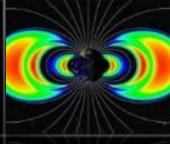
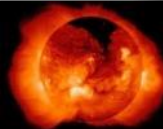


우주방사선 측정장비 개발 및 활용

Space Radiation Dosimeter and its applications

2017.05.17

한국천문연구원 남옥원





1

개발 동기

2

우주방사선 측정장비 개발

3

우주방사선 기술 활용

4

결론



개발 동기

행성탐사/우주탐사



우주방사선 (Space Radiation)

우주기원 방사선

(GCR; Galactic Cosmic Ray)

- 양성자 (85.5%), 헬륨 (~12%),
- 전자 2%), 중입자 (~1%)
- 등방성 선량 분포 ($> 1 \text{ GeV}$)

태양기원 방사선

(SCR; Solar cosmic Ray)

- 태양 코로나방출에 기인
- 수백 MeV 양성자

Galactic Cosmic Rays



■ Manned Mission to Moon or Mars



The European Space Agency's version of a permanent lunar base. PHOTO COURTESY: ESA



Artist's impression of geologists at work on the surface of Mars. Getting to Mars carries a significant radiation risk. Photograph: Nasa

• 우주방사선은 유인탐사의 인류의 큰 장애물

- ALARA Principles For Reducing Radiation Exposure
 - ▮ “As Low As Reasonably Achievable.”

Space Radiation and LET Measurement



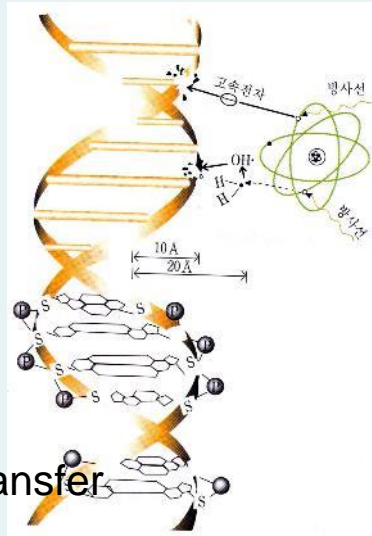
Space radiation field is much different from ground.



- Launch 1998~2012
- Altitude : 278 ~ 460 km
- Inclination : 51.6 degrees
- Travel 15.7 orbits per day
- Mass : 450 ton
- Dimension : 51 x 109 x 20 m³
- Resident crews : ~ 6

Site diameter

- Cell nucleus : 2 μ m dia.
- Chromatin fiber : 30nm dia.
- DNA : 2nm dia.



LET: Linear Energy Transfer

- **Complex & dynamic Radiation Field**
- **Galactic Cosmic Ray (GCR)**
 - Proton (85.5%), He (~12%), e⁻ (2%), heavier nuclei (~1%)
 - Originate from Galaxy
 - Isotropic radiation field (> 1 GeV)
- **Solar cosmic Ray (SCR)**
 - Generally associated with Corona Mass Ejections from Sun
 - Medium to high energy protons (~ hundreds MeV)
- **Earth's belt radiation**
 - Captured P and e⁻ by Earth magnetic field

우주방사선측정장비 국내외 기술개발 현황(1/2)



미국	유럽연합	한국
<p>LET 측정영역 : 0.2 ~ 1000 keV/μm</p> 	<p>-LET 측정영역 : 0.1 ~ 2000 keV/μm</p>  <p>Fig. 2. Left: the TEPC housing for electric shielding. Right: the TEPC vacuum housing.</p>	<p>LET 측정영역 : 0.2 ~ 1000 keV/μm</p> 



우주방사선 측정장비 개발



0.2 ~ 300(1000) keV/ μ m 대역의 휴대용 우주방사선 측정장치 개발

1단계
(’11~’13)

- 국제우주정거장(ISS) 내부환경을 측정하는 우주인용 장비 (한-NASA 협력 일환)

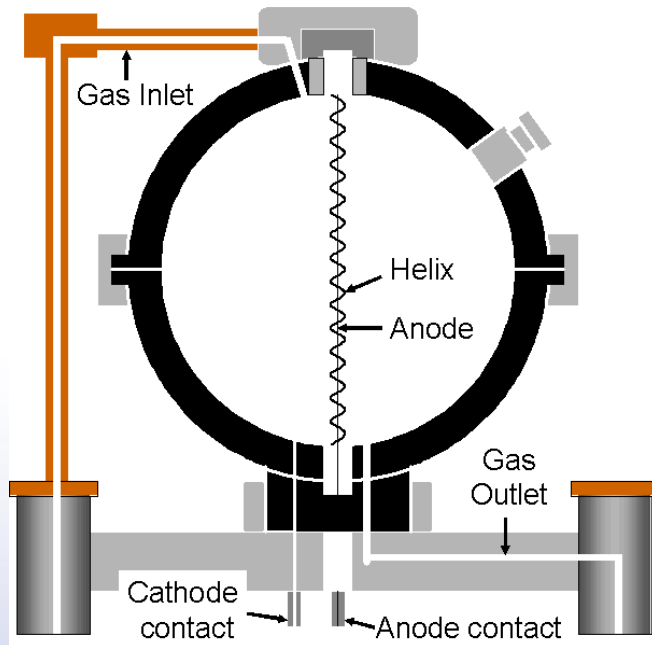
2단계
(’14~’15)

- 항공기 고도 우주방사선 측정 및 다양한 활용



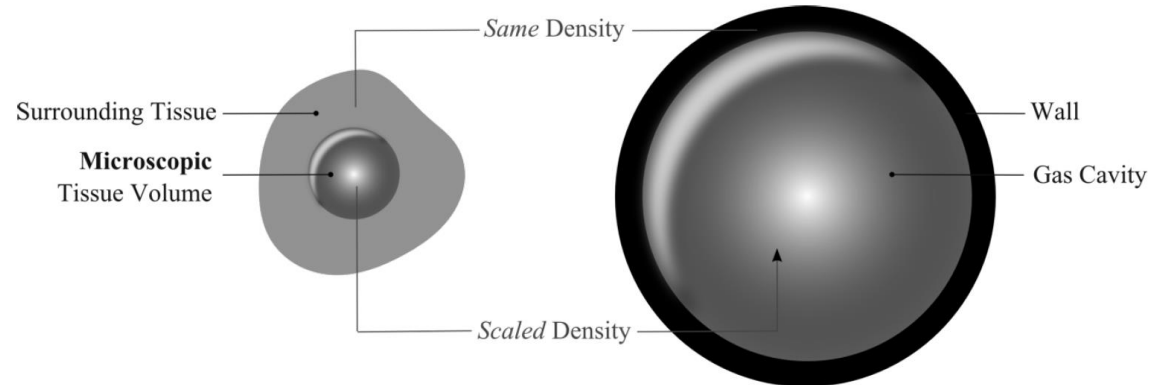
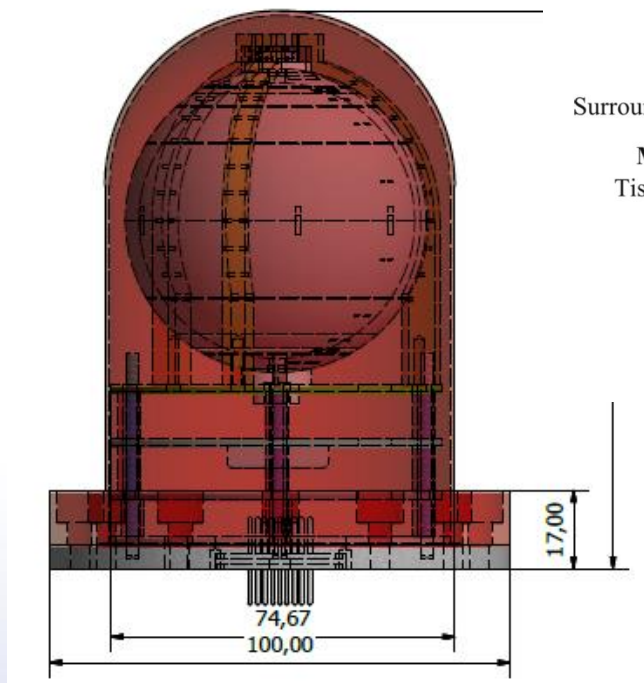
국내 기반 기술로 구현

Tissue Equivalent Proportional Counter



TEPC의 구조

- **Rossi (1960)**
 - Tissue Equivalent Proportional Counter
- **Micro-dosimetry**
 - 세포 수준에서의 미시적 관점에서 방사선 에너지전이를 평가하여 흡수선량을 결정하고 이로 부터 생물학적 효과를 평가하는 분야
 - 미소체적에 전이되는 에너지전이 스펙트럼 측정을 통한 선량 평가



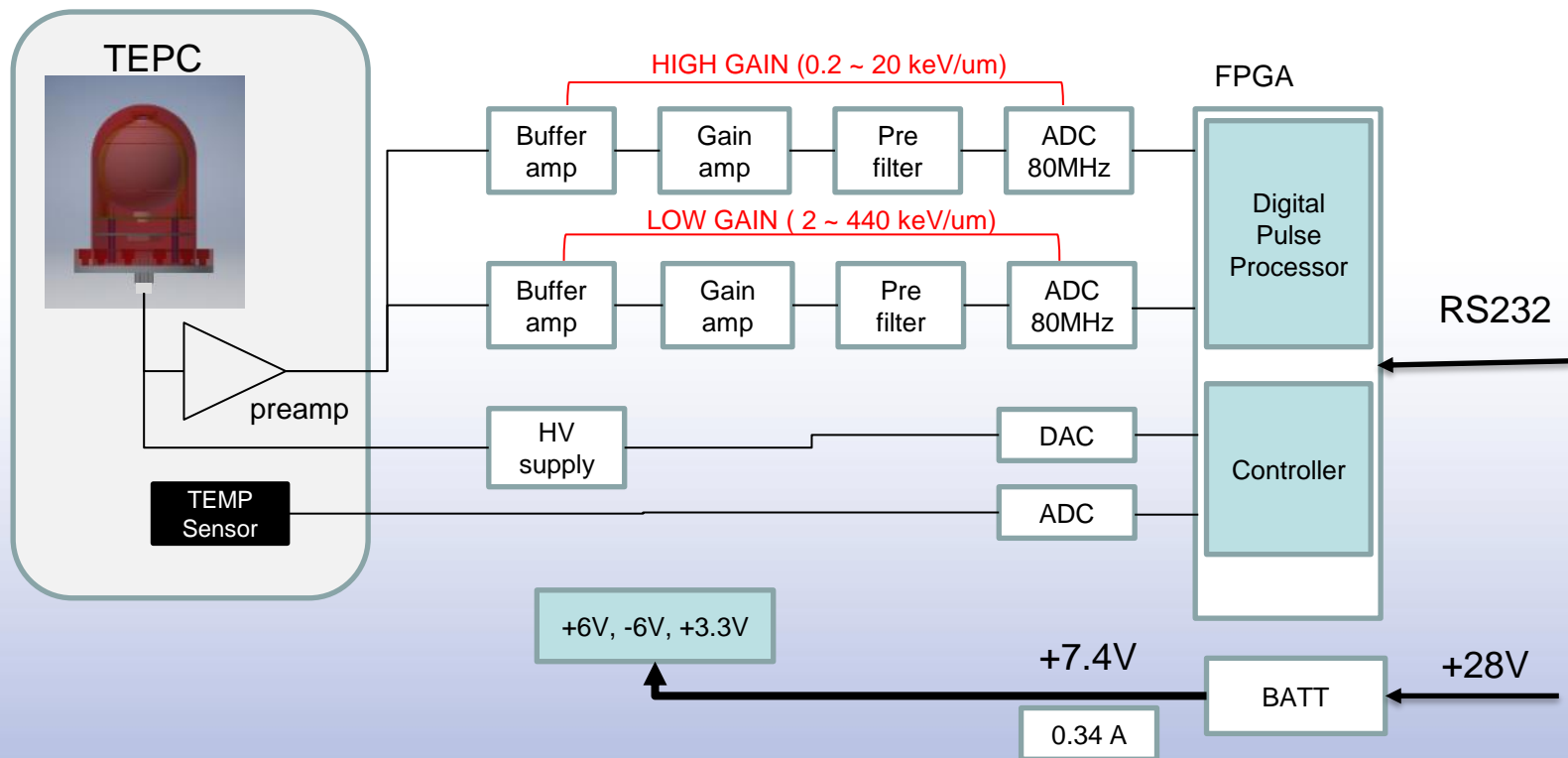
$$p = \rho_g \frac{RT}{M} = \rho_m \frac{\Delta X_m}{\Delta X_g} \frac{RT}{M}$$

A-150, Tissue Equivalent Plastic

No.	Name	H	C	N	O	F	other s
1	ICRU tissue, muscle	10.2	12.3	3.5	72.9	-	1
2	Muscle-equivalent plastic A-150	10.1	77.6	3.5	5.2	1.7	-
3	Muscle-equivalent gas, propane based	10.3	56.9	3.5	29.3	-	-

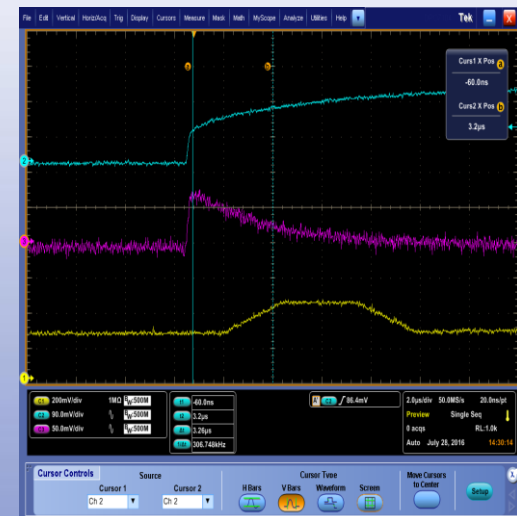
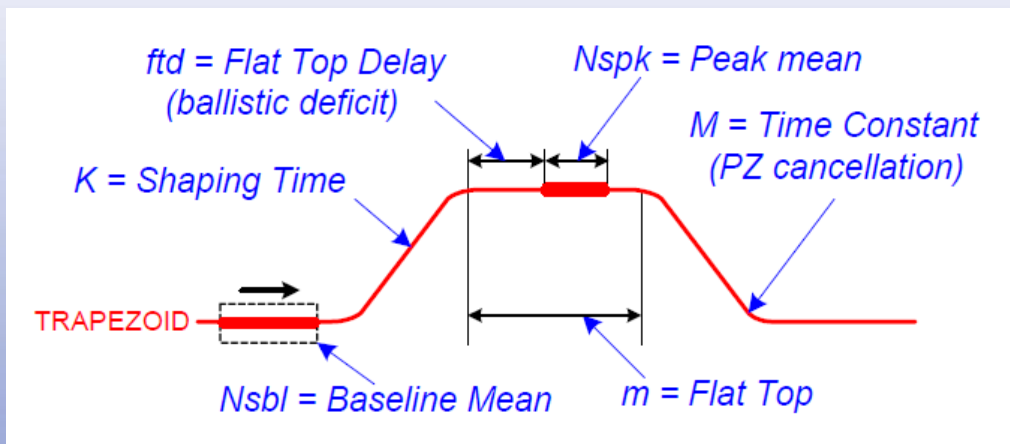
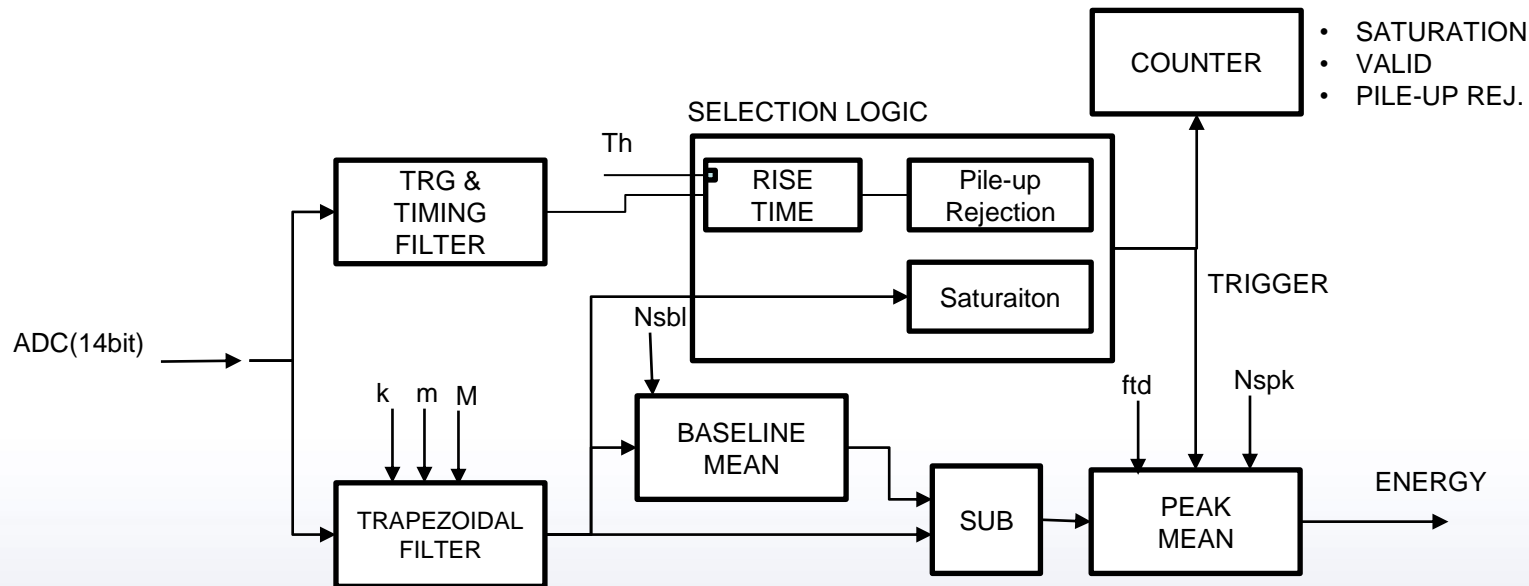
TEPC용 저전력 신호처리부

- 2게인 모드로 넓은 에너지($0.2 \sim 1000 \text{ keV/um}$) 대역 구현
- 저전력 < 3Watt
- 경량화 < 2 kg (Battery 포함)

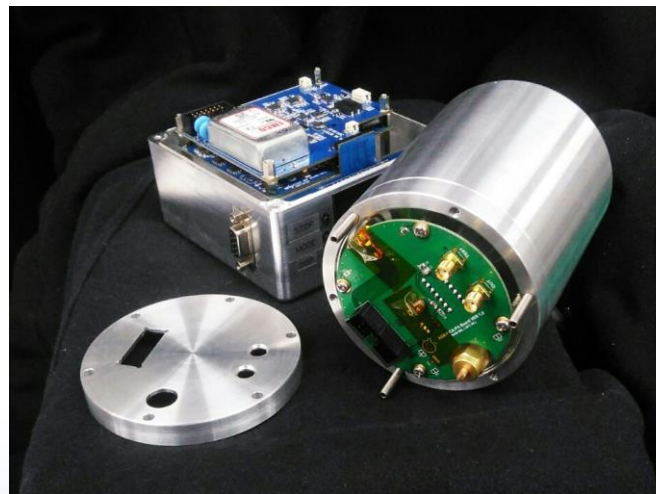


Panasonic NCR4N18650B-2R-PCM (7.4V 13.4Ah)
27.6 hr @70%

Digital Pulse Processor for TEPC



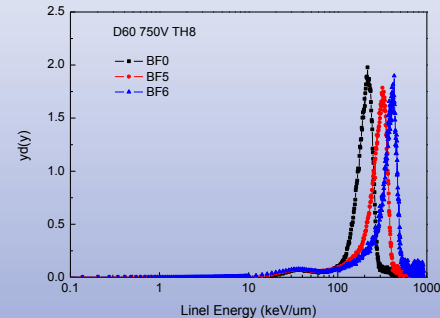
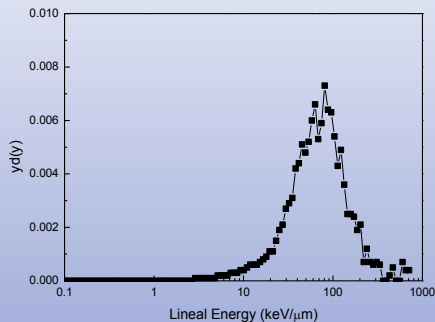
시제품 - 상용화 TEPC





우주방사선 측정기 선량 교정 및 평가

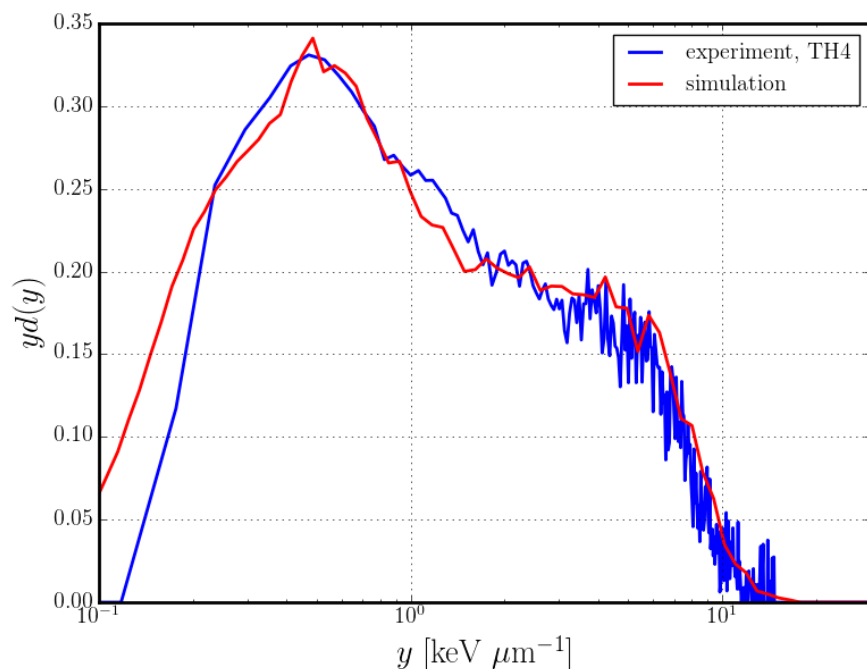
방법	LET	국 내	해 외
Internal Calibration	High LET	• Am-241 alpha	
External Calibration	Low LET	• KORASOL: Cs-137	
	High LET	• KOMAC experiment: Proton 100MeV • KRISS experiment: Neutron Cf-252	• HIMAC Experiment: (Heavy Ions) - 150 MeV/u He - 400 MeV/u C - 490 MeV Si - 500 MeV/u Fe



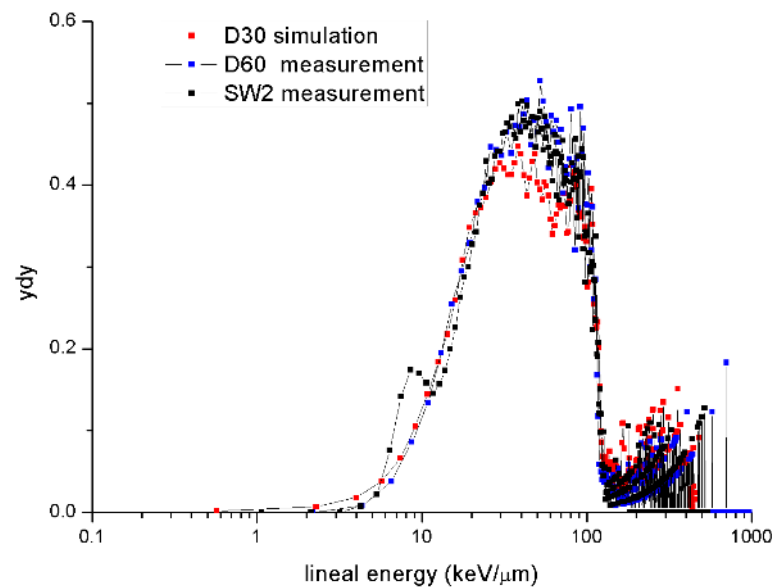
Comparison with GEANT-4 Simulation



Typical LET spectrum for Cs-137 (gamma)



Typical LET spectrum for Cf-252 (neutron)



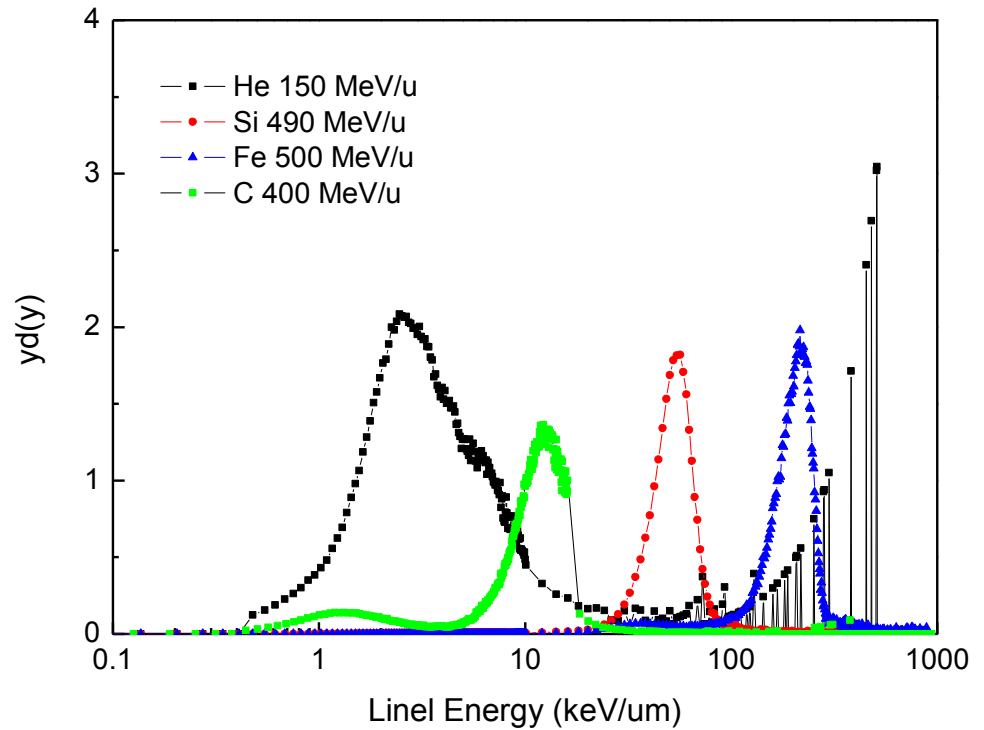
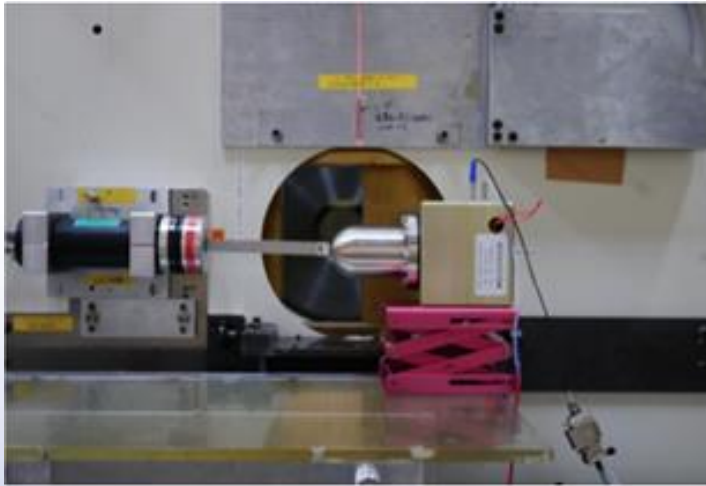
Calibration Source



- (1) High LET : **Cf-252** neutron source at KRISS
 - Energy channel calibration : 10~1000 keV/mm
- (2) Low LET : **Cs-137** 662keV Gamma source at Korasol
 - Energy channel calibration : 0.15~10 keV/mm
- (3) HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator), NIRS (JAPAN)
 - Heavy Ion source High LET Linearity



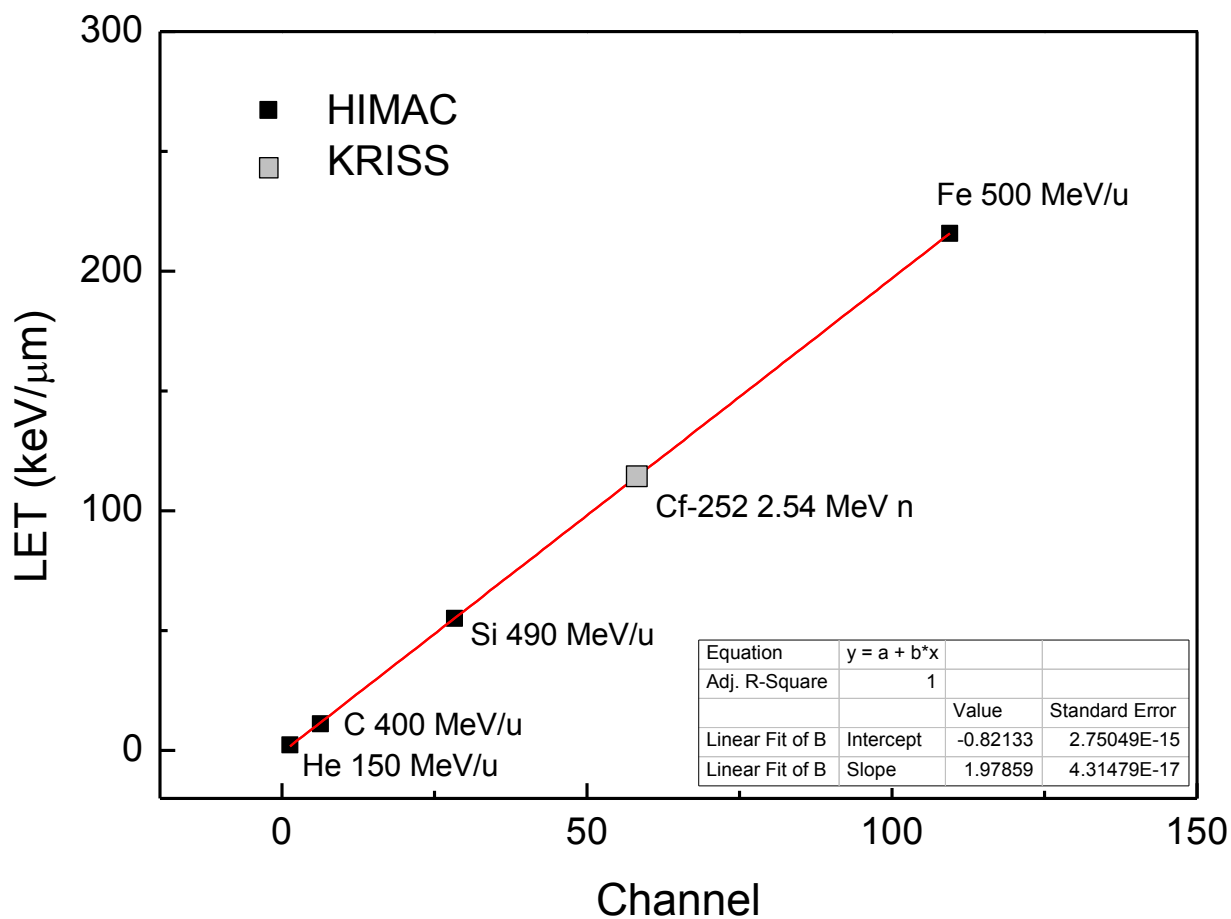
LET spectra for Heavy Ions in HIMAC



LET Linearity/Stability



- 2015.12.7
KRISS
2.54 MeV n
- 2016.1.7
HIMAC
C 400 MeV/u
- 2016.2.4
HIMAC
Si 490 MeV/u
- 2016.2.15
HIMAC
He 150 MeV/u
- 2016.2.18
HIMAC
Fe 500 MeV/u





3 우주방사선 기술 활용

고도에 따른 활용분야

wallpaper: buzz



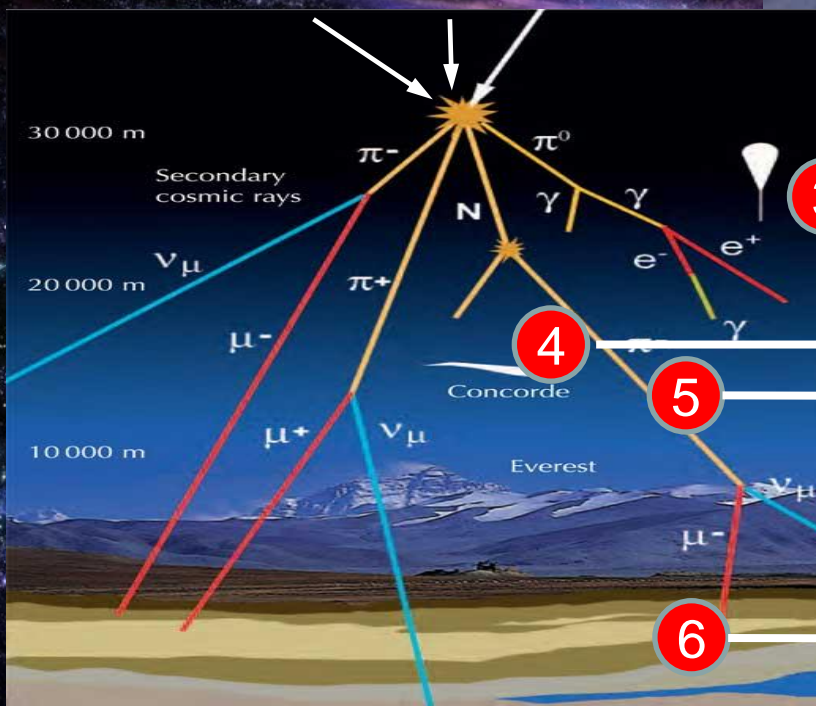
1

700 km



2

350 km



3

30 km

4

15 km

5

10 km

6

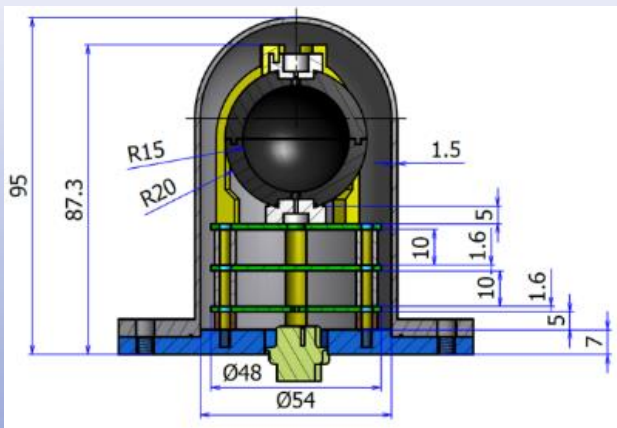
지상

buzz

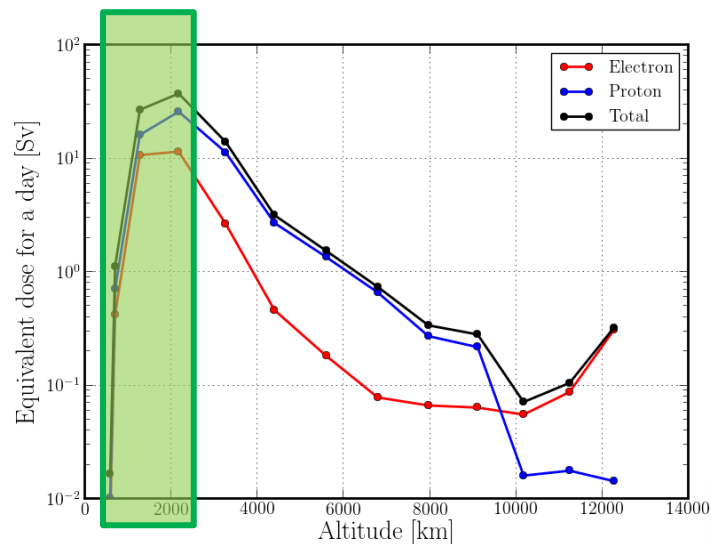
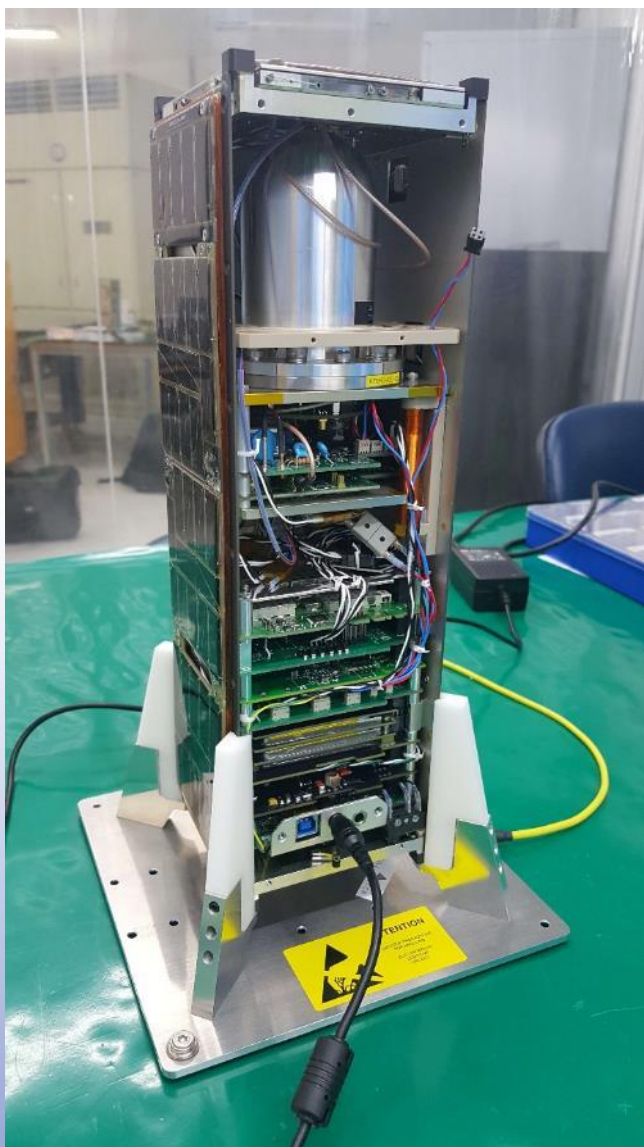
CubeSat- SIGMA 탑재용 KTEPC-FM



- Range : 0.2~1000 keV/um
- Omni-Direction
- Site diameter : 2 um
- 검출기 파라미터
 - 재질 : A-150 plastic (피부등가 물질),
 - 두께 : 5mm
 - 내경 : 30 mm
- 검출가스 : 100 % 프로판
- 가스 하우징 : 알루미늄, 1mm 두께
- 무게 : 494 g (신호처리부 포함)
- 전력 : 0.3 A @ 8V (2.4 W)



경희대 큐브셋 주요 제원



List	Detail
Mission Orbit (TBD)	Sun-Synchronous Altitude: 750 km Inclination: 98 degree
Life Time	3 month
Payloads	Primary: TEPC Secondary: MAG
Payload Weight	TEPC: 700 g MAG: 50 g
TEPC Spec.	Range: 0.2 ~ 300 keV/um LET Resolution: 23.5% @5.4 MeV
MAG Spec.	Range: ± 65536 nT Resolution: 1 nT
Satellite Weight	3,600 g (3 Unit)
Satellite Generation Power	3,771 mW

Delivery and Integration for Launch



- 2016. 4. 12, 20, Fit check & Door lock at ISL(Inter-Satellite Links, Netherland)
- 2016. 9. 1, Falcon-9/SpaceX → **satellite destroyed in explosion**
- 2017. ? : Launch Date → ?



KHUSAT-3 (SIGMA) activities

Posted on April 11, 2016 by Michiel



Following preparatory activities, including a team(s) meeting, a clean-room briefing and equipment-cleaning, the KHUSAT-3 team entered ISL's cleanroom on Monday 11 April 2016.

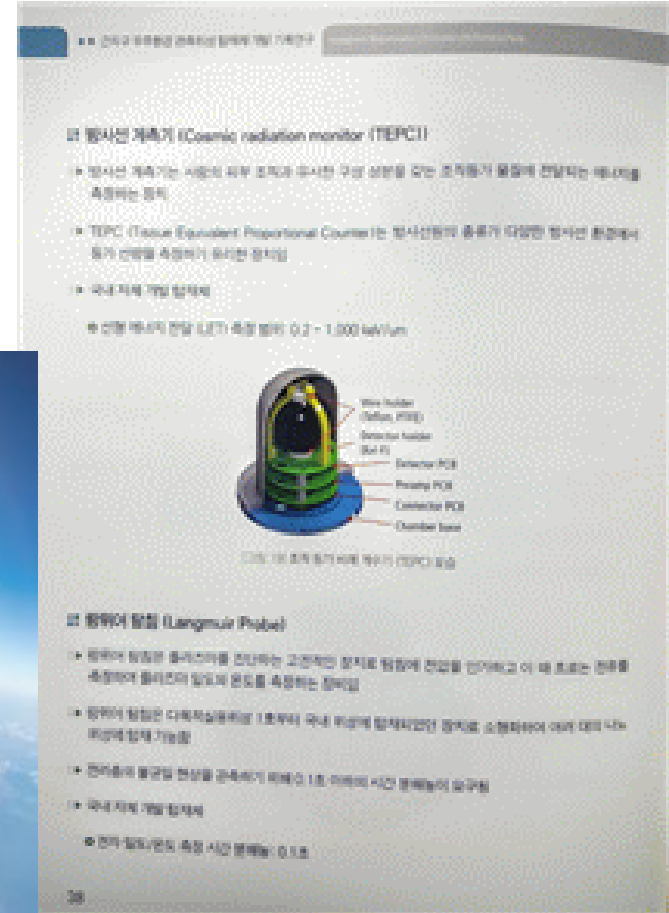
They set up their working station with the needed equipment after which their satellite, which up to then had been safely stored in ISL's part of ISIS' clean-room, was retrieved from its transport-case and final check-out activities were successfully performed.

Subsequently, their now-flight-ready satellite was again stored to await integration into its QuadPack-slot tomorrow.

Posted in [ISLaunch09](#) | [Leave a comment](#)



근지구 우주환경 관측위성 탑재체 연구(II)

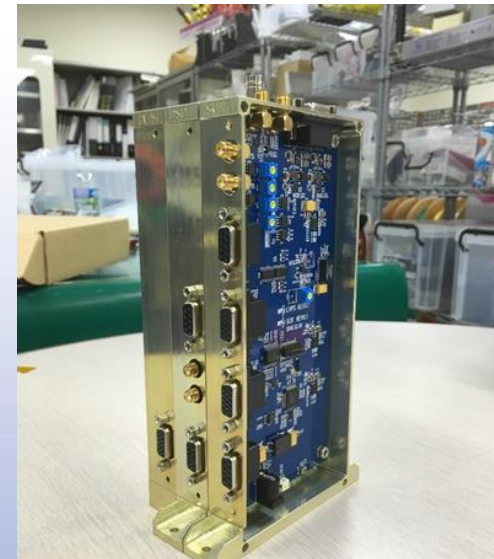
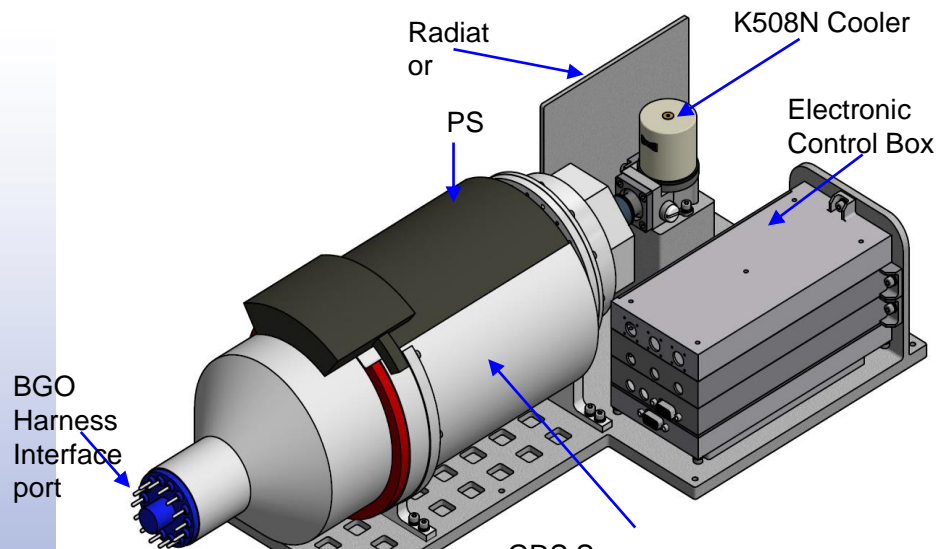


**2017 천문연 주요사업 확정
(2017 ~ 2021)**

달탐사 탑재체용 감마선 분광기 전자부 개발

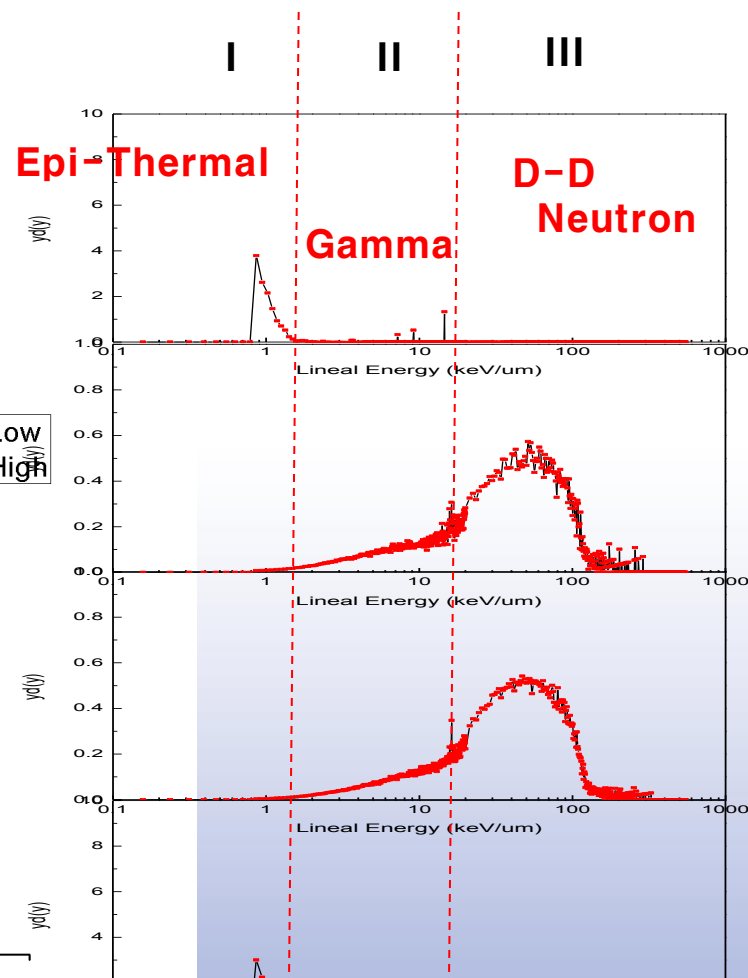
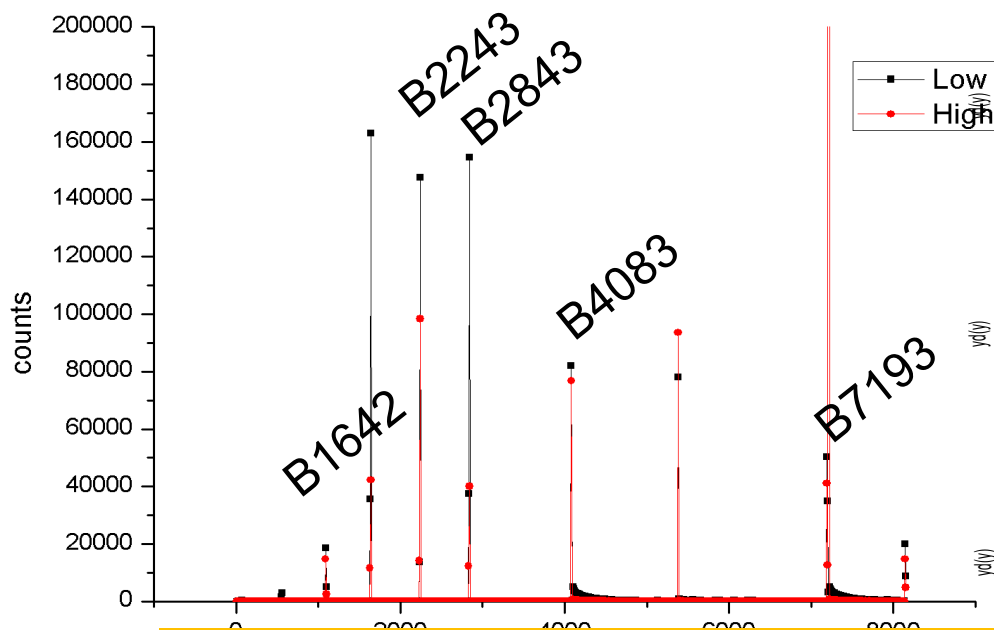


- 한국형 달탐사 (2단계) 궤도선에 탑재할 수 있는, 달 원격탐사용 중적외선 분광기 개발 기술을 독자적으로 확보하고, 달탐사선에 탑재시 달 표면의 물 및 광물자원에 대한 분포지도를 제공하여 줄 것으로 기대됨.



2016-2018 우주핵심 연구과제 수행중

활용 : KSTAR- 중성자&감마 혼합장



2016~ 공동 연구 수행 중



3-2

항공기고도의 우주방사선

생방법에서 제시하는 항공기 승무원 방사선 보호

제18조(우주방사선의 안전관리 등)

① 대통령령으로 정하는 항공운송사업자(이하 “항공운송사업자”라 한다)는 우주방사선에 피폭될 우려가 있는 운항승무원 및 객실승무원의 건강 보호와 안전을 위하여 노력하여야 한다.

■ 항공운송사업자의 우주방사선 조사·분석 의무

② 제1항의 운항승무원 및 객실승무원(이하 “승무원”이라 한다)의 범위는 비행노선, 비행고도 및 운항횟수 등을 고려하여 대통령령으로 정한다.

■ 항공운송사업자의 안전조치 의무

③ 항공운송사업자는 다음 각 호의 사항을 조사·분석하여야 한다.

1. 항공노선별로 승무원이 우주방사선에 피폭되는 양

■ 중앙행정기관의 안전조치 절차, 방법 등 세부사항 고시 의무

④ 항공운송사업자는 제3항 각 호의 사항에 대한 조사·분석 결과 승무원의 건강 보호 및 안전을 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 안전조치를 하여야 한다.

⑤ 항공운송사업자를 감독하는 중앙행정기관의 장은 제3항 각 호의 사항에 대한 조사·분석 및 제4항의 안전조치를 이행하기 위한 절차, 방법 등 우주방사선의 안전관리를 위하여 필요한 세부사항을 정하여 고시한다. 이 경우 교육과학기술부장관과 미리 협의하여야 한다.

궁금한 화요일 여객기 불청객, 방사선

지금 연구원 과학자에게



▶ 중대위험과, 방사선과 관련된 연구
-본인 경험적 30년, 5월 5일 5월 5일 5일 5일
▶ 전후방위, 방사선 관련 연구
-전후방위, 방사선 관련 연구, www.crisis.go.kr
▶ 방사선 관련, 방사선 관련 연구, www.crisis.go.kr
-연구, 방사선 관련, 22-27일 22-27일 22-27일 22-27일

뉴욕으로 휴가? X선 한 번 찍는 겁니다

(홍부)



2014. 7. 8. (중앙일보)

기업·
항공·운송

객실승무원 병가율 일반직 23배..."열악한 근무 여건 탓"

조귀동 기자

기사

100자평(0)

다운로드 이메일 공유 +크게 -작게

입력 : 2015.05.26 08:44

대한항공, 아시아나항공 등 국적 항공사 객실 승무원의 병가율이 일반직보다 23배 높은 것으로 나타났다. 잦은 비행에 따른 시차-야간근무 **문주방사선 노출** 감정노동 등 열악한 근무환경이 원인으로 꼽혔다.

2015. 5. 26. (조선 비즈)

항공기승무원 방사선모니터링 시장현황



- 생활환경방사선안전법(법률 제11715호, 시행 2013.3.23)
- 일반인의 연간피폭선량 한도 1 mSv
- 방사선작업종사자 연간피폭선량한도 평균 20mSv

우리나라 승무원 항공 우주선
연간 방사선 노출 선량

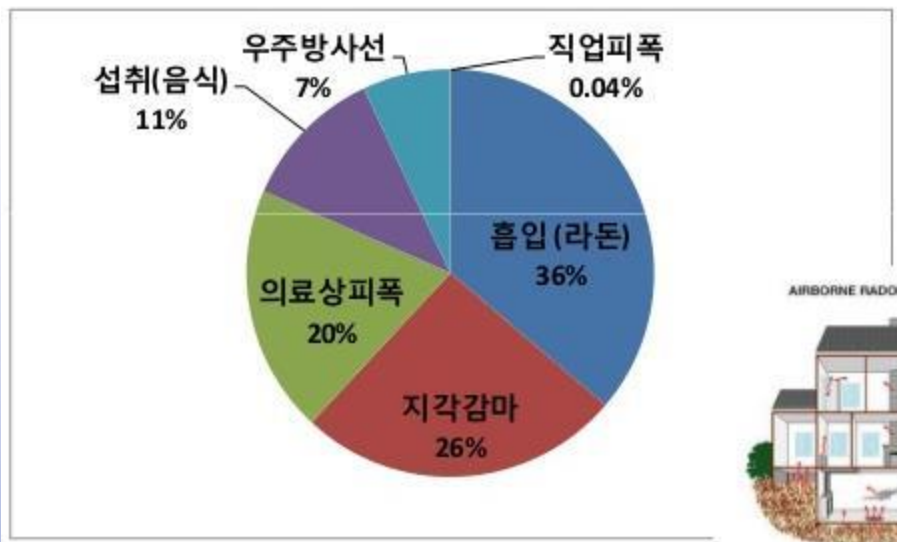
단위: 미리시버트

항공 승무원	개인피폭선량 (평균 HCP)	승무원수 (2006년 기준)	집단선량
운항 승무원	2.96 mSv	2,698 명	7.99 man-Sv
객실 승무원	2.28 mSv	5,757 명	13.13 man-Sv

※ 자료출처: 우주방사선학회

※ '집단선량'은 다수의 사람이 피폭되는 경우에 그 집단의 개인피폭방사선량의 총합을 말한다. 집단선량의 단위로 맨 시버트(man-Sv)가 사용된다.

[한국인의 방사선 피폭 비율]



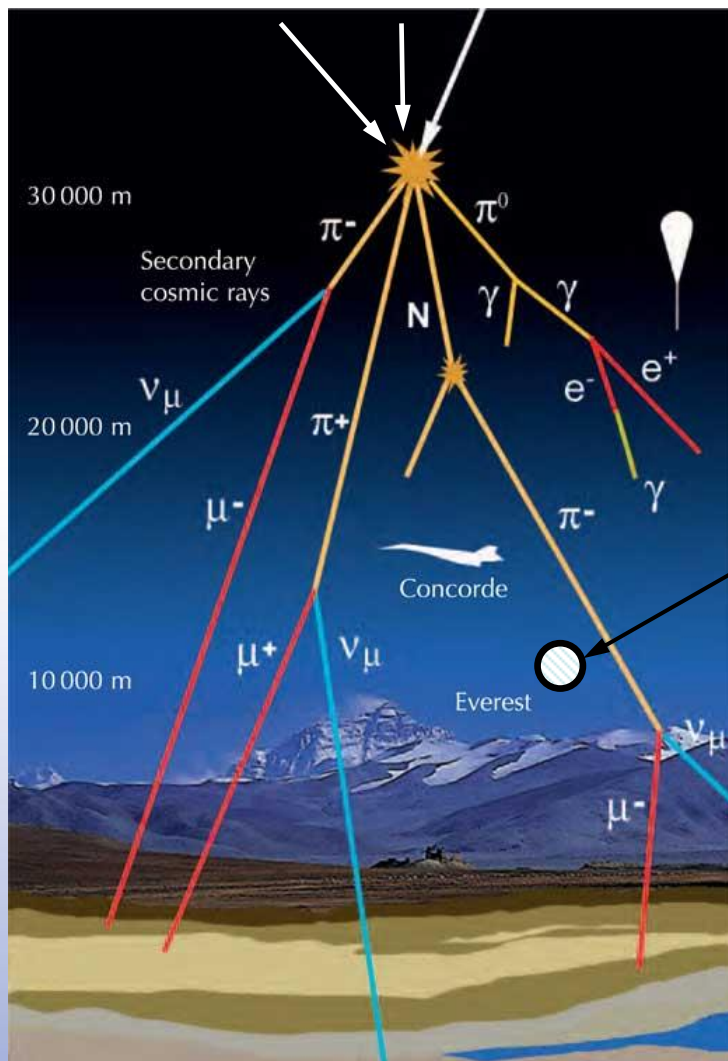
세계 각국의 우주 방사선 계산 코드



코드명	개발국	방사선 코드	Dose Conversion	GCR model
AVIDOS 1.0	오스트리아	FLUKA	ICRP 60, Pelliccioni	Gaisser et al
CARI-6M	미국	LUIN99/LUIN2000	ICRP 60, Pelliccioni	Below 10 GeV (Garcia-Munoz, 1975), above 10 GeV (Peters, 1958) normalized to 10.6 GeV (Gaisser, 1998)
EPCARD	독일	FLUKA	ICRP 60, Pelliccioni	(Badhwar, 2000)
IASON-FREE	오스트리아	PLOTINUS (LUIN)	ICRP 60, Pelliccioni	Below 10 GeV (Garcia-Munoz, 1975), above 10 GeV (Peters, 1958) normalized to 10.6 GeV (Gaisser, 1998)
JISCARD EX	일본	PHITS	ICRP 60, Pelliccioni	(Nymmik, 1992)
PCAIRE	캐나다	Experimental data	Not applied	Not applied
PLANETOCOSMICS 2.0	러시아	GEANT4	ICRP 60, Pelliccioni	(Gleeson, 1968; Garcia-Munoz, 1975)
QARM 1.0	영국	MCNPX	ICRP 60, Pelliccioni	(Badhwar, 2000)
SIEVERT 1.0	프랑스	EPCARD version	ICRP 60, Pelliccioni	(Badhwar, 2000)
EDCAR (Equivalent Dose Calculator for Aviation route)	한국	GEANT4	TEPC model	(Badhwar, 2014)

우주방사선 계산 코드 개발 : EDCAR

(Equivalent Dose Calculator for Aviation route)



GCR: Badhwar O'Neill model @ 100 km
 - Multi directional GCR
 - Simulate 2.7M proton and alpha particle

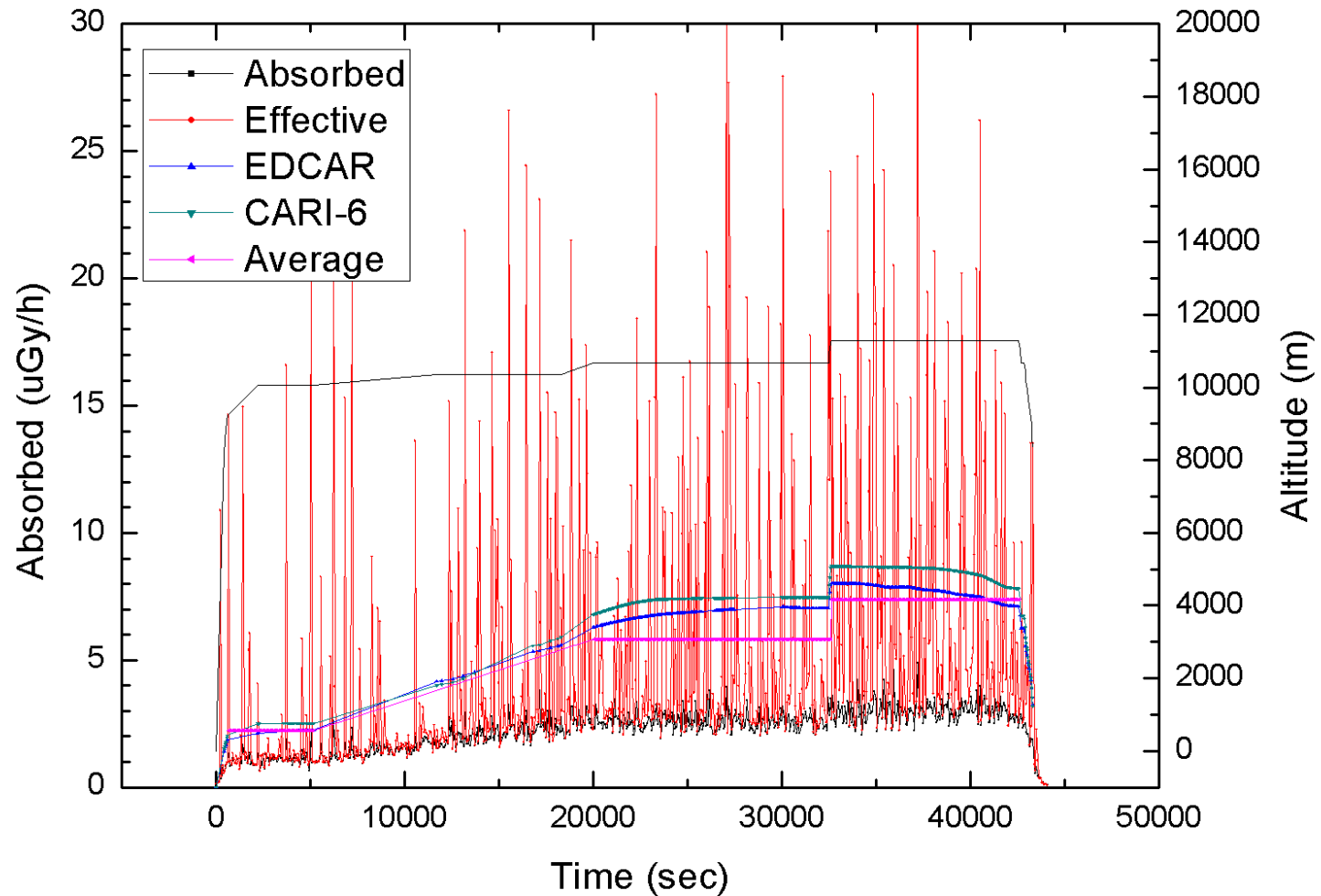
Atmosphere: NRLMSISE-00 model
 Interaction: GEANT-4 code

Calculate Ambient Dose Equivalent with TEPC model

Calculate LET Spectra	
Freq. Probability density; $f(y)$	
Dose-mean lineal energy; $\bar{y}_D = \int_{y_{min}}^{y_{max}} y d(y) dy$	
Absorbed Dose ;	$D = \frac{2\bar{y}_D \sum N}{m}$
Equivalent Dose(ICRP 60);	$H_{non-cal.} = D\bar{Q}$

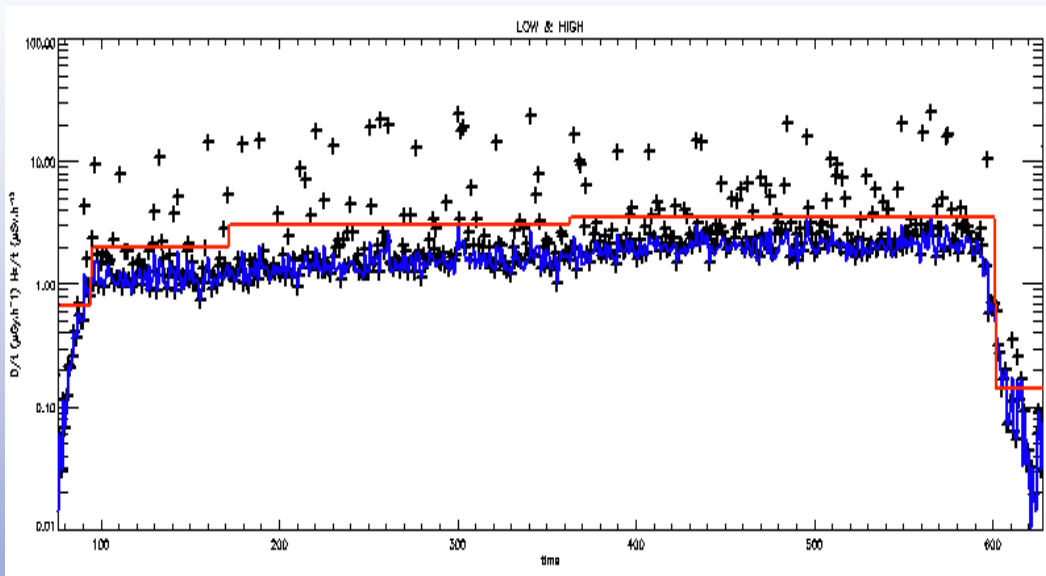
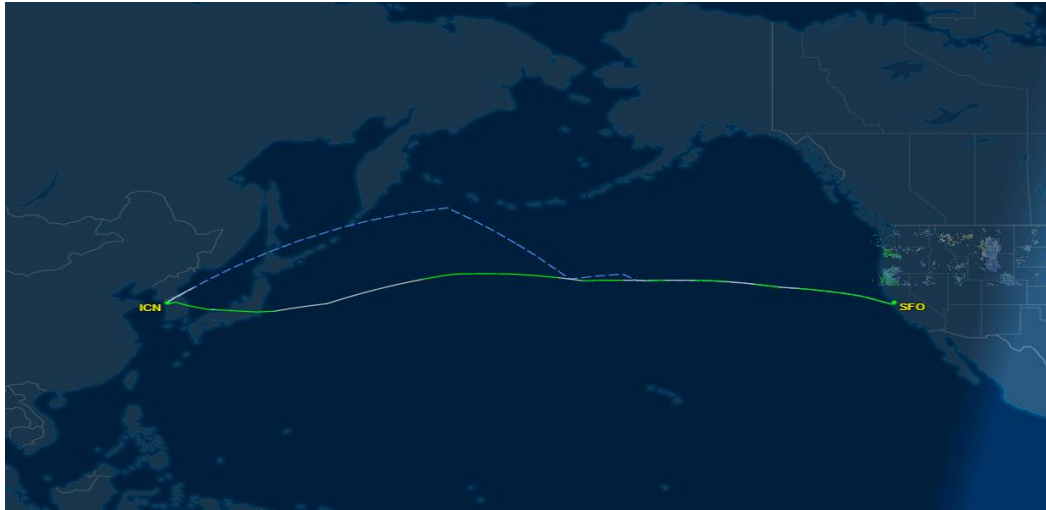
Flight Dose profile ICN-IAD (2016.9.20)

(Incheon-Washington)



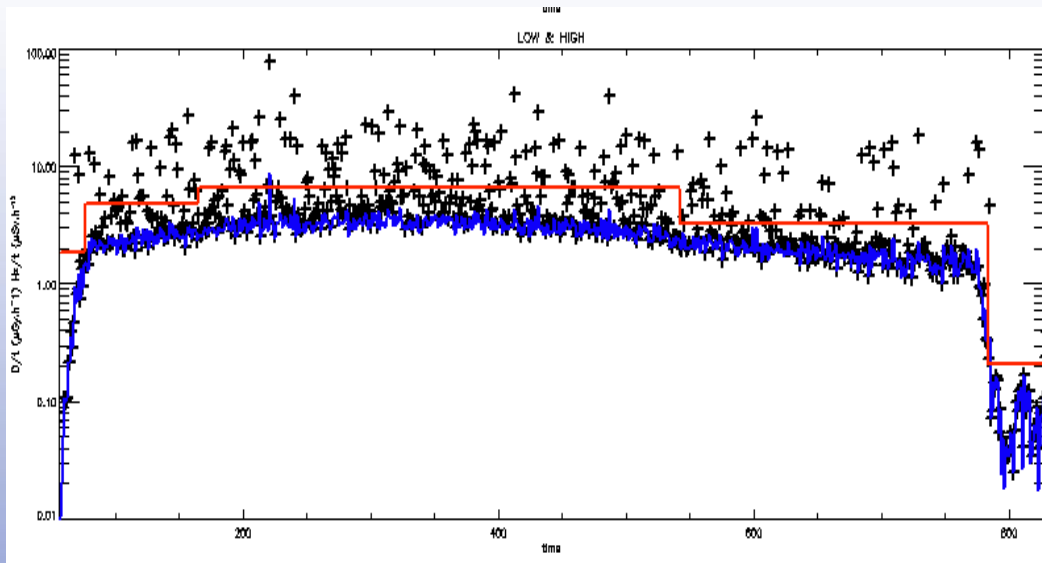
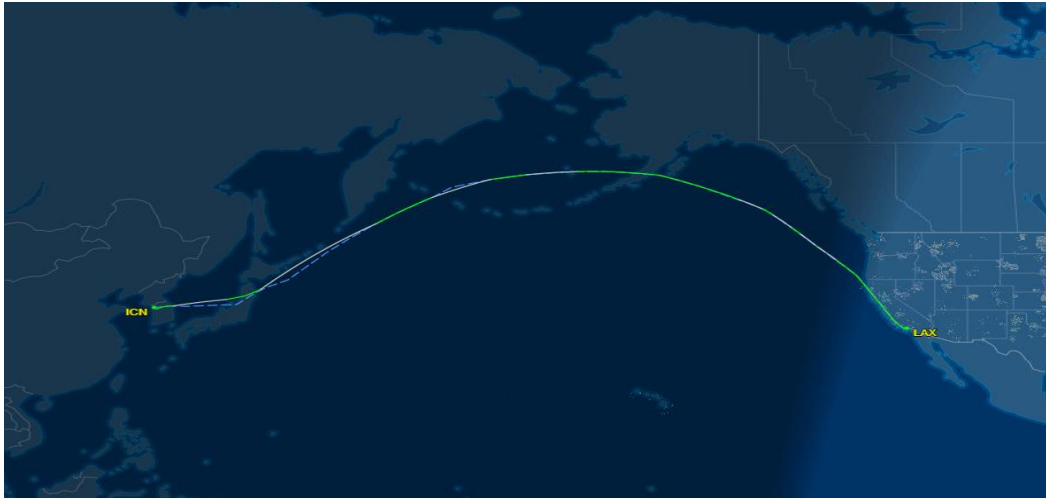
Total Dose = 59.82 μSv

ICN-SFO (2017. 1.20)



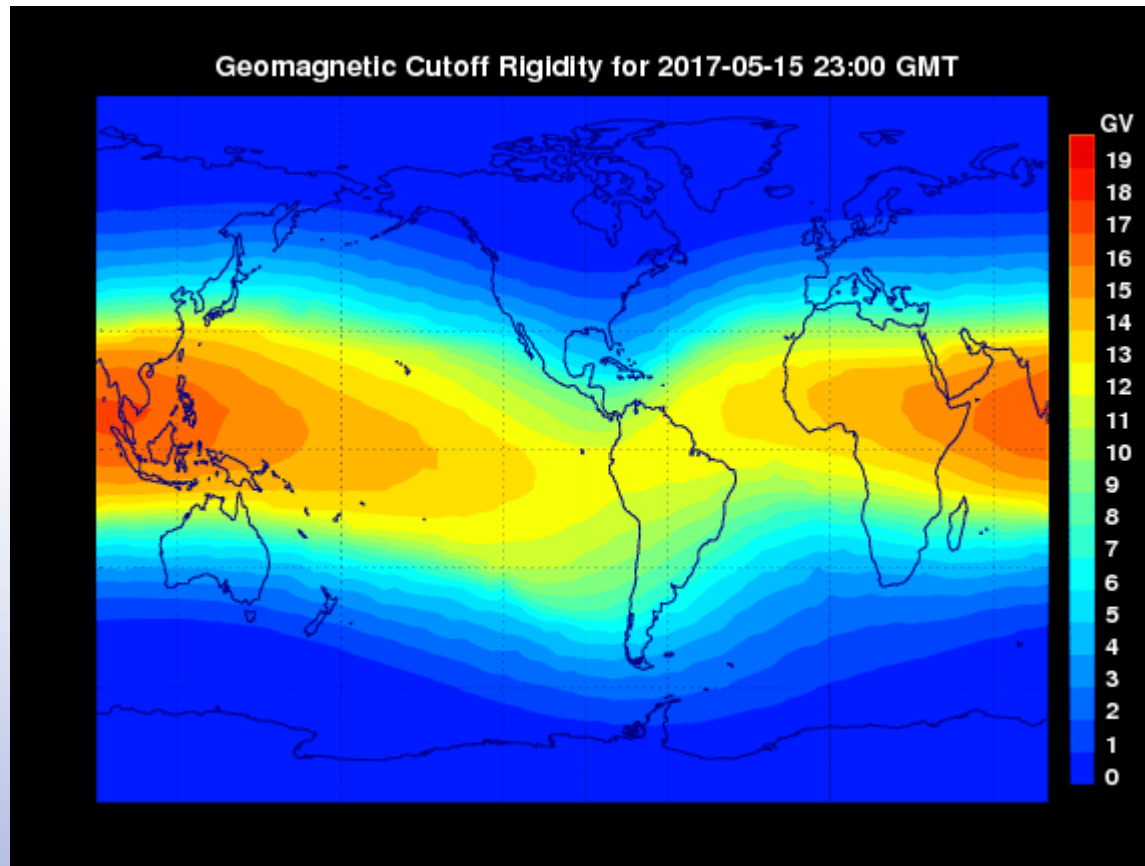
Average : **3.02** \pm 3.69 uSv/h
Total : **26.46** uSv/h
Total Flight : 8.75 hr

LAX-ICN (2017. 1.26)

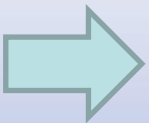


Average : **6.15** \pm 27.5 μ Sv/h
Total Dose: **74.9** μ Sv/h
Total Flight : 12 hr

Geomagnetic Cutoff Rigidity





- 우리나라는 승무원에 한해 연간 우주방사선허용량을 5년 누적 100mSv 이내로 규정
 - 전파연은 ‘항공 우주방사선 예측시스템(SAFE, Safety Aviation Flight Environment)’ 개발, 국내 7개 항공사에도 제공해 소속 승무원의 효율적 우주방사선 관리를 지원
 - 국토부 -미래부
 - 항공기 고도별 **실측자료** 필요
- 
- 비행기 고도의 우주방사선 선량평가 및 예측 코드 국산화
 - 우주 환경 예보의 정확도 향상
 - 국제적 위상과 대등한 데이터 교환을 통한 우주환경 예보의 국제화

공군과 협력 한반도 고도별 우주방사선 측정



- 2016. 12. 02.
제11회 공군-천문연구원
확대협의회 의제
- 공군 항공기를 이용한 한반도
상공의 우주방사선 측정 협조
및 자료 공동 활용 협의
(천문연에서 개발한 항공기용
우주방사선 측정기 이용)
- 2017년도 시행 예정





- 우주방사선량 측정은 **달탐사 및 행성탐사**를 위한 기본 데이터임
 - 특히, 우주방사선에 노출되는 **항공기 승무원 방호**를 위해 방사선측정기의 독자개발 및 운영이 필요함
 - NASA는 물론 유럽연합, 마이크로도시미터 프로젝트를 지속적으로 지원
 - NASA continuing to support microdosimeter projects to find solution for Exploration missions
- 국내에서 우주 방사선의 측정/분석에 대한 연구의 전환점
 - 우주방사선 연구수준을 세계적인 수준으로 도약에 기여.
 - 우주방사선 평가기술 확보를 통한 **국민 안전한 삶을 위한 우주방사선 방호**에 기여

