

## &lt;중설&gt;

## 항공기 객실승무원의 우주방사선 노출에 관한 고찰

장여진

극동대학교 글로벌대학원 항공서비스경영학과

## Literature Review on Cosmic Radiation Exposure to Air Craft Cabin Crew

Jang Ryeo-Jin

Department of Aviation Service Management, Global Graduate School of Far East University

**Abstract** Recently, together with advancement of domestic aviation industry, overseas tourists using planes have been soared. This study aimed to investigate the risk of diseases for the passengers and flight attendants from the exposed cosmic radiation during the flight by domestic and international literature reviews, as follows. Airliners should develop the program to measure the actual radiation dose and prepare the portable devices for radiation measurement in flight to lower the accumulated dose of cosmic radiation by the attendants. Regulation should be prepared to check the exposed dose during the flight for the passengers by announcement of individual exposed radiation dose which has been provided only to the flight attendants. Passengers and flight attendants should recognize they are exposed to excessive cosmic radiation during the flight and civilians should be protected by the cosmic radiation when they use the flights, which should be prepared by the regulations.

**Key Words :** Air craft, Cosmic radiation, Ionized radiation, Cabin crew, Dose equivalent.

**중심 단어 :** 객실승무원, 우주방사선, 전리방사선, 항공기, 등가선량

## 1. 서 론

우주방사선(cosmic radiation)은 지구 밖에서 생성되는 고에너지 입자로서 지구의 모든 물질을 공격한다. 우주방사선의 일부는 태양에서 기원하지만 대부분은 지구 밖의 수많은 별들의 폭발로 형성된 초신성들로부터 수천광년을 여행하여 지구에 도달한다[1,2]. 우주방사선은 주로 양성자(proton)와 전자(electron) 및 중이온(heavier ion)과 같은 일차 입자들과 이들 입자들이 지구 대기권에 도달하였을 때 생성되는 중성자(neutron)와 같은 이차 입자들로 구성된 전리방사선(ionizing radiation)으로서 태양계와 은하계에서 기원한 아주복잡하게 섞여 있는 전하를 띤 입자들이다[3]. 지구의 대기권 밖에 있는 이들 고에너지 입자들은 아주 불

안정하며 공기 중의 분자들과 반응하게 되면 저준위에너지를 지닌 이차 방사선으로 지표면에 연쇄적으로 많은 방사선 입자수를 증가시킨다.

지구의 대기(earth's atmosphere)는 태양에서 방출되는 우주방사선과 태양계주변의 은하에서 방출되는 우주방사선 입자들에 의해서 끊임없이 부딪치고 있다.

항공기 승무원들은 비행 중 은하계와 태양계에서 방출하는 우주방사선에 지속적으로 노출되어 있다.

지구의 대기권에 도달하는 우주방사선은 입자의 유동성 변이를 일으키는 태양의 활동주기(solar cycle)와 지구자기(earth's magnetosphere) 및 고도(altitude) 등에 의해서 영향을 받는다[4].

지구의 대기는 우주방사선 입자들 대부분을 흡수하고 지

Corresponding author: Ryeo-Jin Jang, Department of Aviation Service Management, Global Graduate School of Far East University, 76-32, Daehak-gil, Gangok-myun, Eumseong-gun, Chungcheonbuk-do, 27601, Korea/ Tel: +82-10-8581-8687 / E-mail: flyjin2@daum.net

Received 19 October 2018; Revised 11 December 2018; Accepted 11 December 2018  
Copyright ©2018 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

구자기는 지구표면에 도달하는 우주방사선을 부분적으로 굴절시키는데 적도 지역에서 굴절률이 높지만 양극(poles) 지역에서는 차단력이 낮아 우주방사선에 대한 노출이 높게 나타난다[5].

지구자기장(geomagnetic field)은 태양에서 방출되어 지구에 도달하는 우주방사선 에너지 보다 더 큰 자기장 에너지를 가지고 있어서 우주방사선을 차단하는 방패역할을 한다. 자기장은 전하를 띤 방사선 입자들이 적도근처에서 지구와 충돌할 때 양극으로 이들을 굴절시킨다. 이런 결과로 적도 지역 보다 양극지역에 2배 이상 많은 양의 우주방사선이 피폭될 수 있다. 이와 같이 지구자기장은 적도에서 방사선 차단효과가 크게 나타나는데 10km-15km 상공을 비행하는 제트 여객기의 경우 적도지역보다 북극지역을 비행할 때 방사선에 2.5-5배 더 노출된다[5,6].

태양의 활동은 11년을 주기로 강해지고 약해진다. 태양 플레어(solar flare) 기간에 높은 에너지의 우주방사선은 폭발적으로 방출된다. 이 시기에 비행중인 항공기는 시간당 10mSv/hr 이상의 방사선에 노출된다. 이러한 이유 때문에 고 고도(high altitude)를 비행하는 콩코드(Concorde) 여객기는 비행중 시간당 0.5mSv/hr 이상 초과하게 되면 안전 고도로 하강하도록 하는 특수경고장치가 부착되어 있다[2]. 또한, 국제민간항공협회는 1971년에 15km 이상을 비행하는 항공기의 모든 탑승객에게 우주방사선 피폭선량을 지속적으로 측정할 수 있는 장비를 휴대하도록 권장하고 있다[2].

지구의 대기권은 우주방사선을 대부분 차단하여 모든 생명체를 보호할 수 있는 역할을 한다. 해수면에서 대기의 두께(thickness)는 1033g/cm<sup>2</sup>이다. 항공여객기가 비행하는 9-12km 고도에서 대기의 두께는 300-190g/cm<sup>2</sup>로 감소되는데 이와 같이 높은 고도에서 우주방사선의 피폭선량은 많아진다. 항공기의 비행고도에서 조사되는 방사선은 일차 방사선 성분들과 대기 중의 원자와 일차 방사선 입자들 사이의 상호반응에 의해서 생성된 이차 방사선들로 구성되어 있다[4].

우주방사선은 높은 고도에서 이온화된 입자로 존재하고 있어서 고도가 높을수록 방사선량은 증폭된다. 제트 여객기의 비행 고도에서 우주방사선은 해수면에서보다 100배 이상 많이 방출된다[6,7]. 항공 여객기의 비행고도에서 승무원들은 은하우주방사선(galactic cosmic rays)과 같은 일차 방사선 물질과 이들 입자 성분들이 대기의 원자들과 상호작용으로 생성된 중성자와 같은 이차 방사선에 노출된다[6].

방사선 입자들은 지구 대기권의 핵입자와 은하우주계의 입자들 사이에 상호작용으로 생성된 이차 입자들뿐만 아니라 태양계와 은하계에서 기원한 전하를 띤 입자들의 혼합복

합체로서 이에 지속적으로 노출되면 인체에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 항공여객기의 비행 고도에서 승무원과 여행객에게 조사되는 방사선은 고에너지를 가지고 있는 중성자(neutron), 양전자(positron), 전자 및 광자(photon)와 같은 서로 다른 미세입자들로 구성되어 있다[6,8].

우주공간에서 우주방사선의 일차입자인 양성자는 대기 중으로 진입할 때 공기 중의 핵입자와 반응하여 다량의 방사선을 방출하게 된다. 저에너지입자들은 지구 자기장에 의해서 우주공간으로 다시 굴절되고 이런 현상은 극지방에서 보다 적도근처에서 더 활발하게 일어난다[6].

우주방사선은 적도근처에서 약 83%가 양성자이고 15%가 알파선이며 2%가 중핵입자이나 양극지방에서는 약 90%가 양성자이고 9%가 알파선이며 1%가 중핵입자들이다[8,9]. 이들은 지구의 대기권으로 침투해 들어와서 대기성분들과 상호작용을 하여 이차방사선을 생성하는데 여객기는 비행 고도상에서 이들 방사선에 노출된다[8].

따라서 높은 고도를 비행하는 항공기 승무원들의 우주방사선 피폭선량을 측정하고 관찰하는 것은 승무원들의 건강을 보장하는데 있어서 매우 중요하다. 그러나 국내에서는 승무원들의 방사선 피폭에 관한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 지금까지 국내외에서 보고된 항공사 객실승무원의 비행기간 중에 방사선 피폭과 누적 피폭선량에 관한 연구 자료의 문헌적 조사를 통하여 방사선에 지속적인 노출로 인한 질병 유발 위험성과 이들 종사자 개개인의 방사선 피폭선량의 정확한 측정 필요성을 고찰하였다.

## II. 비행고도에서 우주방사선 피폭선량

항공기 승무원과 일반인들이 여객기를 이용하면서 피폭되는 우주방사선량은 지상에서 받는 우주방사선량보다 매우 높다. 항공기 승무원들은 해수면지역에 사는 사람들보다 100배 이상 전리방사선에 노출되어 있다[10].

우주방사선의 피폭 강도는 해수면에서부터 15km 이상의 고도에서 급격히 증가한다. 특정 고도에서 공기의 두께라 불리는 대기층(atmospheric depth)은 기압과 비례하는데 고도가 증가할수록 기하급수적으로 반비례한다. 이와 같은 현상은 일정 비행고도로 비행하는 항공기 승무원들에게 민간인이나 방사선에 영향을 받지 않은 작업자들에 비하여 상대적으로 우주방사선에 매우 취약할 수밖에 없다[2].

지구의 대기층은 약 4m 두께의 콘크리트 벽과 같은 효과로 우주방사선을 차단한다[2]. 해수면에서 우주방사선의 피폭선량은 시간당 0.06μSv/hr이고 에어버스(Airbus) 또는

보잉 747기종의 운항 고도인 10km에서 우주방사선은 100 배나 강한  $6\mu\text{Sv/hr}$ 이다[11]. 그리고 약 18km 고도에서 비행하는 콩코드 여객기와 같은 초음속 비행기는 우주방사선에 대한 노출이 대단히 높다[2].

Jang 등[12]의 보고에 의하면 한국의 인천공항에서 아시아와 유럽 및 북아메리카 등을 비행하는 직항노선의 비행기편을 대상으로 CARI 6M 프로그램 모델과 NAIRAS 모델을 사용하여 비행고도에 따라 방사선 피폭선량을 측정된 결과 비행고도 5km에서  $2.5\mu\text{Sv/hr}$ , 11km에서  $10\mu\text{Sv/hr}$ , 15km에서  $40\mu\text{Sv/hr}$ 로 고도가 높을수록 피폭선량이 증가한다고 보고하였다. 또한, 이와 같은 피폭량은 비행거리에 따라 차이가 있는데 승무원과 일반 여행객이 복경을 왕복할 경우 최소 시간당  $10\mu\text{Sv/hr}$ 가 피폭되고 뉴욕을 왕복 비행할 경우  $290\mu\text{Sv/hr}$ 의 우주방사선량을 받으며 일반 여행객의 해외여행을 통한 선량한도  $1\text{mSv/year}$  초과할 우려가 있다고 보고하였다.

일본에서는 2011년 항공기 승무원에 대한 우주방사선의 방어 관리 규정을 제정하여 항공기 승무원들은 연간  $5\text{mSv/year}$  이하의 피폭선량을 유지할 것을 권고하였고, 이런 지침에 따른 방사선 선량측정방법에 관한 규정과 정보를 제공하고 있다[13].

항공기승무원의 우주방사선 피폭선량에 관한 연구에서 Friedberg 등[14]은 미국에서 항공기승무원이 연간 누적 피폭되는 방사선량이  $0.2\text{--}9.1\text{mSv/year}$ 로 보고하였으며 반면에 Oksanen[15]은 비행중 개인별 조사선량을 조사한 결과 승무원들은  $0.72\text{--}3.1\text{mSv/year}$ 이고 조종사들은  $1.08\text{--}2.83\text{mSv/year}$ 의 누적 피폭된다고 보고하였다.

Vuković 등[6]은 고도 8km를 비행하는 여객기와 12km를 비행하는 여객기에서 Mini 6100 반도체 선량계를 사용하여 승무원들의 방사선 피폭 선량을 조사한 결과 8km 고도의 비행에서는  $0.353\mu\text{Sv/hr}$ 가 피폭되고 12km 고도의 비행에서  $1.635\mu\text{Sv/hr}$ 가 피폭된다고 보고하였다. 약 12km의 고도로 승무원이 1년에 500시간 비행에서 연간 방사선 피폭선량은  $1.64\text{mSv/year}$ 이지만 이와 같은 결과로 볼 때 12km 고도에서 비행은 8km 고도에서보다 4.6배 이상의 방사선 피폭선량이 늘어난다고 보고하였다. 또한, 반도체 선량계는 중성자 조사선량을 기록하지 못하기 때문에 실제적인 피폭선량은 이보다 2배 이상 높을 것으로 보고하였다.

이와 같이 동일한 비행 고도에서도 피폭되는 방사선 조사선량의 차이가 나타나는 원인중의 하나는 방사선 조사선량 측정 도구와 프로그램의 차이에 의해서 일어날 수 있다.

외국에서는 비행중 방사선 노출량을 쉽게 측정할 수 있는 다양한 종류의 프로그램 패키지가 개발되고 있으며 이런 프

로그래ムの 정확성을 입증하기 위해서 배터리가 장착된 실리콘 반도체 검출기와 외부방사선의 미세선량을 측정할 수 있는 조직등가비례계수기(Tissue Equivalent Proportional Counter)와 같은 휴대용장비를 사용하여 우주방사선을 측정한다[7].

국내에서 항공사 승무원의 연간 노출된 방사선량을 미국 FAA(Federal Aviation Administration)에서 개발한 CARI-6M 우주방사선 계산프로그램으로 측정 계산한 결과 운항 승무원은 우주방사선의 노출이 최대  $5.44\text{mSv/year}$ 이고 평균  $2.19\text{mSv/year}$ 이며 객실승무원의 경우 연간  $4.73\text{mSv/year}$ 이며 평균  $2.887\text{mSv/year}$ 라고 보고하였다[16].

CARI-6 프로그램은 비행일자, 출발 및 도착공항 등의 노선별 운항정보와 항로정보를 입력함으로써 노선별 누적 선량을 계산할 수 있는 프로그램으로 국내 여러 항공사에서 사용하고 있다[17]. 그러나 우주방사선 피폭선량을 예보할 수 있는 프로그램은 태양방사선의 반영 유무와 프로그램의 업데이트 주기에 따라 측정값이 다르게 나올 수 있기 때문에 다양한 종류의 프로그램 패키지의 활용과 함께 승무원들이 쉽게 검색 가능한 휴대용 조사선량계의 활용도 필요하다.

항공 산업의 발달과 함께 대부분의 항공사들은 고 고도의 북극항로(polar route)를 이용하는데 북극항로를 통과하는 비행은 연료의 절감과 비행시간을 단축할 수 있다. 그러나 지구자기 위도(geomagnetic latitude)의 증가로 북극항로는 다른 항로보다 우주방사선의 노출량이 크게 증가한다. 항공사 승무원들의 방사선 피폭에 대한 관심이 증가하면서 북극항로 이외의 항로와 방사선 피폭선량의 비교에 미치는 영향을 분석하는 것이 필요하다.

중국의 경우 21세기 초반에 북극항로가 개설된 이후 중국 국내선 항로를 비행하는 승무원과 북극항로 및 국제선 항로를 비행하는 승무원과의 우주방사선 피폭에 관한 연구에서 개인용 방사선 선량계를 사용하여 측정된 결과 북극항로를 비행한 승무원의 년 평균 피폭선량은  $5.79\pm 0.92\text{mSv/year}$ 이고 국내선항로에서는  $2.14\pm 0.64\text{mSv/year}$ 이라고 보고하였다[3]. 이와 같은 결과는 북극항로를 비행하는 승무원들이 다른 항로를 이용하는 승무원들 보다 우주방사선의 피폭 선량이 높은 수치로 북극항로를 비행하는 승무원들은 비행 승무시간의 단축이나 다른 항로의 비행 등으로 연간  $20\text{mSv/year}$  이상이 초과하여 노출 되지 않아야 한다[18].

국제원자력기구 내 국제방사선방호위원회(ICRP: International Commission on Radiological Protection)[18]는 방사선 관련 직업종사자의 연간 방사선피폭 누적선량을  $20\text{mSv/year}$ 로 제한하였고 임신한 여성 종사자는  $2\text{mSv/year}$  이하, 그 외의 일반 여행객들은 연간  $1\text{mSv/year}$ 를 초과하지

않아야 된다고 가이드라인을 제시하였다(Fig. 1).

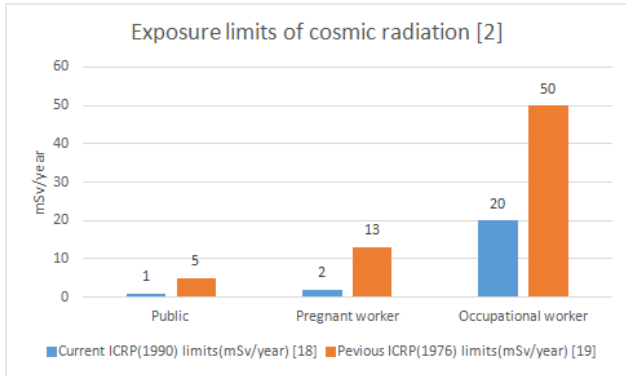


Fig. 1. ICRP exposure limits of cosmic radiation[2].

우리나라에서도 항공기승무원을 포함한 직업적으로 전리 방사선에 노출되는 사람은 5년간 100mSv/year를 초과해서는 아니 되며, 1년에 최대 50mSv/year 이내로 년 평균 20mSv/year초과해서는 안된다고 규정하고 있다. 또한, 임신한 승무원의 방사선 피폭선량은 2mSv/year 이하로 규정하고 있다[16]. 최근에 한국원자력안전재단이 국내 항공사 객실 승무원과 운항승무원을 대상으로 CARI-6M 예보프로그램을 사용하여 2015년 1년 동안 노출된 방사선량을 분석한 결과 객실승무원의 경우 년 평균 2.20mSv/year이고 운항승무원의 경우 년 평균 1.67mSv/year가 피폭된다고 보고하였다. 또한, 운항승무원 보다 객실승무원의 피폭선량이 많은 것은 객실승무원의 비행시간이 더 길기 때문인 것으로 보고하였다[20].

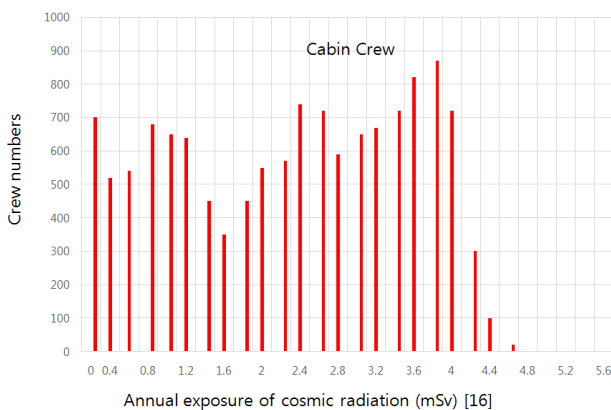


Fig. 2. Annual exposure of cosmic radiation dose of Korean cabin crews in 2015 year[20].

### Ⅲ. 우주방사선 피폭이 객실 승무원에 미치는 영향

우주방사선은 1912년 Victor Franz Hess가 처음 발견한 이후 전리방사선과 함께 종양을 일으키는 발암원으로서 인체에 심각한 해를 미치고 있다[21].

항공기 승무원들은 우주방사선에 지속적으로 노출되어 있다. 장기간 지속적인 방사선 피폭은 암을 유발할 수 있거나 특히 임신한 여성승무원의 경우 태아에게 심각한 영향을 초래할 수 있다[22]. 또한 지속적인 방사선 누적 피폭선량에 의해서 주로 노년기에 암 발생 빈도에 영향을 미친다.

전리방사선은 암의 발생에 가장 위험한 요인이다. 원자를 이온화 시킬 수 있는 고에너지를 가지고 있는 방사선을 살아있는 개체에 피폭시켰을 때 세포의 핵과 미토콘드리아 핵산 및 세포소기관의 분자들에 결정적인 손상을 입힌다. 고에너지 방사선은 세포의 핵에 존재하는 단일 가닥과 이중가닥의 핵산을 파괴시키고 손상된 세포내 분자들은 세포의 고유 기능을 교란시켜서 단백질 합성을 변화시킨다. 이런 교란은 세포의 유전인자와 표현형 인자에 변화를 주어서 돌연변이형 신생물을 만들게 된다.

서양에서 X선 검사나 핵의학검사를 위해서 사용되는 의료용 방사선은 1인당 피폭선량이 년 평균 3.0mSv/year로서 150장의 가슴 X선 촬영을 하는데 노출되는 방사선량과 비슷하다[23,24]. 의료기관에서 방사선 관련 의료인과 같이 직업적으로 방사선에 노출되어 있는 종사자들은 연간 5Sv/year가 피폭되고 있으며 20-30년간 종사한 이후 100명 중에 1명 정도는 암이 유발된다[23,24].

항공기 객실승무원들은 운항승무원이나 여행객 보다 비행근무시간이 길어서 고도 비행 중에 눈에 보이지 않는 우주방사선에 더 많이 노출되어 건강에 심각한 위협을 받을 수 있다.

항공기승무원들은 일차 우주방사선뿐 만 아니라 대기 및 항공기와의 상호작용으로 생성된 이차 우주방사선에 노출되어 있다. 비행고도에서 피폭되는 방사선 성분은 중성자, 양성자, 양전자, 광자 및 뮤온(muon)과 파이온(pion) 입자들이지만 항공기 승무원들과 탑승객들에게 피폭되는 방사선의 약 50%는 중성자이다[25].

최근에 항공사 승무원들의 증가되는 암과 각종 질병 발생 원인에 대한 연구가 집중되고 있다[26,27]. 은하우주방사선 피폭은 알츠하이머병을 포함한 중추신경계에 장애를 일으킬 수 있으며 알츠하이머병을 진단받은 경우 8년 이내에 사망에 이르기 까지 한다[26].

Romano 등[21]은 항공기 운항승무원과 객실승무원의 우

주방사선에서 기원한 전리방사선의 피폭에 관한 연구에서 말초혈액 림프구(lymphocyte) 내의 쌍중심질 염색체와 다환성 염색체 증가로 염색체이상(chromosomal aberration)이 나타나는 것을 확인하였다.

최근에는 임신한 승무원의 비행 중 태아에게 미치는 중성자의 증가선량 측정 등에 관한 연구가 이루어지고 있다 [22,25]. 특히 중성자는 일정비행고도에서 전체 방사선량의 50%를 차지한다. 또한 임신한 여성들의 태어나 배아는 높은 방사선 민감성으로 인하여 사망까지 이르는 생물학적 영향을 미칠 수 있기 때문에 주의를 기울여야 한다. 따라서 국제방사선방호위원회(ICRP)는 임신기간 중에 방사선 증가선량이 1mSv/year를 초과하지 않아야 한다고 규정하고 있고([28], 미국 방사선방호측정위원회 (National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP)는 5mSv/year를 초과 피폭되지 않아야 한다고 규정하고 있다[24].

Alves 등[25]은 임신중인 승무원의 비행중 방사선 피폭선량이 2.35 $\mu$ Sv/hr로 이전의 문헌적 보고보다 약 1.5배 이상 높았고 태아에 대한 중성자의 선량변환계수는 이전의 연구에서보다 최고 3.9배 까지 높게 측정되었다고 보고하였다. Enyinna[22]는 국제선 항로를 비행하는 승무원들의 방사선 연간 피폭선량은 2.94mSv/year로 이 정도의 피폭선량은 임신중인 승무원의 연간 표준허용치를 넘는 선량이라고 보고하였다. 최근 국내의 주요항공사에서는 국제방사선방호위원회 [28]와 미국방사선방호측정위원회의 규정[25] 및 국토부의 권고[16]에 의해서 승무원의 방사선 조사선량을 6mSv/year 이하로 제한하고 있으며 특히 임신한 승무원의 경우 1mSv/year 이하로 누적 선량한도를 정해 놓고 있다.

#### IV. 우리나라의 방사선안전관리법

항공사 승무원들의 우주방사선 피폭에 관한 인식은 1990년 국제방사선방호위원회(ICRP)[18]에서 발간된 제 60호 출판물로부터 시작되었다. 그 후 방사선 관련 직업 근무자들과 동일한 범주에서 이런 자연방사선의 연간 피폭선량에 관한 연구가 진행되어 왔다. 잘 훈련된 방사선 관련 직업 근무자들은 지속적으로 방사선 관련 교육을 받고 개인당 방사선 피폭선량을 수집하기 위한 휴대용 선량계를 제공받아 왔다. 그러나 항공사 승무원들에게는 이런 경우가 일반적이지 않다[29].

우리나라에서는 생활주변방사선 안전관리법(2017년 시행) 제18조 3항에서 항공운송사업자는 항공노선별로 승무원이 우주방사선에 피폭되는 양과 승무원이 연간 우주방사

선에 피폭되는 양에 대한 조사 분석 결과를 반영하여 승무원의 건강 보호 및 안전을 위한 조치를 하여야 한다고 규정하고 있으며[16] 또한, 국제방사선방호위원회의 항공기 승무원과 승객의 방호지침[30]의 권고에 따라 최근에 한국원자력안전위원회는 제2차 「생활주변방사선 안전관리법」 제5조에 생활주변방사선으로부터 국민의 건강과 환경을 보호하기 위하여 필요한 사항이 포함된 「제2차 생활주변방사선 방호 종합계획(2018~2022년)」을 수립 추진하기 위한 생활주변방사선방호 종합계획안을 심의 의결하였다. 의결된 안의 제18조 방사선 안전관리에서 국제항공노선을 운영하는 항공운송사업자에게 승무원의 우주방사선 피폭 관리(피폭 방사선 평가 및 정보제공 등)를 의무 부여하는 구체적인 안을 제시하고 있다[16].

한국원자력 안전위원회는 승무원에대한 우주선 피폭관리 강화 방안으로 우주방사선 피폭관리 정착과 우주방사선 피폭선량 평가프로그램 검증 및 항공기 탑승객에 우주방사선 정보 제공 등의 관리방안을 제시하였다[16].

승무원의 우주선피폭관리 정착으로 우주방사선 피폭에 대한 충분한 안내와 개인피폭선량 제공 및 임신 승무원에 대한 직무조정 등 항공사의 피폭관리 정착을 유도하고 있다. 또한, 항공기 탑승객에 우주방사선의 위해성 정보를 제공하기 위해서 비행 항로별 우주방사선량 정보에 대한 일반인 접근성을 높여 항공기 탑승객의 우주방사선 피폭에 대한 이해를 높이고 자율적 관리를 유도하는 내용이다.

결론적으로 항공승무원들의 우주방사선 피폭선량을 줄이기 위해서 실제 피폭되는 방사선량의 정확성을 향상 시킬 수 있는 측정프로그램의 구축과 기내 휴대용 측정 장비의 의무 설치가 필요하다. 또한, Chio 등[31]이 민간인들에게도 우주방사선의 피폭으로부터 보호받을 수 있는 제도적 장치 마련의 필요성을 언급하였듯이 우선 항공 여행객들도 비행기간 동안에 피폭되는 방사선량을 실시간 확인할 수 있는 제도적 정비가 필요하다.

#### V. 결론

최근 국내에서 항공산업의 발달과 함께 항공 여객기를 이용한 해외 여행객이 폭발적으로 증가하고 있다. 본 연구는 항공 여객기의 고도 비행 중에 항공승무원과 여행객에게 누적되는 우주방사선 피폭에 의한 질병 유발 위험성을 국내외 문헌조사를 통하여 확인하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

항공사는 항공 승무원들의 우주방사선 누적 피폭선량을 줄이기 위해서 실제 피폭되는 방사선량을 정확하게 측정할

수 있는 프로그램의 구축과 기내 방사선 측정 휴대용 장비의 설치가 필요하다. 국내에서 항공승무원에게만 제공하고 있는 개인별 방사선 피폭선량의 공개를 항공 여행객에게도 비행기간 동안에 피폭되는 방사선량을 확인할 수 있는 법적 규정이 마련되어야 한다. 항공기 승무원과 여행객들은 비행기간 동안에 과도한 우주방사선에 노출되어 있다는 것을 인식해야 하고 민간인들도 항공여행객기를 이용하면서 우주방사선으로부터 보호받을 수 있는 제도적 장치가 마련되어야 할 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- [1] Ramaty R, Higdon JC, Lingenfelter RE, Kozlovsky B. Rain of fire. *Science*. 1999;39:24-9.
- [2] Lim MK. Cosmic rays: Are air crew at risk? *Occup Environ Med*. 2002;59:428-32.
- [3] Tuo F, Zhou L, Xu C, Yao Y, Ren T, Zhou Q. Measurement of cosmic radiation dose to air crew connecting for a typical polar route flight. *J Radioanal Nucl Chem*. 2012;293(3):935-9.
- [4] Berger T, Meier M, Reitz G, Schridde M. Long-term dose measurements applying a human anthropomorphic phantom onboard an aircraft. *Radiat Meas*. 2008;43(2-6):580-4.
- [5] Bagshaw M. Cosmic radiation in commercial aviation. *Travel Med Infect Dis*. 2008;6(3):125-7.
- [6] Vuković B, Radolić V, Miklavčić I, Poje M, Varga M, Planinić J. Cosmic radiation dose in aircraft—a neutron track etch detector. *J Environ Radioact*. 2007;98(3):264-73.
- [7] Yasuda H, Yajima K. Verification of cosmic neutron doses in long-haul flights from Japan. *Radiat Meas*. 2018;119:6-11.
- [8] Ferrari A, Pelliccioni M, Rancati T. Calculation of the radiation environment caused by galactic cosmic rays for determining air crew exposure. *Radiat Prot Dosim*. 2001;93:101-14.
- [9] Townsend LW. Radiation exposures of aircrew in high altitude flight. *J Radiol Prot*. 2001;21(1):5-8.
- [10] Chen J, Lewis BJ, Bennett LGI, Green AR, Tracy BL. Estimated neutron dose to embryo and fetus during commercial flight. *Radiat Prot Dosim*. 2005;114(4):475-80.
- [11] O'Brien K, McLaughlin JE. The radiation dose to man from galactic cosmic rays. *Health Phys*. 1972;22:225-32.
- [12] Jang DG, Shin SH. Analysis of cosmic radiation dose of people by abroad travel. *J Radiol Sci Technol*. 2018;41(4):339-44.
- [13] Yasuda H, Sato T, Yonehara H, Kosako T, Fujitaka K, Sasaki Y. Management of cosmic radiation exposure for aircrew in Japan. *Radiat Protect Dosim*. 2011;146:123-5.
- [14] Friedberg W, Faulkner DN, Snyder L, Darden Jr, O'Brien K. Galactic cosmic radiation exposure and associated health risks for air carrier crew members. *Aviat Space Environ Med*. 1989;60:104-8.
- [15] Oksanen PJ. Estimated individual annual cosmic radiation doses for flight crews. *Aviat Space Environ Med*. 1998;69:621-5.
- [16] Nuclear Safety and Security Commission. Act on protective action guidelines against radiation in the natural environment. Article 2, Seoul, Korea; 2017.
- [17] Hong JH, Kwon JW, Jung JH, Lee JK. Calculation of route doses for Korean-based international air-line routes using CARI-6 and estimation of aircrew exposure. *J Korea Asso Radiat Prot*. 2004;29(2):141-50.
- [18] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. (ICRP Publication No 60). Oxford: Pergamon Press; 1991.
- [19] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. (ICRP Publication No 26). Oxford: Pergamon Press; 1977.
- [20] KoFONS, Korea Foundation of nuclear Safety. Cosmic radiation story of aircraft crew. KoFons/RE-015, 2016;22-3.
- [21] Romano E, Ferrucci L, Nicolai F, Derme V, De Stefano GF. Increase of chromosomal aberrations induced by ionising radiation in peripheral blood lymphocytes of civil aviation pilots and crew members. *Mutat Res*. 1997;337(1):89-93.
- [22] Enyinna PI. Radiological risk assessment of cosmic

- radiation at aviation altitudes (a trip from Houston Intercontinental Airport to Lagos International Airport). *J Medi Phys.* 2016;41(3):205-9.
- [23] Marazziti D, Baroni S, Catena-Dell'Osso M, Schiavi E, Ceresoli D, Conversano C, Dell'Osso L, Picano E. Cognitive, psychological and psychiatric effects of ionizing radiation exposure. *Curr Med Chem.* 2012;19(12):1864-9.
- [24] Tang FR, Loganovsky K. Low dose or low dose rate ionizing radiation-induced health effect in the human. *J Environ Radioact.* 2018;192:32-47.
- [25] Alves MC, Galeano DC, Santos WS, Hunt JG, d'Errico F, Souza SO, de Carvalho J nior AB. Monte Carlo calculation of the neutron dose to a fetus at commercial flight altitudes. *Radiat Phys Chem.* 2017; 140:398-402.
- [26] Meier MM, Mathia D. Assessment of the skin dose for aircrew. *J Radiol Prot.* 2017;37(2):321-8.
- [27] Cucinotta FA, Alp M, Sulzman FM, Wang M. Space radiation risks to the central nervous system. *Life Sci Space Res.* 2014;2:54-69.
- [28] ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. International Commission of Radiological Protection, ICRP Publication 103 Ann. ICRP, 37, Pergamon, Oxford; 2007.
- [29] Bennett LGI, Lewis BJ, Bennett BH, McCall MJ, Bean M, Doré L, Getley IL. A survey of the cosmic radiation exposure of Air Canada pilots during maximum galactic radiation conditions in 2009. *Radiat Meas.* 2013;49:103-8.
- [30] Lochard J, Bartlett TD, Ru N hm W, Yasuda H, Bottollier-Depois JF. Radiological protection from cosmic radiation in aviation. ICRP Publication 132, Ann. ICRP 2016;45(1):1-48.
- [31] Choi SH, Lee J, Kim HJ. A research on improvement measures for safety management of aviation cosmic radiation. *Korean J Air & Space Law Policy.* 2016; 31(2):215-36.