 마스크와 레귤레이터에 대한 사항을 규정하고 있다. 산소 흡입 방식에 따라서 산소흡입장치 및 레귤레이터는 연속 공급식(CF, Continuous Flow), 수요식(DF, Demand Flow), 희석 수요식(Diluter-demand), 압력 수요식(PD, Pressure-Demand)으로 구분하며, 항공기 운항고도에 따라 승무원용 산소 흡입장치에 적용되는 요건은 Table 3과 같다.

Table 3. 승무원용 흡입장치 관련 항공기기술기준

	고도(ft)	항 목	흡입장치 형식
Part 23	10,000~13,000	§ 23.1443(a)(2) or (3)	CF
	12,500~25,000	§ 23.1443(a)(3)	CF
	25,000~40,000	§ 23.1443(b)	DF/QD
	>40,000	§ 23.1441(d)(2)	PD/QD
Part 25	<25,000	§ 25.1443(a) or (b)	CF or DF
	25,000~40,000	§ 25.1443(b) & § 25.1447(c)(2)	DF/QD
	>40,000	§ 25.1441(d)	DF/QD

* QD(Quick-donning) : 자신의 임무좌석에서 한 손으로 5초 이내에 착용 가능하고, 승무원 상호간 통신이 가능한 형태의 산소마스크

§ 23/25.1449항은 산소공급 확인장치에 대한 요건으로, 흡입장치에 산소가 공급되고 있는지를 승무원이 확인할 수 있는 장치가 있어야 한다는 사항이다.

§ 23/25.1450항은 화학적 산소발생장치에 대한 요건으로, 이와 같은 유형의 산소발생장치는 가동기(actuator)를 작동시키면 화학반응을 통해 산소를 발생시켜 공급하는 방식이다. 산소 발생이 시작되면 설정된 시간동안 산소를 발생

시켜 공급하므로, 중간에 이를 중단시킬 수 없다. 또한 산소발생기가 작동되는 동안에는 발열 반응으로 인해 객실 온도가 상승하고, 타는 냄새가 발생할 수도 있다는 특징이 있다.

§ 23.1451항은 산소 시스템의 화재 방지에 대한 요건으로서, 화재위험구역에는 관련 장치를 장착하지 않아야 하고 열이 발생하는 구역에서는 적절한 보호 설계를 구현하여 화재를 방지해야 한다는 사항이다. 이 규정은 Part 25에는 별도로 명문화되어 있지 않지만, 항공기 설계 과정에서 반드시 고려하여야 할 사항이며, 통상적으로 화재방지를 위한 분석을 통해 이에 대한 적합성을 입증하여야 한다.

§ 23/25.1453항은 산소 시스템의 파열에 대한 보호 요건으로서, 최대 압력 및 온도 조건에서도 파열되지 않도록 산소 탱크 및 배관을 설계해야 한다는 요건이다.

Table 4. 운항기술기준의 산소 공급 시간 요건

	대상	고도(ft)	산소 공급 시간	
비여압 항공기	운항 승무원	>10,000	모든 비행시간	
	객실 승무원	>13,000	모든 비행시간	
		10,000~13,000	30분 초과 비행시간	
	승객 전원	>13,000	모든 비행시간	
여압 항공기	승객 10%	10,000~13,000	30분 초과 비행시간	
		>13,000	모든 비행시간	
		운항 승무원	>13,000	모든 비행시간
			10,000~13,000	30분 초과 비행시간
	≤25,000		30분 이상	
	>25,000	2시간 이상		
	객실 승무원	>13,000	모든 비행시간 (단, 30분 이상)	
		10,000~13,000	30분 초과 비행시간	
		승객 전원	>15,000	모든 비행시간 (단, 10분 이상)
		승객 30%	14,000~15,000	모든 비행시간
승객 10%		10,000~14,000	30분 초과 비행시간	

23 운항기술기준 규정

항공기 산소저장 및 분배장치의 운용에 관한 사항은 항공기의 운항 고도에 따라서 적용되는 요건이 다르며, 이는 운항기술기준에 제시되어 있다. 국내에서 운항증명을 소지한 항공기를 10,000 ft 초과하는 고도에서 운항하기 위해서는 운항승무원이 즉시 사용 가능한 산소마스크를 구비하여야 하고, 그 이상의 고도에서 탑승자에게 산소가 공급되어야 하는 시간 요건은 Table 4와 같다[5].

24 산소 시스템 관련 미국 운항 규정

산소 시스템 관련 요건을 규정하고 있는 미국의 운항 규정은 우리나라의 운항기술기준에 비해 세분화되어 있다. 14 CFR 중 Part 91 (General Operating and Flight Rules), Part 121 (Operating Requirements : Domestic, Flag, and Supplemental Operations), 그리고 Part 135 (Operating Requirements : Commuter and On demand Operations and Rules Governing Persons On Board Such Aircraft) 등에 산소 시스템 요건이 제시되어 있으며, 항공기의 운항 형태 및 고도에 따라 해당되는 요건이 서로 상이하다[6].

일반적인 운항 규정인 Part 91에는 보충 산소 (Supplemental Oxygen)에 대한 요건이 규정되어 있다. 또한 커뮤터급 및 On-demand 운항에 대한 운항 규정인 Part 135에는 다른 운항 규정과는 달리 조종사가 의무적으로 산소 흡입장치를 사용해야 하는 운항 고도를 규정하고, 산소 장비에 대한 요구조건도 제시하고 있으며 세부 사항은 Table 5와 같다.

미국 내 국내 운항 규정인 Part 121에서는 엔진의 형태에 따라 왕복엔진과 터빈엔진의 경우를 구분하여 비여압 및 여압 항공기에 대한 보충 산소 요건이 적용된다. 이 규정에서는 기내 압력이 8,000 ft에 해당하는 고도에서 30분 이상 비행하는 경우에도 산소 공급이 요구되므로, 항공기 설계 및 운용시 이를 고려해야 한다.

Table 5. FAA Part 91/135의 산소 사용/공급 요건

고도(ft)	산소 사용/공급 요건	해당 규정
12,500~14,000	30분 초과 비행시 해당 시간동안 최소 비행 승무원이 산소 이용 가능	§ 91.211 (a)(1)
14,000~15,000	모든 비행시간동안 최소 비행 승무원이 산소 이용 가능	§ 91.211 (a)(2)
>15,000	모든 비행시간동안 모든 탑승자가 산소 이용 가능	§ 91.211 (a)(3)
FL250~FL350	10분 이상 보충산소 공급 (여압 항공기)	§ 91.211 (b)(1)(i)
FL250~FL350	·10분 이상 보충산소 공급 (여압 항공기) ·최소 1명의 조종사는 산소마스크 착용	§ 91.211 (b)(1)(ii)
10,000~12,000 (비여압)	·30분 초과 비행시 해당 시간동안 조종사는 산소 사용 ·30분 초과 비행시 승객 10% 이상에게 산소 공급	§ 135.89 (a)(1) & § 135.157 (a)(1)
12,000~15,000 (비여압)	·모든 비행시간동안 조종사는 산소 사용 ·30분 초과 비행시 승객 10% 이상에게 산소 공급	§ 135.89 (a)(2) & § 135.157 (a)(1)
>15,000 (비여압)	·모든 비행시간동안 조종사는 산소 사용 ·모든 승객에게 산소 공급	§ 135.89 (a)(2) & § 135.157 (a)(2)
>25,000 (여압)	·비여압 항공기의 조종사 산소 사용 요건 적용 ·모든 승객이 10분 이상 사용 가능한 산소 공급	§ 135.89 (b) & § 135.157 (b)(1)

25 휴대용 산소 시스템 관련 요건

여압 항공기의 경우에는 여압장치의 고장 또는 동체 일부분 파손이 발생하여 외부의 공기가 유입되면 내부는 감압현상이 발생하게 된다. 급격한 감압의 경우에는 승무원이 승객을 돌보는 것이 불가하나 항공기가 일정한 안정고도로 하강한 다음에는 승무원이 휴대용 산소통을 어깨에 걸치고 승객의 안전상태를 확인하기 위한 기내 순회(walk around)를 해야 한다. 이와 같이 수송급 항공기의 경우에는 비상사태에 대비하기 위해, 휴대용 산소통(Portable Oxygen Bottle)을 탑재해야 한다.

산소통은 모든 승무원의 좌석 하단 혹은 근처에 비치하며, 휴대용 산소통은 응급 환자 발생 시에도 사용된다. 휴대용 산소 시스템의 구성품은 실린더 밸브와 산소마스크, on/off valve, high/low fitting 및 안전끈이며, 다른 형태의 산소통에는 조절기(regulator)가 부착된 것도 있다. 산소 배출구(outlet)는 고압 및 저압을 선택할 수 있도록 2개의 피팅(fitting)으로 되어 있다. 통상적으로 고압 상태로는 분당 4리터의 산소가 사용되어 전체 약 77분간 사용할 수 있으며, 저압 상태로는 분당 2리터로 소모되어 약 155분간 사용가능하다. 지상에서 비행전 점검을 수행할 경우, 산소 게이지(gauge)를 통해 용량이 충분한지 확인해야 한다. 특히, 산소통 취급시에는 다음과 같은 사항을 주의해야 한다.

- (1) 기름, 그리스의 접촉이 없어야 한다. 특히 산소통을 만질 때에는 기름 등이 안 묻도록 한다.
- (2) 불, 담배 등의 화기를 절대 금한다.
- (3) 산소통을 조심스럽게 다루고, 특히 떨어뜨리지 않도록 주의한다.
- (4) 완전히 사용치 않고 500psi (pound per square inch)는 비상시를 위해 남겨둔다.

3. 결론

산소 시스템 관련 요건은 항공기의 설계 및 개발 과정에서부터 고려되어야 할 사항으로서 형식증명 신청자는 항공기의 형식에 따라 기술 기준에서 요구하는 사항을 충족해야 하고, 이에 대한 적합성을 입증하여야 한다. 그러나 이에 더하여 개발된 항공기의 판매를 위해서는 운용

과정에서 산소 시스템에 요구되는 운항 관련 규정도 고려하여, 항공기 운용에 지장이 없도록 해야 한다. 현재 산소 시스템과 관련하여 국내외 운항규정은 서로 상이한 점이 있으므로, 항공기의 운용 형태, 운항 고도, 관련 시스템의 종류 등을 종합적으로 고려하여 산소 시스템 운용 절차 등을 개발할 필요가 있다.

본 논문에서는 산소 시스템에 요구되는 국내외 규정들을 살펴보고, 실제 적용 및 고려해야 할 사항에 대하여 제시하였다.

참고 문헌

- [1] SAE AIR825 Rev.C, Oxygen Equipment for Aircraft, Society of Automotive Engineers (SAE), Inc. Aerospace Information Report, 2006.
- [2] SAE AS861 Rev.B, Minimum General Standards for Oxygen Systems, Society of Automotive Engineers (SAE), Inc. Aerospace Standard, 2006.
- [3] 항공법 시행규칙, 국토해양부령 제164호, 2009.9.10.
- [4] 항공기기술기준 (Korean Airworthiness Standards), 국토해양부고시 제2009-957호, 2009.9.30
- [5] 운항기술기준(Flight Safety Regulations), 국토해양부고시 제2009-350호, 2009.6.11.
- [6] Code of Federal Regulations Title 14, Aerospace and Space. Part 23, 25, 91, 121, 135.