KOMAC 100 MeV 중성자빔 개발 계획

문명국, 이필수, 당정증

moonmk@kaeri.re.kr

한국원자력연구원 가속기개발연구부

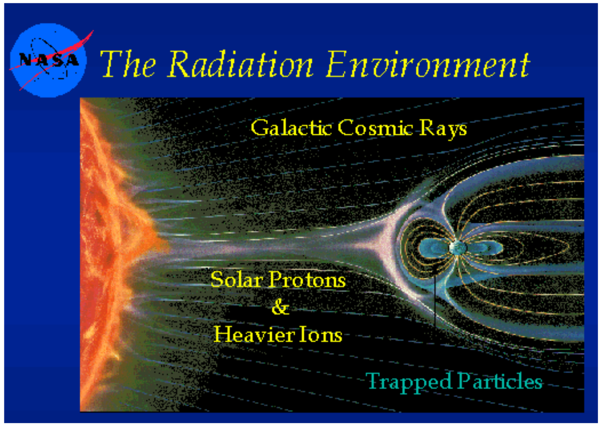
* CANS: **C**ompact **A**ccelerator-based **N**eutron **S**ource

Contents

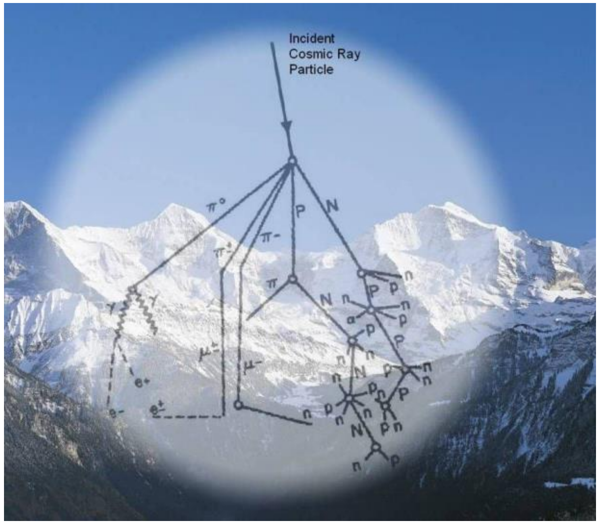
- **Issues**
  - Space and Atmospheric radiation
- **Neutron Production at KOMAC**
  - 100 MeV Neutron production

Space / Atmospheric Radiation

- Space & Atmospheric Radiation Environment



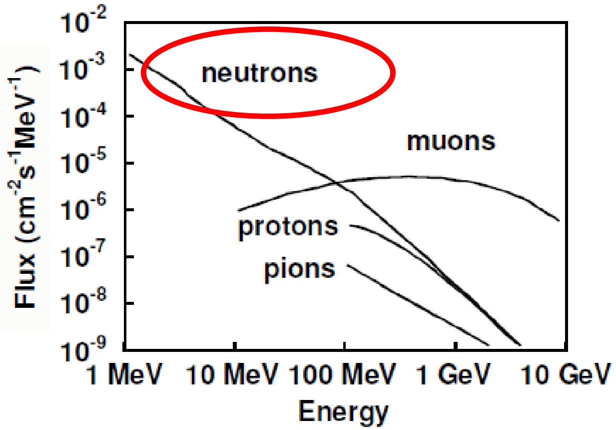
Space radiation environment



Radiation in the atmosphere

❑ Space requirements for test beam
- Proton: 1~500 MeV, 10^3 ~ 10^9 p/cm^2/s, SEE
- Heavy ion: (He~Fe), multi GeV/n, 10^5 ions/cm^2/s

❑ Neutron flux at atmosphere with energy >10 MeV
- **6000 n/cm^2/hr (@ 12 km high)**
- **20 n/cm^2/hr (@ sea level)**



Radiation at ground level

[1] E. Blackmore, Using TRIUMF Proton and Neutron Beams for Radiation Effect Testing (space & ground level), KOMAC workshop 2017.

Radiation effects on Semiconductor

TRIUMF Radiation Effects to Electronics

Single Event Effects (SEU, SEL, SET, SEB, SEGR)
- protons (trapped or solar events)
- heavy ions (GCR or solar events)
- neutrons (aircraft or ground)

Important for SRAM, DRAM, FPGA, MOSFET

Soft or Permanent Errors

Bit flip, latchup, burnout, gate rupture

Total Ionizing Dose (TID)
- trapped protons & electrons
- solar proton events

Important for bipolar transistors, CMOS etc.

Threshold voltage shifts

Increased switching times

Logic state failure

Displacement Damage (NIEL)
- low energy protons, neutrons (1/E effect)

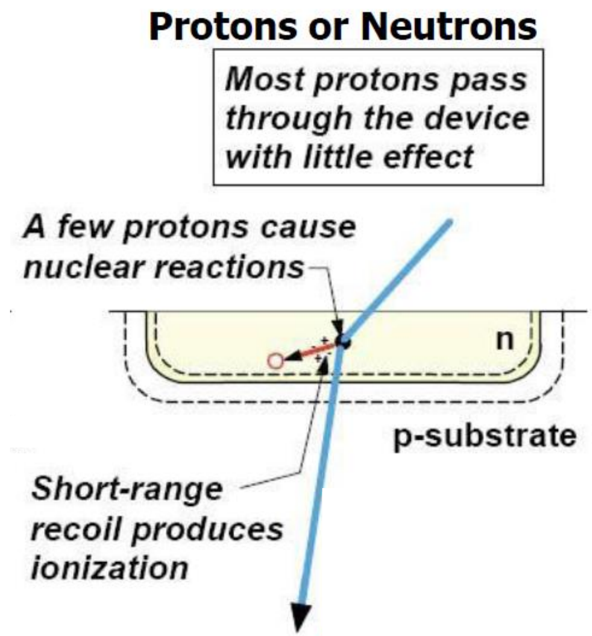
Important for LEDs, CCDs, solar cells etc.

Gain degradation

LED reduced output

Dark current

Single Event Effects

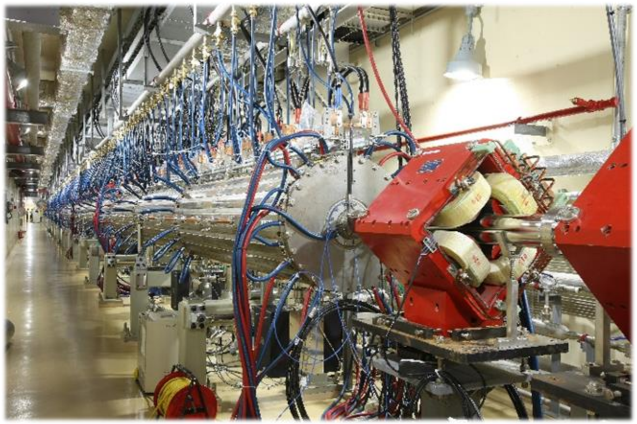


E. Blackmore, Using TRIUMF Proton and Neutron Beams for Radiation Effect Testing (space & ground level), KOMAC workshop 2017.

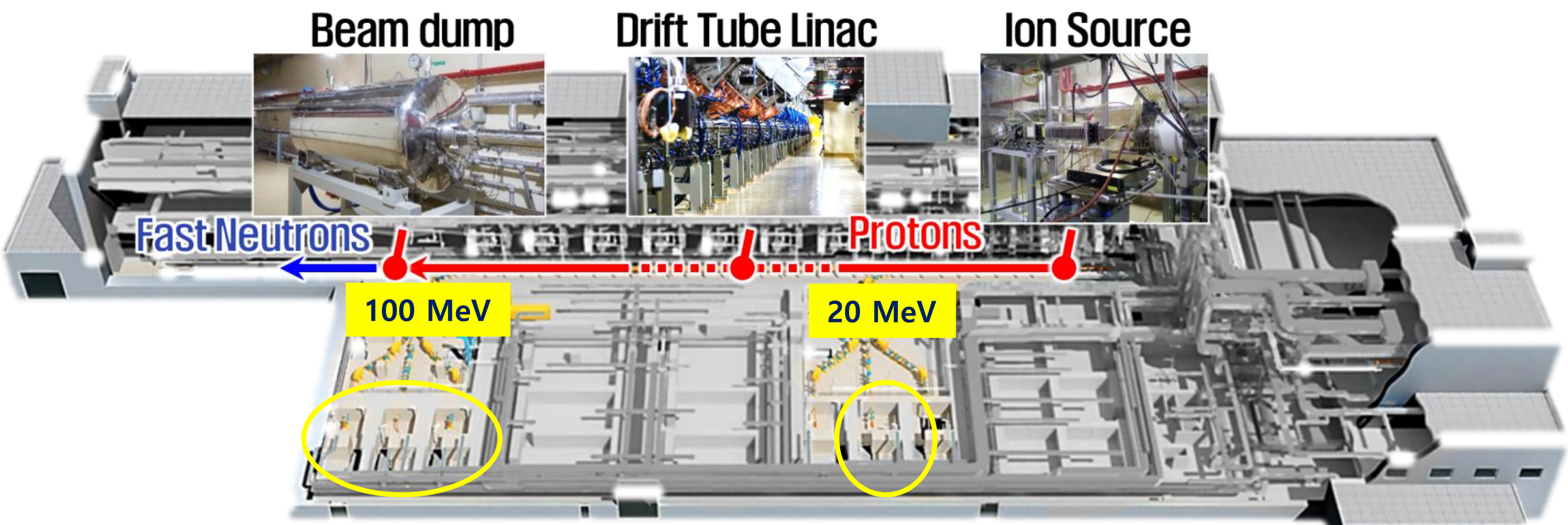
Irradiation test of semiconductor products is required to assess reliability and durability against space/ atmospheric radiation.

KOMAC (Korea Multipurpose Accelerator Complex)

100 MeV Proton Accelerator



- Linac commissioning at 2013
- General purpose beamline and user service starts (2013~)
- RI production beamline (2016~)
- Low flux beamline (2017~)
- * Test beamline (2017~)
- * Prototype RI beam production beamline (2018~)
- * Pilot operation of neutron beam service (2018~) 1 kW target
- Total 4 proton beamlines are under user service at 2021



100 MeV Target room

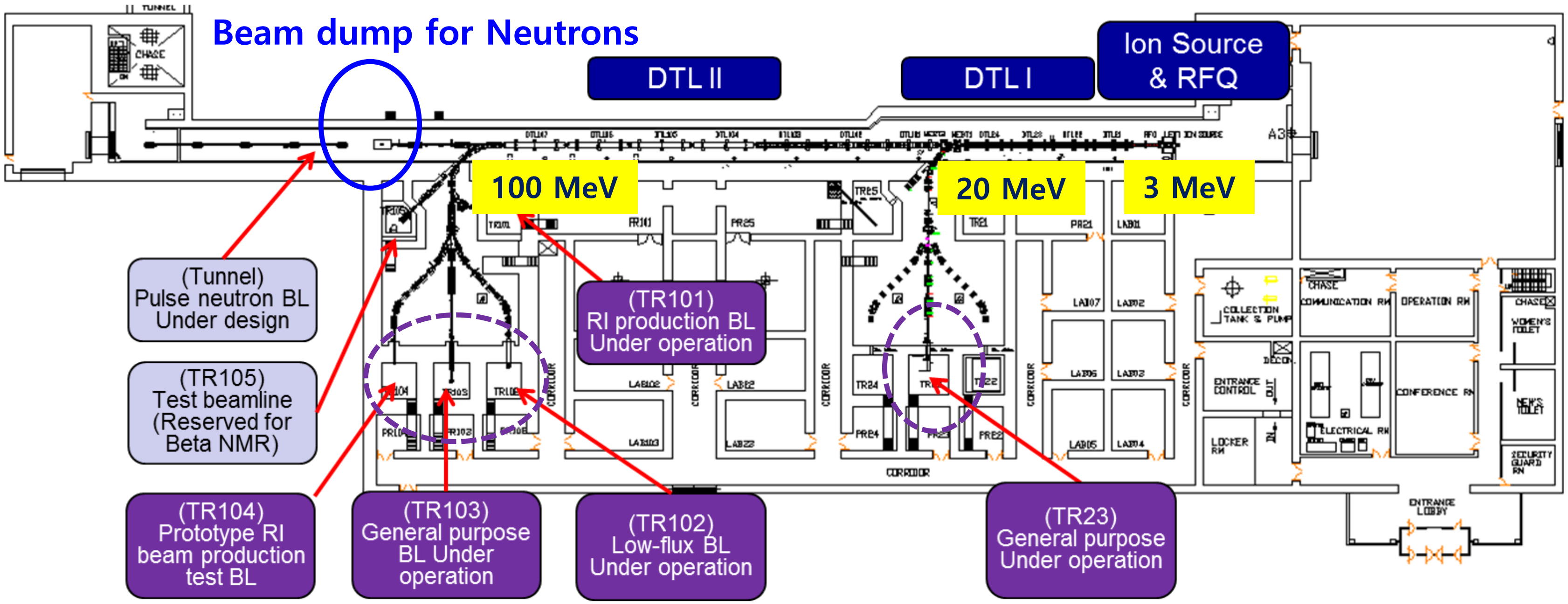
20 MeV Target room

KOMAC Beamlines

Features of KOMAC 100MeV linac

- **50-keV Injector (Ion source + LEBT)**
- **3-MeV RFQ (4-vane type)**
- **20 & 100-MeV DTL**
- RF Frequency : 350 MHz
- Beam Extractions at 20 or 100 MeV
- 6 Beamlines for 20 MeV & 100 MeV

Output Energy (MeV)	20	100
Max. Peak Beam Current (mA)	1 ~ 20	1 ~ 20
Max. Beam Duty (%)	24	8
Avg. Beam Current (mA)	0.1 ~ 4.8	0.1 ~ 1.6
Pulse Length (ms)	0.1 ~ 2	0.1 ~ 1.33
Max. Repetition Rate (Hz)	120	60
Max. Avg. Beam Power (kW)	**96**	**160**

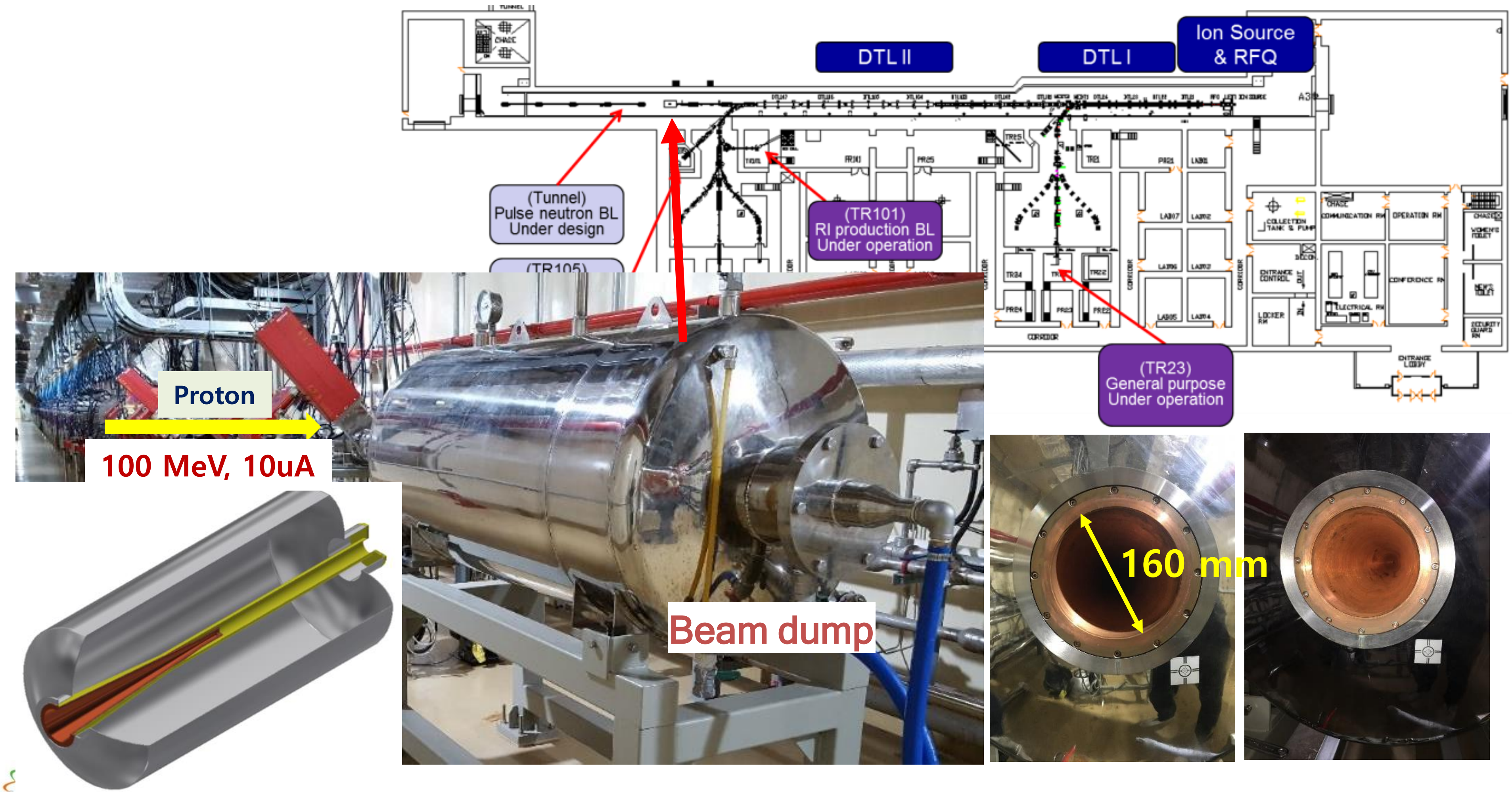


Limited space for neutrons in target room !!!

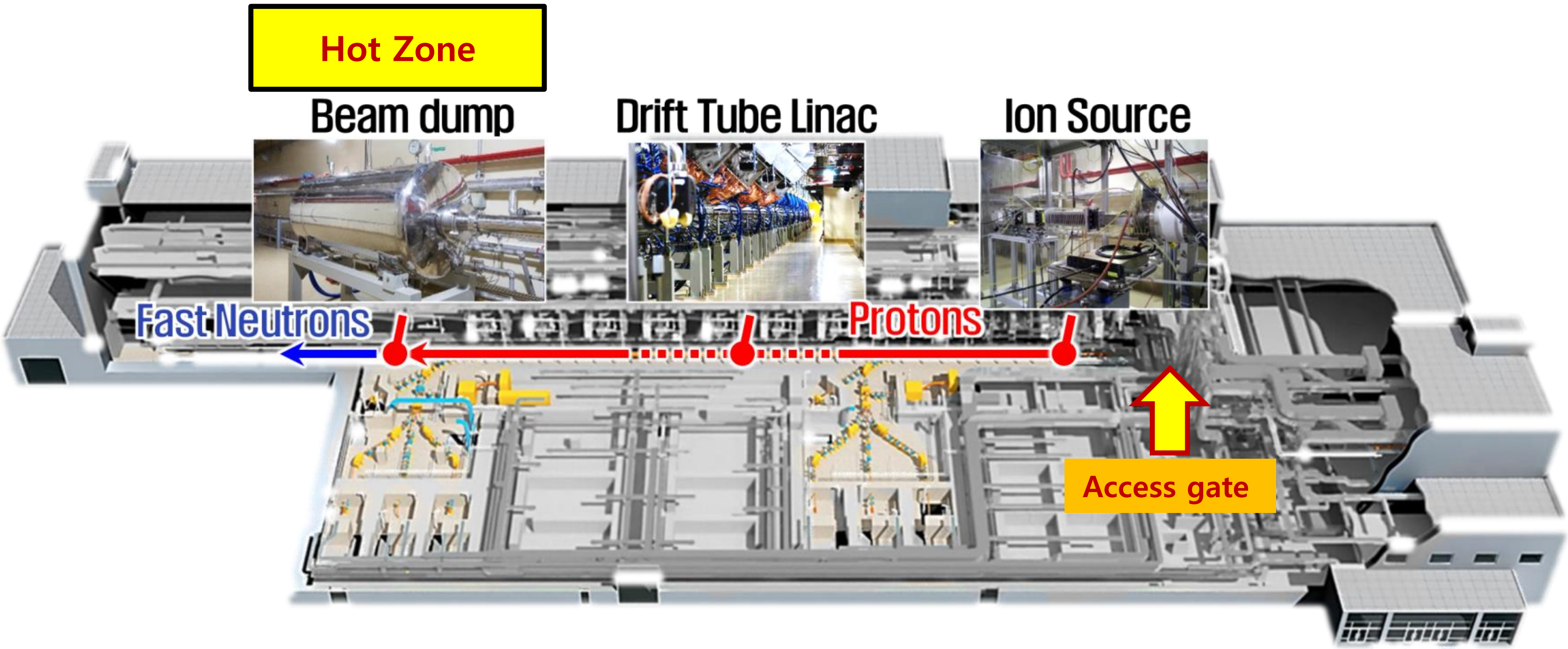
KAERI 한국원자력연구원 Korea Atomic Energy Research Institute

KOMAC Beam Dump for Neutrons

- Utilization of neutrons emitted from beam dump
- Production target : copper in the beam dump
- Neutron production yield ~ 0.17n/p @ E_p=100 MeV



KOMAC Beam Dump for Neutrons



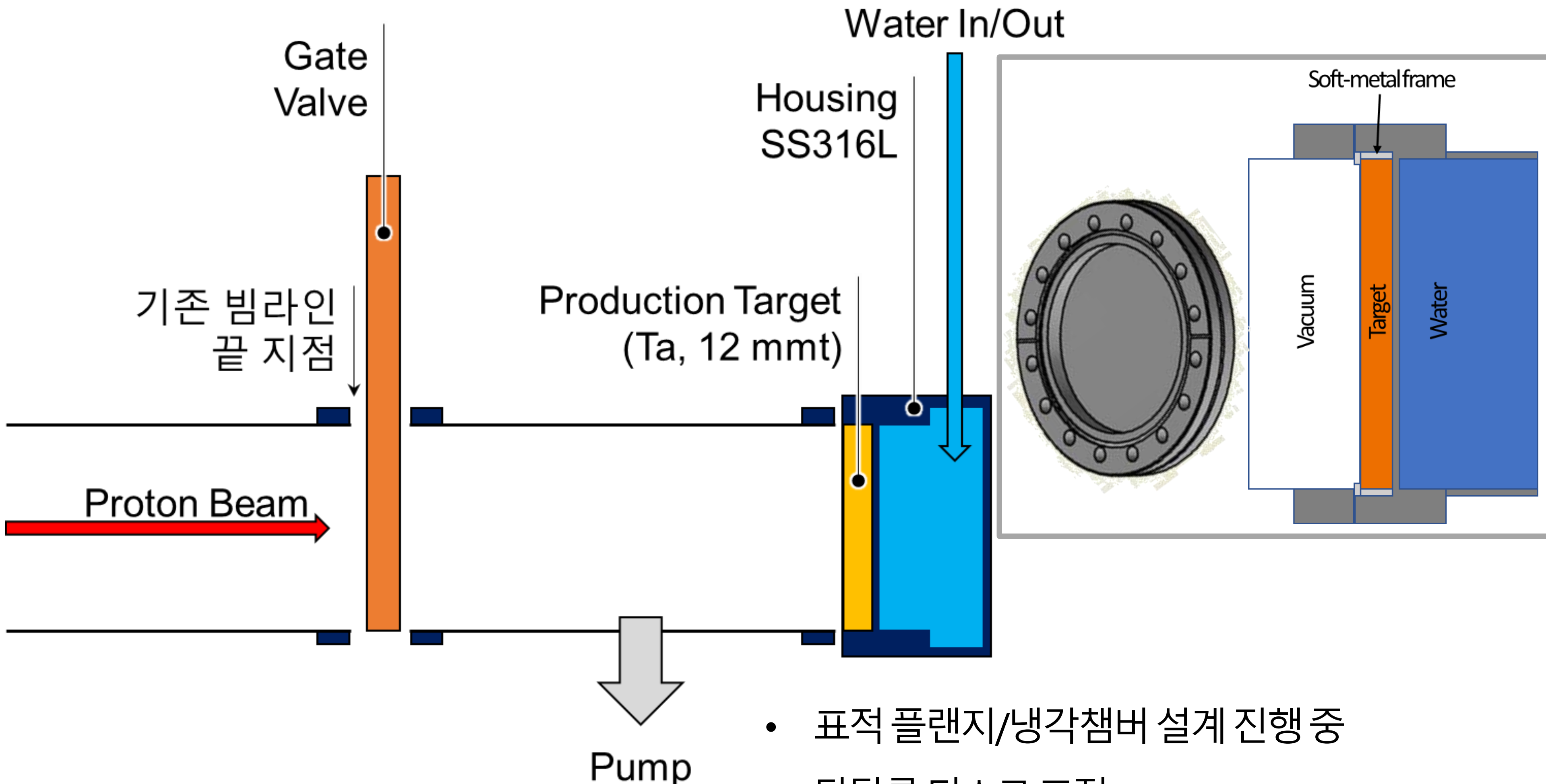
- 빔 조사 직후 빔 덤프 방사화에 따른 접근 어려움 해결, 중성자 특성, 중성자 표적 운영 안정성 확보, 표적 집합체 구축 기술 확보 등 선행연구를 위해 1 kW 급 중성자 발생 표적 구축 계획
- 표적집합체는 금속 표적과 차폐체로 구성 (반사체, 감속재 없음)
- 중성자 발생 표적은 빔 덤프를 대체하며, 가속기 실험 중 빔 덤프 대용으로 사용할 수 있음을 고려
- 표적 집합체 제작, 방사선안전보고서 작성, 인허가 대응을 위한 설계 및 계산 수행

KOMAC Beam Dump for Neutrons

- **표적 구축 및 운영에서는 다음 사항을 중점적으로 고려함**
  - 중성자 표적 계통 구축 및 운영이 기존 가속기 운영에 미치는 영향을 최소화 함
  - 가속기 튜닝 시 빔 덤프로 사용할 수 있어야 함
  - 고출력 중성자 표적 계통 구축에 필요한 기반기술 확보, 선행 연구를 수행할 수 있으며, 장기적인 연구수행에 도움이 되는 방향으로 구축 계획 수립
- **본 계획에서 구축하고자 하는 중성자 표적은**
  - 대기방사선 모사시험*을 위한 중성자원 역할을 수행할 수 있어야 함
  - 빔 조사 종료 후 표적방사화에 의한 방사선 피폭으로부터 방호

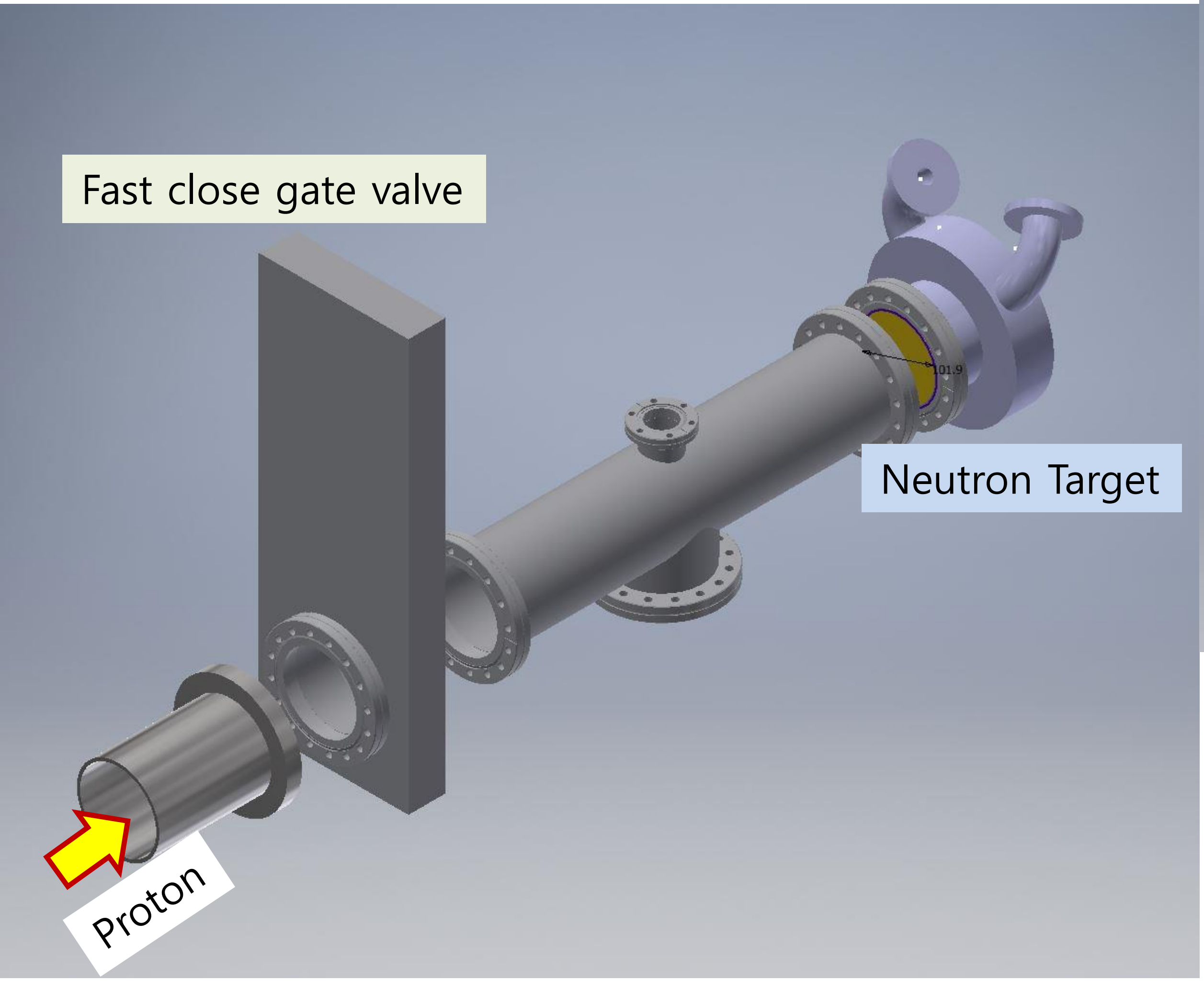
대기방사선 중성자 특성: JEDEC 89A / M.S.Gordon et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 51 (2004) 3427-3434.

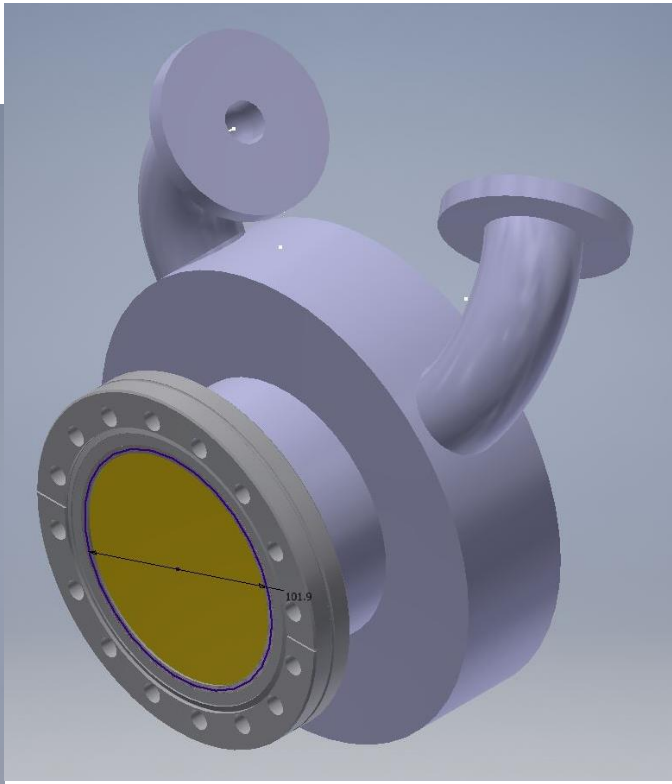
KOMAC Beam Dump for Neutrons



- 표적 플랜지/냉각챔버 설계 진행 중
- 탄탈륨 디스크 표적
- 냉각 계산 진행중

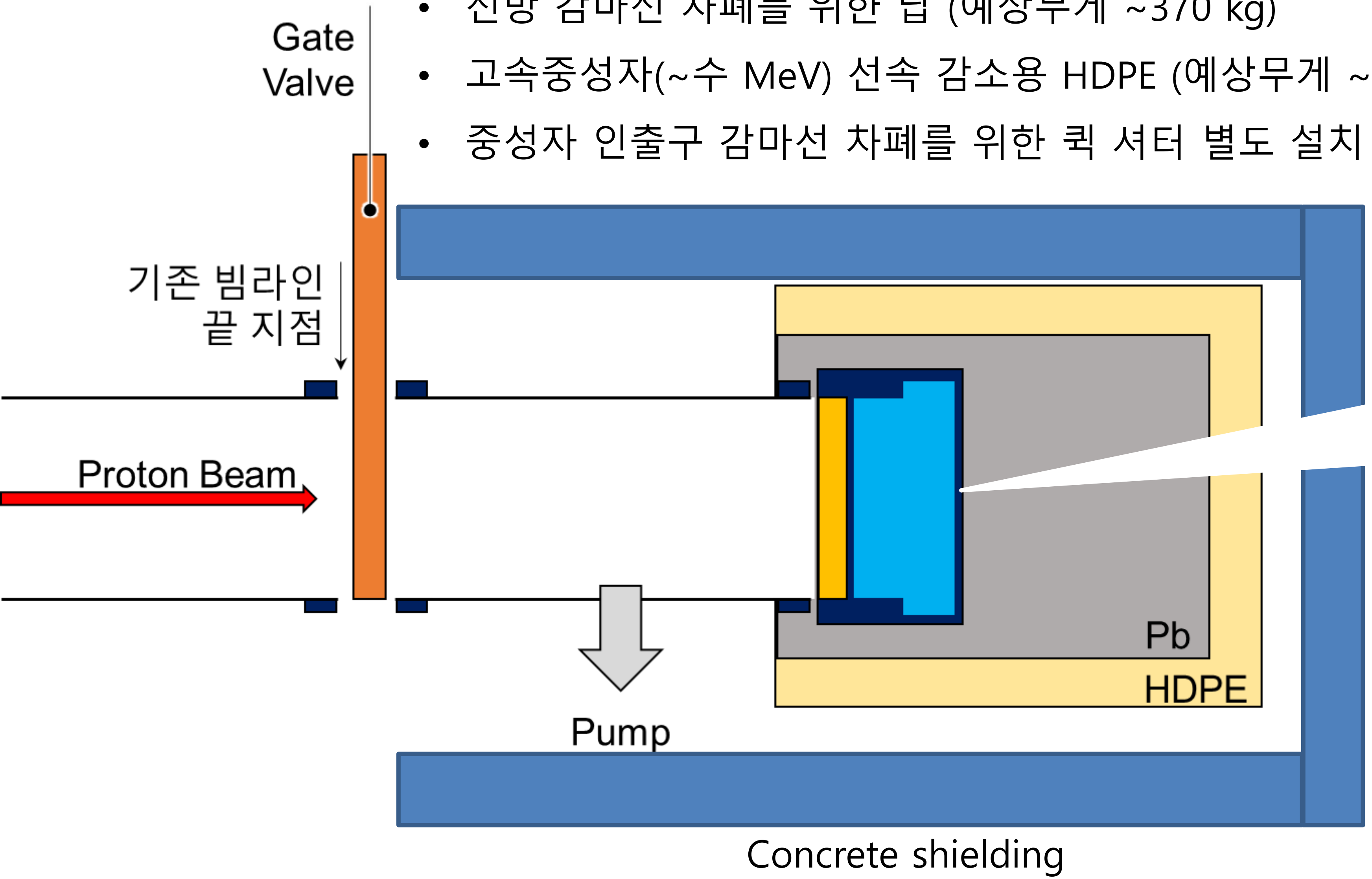
KOMAC Beam Dump for Neutrons





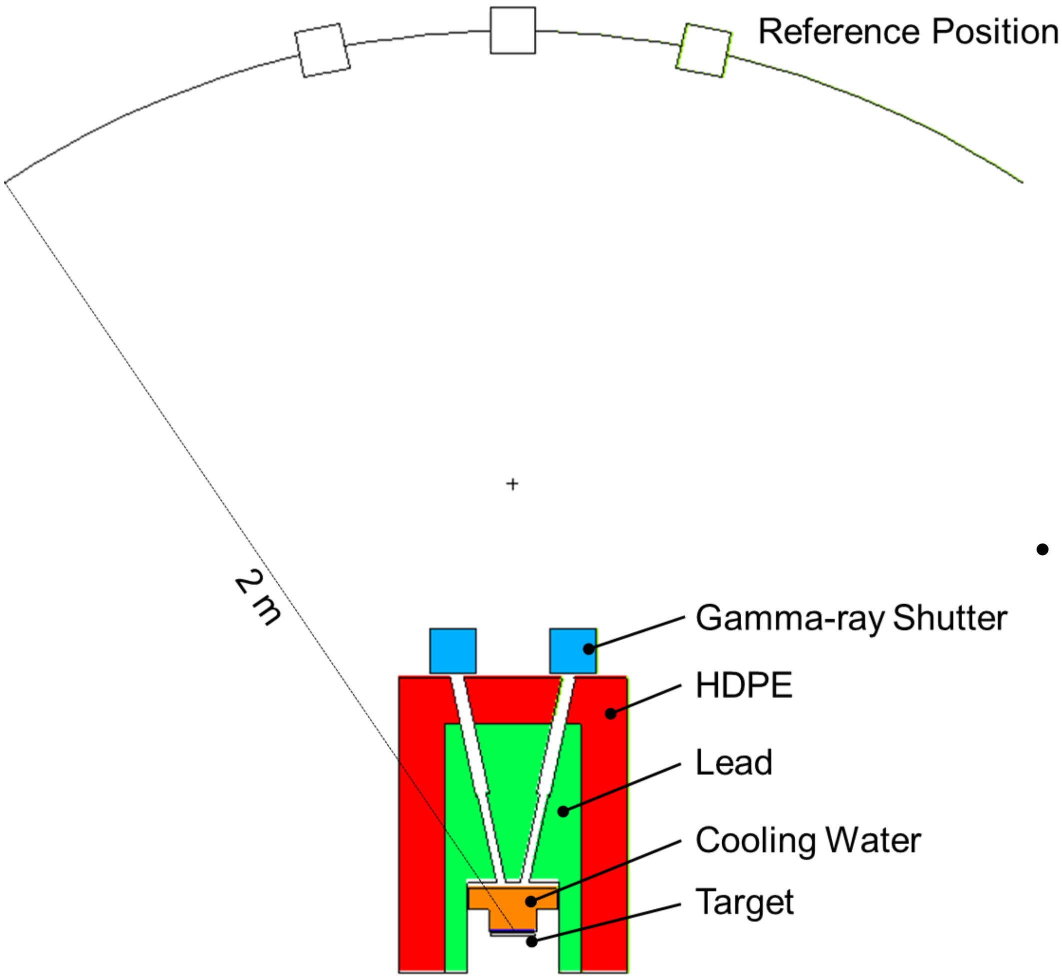
KOMAC Beam Dump for Neutrons

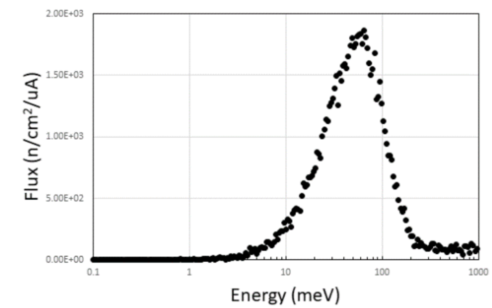
- 전방 감마선 차폐를 위한 납 (예상무게 ~370 kg)
- 고속중성자(~수 MeV) 선속 감소용 HDPE (예상무게 ~80 kg)
- 중성자 인출구 감마선 차폐를 위한 퀵 셔터 별도 설치



KOMAC Beam Dump for Neutrons

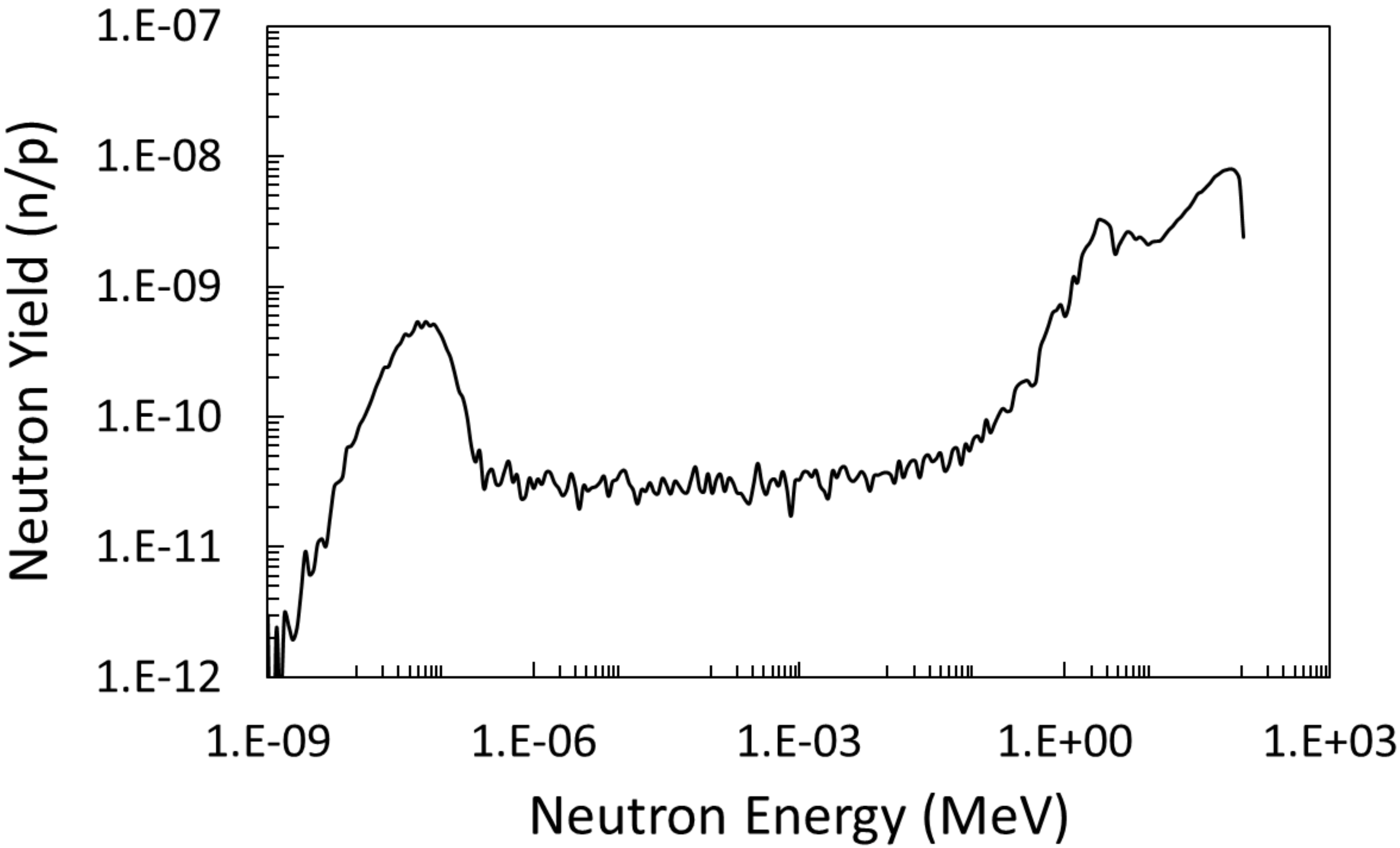
- 방사화, 차폐 계산 MCNP6.2/PHITS 3.22





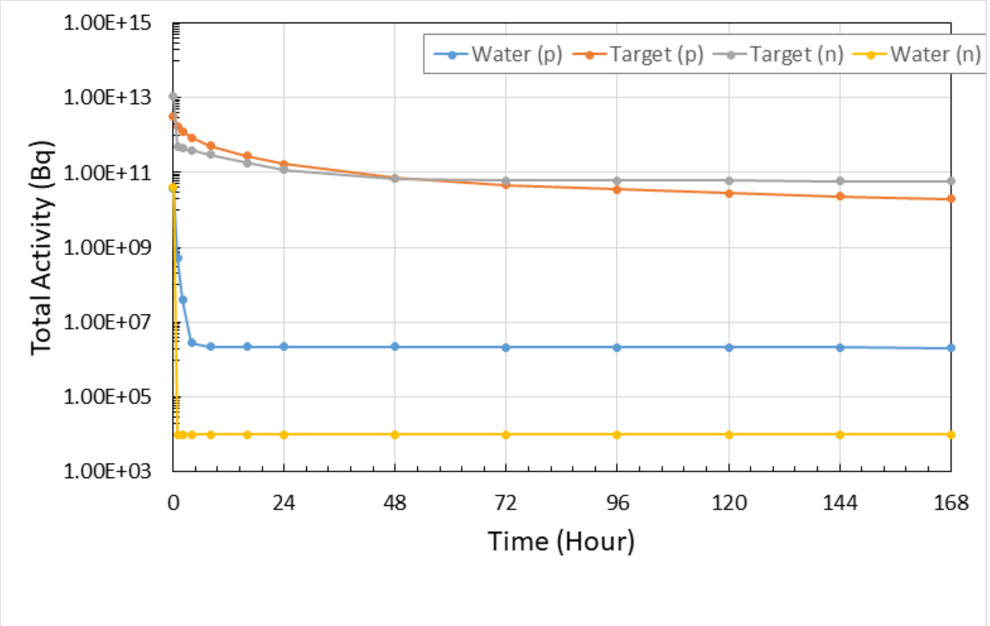
- 위치[1]에서 중성자 선속
  (E > 1 keV) 1.3×10^6 n/cm²/uA
  (E > 10 MeV) 8.6×10^5 n/cm²/uA
  (Thermal) 8.1×10^4 n/cm²/uA

KOMAC Beam Dump for Neutrons



KOMAC Beam Dump for Neutrons

- 방사화, 차폐 계산 MCNP6.2/PHITS 3.22

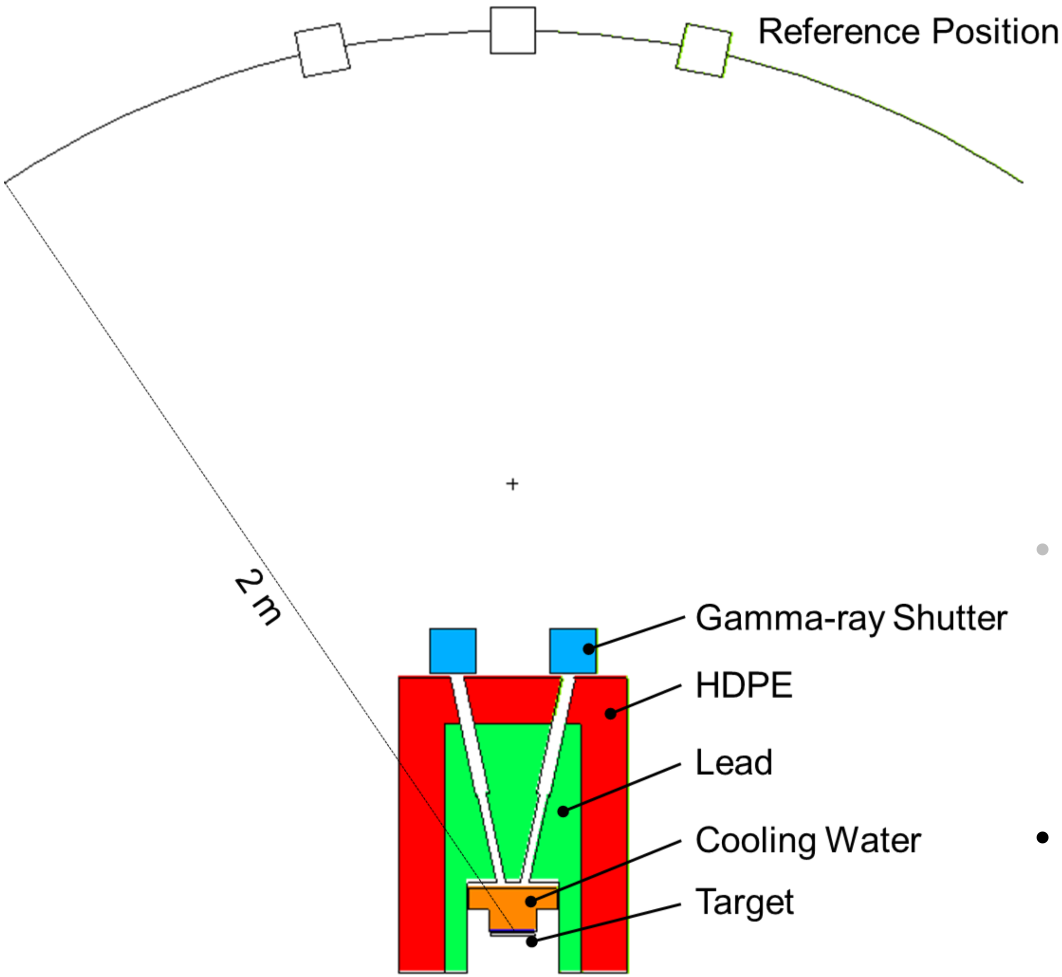


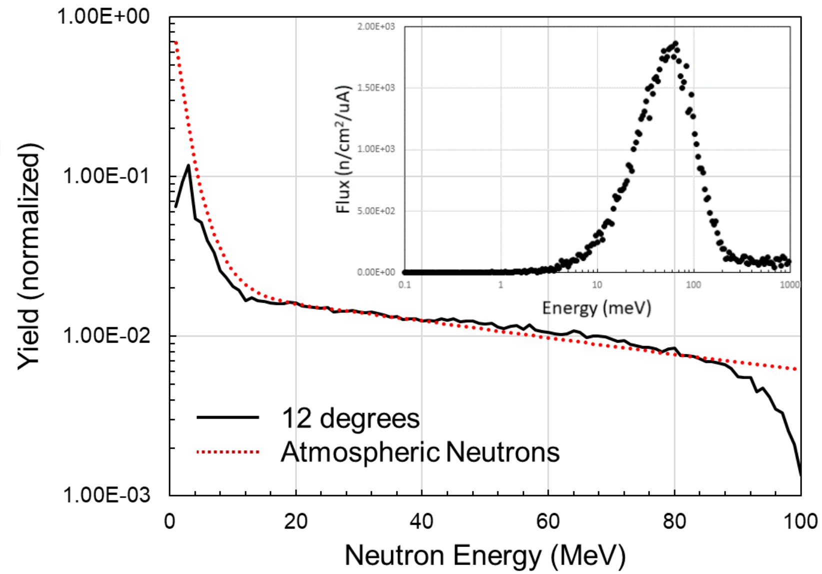
- MCNP: recommended XS data, physics models included
- PHITS: Hybrid library (JENDL/ENDF/JEFF/FENDL)

- (100 MeV, 1 kW) 8시간 연속 조사 직후
  냉각수 내 총 방사능은 ~10^{11} Bq, 표적 내 총 방사능은 ~10^{13} Bq
- 조사 직후 많은 높은 방사능을 보여주는 단반감기 핵종(N-16, Ta182m, 중성자에 의해 생성)은 빠르게 붕괴
- 조사 종료 10분 후 방사능: 표적 ~100 Ci, 냉각수 ~0.3 Ci (감마선 차폐 필요)

KOMAC Beam Dump for Neutrons

- 방사화, 차폐 계산 MCNP6.2/PHITS 3.22

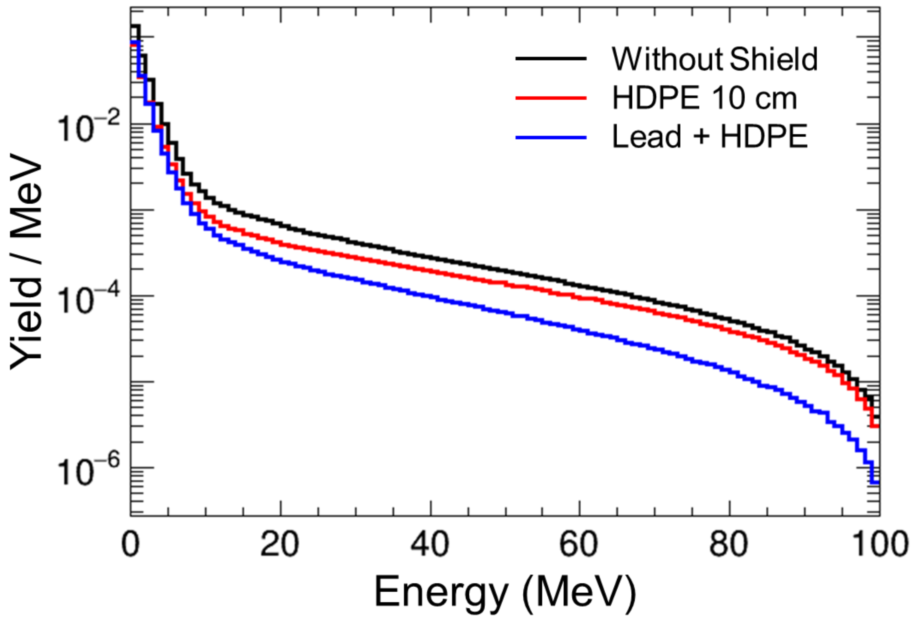




- 위치[1]에서 중성자 선속
  (E > 1 keV) 1.3×10^{6} n/cm²/uA
  (E > 10 MeV) 8.6×10^{5} n/cm²/uA
  (Thermal) 8.1×10^{4} n/cm²/uA
- 1 kW 8시간 빔 조사 후 감마선량 (텅스텐 차폐 후)
  [1] 6 uSv/hr (w/o G.S. ~200 uSv/hr)
  [2] 12 uSv/hr

KOMAC Beam Dump for Neutrons

- 방사화, 차폐 계산 MCNP6.2/PHITS 3.22



- 차폐체(납, HDPE) 효과
  - 총 차폐재 무게: 450 kg
  - 중성자 수 기준 43% 감소
  - 국소차폐능 증가를 위해서는 막대한 양의 차폐재가 필요함

- 현재 가용가능한 자원(예산, 공간)이 한정적이므로 차폐 최적화 필요

결론 및 전망

- 빔 덤프 중성자 표적 제작('21 중반)
- 중성자 표적 주변 차폐 보강('21 중반)
- 방사선안전보고서 보완, 빔 덤프 출입구 확보('21 하반기)
- 빔 덤프 중성자원 인허가 ('22 중반)
- 100 MeV 급 중성자 활용 가능('22 중반 이후)