

항공기 탑재 우주방사선 측정장비와 예측프로그램의 비교값 실증연구

Empirical Study on the Value Comparison Between Cosmic Radiation Measuring Instruments and Prediction Programs

김규왕¹ · 최연철^{2*}

¹한서대학교 항공운항학과

²한서대학교 헬리콥터조종학과

Kyu-Wang Kim¹ · Youn-Chul Choi^{2*}

¹Department of Flight Operation, Hanseo University, Seosan, Korea, 31962, Korea

²Department of Helicopter Operation, Hanseo University, Seosan, Korea, 31962, Korea

[요 약]

우주방사선을 측정을 위해서는 측정장비의 신뢰성이 중요하다. 본연구는 이에 대한 실증으로 현재 우리나라에서 운영되고 있는 우주방사선 실측장비인 Liulin와 TEPC를 항공기에 탑재하여 인천과 로스앤젤레스 구간에서 측정하여 비교하였다. 또한 우주 방사선량을 확인하기 위해서는 사전에 예측프로그램을 통한 분석이 필요하므로 FAA가 개발한 CARI-6M과 우리나라의 KREAM 프로그램을 사용하여 예측치를 도출하였다. 검증결과 2개의 장비는 허용수준인 20% 이내로 장비 신뢰도에 문제가 없었다. 또한, 예측프로그램도 각각의 차이가 매우 미세한 것으로 나타났다. 그러나 예측프로그램의 예측값과 실측치와는 큰 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 이에 대한 보정이나 지속적인 연구를 통하여 예측치가 실측치와 유사하도록 프로그램을 보완하는 것이 요구된다.

[Abstract]

The reliability of measuring instruments is essential in measuring cosmic radiation. To demonstrate this importance, this study measured and compared the amount of cosmic radiation using Liulin and TEPC, operated in South Korea, on a flight between Incheon, South Korea and LA, the US. In addition, since prior analysis based on a prediction program is necessary in advance to check the dose of cosmic radiation, this study utilized KREAM developed in Korea and the CARI-6M developed by the FAA to acquire the predicted value. As a result of the verification, the reliability of the two devices falls within the acceptable level of 20%, proving the reliability. Moreover, the differences between the values acquired by each prediction program were only subtle. Nevertheless, the analysis demonstrated that the prediction value obtained by the programs and the measured value had significant differences. Therefore, additional correction of the discrepancies or continuous research for such is required to match the predicted values are similar to the actual measured values.

Key word : Aircrew, Cosmic radiation, , Cosmic radiation measurement equipment, Cosmic radiation prediction program, Flight operation.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.6.755>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 November 2023; Revised 14 December 2023
Accepted (Publication) 19 December 2023 (29 December 2023)

*Corresponding Author; Youn-Chul Choi

Tel: *** - **** - ****

E-mail: pilotok@daum.net

I. 서론

1969년 10월 2일 대한항공 KE683(인천~호찌민)편이 국제선 비행을 시작한 이래 50여 년이 지난 현재 우리나라는 항공기 390여 대, 운항승무원 6,000여 명, 객실승무원 25,000여 명이 비행하고 있으며, 2023년 1월부터 9월까지 295,948편(국내 127,460편, 국제 168,488편)이 운항되었다.

이 가운데 10시간 이상의 노선들이 많이 운영되는 북극항공로의 이용은 거리 단축의 이점으로 여러 항공사에서 매년 수백 이상의 항공편이 운항되며 세계적으로 북극항공로를 이용하는 횟수는 2017년 기준 18,672회, 19개 항공사가 운항 중이다.

북극항공로가 운영되면서 국제적으로 우주방사선에 대한 우려가 표명되었고 우리나라도 2004년부터 항공승무원에 대한 방사선 피폭선량 연구와 함께 한국천문연구원은 ‘북극항공로 우주방사선 안전기준 및 관리정책 개발연구’를 2009년에 발표하였다.

지구상에는 자연방사선이 존재하나 중요성이 크게 거론되지 않았지만 산업 발전과 함께 원자력이 적극적으로 운영되면서 발생하는 방사선의 위험성이 이슈화되었으며 우리나라에서도 2008년 생활 주변 방사선 안전관리를 위한 법 제정이 추진되어 2012년 7월부터 시행되었다.

한편, 국토교통부도 북극항공로의 이용과 관련한 우주방사선의 위험성이 논의되면서 “항공승무원의 안전관리와 건강 보호를 위한 규정”을 2013년에 제정하였으나 관련된 연구는 2020년에 발표한 ‘항공승무원의 우주방사선 피폭 저감에 관한 연구’ 외 수 건에 지나지 않았다. 2018년 6월에 전직 객실승무원이 우주방사선 피폭으로 급성골수성 백혈병이 진행되었다는 산재 신청을 하면서 사회문제가 되었고 2명의 신청이 받아들여지면서 2022년에는 항공승무원에 대한 우주방사선 안전관리 일원화 및 강화가 포함된 「생활주변방사선 안전관리법」이 개정되었다. 이 법은 생활 주변에서 접할 수 있는 방사선의 안전관리에 관한 사항을 규정하고 있는데 주요 내용은 국민의 건강과 환경을 보호하기 위하여 수립되는 생활주변방사선방호 종합계획, 천연방사성핵종 관련 등록 관리 및 가공제품 관리가 있으며 우주에서 들어오는 방사선으로부터 항공승무원 보호 및 우주방사선의 안전관리, 항공운송사업자의 기록보관 및 보고 의무, 항공승무원의 건강 영향조사를 규정하고 있다.

민간 항공기의 국제선 운항고도는 통상 지상 10~12 km 상공으로 우주방사선의 강도가 지표면에 비해 10배 내외로 평가되지만 우주방사선 자체가 자연방사선의 하나이며, 고공비행의 경우 추가로 피폭되는 형태이므로 환경문제의 하나로 간주되었으나 2016년 국제방사선방호위원회(ICRP)는 간행물 132에서 비행 중 우주방사선 피폭과 안전관리를 권고하기 시작하였다.

피폭자료의 수집을 위해서는 우주방사선의 노출이 강한 것으로 연구된 항로를 비행하는 항공기에 측정가능한 측정장비를 탑재하고 운영하여야 하는데 특히, 중요한 부분은 탑재장비

에 대한 신뢰성이 우선되어야 한다.

현재 국제적으로 운영되는 장비는 Liulin과 국내 장비로 TEPC (tissue equivalent proportional counter)가 있는데 본 연구에서는 2개의 장비들을 통하여 실측자료를 확보하였으며 예측 프로그램인 CARI-6M과 KREAM를 활용하였다.

본 연구의 결과는 항공승무원의 우주방사선과 안전관리를 위한 기초자료로 유용하게 활용될 것이다.

II. 우주방사선의 이해

2-1 우주방사선

지구에는 다양한 방사선이 날아오고 있는데 이들의 핵융합 반응을 에너지원으로 하여 항성에서 방출되어 지구에 도달하는 것이 우주방사선이다. 우주방사선은 지구로 쏟아지는 고에너지 미립자와 감마선 및 대기의 분자와 충돌하여 생긴 고에너지 미립자와 감마선의 총칭으로 대기권의 공기입자들과 충돌하기 전의 1차 우주방사선과 이들이 대기권과 충돌 후 발생한 2차 입자로 구성된 2차 우주방사선으로 구분된다[1].

1차 우주방사선은 태양계 밖의 은하우주방사선 (GCR: galactic cosmic ray)과 태양의 흑점활동과 관련된 태양우주방사선 (SCR: solar cosmic ray)으로 구분되는데 이들을 모두 ‘1차 우주방사선 (primary cosmic radiation)’으로 총칭한다[2].

은하 우주방사선(GCR)은 코로나질량방출 (Coronal Mass Ejection), 초신성 폭발 (Supernova Explosion), 은하 핵폭발 (Galactic Nuclei Explosion) 등으로 생성되며 95%의 양성자, 3.5%의 알파입자, 나머지는 탄소와 철 같은 무거운 핵종 (heavy ions)으로 구성된다. 은하 우주방사선은 생성 후 고에너지 (1,020 eV) 입자로 가속되어 지구 대기권에 도달하지만 태양우주방사선에 비해 상대적으로 낮은 양(μSv 수준)이면서도, 예측이 쉽다는 특징이 있다[3].

태양에서 쏟아지는 태양풍은 지구로 들어오는 은하우주선을 막는 일종의 차폐 역할을 하므로 태양활동 극대기로 갈수록 은하우주선은 뚜렷하게 감소하는 경향을 보이는 반면 태양 우주방사선(SCR)은 태양의 흑점 활동으로 발생하는 우주방사선으로 태양흑점 폭발 (Solar flare), 코로나질량방출 (CME: coronal mass ejection) 등과 같이 급격한 태양활동 변화에 따라 급격히 증가하는 특성을 보이며 순간 최대 수 mSv에서 수십 mSv 수준까지 변화한다. 또한, 태양우주선은 11년마다 태양 활동의 극대기가 반복되면서 증가와 감소가 반복되는데 최대 에너지가 109 eV에 이르며 뮤온, 전자, 양성자, 광자, 중성자 등으로 구성되어 있다.

항공기가 운항하는 고도에서 우주방사선 효과를 일으키는 입자들은 대부분 우주 및 태양에서 생성된 고에너지 입자인 양성자로 1차적으로 지구 자기장에 가로막혀, 직접 대기로 진입 못하고, 대부분 지구 자기력선을 따라 지구 양극 쪽으로 퍼진다. 따라서 극 항로를 운항하는 항공기의 경우 우주방사선 피폭

피해가 적도의 운항보다 높아진다.

또한, 고에너지 양성자는 지구 대기 분자와 부딪혀 에너지가 낮아지면서 안정화되어 지상에는 소량의 우주방사선만 입사하게 되지만 그 양이 연간 수십~수백 μSv 수준으로 알려져 있다 [4].

표 1. 우주방사선 성분별 분포도

Table 1. Distribution of cosmic radiation

	muon	electron	neutron	proton	photon
equator	5%	38%	37%	12%	8%
polar	3%	14%	64%	14%	5%

대류권(Troposphere)은 지구 표면과 접촉되어, 일상적인 대류 현상 및 기상 현상이 나타나는 구역으로 지표면에서 평균 약 12 km로 대기 질량의 80% 이상이 이곳까지는 차폐효과가 있지만 그 이상의 고도에서는 대기의 차폐효과가 감소하므로 결과적으로 고도가 높을수록 방사선량은 증가한다.

2-2 항공승무원과 우주방사선 노출

우주방사선의 노출량은 항공기의 운항고도, 위도, 태양 활동과 관계가 있으며 노출시간과 관련이 있으므로 비행시간과 밀접히 연관된다. 통상 우리나라에서 유럽이나 북미까지 편도인 12시간을 비행하면 약 0.05~0.09 mSv 정도에 노출되므로 여행을 하는 일반승객의 경우 왕복 0.1 mSv 정도로 노출이 낮은 편이나 연 800~1,000시간을 탑승하는 승무원의 경우 누적노출이 연간 약 2.05 mSv(2015년) 정도이다.

일반적으로 한국에서는 일상생활에서 연간 3.08 mSv의 선량을 자연스럽게 받는데 자연방사선은 의도적인 것이 아니므로 선량한도에 포함되지 않으므로 항공승무원이 받는 우주방사선도 자연방사선의 일부로 이를 문제 삼는 것이 부적절하다는 의견들이 과거부터 거론되었다. 그러나 우주방사선의 경우 직무와 관련하여 받는 피폭이므로 접근방식을 다르게 해야 한다는 의료계의 권고와 함께 항공승무원이 방사선 작업종사자로 간주되면서 원자력안전법의 종사자 선량한도 ‘연간 50 mSv를 넘지 않는 범위에서 5년간 100 mSv를 넘으면 안 된다.’는 규정을 적용하나, 생활방사선 안전관리를 위한 안전 지침에서는 이보다 강화된 ‘연평균 선량한도 20 mSv의 30%, 즉 6 mSv를 초과할 우려가 있는 경우 피폭저감에 대한 노력을 하여야 한다.’라고 명시하고 있다[5].

또한, 항공승무원을 관리하는 항공운송사업자는 항공노선별로 승무원이 우주방사선에 피폭하는 양과 승무원이 연간 우주방사선에 피폭하는 양을 조사·분석한 결과를 반영하여 승무원의 건강 보호 및 안전을 위한 조치를 하여야 하며, 건강진단과 함께 경각심 차원의 우주방사선 피폭 등에 관해 원자력안전위원회의 교육을 받도록 법제화되어 있다.

이러한 법안의 취지는 비행 관련 항공종사자의 우주방사선

피폭이 일반 방사선작업 종사자 피폭 수준에 비해 결코 낮은 수치가 아니므로 국제적으로 항공기 승무원을 방사선 작업종사자로 분류하고 있는데 영국은 약 3.07 mSv(2013), 독일의 경우 약 2.4 mSv(2012년)의 우주방사선 노출이 보고되면서 방사선 분야 작업종사자 보다 2~3배 가량 높은 피폭 수준을 보이므로 주의를 요하고 있다.

표 2. 방사선 종사자 선량한도

Table 2. Standards for use by radiation workers

years	Effective dose	Equivalent dose	
		eye	Skin
radiation worker	50 mSv (5Yr 100 mSv)	150 mSv	500 mSv
Frequent visitor, transport worker	6 mSv	15 mSv	50 mSv
ordinary person	1 mSv	15 mSv	50 mSv

2-3 우주방사선 산출 방법

세계적으로 국제운송사업자들에게는 국가 또는 우주방사선 관련 연구기관에서 개발한 프로그램 또는 관측을 이용하여 소속 항공사의 승무원의 우주방사선 관리를 권고하고 있다. 우주방사선을 산출하기 위한 국제적인 프로그램으로 CARI-6는 미국 연방항공청(FAA)에서 개발한 것으로, 출·도착 공항의 국제 민간항공기구(ICAO)의 항공사 코드와 비행고도 및 시간 등을 입력하여 우주방사선을 산출하며 다양한 기관들이 사용하고 있다. 그러나, 태양 방사선이 반영되어 있지 않고, 우주방사선 산출 시 1개월 이상 기다려야 하는 등 실시간 정보를 반영하고 있지 못하는 단점이 있다.

다음으로 미항공우주국(NASA)이 개발한 NAIRAS 모델이 있는데 이는 은하방사선 및 태양방사선의 효과를 모두 반영하여 CARI 모델보다 정확한 우주방사선 산출이 가능하고, 실시간으로 자신의 우주방사선량을 알 수 있는 장점이 있다.

우리나라의 경우 국립전파연구원에서는 항공사 승무원의 우주방사선 관리를 지원하면서 일반인도 자신의 비행 후 노출된 우주방사선량을 확인할 수 있도록 SAFE (safety aviation flight environment) 시스템을 개발하여 인터넷과 모바일 앱으로 서비스하고 있다. 이 시스템은 자신의 비행평면 및 이용날짜를 입력하면, NARIAS와 CARI 모델을 통해 총 우주방사선 노출량을 제공하는 프로그램으로 회원가입을 하면 연간 누적 우주방사선량을 알 수 있는 등 사용자 편의성에 중점을 두었다.

우리나라는 물론 국제적으로 우주방사선 측정 장비와 우주방사선에 의한 피폭방사선량 평가 프로그램을 사용하여 조사·분석할 때에는 다음의 요구사항을 만족시켜야 한다. 즉, 국제표준화기구(ISO)의 우주방사선 측정장비의 응답 특성 관련 규격 ISO 20785-2(2020년판)에서 제시하는 교정장비, 교정절차, 불확도 평가, 성능 시험 방법을 따라야 하며 우주방사선 측정장비를 통한 측정은 기내 환경, 태양활동, 측정 고도 및 위치 등에 따

른 고려사항, 배경 준위 및 보안 검색대의 영향 등 국제표준화 기구(ISO)의 비행고도에서의 우주방사선 측정 관련 규격 ISO 20785-3(2015년판)에서 제시하는 고려사항을 반영하여야 한다.

우주방사선 측정 장비는 측정장비 중, 저-선에너지 전달측정용 장비와 고-선에너지전달 측정용 장비를 동시에 사용하는 경우를 말하며 구성요소는 다음과 같다.

저-선에너지전달 측정용 장비

- 1) 능동형 측정기
 - 전리함(Ionization chamber)
 - 가이거 뮐러 계수기(Geiger Muller counters)
- 2) 수동형 측정기
 - 열형광선량계(Thermo luminescent detectors)
 - 광자극발광선량계(Optically stimulated luminescence detectors)

고-선에너지전달 측정용 장비

- 1) 능동형 측정기
 - 렘 미터(Rem meter)
 - 다중구 중성자 분광계(Multi-sphere neutron spectrometer)
- 2) 수동형 측정기
 - 거품 검출기(Bubble detectors)
 - 고체 비적 검출기(Etched track detectors)

우주방사선에 의한 피폭방사선량 평가프로그램에 대한 요구사항은 비행날짜와 비행계획 또는 실제비행에 따른 출발지 및 도착지의 정보와 비행경로상 주요 지점의 위도, 경도, 고도 및 각 지점 사이를 비행한 시간을 반영한 계산이 가능하며 태양 주기에 따른 우주방사선의 변화를 반영하여 계산할 수 있어야 한다. 또한, 프로그램은 모든 가능한 수직 지자기 차단 강성에 대하여, 우주방사선 측정장비를 평가프로그램을 사용하여 측정한 주위선량당량률의 오차가 $\pm 20\%$ 이내이어야 한다. 또한, 만족하였음이 확인된 경우도 5년 주기로 만족 여부를 재확인하여야 한다.

III. 우주방사선 실측장비와 예측프로그램

국내 우주방사선 관련 생활주변 방사선 안전관리를 위한 안전 지침(7판, 2020. 12. 30)에는 우주방사선 측정 장비를 활용한 전산프로그램을 활용한 평가의 방법을 제시하고 있다. 우주방사선 피폭방사선량 평가프로그램으로는 CARI-6/6M, NAIRAS 등의 2개 모델과 이 외에 위와 유사한 기능과 성능을 가진 프로그램 중 원자력안전위원회가 인정하는 프로그램을 사용하여 안전관리를 하도록 하고 있다.

3-1 우주방사선 피폭방사선량 평가 프로그램

가) CARI-6M: 미연방항공국(FAA; federal aviation administration)의 Civil Aerospace Medical Institute에서 개발한 Effective Dose를 계산하는데 1989년 CARRIER/ CARI라는 프로그램으로 개발된 이후, 8번의 보안을 거쳐 현재는 CARI-7 프로그램으로 개량되어 운영되고 있다.

FAA는 방사선 노출에 대한 권고 AC120-61B (2014.11.21.)에 근거하여 승무원에게 전리방사선 노출 정보를 알릴 목적으로 사용되는 계산 코드 및 참고정보를 제공하고 있다. FAA 항공우주의학 연구소에서 개발한 태양방사선 경보 체계와 해양 대기청(NOAA: national oceanic and atmospheric administration)의 우주환경예보센터에서 제공하는 자료를 근거로 항공기가 높은 선량에 노출되는 것을 방지하며 CARI-6M 프로그램은 웹을 통해 제공된다.

비행일자, 출도착공항, 항로정보(고도, 비행시간)에 대한 방사선량 자료를 예측하며 공항 코드를 입력하고 원하는 노선을 선택할 수 있으며 등록되지 않은 공항은 수동으로 입력할 수 있다. 운항고도 정보를 입력하면 대권(great circle)으로 계산된 항로를 따라 이동한 것으로 가정하여 노출량을 구한다. 중간기점(way point)을 1,000개까지 지정하여 실제 항로와의 오차를 줄여 정확한 방사선량을 구하며 우주방사선량은 고도에 따라 변하는 것을 고려하여 60,000 ft까지 방사선량을 구할 수 있다.

나) KREAM: KREAM(korean radiation exposure assessment model for aviation route dose)은 우주방사선에 대한 전문기관인 한국천문연구원 이 2013년부터 2년간 걸쳐서 자체 개발하였다.

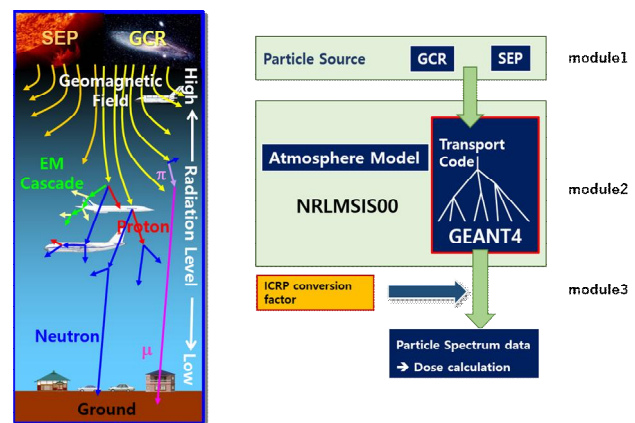


그림 1. KREAM의 분석체계
Fig. 1. Analysis System of KREAM

기상청과 공동으로 2015년에 개발을 마무리하였으며 은하 우주방사선 외에도 태양 양성자 이벤트 효과까지 반영하여 실시간으로 변하는 우주기상을 반영할 수 있도록 개선된 독창적 모델이다. KREAM은 양성자의 에너지 스펙트럼을 입력인자로 사용하며 대기 상층에서 입사한 양성자는 대기층을 통과하면서 다양한 중성자와의 상호작용을 반영한 대기모델을 사용한다. 항공기 운항고도에서의 양성자, 중성자, 전자, 광자의 에너지 스펙트럼을 계산하여 입자-방사선량으로 환산하는 변환식

을 사용하여 피폭선량을 계산한다[6].

3-2 우주방사선 피폭방사선량 실측장비

우리나라의 생활주변 방사선 안전관리를 위한 안전지침(7판)에는 우주방사선 측정장비에 의한 직접 측정과 평가를 요구하고 있다. 우리나라에서는 해외에서 개발한 Liulin-6K과 한국천문연구원에서 개발한 TEPC이 주로 운영된다[7].

가) Liulin-6K: 불가리아과학원(bulgarian academy of sciences)의 태양물리연구소(solar terrestrial influences laboratory)에서 제작한 반도체 Si 검출기를 활용한 우주방사선 측정기이다.



그림 2. Liulin-6K 사진
Fig. 2. Liulin-6K Photos

항공기 고도에서 비행기 안에서 방사선의 총 노출량과 에너지 스펙트럼을 상시 감시하는 대표적인 실측 장비이다.

표 3. Liulin-6K 제원
Table 3. Liulin-6K Specifications

Item	Details
LET range	0.135 – 69.4 keV/μm
Battery	Lithium 3.6 V, 14 Ah(2개)
size	110 x 100 x 45 mm
weight	0.57 kg
Out Put(dose)	Equivalent, effective, electron

리튬-이온 건전지 또는 항공기의 28 V 전원으로 동작되며 건전지 사용시 60일 동안 사용할 수 있으며 11x10x4.5(cm)의 휴대가 가능한 크기로 무게는 0.57 kg이다.

나) TEPC (tissue equivalent proportional counter): 한국천문연구원에서 개발한 항공기 고도의 우주방사선 측정을 위한 장비이다. 항공기 고도의 우주선 피폭은 대부분 태양계 밖에서 발생하는 우주 복사로부터 나오므로 지구 표면에서는 대기에 의하여 거의 모든 방사능으로부터 보호를 받지만, 항공기의 비행고도에서의 방사선 수치는 지상보다 더 높으며, 항공기 자체는 우주방사선을 차폐하지 못한다.



그림 3. TEPC 사진
Fig. 3. TEPC Photos

우리나라에서 개발된 TEPC는 운항되는 실제 고도에서 효율적으로 우주방사선 선량을 측정하는 장비로 평가되며 11x11x17(cm)의 휴대가 가능한 크기로 무게는 1.5 kg이다.

표 4. TEPC 제원
Table 4. TEPC Specifications

item	Details
LET range	2 – 1,000 keV/μm
Battery	65 hrs
size	110 x 110 x 170 mm
weight	1.5 kg
Out Put	Equivalent, effective, electron

IV. 우주방사선 실측 비교 분석

4-1 실측 실험



그림 4. 실측장비 (좌: TEPC, 우: Liulin)
Fig. 4. measuring equipment(L: TEPC, R: Liulin)

본 실측은 TEPC와 Liulin-6K의 데이터를 비교하기 위해 2021년 2월에 ICN-LAX 노선 2회 왕복의 자료를 비교하였다. 이전의 연구에서 두 장비의 측정데이터를 비교한 결과 방사선 측정장비의 오차 허용수준인 ±20% 이내이므로 두 장비를 같이 이용하였으며 이동성을 위해 TEPC와 Liulin을 하나의 가방에

위치하도록 특별제작하였으며 아울러 측정장비의 장시간 측정을 보장하기 위한 보조 충전장치를 확보하였다.

4-2 실측 자료

본 연구를 위해 실제 운항하는 조건에서 고도의 실측 데이터를 얻기 위해 2021년 2월에 ICN-LAX (incheon-los angeles) 노선 2회 왕복의 데이터를 분석하여 비교하였으며 Liulin-6K과 TEPC로 측정된 값을 예측 프로그램인 CARI-6M과 KREAM값과 비교하였다. 실측 결과, 각 노선별 실측된 피폭선량의 변화는 다음과 같다.

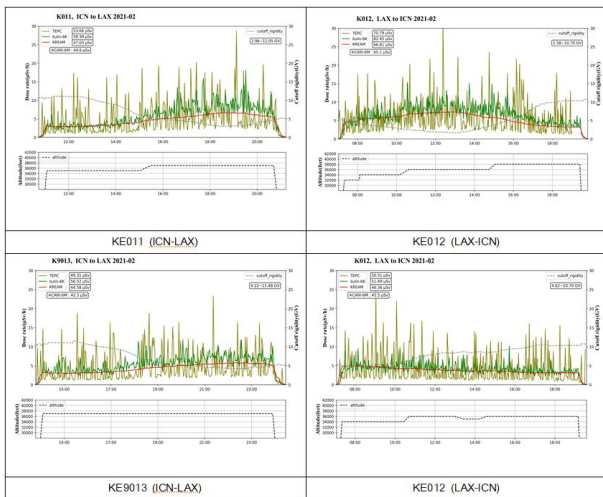


그림 5. 실측결과
Fig. 5. Measurement data

4-3 실측 자료 비교

(1) 장비별 비교

- 한국에서 미국으로 향하는 (ICN-LAX) KE011에서 실측한 결과, Liulin-6K는 59.39, TEPC는 54.51를 나타냈다. 또한 같은 시기에 같은 구간을 비행한 KE9013의 측정값은 Liulin-6K는 56.52, TEPC는 50.63으로 Liulin-6K가 4.88과 5.89 (μSv) 높은 것으로 나타났다.

표 5. 측정값 비교 (μSv)
Table 5. Comparison of Measured values (μSv)

Flight Route	equipment		Compare (A)-(B)
	Liulin(A)	TEPC(B)	
ICN-LAX, KE011, 2021.02	59.39	54.51	4.88
ICN-LAX, KE9013, 2021.02	56.52	50.63	5.89
LAX-ICN, KE012, 2021.02	82.45	71.88	10.57
LAX-ICN, KE012, 2021.02	51.69	51.38	0.31

- 반대방향 (LAX-ICN)인 KE012편에서 Liulin은 82.45, TEPC는 71.88로 Liulin의 측정값이 10.57 높았으며 같은 구간을 비행한 KE012편(3일 후)도 51.69와 51.38로 Liulin이 0.31 (μSv) 더 높은 수치를 보였다.

(2) 예측프로그램 간 비교

- CARI-6M과 KREAM의 예측치의 비교를 위해 동일 시간대와 구간을 입력하여 분석한 결과, 한국에서 미국 (ICN-LAX) 구간에서 CARI는 44.6, KREAM은 47.03이었고 같은 구간을 비행한 KE9013에서는 CARI-6M이 42.3, KREAM은 44.58을 나타냈다.

- 반대방향(LAX-ICN)인 KE012편에서 CARI-6M은 65.1, KREAM은 66.81이었고 또 다른 KE012편에서 CARI-6M은 45.5, KREAM은 46.36을 나타냈다. 즉, KREAM의 예측치가 CARI-6M보다 높았으나 0.08-2.43의 근소한 차로 2개의 예측프로그램이 유사한 경향을 보였다.

표 6. ICN-LAX 구간 비교 (μSv)
Table 6. ICN-LAX route comparison (μSv)

Flight Route	Prediction program		Compare (C)-(D)
	CARI-6M(C)	KREAM(D)	
ICN-LAX, KE011, 2021.02	44.6	47.03	-2.43
ICN-LAX, KE9013, 2021.02	42.3	44.58	-2.28
LAX-ICN, KE012, 2021.02	65.1	66.81	-1.71
LAX-ICN, KE012, 2021.02	45.5	46.36	-0.86

(3) 실측값과 예측프로그램 값 비교

- Liulin(A)와 CARI-6M(C)의 비교에서 ICN-LAX의 비행 (011편)에서 값 차이는 14.79로 Liulin값이 높았으며 같은 구간인 9013편도 실측값이 14.22 높게 나타났다. 북귀항로인 LAX-ICN의 경우도 KE012편의 경우 실측값이 예측값보다 17.35 높았으며 KE012편도 6.19 만큼 실측값이 높게 나타났다.

- Liulin(A)와 KREAM(D)의 비교에서 ICN-LAX 구간의 값 차이는 12.36으로 Liulin이 높았으며 같은 구간의 9014편의 실측값도 11.94 높았다. 북귀항로를 2회 측정된 결과도 실측값이 예측값보다 15.64과 5.33 만큼 높게 나타났다.

표 7. 실측값과 예측값 비교
Table 7. Comparison Measured vs Prediction program(μSv)

Flight Route	A	B	C	D
	(A)-(C)	(A)-(D)	(B)-(C)	(B)-(D)
ICN-LAX KE011	59.39	54.51	44.6	47.03
	14.79	12.36	9.91	7.48
ICN-LAX KE9013	56.52	50.63	42.3	44.58
	14.22	11.94	8.33	6.05
L A X - I C N KE012	82.45	71.88	65.1	66.81
	17.35	15.64	6.78	5.07
L A X - I C N KE012	51.69	51.38	45.5	46.36
	6.19	5.33	5.88	5.02

A: Liulin, B: TEPC, C: CARI-6M, D: KREAM

-TEPC(B)과 CARI-6M(C)의 비교에서 ICN-LAX의 비행(011편)에서 값 차이는 9.91로 TEPC(B)의 값이 높았으며 같은 구간을 비행한 9013편도 실측값이 8.33 높았다. 북극항로에서도 실측값이 예측값보다 6.78와 5.88 높게 나타났다.

- TEPC(B)과 KREAM(D)의 비교에서 ICN-LAX의 비행(011편)에서는 TEPC 값이 7.48 높았고 같은 구간을 비행한 9013편도 실측값이 6.05 높았다. 북극항로에서도 예측값보다 실측값이 5.07과 5.02 만큼 높게 나타났다.

V. 결 론

수년 전부터 북극항로를 비행하는 항공종사자에 대한 우주방사선 노출에 대한 우려는 코로나19로 비행이 대폭 감소하면서 크게 이슈화되는 않았지만 운항이 회복되면서 관련된 연구를 통한 안전성의 도모가 요구되는 시기이다. 본 연구는 항공기 운항을 통하여 실측한 값과 예측값을 비교분석함으로써 이러한 문제의 선제적으로 대응하기 위한 근거자료의 확보 차원에서 검토되었다.

분석결과 현재 우리나라에서 운용하고 있는 TEPC와 Liulin-6K 값은 상호 간 10% 이내의 차이로 장비 요구도인 $\pm 20\%$ 를 충족하여 운영 상 문제가 없었으며 다. 또한, 예측프로그램 CARI-6M과 KREAM의 비교에서 KREAM가 다소 높은 예측치를 보이나 근소한 차이로 2개의 프로그램이 유사한 결과를 보이는 것으로 볼 수 있다.

그러나 실측장비 TEPC과 Liulin-6K 값과 CARI-6M과 KREAM의 예측값은 큰 차이가 있는 것으로 분석되었다. 만약 예측값이 실측값보다 높은 경우는 비록 명확성에서는 문제가 있으나 수용이 가능하나 반대로 예측값이 실측값보다 낮은 경우는 실제 상황을 제대로 예측하지 못하는 결과로 우주방사선 노출 위험으로 발전할 수 있으므로 보완이 요구된다.

보완 방법에는 일정 비율로 산정하여 보정하는 방식이 있지만 우주방사선은 우주 조건에 의해서 변화하는 성향을 가지므로 이에 대응하는 연구를 통한 보완이 요구된다.

본 연구결과는 비행승무원의 편성을 우주방사선 노출의 안전범위 내에서 조절할 수 있는 근거로 사용이 가능할 것이다.

Acknowledgments

본 연구는 2021년 주저자의 박사학위 논문의 일부입니다.

References

- [1] Lewis, B. J., P. Tume, L. G. I. Bennett, M. Pierre, A. R. Green, T. Cousins, B. E. Hoffarth, T. A. Jones and J. R. Brisson, "Cosmic Radiation Exposure on Canadian-Based Commercial Airline Routes," *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 86, No 1, pp. 7-24, Oct. 1999.
- [2] KJunga Hwang, Jaejin, Lee Kyung-Suk Cho, "Safety Standards and Management Policy on the Polar Route Space Radiation", *Aviation Promotion*, Vol. 53, p.15, 2010.
- [3] ICRP publication 132, Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation, pp. 24. 2016.
- [4] Korea Foundation of Nuclear Safety, "The Space Radiation Story an Aircrew Should Know," pp.14, 2016.
- [5] Korea Foundation of Nuclear Safety, "Safety guidelines for daily radiation safety management," 2016.
- [6] Korea Meteorological Administration, "Research on commercialization of polar route aircraft weather model and improvement of space weather service system by space weather," pp.16, 2015.
- [7] Junga Hwang, Jaeyoung Kwak, Gyeongbok Jo, Uk-won Nam, Validation of KREAM Based on In-Situ Measurements of Aviation Radiation in Commercial Flights, *Journal of Astronomy and Space Sciences*, Vol 37, No 4, pp. 229-236, 2020.



김 규 왕 (Kyu-Wang Kim)

1993년 6월 - 2022년 3월 : 대한항공 조종사

2020년 4월 - 2022년 4월 : 한국민감조종사협회 회장

2021년 1월 - 2022년 12월 항공기상청 자문위원

2019년 3월 - 현재 : 한서대학교 운항학과 교수

※ 관심분야 : 항공운항, 비행교육, LOSA, 항공기상, UAM



최 연 철 (Youn-Chul Choi)

2003년 8월 : 한국항공대학교 항공운항관리학과 (이학박사)

2007년 3월 - 현재 : 한서대학교 항공학부 교수 (항공인재개발원장)

2019년 1월 - 2020년 12월 : 한국항공운항학회 학회장

※ 관심분야 : 항공운항, 항공안전, 헬리콥터조종, UAM