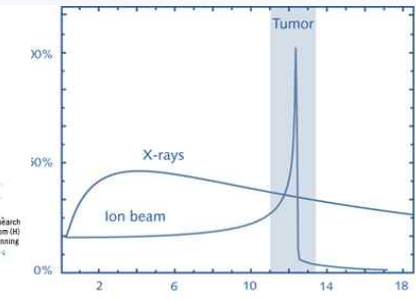
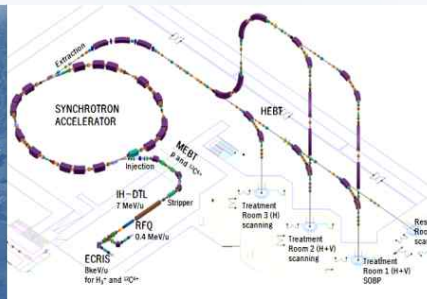


2017 추계학술발표회 Workshop, 10/25(수), 호텔현대 경주 2층 루비
주최 : 한국원자력학회 방사선방호 연구부회
대형가속기시설의 방사선안전관리 협의회(안) 발족 및 현안발표

중입자 치료기의 방사선안전 특성 및 현안

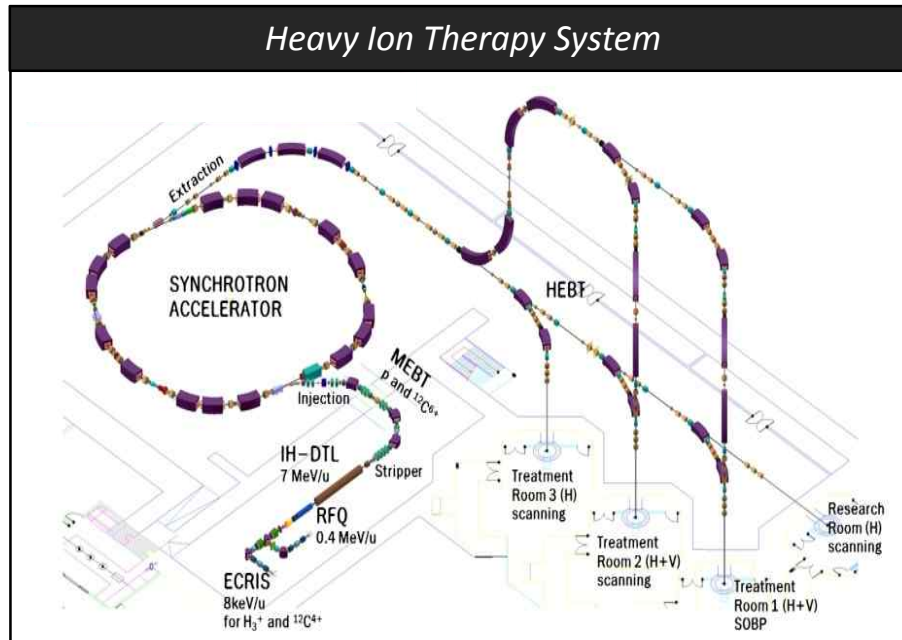


민선홍, 조일성, 김병수, 정원균*

목 차

- 1. 암치료 의료용 중입자 가속기 치료 센터 소개**
- 2. 세계 주요 의료용 중입자 가속기 시설 현황**
- 3. 중입자 치료 시설 안전 시설 및 계통 개요**
- 4. 중입자 치료기의 방사선 안전 특성 및 현안**
 - (1) 안전 시설 및 계통 설계 보고서**
 - (2) 방사선안전보고서 준비**
 - (3) 절차서 목록**
 - (4) 안전계통 설계 보고서 – 세부자료**

암치료 의료용 중입자 가속기 치료 센터



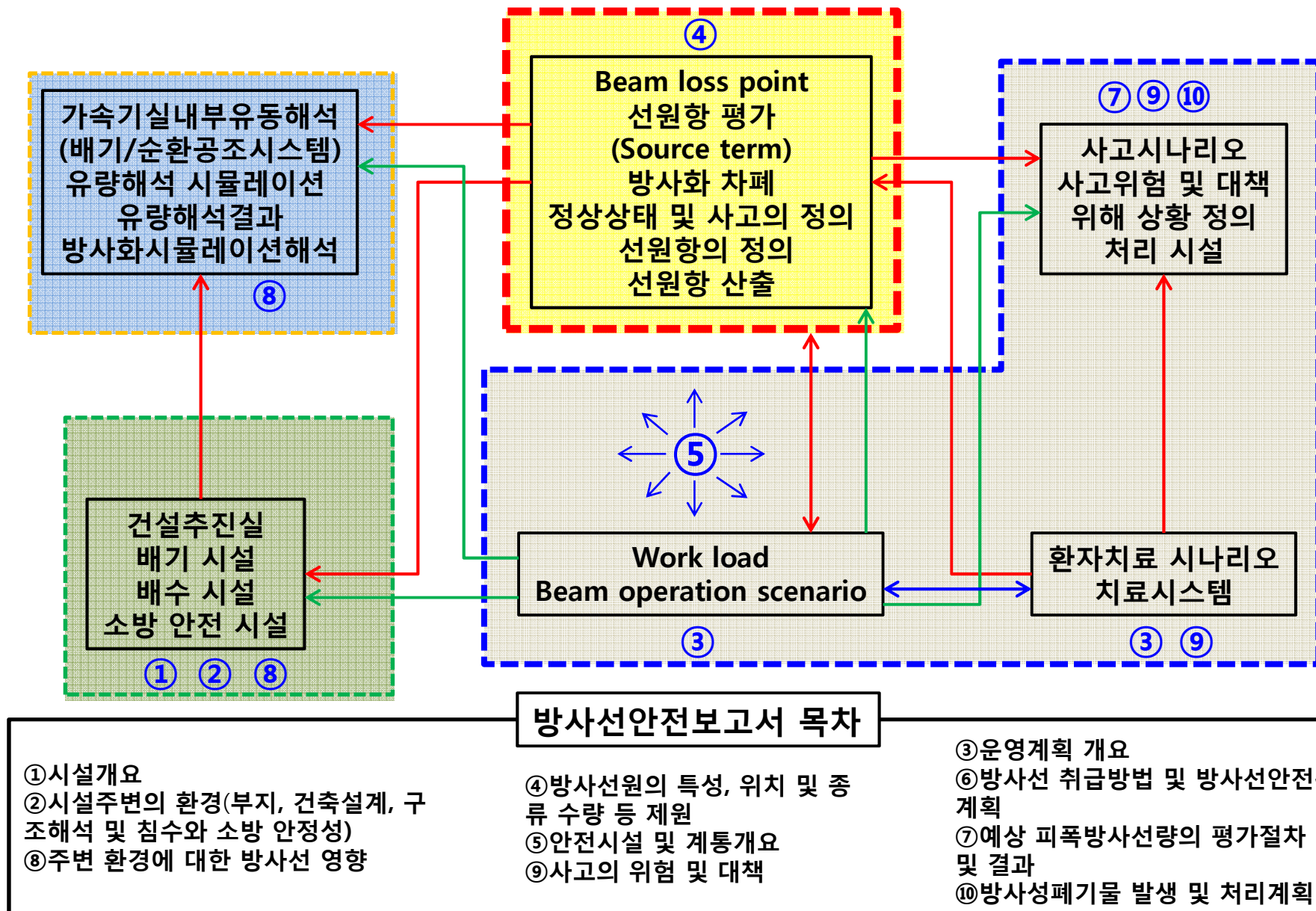
- 가속 이온: 탄소이온($^{12}\text{C}^{4+} \rightarrow ^{12}\text{C}^{6+}$) 및 양성자
- 최대에너지: 430 MeV/u (탄소이온), 230 MeV (양성자)
- 최대 빔 전류: 1.5 nA (탄소이온 430MeV/u), 6 nA (양성자 230 MeV)
- 모델명: KIRAMS Synchrotron System or KHIMA system
- 외형: 구성은 두 개의 이온소스 발생기 (탄소이온, 양성자), 이온소스 가속 및 생성을 위한 LINAC, 이온소스 가속 medium energy beam transfer (MEBT), synchrotron accelerator (주 가속장치), 가속된 고에너지 빔 전달 장치 (HEBT), 3개의 치료실 치료 조사장치 및 1개의 연구실험실 조사장치 등으로 구성



세계 주요 의료용 중입자 가속기 시설 현황

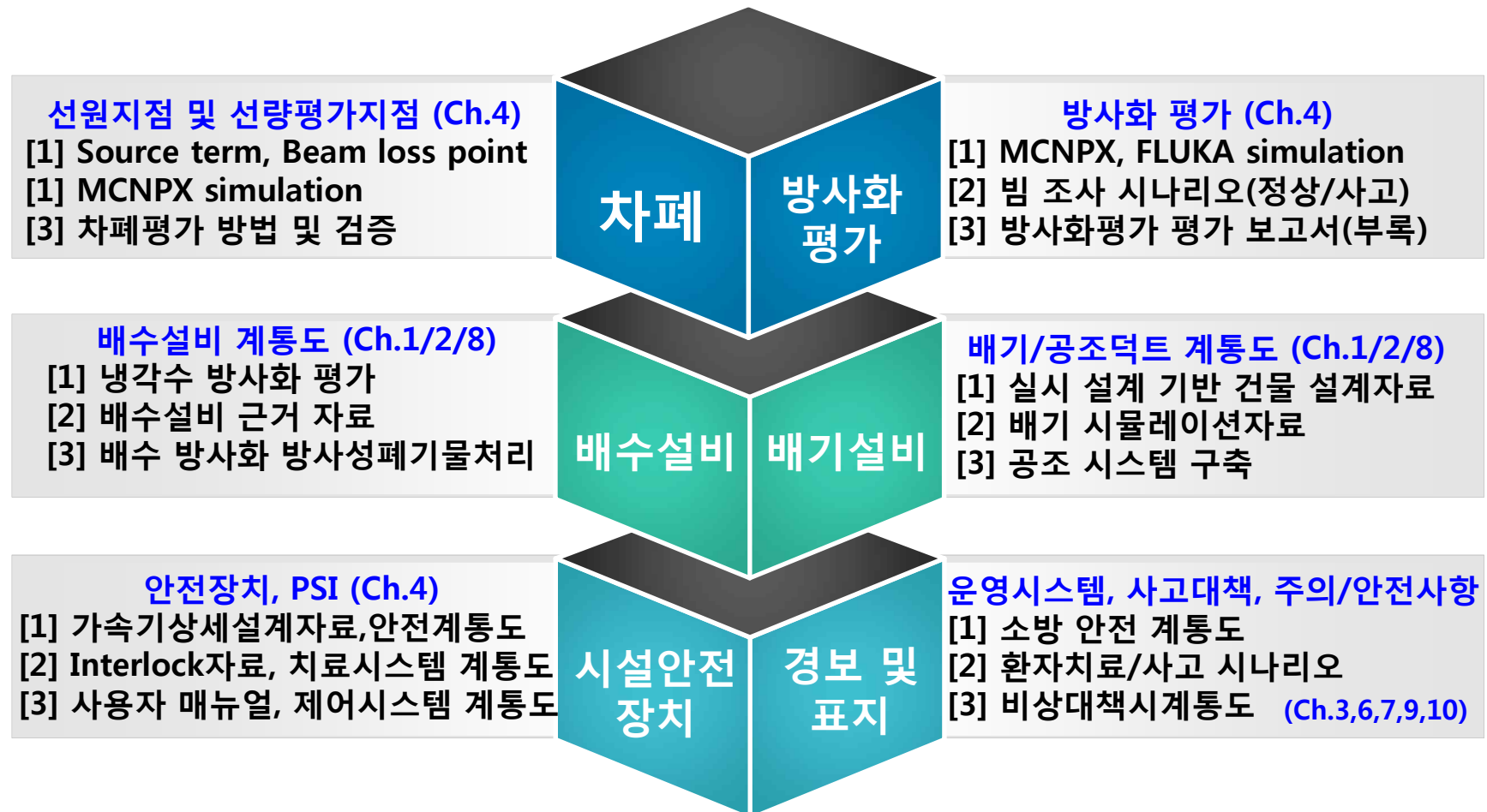
시설 명, 소재지	국가	입자	가속기	최대에너지	빔 방향	치료 개시년도
HIMAC, NIRS (Chiba)	일본	탄소	Synchrotron	800MeV/u	수평, 수직	1994
GSI, Darmstadt	독일	탄소	Synchrotron	430MeV/u	수평	1997
HIBMC, Hyogo	일본	탄소, 양성자	Synchrotron	230MeV/u 320MeV/u	Gantry 수평, 수직	2001 2002
Heidelberg U, GSI	독일	탄소, 양성자	Synchrotron	430MeV/u	1 Gantry 2 Fixed	2008
CNAO, Pavia	이탈리아	탄소, 양성자	Synchrotron	430MeV/u	1 Gantry 3수평, 1수직	2009
PCT, Maburg	독일	탄소, 양성자	Synchrotron	430MeV/u	3 수평 1 45도	2010
Med-AUSTRON	오스트리아	탄소, 양성자	Synchrotron	430MeV/u	2 Gantry 2 수평	2018 (계획)
Osaka Heavy Ion Therapy Center	일본	탄소	Synchrotron	430MeV/u	치료실 3개 45° Oblique Beam(1), Horizontal + Vertical Beam (2)	2018 (계획)
KOREA 중입자 치료 시설	대한민국	탄소	Synchrotron	430MeV/u	치료실 3~4개 (Gantry X)	2022 (계획)

중입자 치료시설의 방사선안전 계통 개념도

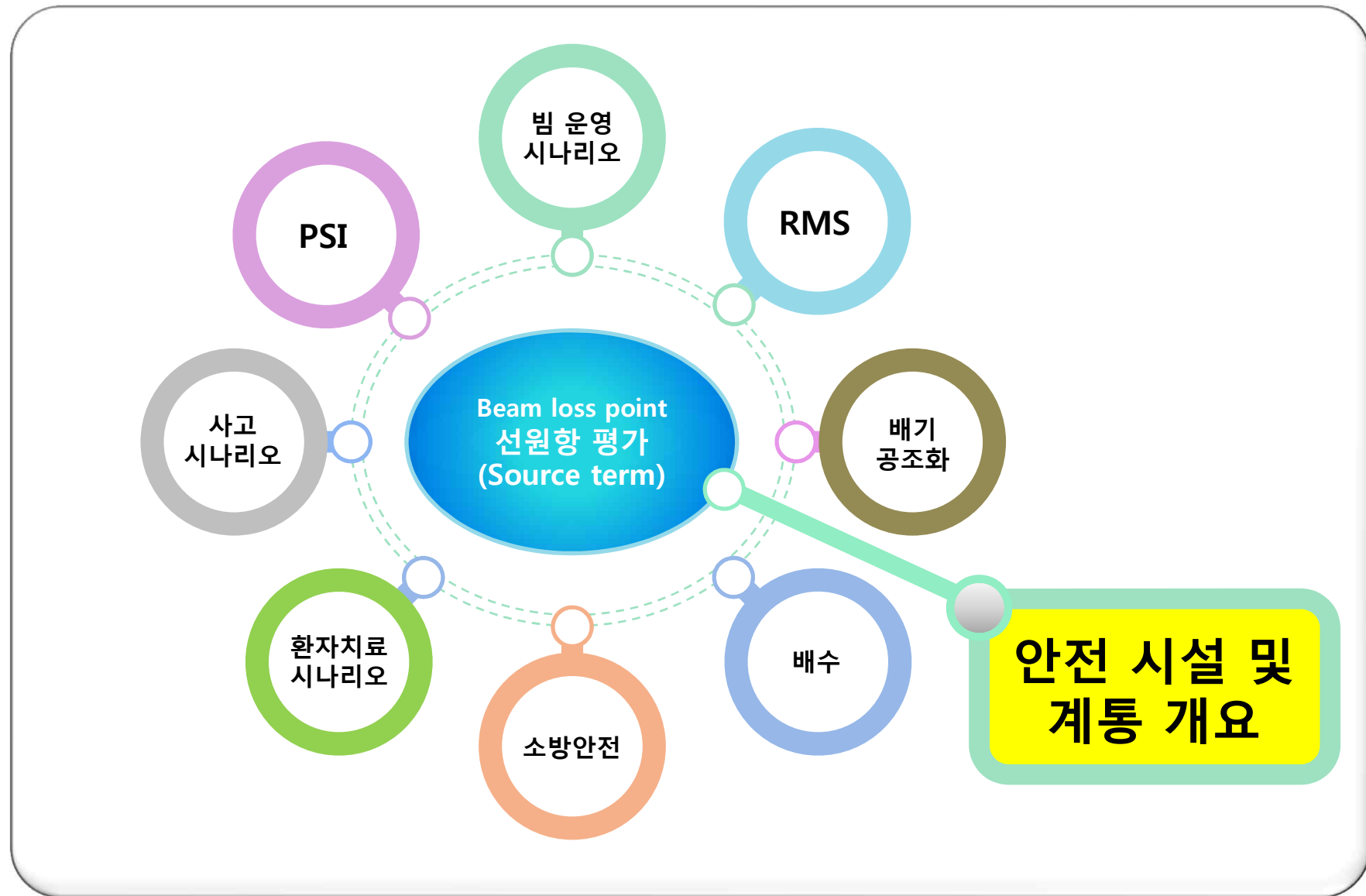


안전 시설 및 계통 개요 작성 주안점

SAR Ch.5 안전시설 및 계통개요



안전 시설 및 계통 개요: 선원항 관련 체계



안전 시설/계통 설계 보고서, 방사선안전보고서, 절차서 목록 준비

1. 안전 시설/계통 설계와 관련된 보고서 준비

- 침수 영향 평가 최종 보고서
- 차폐 평가 보고서
- 방사화(선원항) 평가 보고서
- 배수 시설 평가 보고서
- 배기 시설 및 공조화 시설 유동해석 보고서
- 사고 위험 시나리오 대책 보고서
- 안전 제어 시스템 보고서
- 소방 안전 해석 보고서

1. 의료용 중입자 가속기 사용시설 방사선 차폐평가 최종보고서
2. 의료용 중입자 가속기시설 차폐계산(NCNPX)에서의 방사선(감마선)의 영향
3. Radiation Safety
4. 의료용 중입자 가속기 사용 시설 추가 차폐평가
5. 의료용 중입자 가속기 시설 내부 방사화 평가 보고서
6. Access Control of the treatment rooms
7. 차폐도어 상세도
8. 의료용 중입자 가속기 치료시설 신규설치에 따른 소방장비 검토 문서, 소방 시설 계통도
9. 공조덕트 계통도
10. 장비일람표
11. FILTER 상세도
12. Activation of Air Accelerator System
13. 기계실 및 공조실 배관평면도
14. Radioactivity in Water of Accelerator System
15. 배관평면도

안전시설 및 계통 개요에 대한 관련 문서(안)

2. 방사선안전보고서 준비 (Draft)

- 방사선안전보고서 (건설부분): 1~2장
- 시설 방사선 방호 시뮬레이션 Benchmark
- Ch03. 운영계획 개요
- Ch04. 방사선원의 특성위치 및 종류수량 등 제원
- Ch05. 안전시설 및 계통 개요
- Ch06. 방사선 취급방법 및 방사선안전관리계획
- Ch07. 예상 피폭방사선량의 평가절차 방법 및 결과
- Ch08. 주변환경에 대한 방사선영향
- Ch09. 사고의 위험 및 대책
- Ch10. 방사성폐기물 발생 및 처리계획

1. 의료용 중입자 치료 시설의 안전관리 규정
2. 방사선관리구역 내 방사선량을 및 오염도 감시 절차서
 - (1) 방사선량을 측정 지침서
 - (2) 개인피폭선량 관리 지침서
3. 방사선관리구역 출입절차서
4. 중입자 가속기 품질관리 절차서
5. 중입자 가속기 취급절차서
 - (1) 중입자 가속기 관리 절차서
 - (2) 중입자 가속기 치료 및 운용 절차서
6. 비상사태 발생 시 대응 절차서
 - (1) 화재시 대응 절차서
 - (2) 정전 발생시 대응 절차서
 - (3) 용수 중단시 대응 절차서
 - (4) 의료가스 중단시 대응 절차서
 - (5) 고위험 의료기기 관리 지침서
7. 폐기물 관리 지침서
8. 안전계통 성능점검 관련 절차서
9. RMS 및 PSS 운영 및 성능점검 절차서
10. 차폐성능점검 절차서
11. 배기설비 및 배수설비 관리 절차서
12. 기타 KINS가 필요하다고 판단하여 요구하는 절차서

의료용 중입자 치료센터의 방사선 안전 관리 규정 및 관련 절차서 준비 목록(안)

절차서 세부 목록-1

문서번호	제목
○○○1	○○○ 치료기기 사용 절차서
○○○2	개인안전연동계통 운용 및 관리 절차서
○○○3	차폐문 사용 절차서
○○○4	개인안전연동계통 성능점검 절차서
○○○5	중입자 가속 장치 유지보수 절차서
○○○6	○○○센터- 유해폐기물 관리 지침서
○○○7	고체 방사성폐기물 관리절차서
○○○8	액체 방사성폐기물 관리절차서
○○○9	기체 방사성폐기물 관리절차서
○○○10	방사선에 의한 환경오염 방지 지침
○○○11	방사성폐기물 자체 처분 절차서
○○○12	방사선량을 및 오염도 측정 지침서
○○○13	휴대용 방사선측정기 사용절차서
○○○14	방사선 감시계통(RMS) 운용 지침서
○○○15	방사선량을 감시기 사용 절차서
○○○16	공기오염감시기 사용 절차서
○○○17	방사선관리구역 지침서
○○○18	○○○센터 방사선관리구역 출입절차서
○○○19	방사선관리구역 물품반출입 절차서
○○○20	○○○센터 환경안전규정 (일반사고시 행동 지침서)
○○○21	방사선 긴급작업 및 사고시 방사성 안전관리 절차서

순번	자료명	작성자
1--1	내화설계 관련 자료	○○○
1--2	방화구획 관련 자료	○○○
1--3	배치도	○○○
1--4	정면도, 우측면도	○○○
1--5	배면도, 좌측면도	○○○
1--6	대지 횡단면도	○○○
1--7	주단면도-1	○○○
1--8	지하1층 평면도	○○○
1--9	지상1층 평면도	○○○
1--10	지상2층 평면도	○○○

순번	자료명	작성자
2--1	지반조사보고서	○○○
2--2	시추코어 작업 관련 자료	○○○
2--3	○○○센터 구조계산서	○○○
2--4	비교토압산정표	○○○
2--5	콘크리트 구조설계기준	○○○
2--6	가능최대강수량에 의한 의료용 중입자 치료 센터 침수영향 분석	○○○

절차서 세부 목록-2

순번	자료명	작성자
5--1	○○○가속기 사용시설 방사선 차폐평가 최종보고서	○○○
5--2	○○○가속기시설 차폐계산(NCNPX)에서의 감마선의 영향	○○○
5--3	Radiation Safety	○○○
5--4	○○○가속기 사용시설 추가 차폐평가	○○○
5--5	○○○센터 시설 내부 방사화 평가 보고서	○○○
5--6	Access Control of the treatment rooms	○○○
5--7	차폐도어 상세도	○○○
5--8	○○○가속기 치료시설 신규설치에 따른 소방장비 검토	○○○
5--9	공조덕트 계통도	○○○
5--10	장비일람표-8	○○○
5--11	FILTER 상세도-2	○○○
5--12	Activation of Air Heavy Ion Therapy System	○○○
5--13	장비일람표-1	○○○
5--14	기계실 및 공조실 배관평면도	○○○
5--15	Radioactivity in Water of Heavy Ion Therapy System	○○○
5--16	배관평면도	○○○

순번	자료명	작성자
7--1	○○○가속기 사용시설 방사선 차폐평가 최종보고서	○○○
7--2	○○○센터 시설내부 방사화평가 보고서	○○○
7--3	방사선 물질의 연간섭취한도, 유도공기중 농도 및 배출관리기준	○○○
7--4	○○○장치 장치 내 오일, 이온교환수지 및 배수계통 방사화 평가	○○○

순번	자료명	작성자
9--1	ISO 14971 (Medical Device Risk Management)	○○○
9--2	Heavy Ion Therapy System Specification of Treatment Safety System	○○○
9--3	Radiation Safety Analysis	○○○
9--4	○○○센터 시설 내부방사화 평가 보고서	○○○
9--5	○○○센터 사고 시 선량영향 평가 보고서	○○○

순번	자료명	작성자
6--1	○○○ 치료시스템 취급설명서	○○○
6--2	방사선 안전관리 규정	○○○
6--3	방사선 관리구역 출입절차서	○○○
6--4	○○○ 센터 시설 내부 방사화 평가 보고서	○○○
6--5	Specification of radiation monitoring system	○○○
6--6	방사선 관리구역내 방사선량을 및 오염도 감시 절차서	○○○
6--7	○○○ 가속기 품질관리 절차서	○○○
6--8	○○○ 가속기 관리 절차서	○○○
6--9	○○○ 가속기 운용절차서	○○○
6--10	비상사태발생시 대응 절차서	○○○
6--11	폐기물 관리 지침서	○○○
6--12	안전계통 성능점검 관련 절차서	○○○
6--13	RMS 운영 및 성능점검 절차서	○○○
6--14	차폐 성능점검 절차서	○○○
6--15	RI 배기시설 및 RI 배수설비 관리 절차서	○○○

순번	자료명	작성자
8--1	○○○센터 시설 내부 방사화평가보고서	○○○
8--2	Radioactivity in water of Heavy Ion Therapy System	○○○
8--3	○○○가속기 사용시설 방사선 차폐평가 최종보고서	○○○
8--4	Specification of radiation monitoring system	○○○
8--5	방사선 물질의 연간 섭취한도, 유도 공기중농도 및 배출관리기준	○○○
8--6	○○○센터 스카이사인 평가 보고서	○○○

순번	자료명	작성자
10--1	Activated Parts List in Heavy Ion Therapy System	○○○
10--2	○○○센터 시설 내부 방사화 평가 보고서	○○○
10--3	○○○센터 방사성폐기물 관리절차서	○○○
10--4	○○○센터 출입관리 절차서	○○○
10--5	방사선 안전관리 규정	○○○

안전 시설 및 계통 설계 보고서: 차폐 평가 보고서

방사선 안전 보고서 3~5장

편집자: 민 선 흥

조안: 2016. 8. 23.

1차수정: 2016. 9. 29.

차폐 평가 보고서

중입자 치료 시설 차폐 평가

2016. 9. 29.

한국원자력의학원

목 차

1. 선원항

가. 빔 사용계획

1) 빔 사용시간 산정

2) 조사실의 빔 손실률 산정 (100% 빔 손실 가정)

3) 가속기실의 빔 손실률 산정

나. 빔 손실 지점

1) 정상운행

2) 빔 덤프

3) 사고

2. 차폐해석 코드의 벤치마크

가. 벤치마크 1

나. 벤치마크 2

3. 실시설계 기반 Geometry 모델링

가. Geometry 모델링 개요

나. Geometry 모델링 결과

다. Geometry 모델링에 사용된 물질 정보

4. 시설 내 차폐해석 평가

가. 차폐해석에 사용된 가정

나. 차폐해석 결과

1) 정상운행

2) 빔 덤프

3) 사고

5. 주변 방사선환경영향평가

가. 스카이스인

1) 정상운행

2) 빔 덤프

3) 사고

나. 그라운드스인

1) 정상운행

2) 빔 덤프

3) 사고

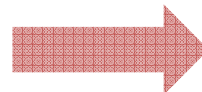
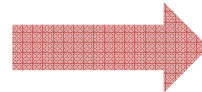
Monte Carlo Simulation Tools 선정



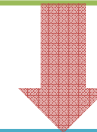
- Los Alamos National Laboratory
- 원자로 및 가속기 설계에 이용
- 상용 코드
- Multi Processing 지원



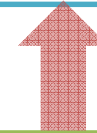
- CERN 차폐평가에 이용
- 비상용 코드
- Single Processing



Results



Benchmark



Results

차폐 계산 업무범위

□ 목 적: 외부피폭 평가

○ 가속기/치료시스템 가동 중 빔의 손실과 조사에 의한 즉발방사선의 차폐조건에 관한 계산

○ 시설 내/외부의 방사선량 평가 (방사선관리구역 설정)

.Sky shine

.Ground shine

□ 방사선안전보고서 연관성: 방사선안전보고서 작성지침(원자력안전위원회 고시 2014-36호) 관련

○ 안전시설 및 계통개요 (차폐): 시설의 차폐설계 및 설치방법에 대하여 기술하고 차폐 후방에서의 예상선량률이 기준에 만족함을 입증

○ 예상 피폭방사선량의 평가절차, 방법 및 결과

- 종사자 외부피폭선량: 외부피폭에 대하여 주요 직무별로 작업 장소, 작업시간, 작업방법 등 예상 피폭선량의 평가에 도입된 가정과 선량 산출방법을 기술하고 개인 및 집단의 예상 최대피폭선량에 대하여 평가
- 주변 인원의 피폭선량: 방사선관리구역 외부에서 시설의 특성을 고려하여 피폭선량 평가가 필요한 지역이 있을 경우에는 그 지역의 용도, 인원 점유도, 누설선량률, 공기오염도 등을 인용하여 안전함을 입증

○ 주변 환경에 대한 방사선영향

- 직접방사선의 영향: KHIMA시설 같은 대단위 산업 및 핵융합실험장치의 경우에는 차폐 등을 고려하여 인접 지역에 미치는 예상 방사선량률을 평가하고 노출시간 등 선량계산에 필요한 가정과 예상 피폭선량을 제시하여 안전함을 입증

차폐 계산

필요한 정보

1. Beam loss
2. Neutron cross-section data
3. 평가 지점

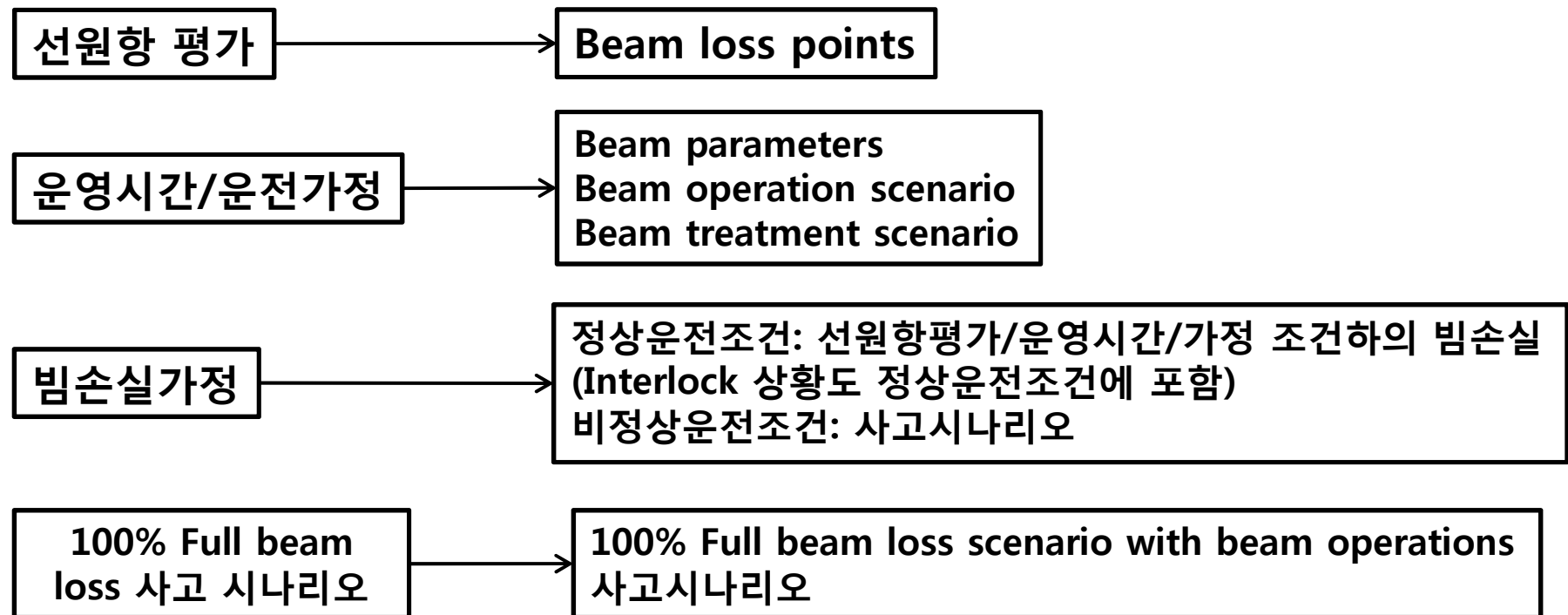
$$H_i = f \cdot \Phi_i \cdot r_i^{-2} \cdot I \cdot \exp(-\rho d_i / \lambda_i) \cdot t \cdot f_s$$

f : 7 MeV, 10MeV의 중성자 품질계수 (표 II. 4)을 3 600배 (시간당 환산) 한 값의 2 배 (현재값의 2배를 기준으로 한다.)	← 보수적인 계산. Safety 마진을 둔다	→ HIMAC 데이터 사용
Φ_i : 입사 입자 당 중성자 다발 수 [$n \cdot sr^{-1} \cdot \alpha^{-1}$]	→ 해당 C12에너지, 해당 target 의 중성자 X-section library (측정 데이터 또는 MC로 산출)	
r_i : 선원 (S) 평가 점 D_i 와의 거리 [cm]	→ 건축 도면	
I : 타겟 충돌하는 입자의 수(선원, S), $2.0 \times 10^{11} [\alpha \cdot \text{sec}^{-1}]$	→ 선원항에서 나온 입자수	
ρ : 차폐체 (코 크 리 트)의 밀도 2.2 g / cm^3	→ HIMAC 데이터	
d_i : 차폐체 (코 크 리 트)의 두께 [cm]	→ 건축도면	
λ_i : Attenuation coefficient [g / cm^2]	→ HIMAC 데이터	
t : 운전 시간 108 [hr / w J]	→ 선원항에서 나온 입자수	
f_s : 1/20 :	→ C12사용시 해당없음	

방사선원의 특성(Source Term): 선원항 평가

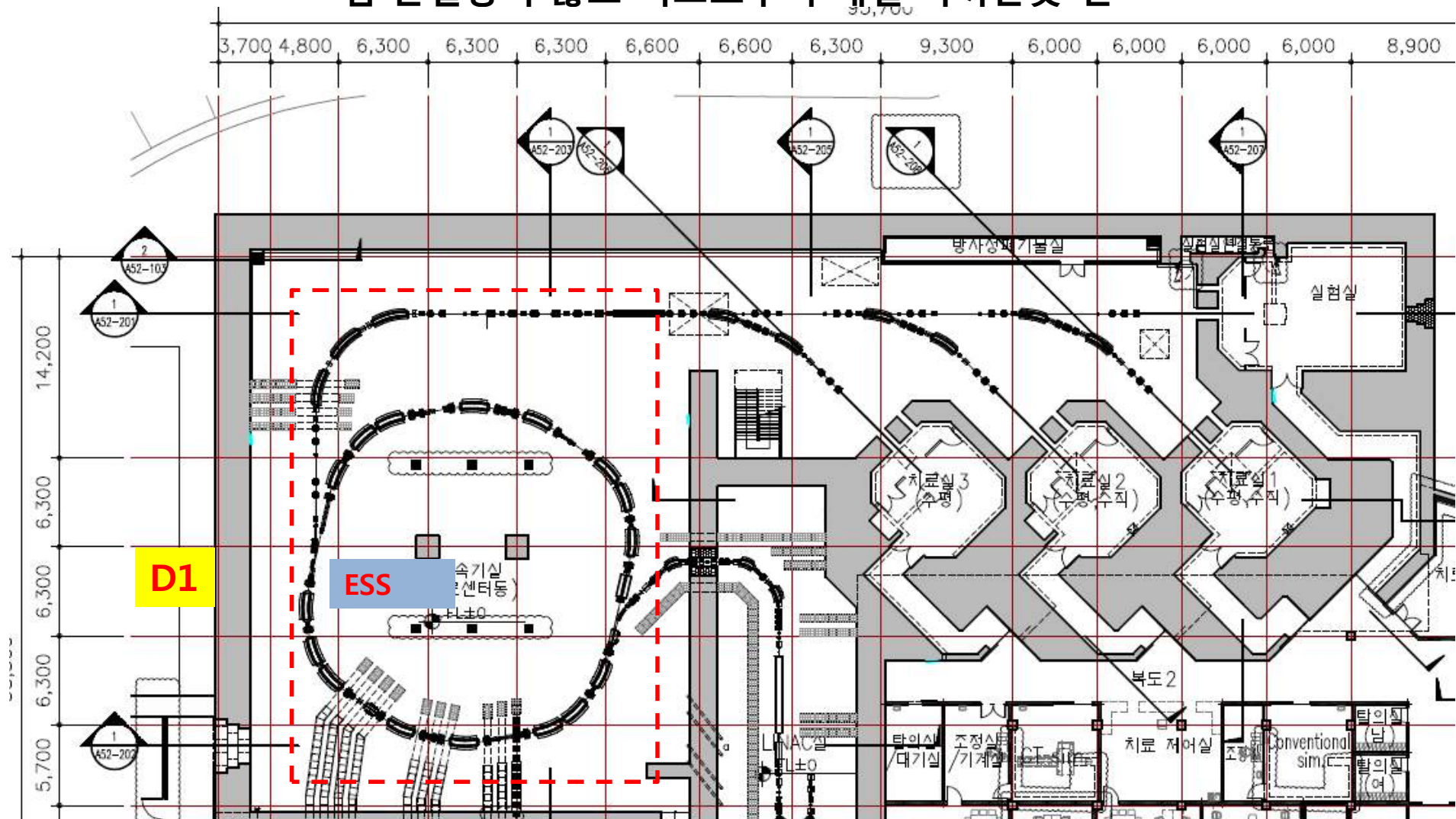
□ 선원항 평가

- 정확한 선원항 평가, 운영시간, 운전가정이 필요함.
- 빔손실 가정을 정상운전조건과 비정상운전조건으로 나누어서 산정을 해야 함.
- 100% Full beam loss 사고 시나리오는 필수적임.



빔 손실 계산지점 선정

빔 손실량이 많고 벽으로부터 제일 가까운곳 선

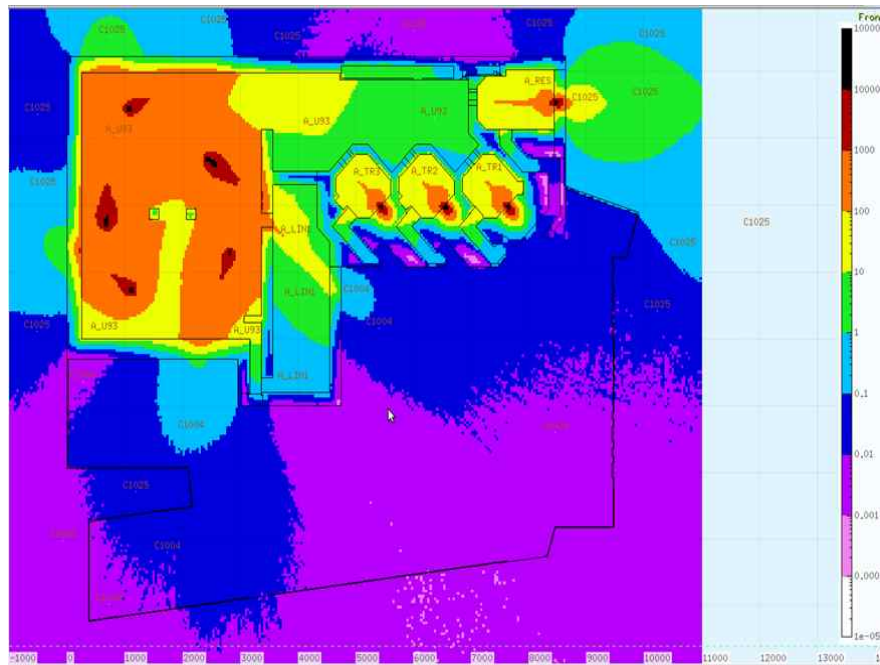
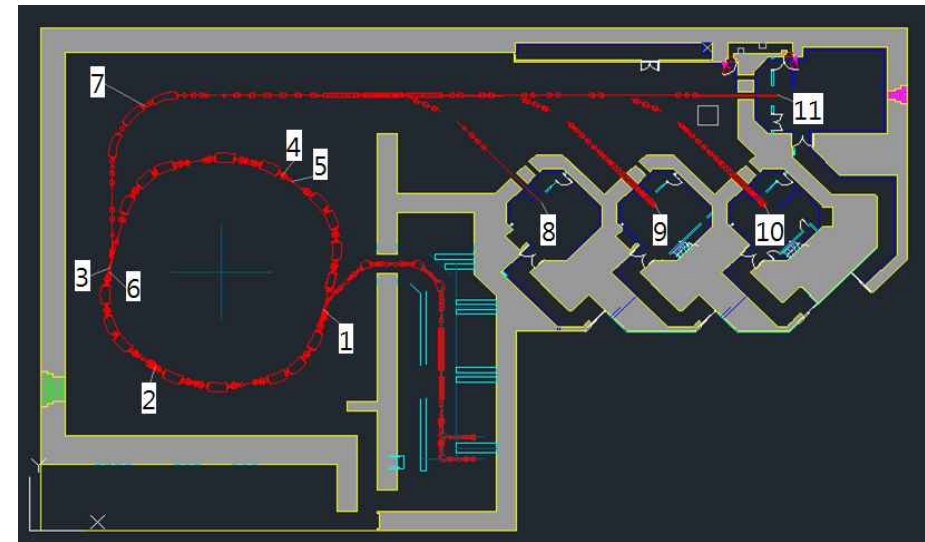
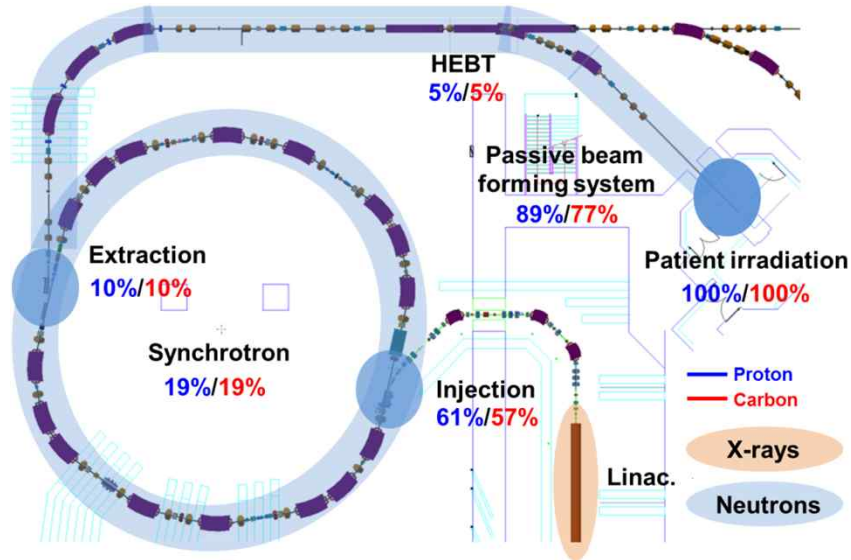


콘크리트 두께 2.5m , 거리 1.5 m~6m 계산
싱크로트론이 설치될 여지를 두고 ESS가 있다 가정하여 계산

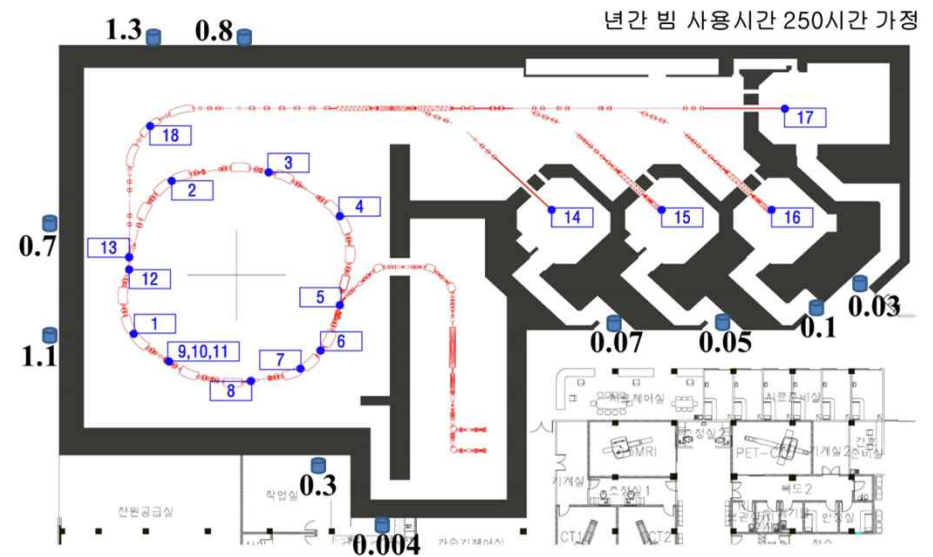
가속기 동작에 구분한 빔양 및 빔 손실량

	Process	Efficiency	Accelerator status	Particle numbers	Beam loss during process	Lost particles	Energy
ECR ion source	<i>Electron Cycrotron Resonance</i>				Carbon ion hit ECR wall	negligible	10 keV/u
	<i>Chopper</i>		LEBT Chopped P articles at L-CHP	3.37E+12	Chopper loss	3.37E+12	
LINAC	<i>Trassmission</i>	61.5%		1.33E+08	RFQ, IH-DTL	2.51E+09	4 MeV/u
	<i>Injection</i>	64.0%		2.56E+09	Injection lost at injection ESS	1.44E+09	4 MeV/u
Synchrotron	<i>Capture</i>	94.8%	Particle captured with 4MeV	2.43E+09	Capture Loss Particles at overall synchrotron	1.33E+08	4MeV/u
	<i>Acceleration until Flattop</i>	73.9%	Flat top	1.80E+09	Acceleration Lost Particles at overall synchrotron	6.35E+08	430 MeV/u
	<i>Extraction</i>	66.1%	Extracted or lost from synchrotron (Flattop- Remained)	1.58E+09	RF-KO ESS	3.90E+08	430 MeV/u
	<i>Deceleration</i>	Eff. Decel = Eff. Accel Assumption	Deceleration	5.71E+07	Deceleration lost particles at overall synchrotron	5.71E+07	430 MeV/u
	<i>Dump deceleration</i>		Beam dump	4.62E+08	dumping process	4.62E+08	4MeV/u
HEBT	<i>Beam transfer</i>	95%		1.19E+09	HEBT transmission	5.94E+07	430 MeV/u

선원지점 및 선량평가지점 결정

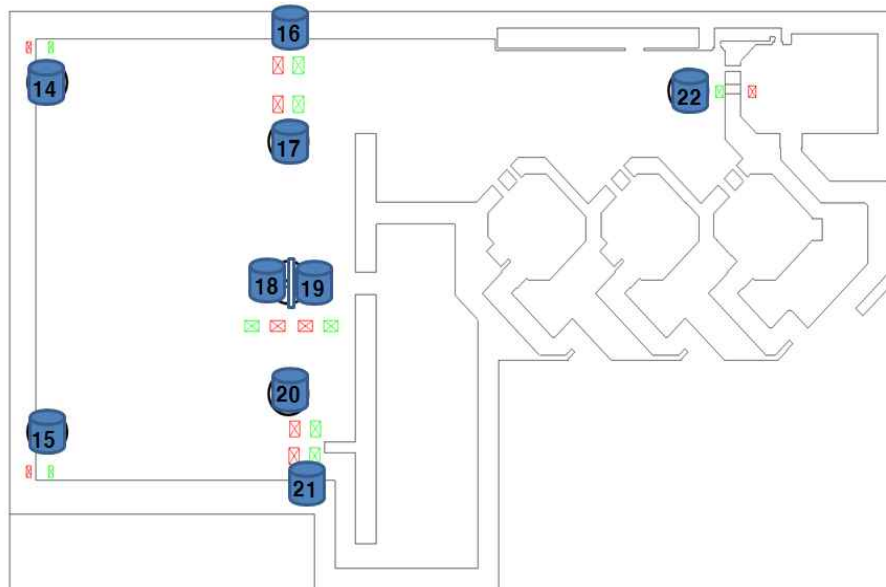
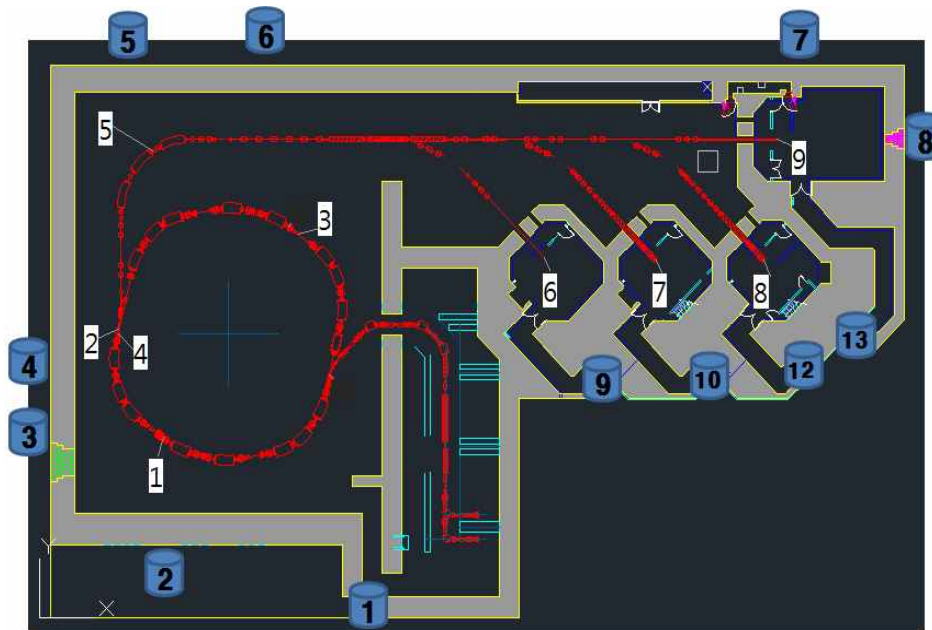


차폐 코드 분석을 통한 Dose distribution (unit: mSv/y)



의료용중입자가속기 치료센터 방사선 방호수준(unit: mSv/y)

차폐 계산 결과



차폐 계산결과 (단위: mSv/year)

번호	위치	선량 (mSv/yr)	상대오차 (%)	비고
1	가속기 실 문 입구	<0.004*		
2	앞면 PS room	<0.004*		
3	왼쪽 벽면 밖 (앞쪽)	2.48	3.18	
4	왼쪽 벽면 밖 (뒤쪽)	3.57	2.62	
5	위쪽 벽면 밖 (왼쪽)	4.83	2.26	
6	위쪽 벽면 밖 (오른쪽)	1.14	4.55	
7	실험실 벽면 밖 (위쪽)	1.35	4.20	
8	실험실 벽면 밖 (앞쪽)	23.0	0.33	
9	3 치료실 문 앞	0.49	4.77	
10	2 치료실 문 앞	0.33	5.55	
12	1 치료실 문 앞	0.74	4.34	
13	실험실 문 앞	0.17	2.69	
14	덕트 1	<0.36*		
15	덕트 2	<0.04*		
16	덕트 3	0.89	4.41	
17	덕트 4-1	0.16	9.29	
18	덕트 4-2	0.32	7.52	
19	덕트 5-1	<0.36*		
20	덕트 5-2	<0.36*		
21	덕트 6	0.14	3.69	

안전 시설 및 계통 설계 보고서: 방사화-선원항 평가 보고서

20

방사선 안전 보고서 3~5장

편집자: 민 선 풍

조안: 2016. 8. 23.

1차수정: 2016. 9. 29.

2차수정: 2017. 6. 30.

방사화-선원항 평가 보고서

중입자 치료 시설 선원항 평가

2017. 6. 30.

한국원자력의학원

목 차

1. 선원의 제원 및 특성 1

가. 선원의 제원	1
나. 선원의 특성	2
1) 입자치료의 개요	2
2) KHIMA 선원의 특성	3

2. 방사선발생장치의 구성 및 사양

가. 가속장치	4
1) 이온소스 발생장치, 입자선변 및 초기 가속장치	4
2) 주 가속장치 (synchrotron accelerator)	5
3) 고 에너지 수송 라인	7
나. 조사장치	8
1) Broad	8
2) Scanning	8

3. 선원항 평가

가. 빔 사용계획	9
1) 빔 사용시간 산정	9
2) 조사실의 빔 손실량 산정 (100% 빔 손실 지점)	11
3) 가속기실의 빔 손실량 산정	13
4) 빔 손실 지점	25

4. 빔 방출 시나리오

가. 빔 방출 시나리오	29
나. 의도된 방출	29
1) 정상운영	29
2) 빔 덤프	29
다. 의도되지 않은 방출 (사고)	29

방사화 평가

◆ 방사화 평가 대상

- ✓ 주변 공기
(가속기실, 각 치료실, 실험실)
- ✓ 가속기에 사용되는 냉각수
- ✓ 지하의 토양 및 지하수
- ✓ 가속기 부분품
- ✓ 가속기에 사용되는 물질

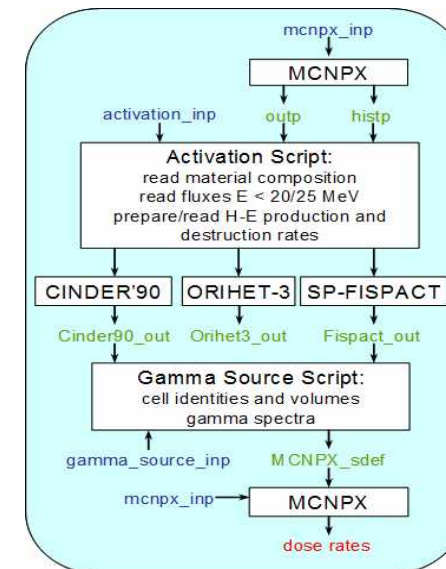
방사화 평가 대상

MC Code 선정 및 방법

mcnp

+

CINDER'90



[공기]방사화 평가 목적

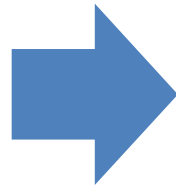
- 시설 내부의 공기는 빔 조사 과정에서 방사화되며, 이 과정에서 방사화된 공기는 **시설의 운영** 및 **배기계통 설계** 등에 주요한 설계인자로 고려.
- 시설 내부 공기 중 생성되는 주요 방사성 핵종은 아래와 같음.
H-3, Ar-41, N-13, O-15, C-11, Be-7
- 방사선 핵종의 연간섭취한도, 유도공기중농도, **배출관리기준**은 원자력 안전위원회고시 제2012-29호 에서 규정하고 있음.

기본절차

1. 시설의 Geometry 설계

2. 선원항 정의

3. 빔 조사시간 설정



적용된 사항

1. 시설의 Geometry 설계

→ 일부 Geometry만 적용

→ 가속기 부분품의 물질을 모두 순수 Iron 으로 정의

2. 선원항 정의

→ Beam loss point : 차폐평가 자료 참조

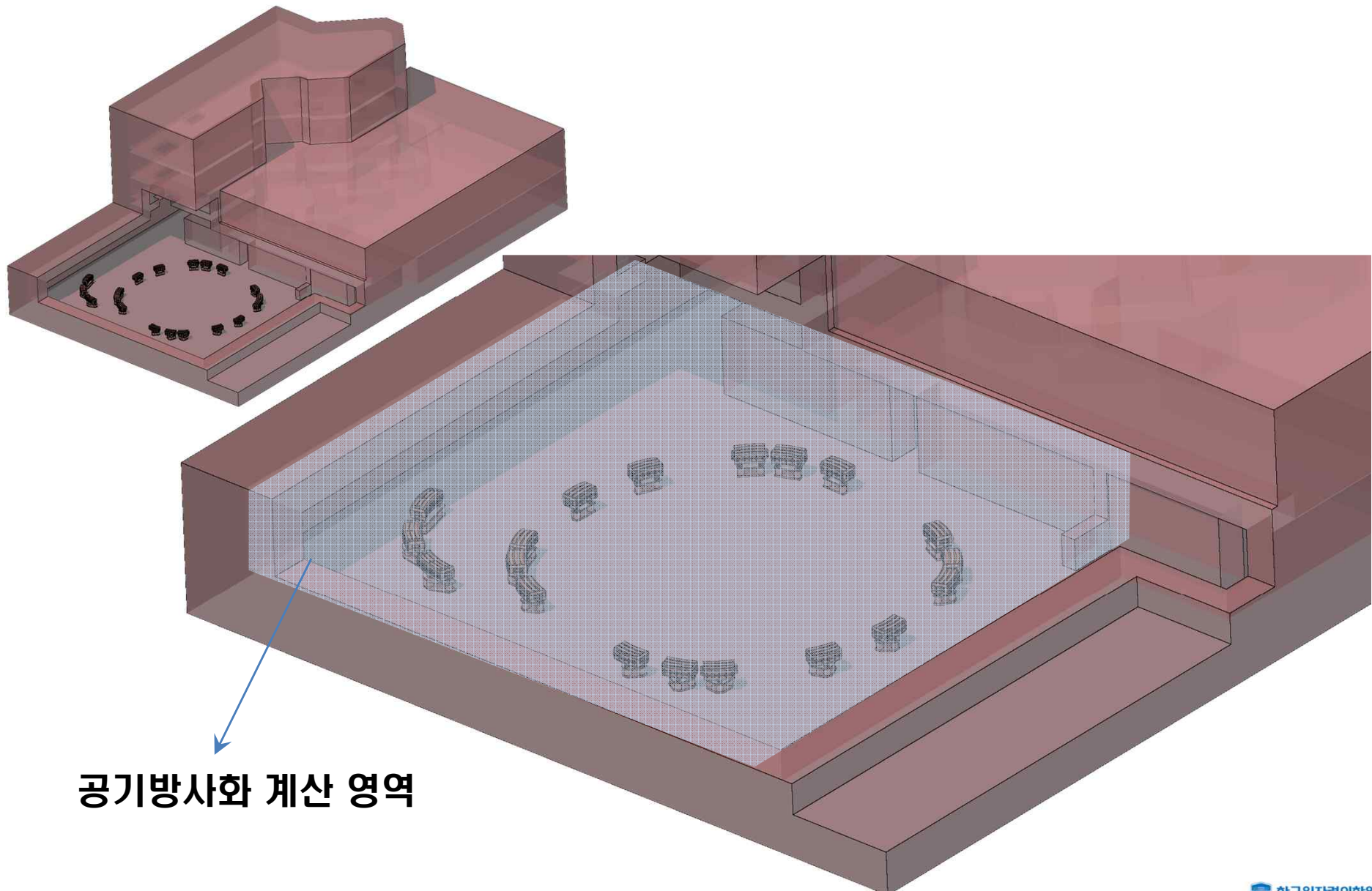
→ Beam Direction : 빔 회전궤도의 접선방향

→ Beam Energy : 430MeV/u/c ion

→ Beam Intensity : 1.2E+9 p/s (Full beam loss 적용)

3. 빔 조사시간 설정

→ 주 5일 연속 조사 (24시간 × 5일 = 120시간)



공기방사화 계산 영역

방사화 계산 업무범위

□ 목 적: 내부피폭 평가, 주변환경평가, 방사성폐기물 예측

- 가속기/치료시스템 가동 중 손실된 빔과 주변 물질(가속기, 치료시스템, 콘크리트, 공기, 냉각수, 기타 시설)과의 상호작용에 의해 발생이 예측되는 방사성 물질의 평가 및 예측된 방사성물질이 종사자와 주변의 일반인에게 미치는 내부피폭 평가
- 시설의 설치에 따른 주변 토양, 지하수 및 대기 오염도 등 주변 환경에 미치는 영향을 계산
- 가속기/치료시스템의 부속품(냉각수, 유류, 교체주기 짧은 부품, 잦은 파손이 예측되는 부품 등)의 방사화 정도를 계산하여 시설 내에서 발생하는 방사성폐기물의 종류와 양 예측 및 보관/처리 계획 수립

□ 방사선안전보고서 연관성: 방사선안전보고서 작성지침(원자력안전위원회 고시 2014-36호) 관련

○ 예상 피폭방사선량의 평가절차·방법 및 결과

- 종사자 내부피폭선량: 내부피폭감시의 필요성 여부에 대하여 검토하고 필요하다면 작업실의 예상오염도, 작업시간, 흡입율 등 내부피폭평가에 도입된 가정 및 산출방법을 기술하고 예상 피폭선량에 대하여 평가
- 주변 인원의 피폭선량: 방사선관리구역 외부에서 시설의 특성을 고려하여 피폭선량 평가가 필요한 지역이 있을 경우에는 그 지역의 용도, 인원 점유도, 누설선량률, 공기오염도 등을 인용하여 안전함을 입증

○ 주변 환경에 대한 방사선영향

- 배기에 의한 영향: 공기공급 및 정화계통을 설치하는 경우에는 배기구를 통한 예상 방출농도와 연간 방출량을 핵종별로 추정하여 제시하고 기준치 이하임을 입증
- 배수에 의한 영향: 방사능을 하수 방출하는 경우에는 배수설비의 성능을 고려하여 배수구를 통한 예상 방출농도와 연간 방출량을 핵종별로 추정하여 제시하고 기준치 이하임을 입증, 배수를 통하여 방출되는 핵종의 반감기, 화학적 특성 등을 고려하여 하수계통에 방사능이 누적될 가능성 여부를 판단하여 기술

○ 방사성폐기물 발생 및 처리계획

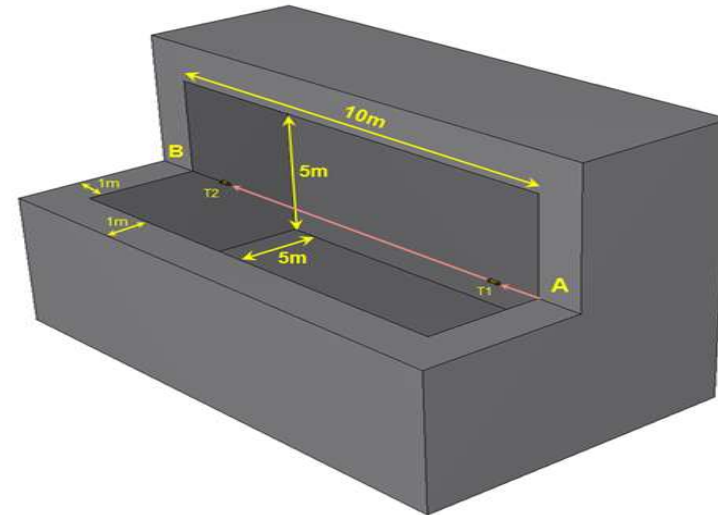
- 발생원 및 발생량: 폐기물발생원을 분류하고 발생원별 폐기물의 종류(고체, 액체, 가연성, 비가연성, 불연성 등) / 특성 / 발생량을 평가하여 기술

방사화 평가: 시뮬레이션 모델 및 조건

- 의료용중입자가속기시설에서 사용되는 Particle별 최대 에너지(시뮬레이션 조건)는 아래 표와 같음. 해당 조건을 이용하여 아래 그림의 simple모델을 선정하고, 공기의 Activation을 평가.
- Beam의 조사는 5일 연속 조사 후 1분, 5분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 4시간, 5시간, 6시간, 7시간, 8시간, 9시간, 10시간, 12시간, 14시간, 16시간, 18시간, 20시간, 24시간의 Decay time별로 주요 방사성 핵종별로 농도를 평가.

Particle type	Beam Energy	Beam Intensity
Carbon	430MeV/n	1.2E+9 p/s
Proton	250MeV	1.2E+10 p/s

[시뮬레이션 조건]



[시뮬레이션 simple 모델]

방사화 [Carbon vs Proton Activation (simple model_air)]

Case	Particle type	Energy	Intensity
1 (검정색)	Carbon	430MeV/u	1.2E+9 p/s
2	Proton	430MeV	1.2E+9 p/s
3	Proton	430MeV	1.2E+10 p/s
4 (노랑색)	Proton	250MeV	1.2E+10 p/s

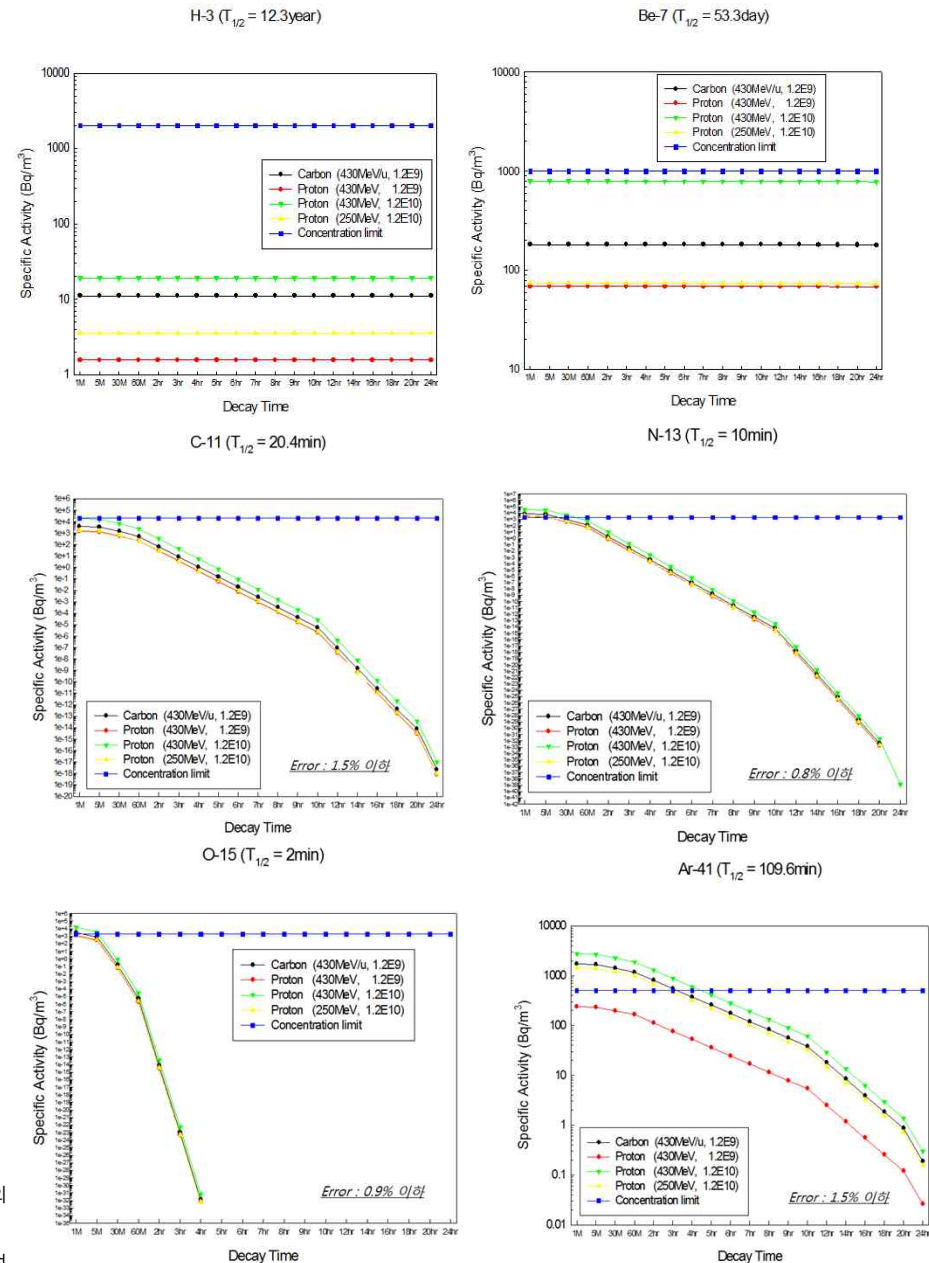
시뮬레이션 결과 (방사화): Carbon(1.2E+9 p/s)의 경우가 Proton(1.2E+10 p/s)대비 더 높은 공기 방사화를 일으키는 것으로 확인

방사화 평가 결과

가속기동 실험실 방사화 영향분석 결과

NUCLIDE	HALFLIFE (S)	Specific Activity(Bq/m ³)			규제값 (Bq/m ³)	비율		
		5M	20M	1H		5M	20M	1H
H3	3.89E+08	8.27E-03	3.64E-02	1.09E-01	2E+03	4.14E-06	1.82E-05	5.46E-05
Be7	4.61E+06	5.04E-01	6.52E-01	1.96E+00	1E+03	5.04E-04	6.52E-04	1.96E-03
Be10	4.77E+13	5.64E-09	1.86E-08	5.59E-08	2E+00	2.82E-09	9.32E-09	2.80E-08
C11	1.22E+03	1.12E+03	1.99E+03	3.51E+03	2E+04	5.58E-02	9.96E-02	1.76E-01
C14	1.80E+11	5.81E-07	9.15E-06	2.75E-05	1E+02	5.81E-09	9.15E-08	2.75E-07
N13	5.98E+02	1.37E+03	6.70E+03	8.79E+03	6E+03	2.29E-01	1.12E+00	1.46E+00
O14	7.06E+01	4.52E+02	6.06E+02	6.06E+02	없음	반감기 약 70초	반감기 약 70초	반감기 약 70초
O15	1.22E+02	1.47E+03	3.86E+03	3.86E+03	3E+03	4.88E-01	1.29E+00	1.29E+00
F18	6.59E+03	8.29E-02	2.37E-01	6.31E-01	1E+03	8.29E-05	2.37E-04	6.31E-04
Na22	8.21E+07	1.01E-05	2.03E-05	6.08E-05	5E+01	2.03E-07	4.05E-07	1.22E-06
Na24	5.39E+04	2.06E-02	1.22E-01	3.61E-01	2E+02	1.03E-04	6.12E-04	1.81E-03
Mg28	7.53E+04	1.25E-22	1.08E-21	9.09E-21	6E+01	2.09E-24	1.80E-23	1.52E-22
Al26	2.27E+13	1.22E-11	0.00E+00	0.00E+00	4E+00	3.05E-12	0.00E+00	0.00E+00
Si31	9.44E+03	2.03E-01	8.44E-01	2.32E+00	9E+02	2.26E-04	9.37E-04	2.58E-03
Si32	4.17E+09	2.00E-07	3.14E-24	2.76E-23	6E-01	3.33E-07	5.23E-24	4.60E-23
P30	1.50E+02	1.00E+00	1.79E+01	1.80E+01	없음	반감기 약 150초	반감기 약 150초	반감기 약 150초
P32	1.23E+06	4.05E-03	4.86E-02	1.46E-01	2E+01	2.02E-04	2.43E-03	7.28E-03
P33	2.19E+06	1.77E-03	1.44E-02	4.33E-02	5E+01	3.54E-05	2.89E-04	8.66E-04
S35	7.56E+06	9.36E-04	4.62E-03	1.39E-02	5E+01	1.87E-05	9.24E-05	2.77E-04
Cl36	9.50E+12	9.05E-10	1.23E-08	3.68E-08	1E+01	9.05E-11	1.23E-09	3.68E-09
Cl38	2.23E+03	3.33E+00	2.99E+01	6.53E+01	1E+03	3.33E-03	2.99E-02	6.53E-02
Cl39	3.34E+03	2.74E+00	3.19E+01	7.62E+01	1E+03	2.74E-03	3.19E-02	7.62E-02
Ar39	3.03E+06	1.65E-03	2.75E-02	8.24E-02	7E+08	2.35E-12	3.92E-11	1.18E-10
Ar41	8.49E+09	3.88E-06	2.47E-05	8.18E-05	2E+05	1.94E-11	1.23E-10	4.09E-10
K40	4.03E+16	2.06E-14	2.48E-13	7.43E-13	3E+01	6.88E-16	8.26E-15	2.48E-14
총 계						7.80E-01	2.57E+00	3.08E+00

- steel 표적에 5분 20분 1시간 동안 빔 최대에너지 430MeV/u 및 최대 빔 강도 (1×10^9 pps)로 조사한 직후의 방사화 정도를 규제한계 값으로 나누어준 결과
- 가장 많이 기여하는 방사성 동위원소는 C-11, N-13, O-15 (이들이 차지하는 비중은 전체의 약 95%)
- 이들의 반감기는 모두 10분 이하이기 때문에 현재의 배출주기 (20분)를 적용할 경우 규제한계 값 이하를 얻을 수 있음.



공기방사화 시뮬레이션 결론

결론

- ✓ Carbon vs Proton Activation (simple model_Air)
- ✓ 시뮬레이션 결과는 "Carbon 430MeV/u, 1E9"의 경우가 가장 높은 방사화를 나타내는 것으로 확인됨
- ✓ 추후 방사화 및 차폐계산을 위한 선원항을 Carbon으로 결정한 것에 대한 논리 근거자료로 활용할 것임.

안전 시설 및 계통 설계 보고서: 배수 시설 평가 보고서

방사선 안전 보고서 5, 8장

편집자: 민 선 홍

조안: 2016. 8. 23.

배수 시설 평가 보고서

2016. 8. 23.

한국원자력의학원

☑ 배수설비

- 사용장소: Sink, 배수라인의 구성에 대해 기술
- 배수처리관련: **정화조, Sampling Port**
- 정화조 용량 평가
⇒ **일일 유입량(유량, 방사능량), 방사능 감쇄량 고려**
- 정화조 준위 관리방안을 구체적으로 기술
- 정화조 배출절차 수립
⇒ **샘플링 시점, 샘플링 준비/처리, 측정, 분석결과처리**

안전 시설 및 계통 설계 보고서: 배기 시설 및 공조화 시설 유동해석 보고서

방사선 안전 보고서 5, 8장

작성자: 민 선 홍

조안: 2016. 8. 23.

배기 시설 및 공조화 시설 유동해석 보고서

ANSYS FLUENT를 이용한
가속기실 외 · 내부 유동 해석

2016. 8. 23.

한국원자력의학원

목 차

1. 서론
2. 수치해석방법
3. 의료용 중입자 가속기시설 내부의 영역별 유동 및 환기해석
 - (1) 가속기실 유동 및 환기 해석 결과: 정상 상태
 - (2) 가속기실 유동 및 환기 해석 결과: 비상 상태
 - (3) Linac실 유동 및 환기 해석 결과
 - (4) 치료실 1, 2 유동 및 환기 해석 결과
 - (5) 치료실 3 유동 및 환기 해석 결과
 - (6) 실험실 유동 및 환기 해석 결과
4. 결론
5. 해석결과 정리
6. 배기에 의한 영향

☑ 배기설비

- 사용장소: Fume Hood, 배기라인의 구성에 대해 기술
- 필터처리시스템: 필터, 차압계, Blower
 - ※ Blower 용량: 유량손실을 고려한 실제용량을 기술
 - ※ 필터관련: 시험성적서(제거효율), Sealing Test 결과
 - ※ 필터교체시기: 차압계 지시치(또는 교체시기 설정 근거 제시)
- 18F 배출관리기준 적합성 확보
 - ※ 특정약품으로 처리된 활성화된 필터 활용 필요
 - ※ 체내에서 강한 탄소결합으로 호흡으로 배출될 가능성 희박
- 내부피폭평가: 사용장소 공기에 함유된 핵종 농도의 합리적 가정
- 배출농도 평가: 배출공기에 함유된 핵종 농도의 합리적 가정
- 배기시설 점검에 관한 사항 구체적으로 기술

가속기실 공기 유동 해석

*CMH: Cubic Meter per Hour (m³/h)



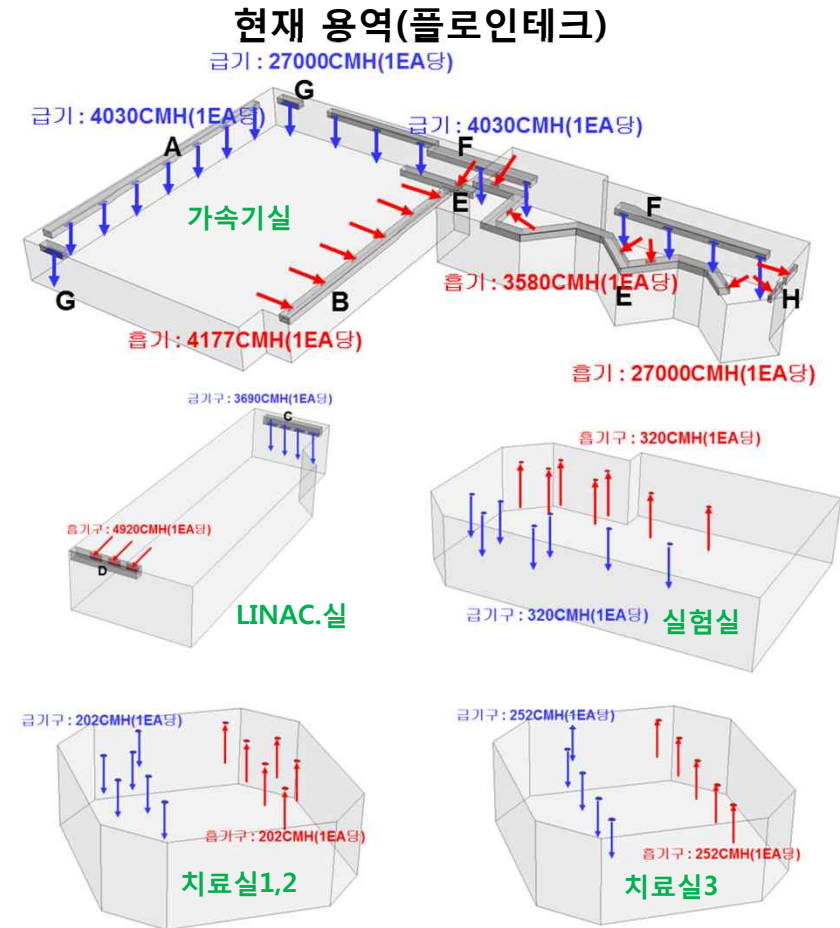
배기(급기) 위치

위치	역할	풍량
A	outlet	(1,500 ^w × 400 ^h) / 5,085CMH
B	outlet	(1,500 ^w × 400 ^h) / 5,175CMH
D	outlet	(1,500 ^w × 700 ^h) / 3,000CMH
E	outlet	(1,300 ^w × 600 ^h) / 6,700CMH
G	outlet	(1,000 ^w × 400 ^h) / 1,125CMH

흡기 위치

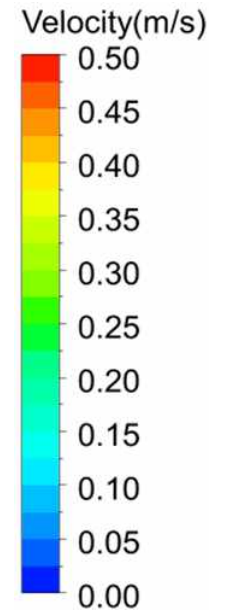
위치	역할	풍량
A	inlet	(1,000 ^w × 600 ^h) / 4 * 5,085CMH
B	inlet	(1,000 ^w × 600 ^h) / 8 * 5,175CMH
F	inlet	(1,300 ^w × 800 ^h) / 6 * 8,933CMH

- ✓ 배기와 흡기 위치가 중복되는 부분도 있어, 간섭에 따른 공기 유동 효율이 떨어짐.
- ✓ 유동해석 영역: 가속기실

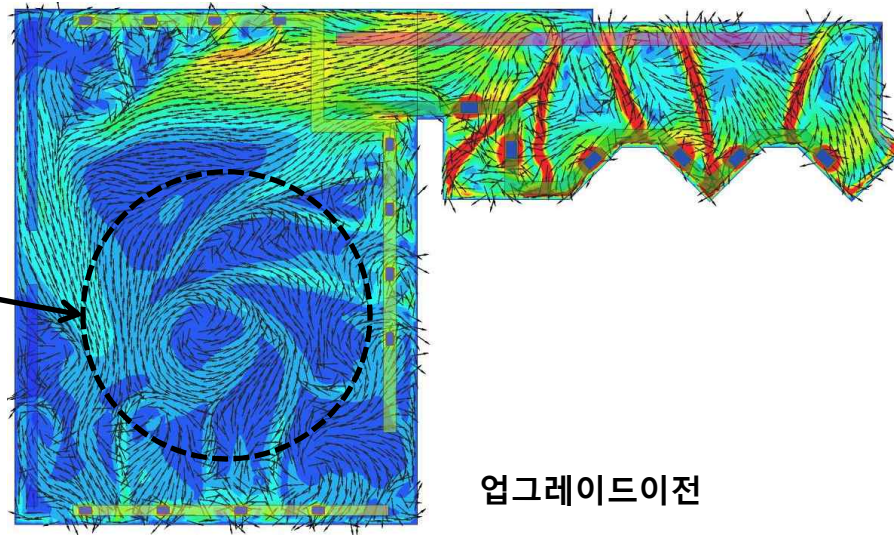


- ✓ 배기(급기)와 흡기 위치가 중복되는 부분 없이 구분하여 공조화 시설 설치.
- ✓ 외부에 설치된 필터에 의한 영향을 고려하여, 유효 용량을 고려하여 해석.
- ✓ 가속기실 내부는 정상 상태와 비상사태(G구역 추가, H구역 2개 가동)로 구분하여, 해석 결과 반영.
- ✓ 유동해석 영역을 가속기실 뿐만 아니라, LINAC.실, 치료실3개, 실험실로 확대하여 전산 모사 해석.

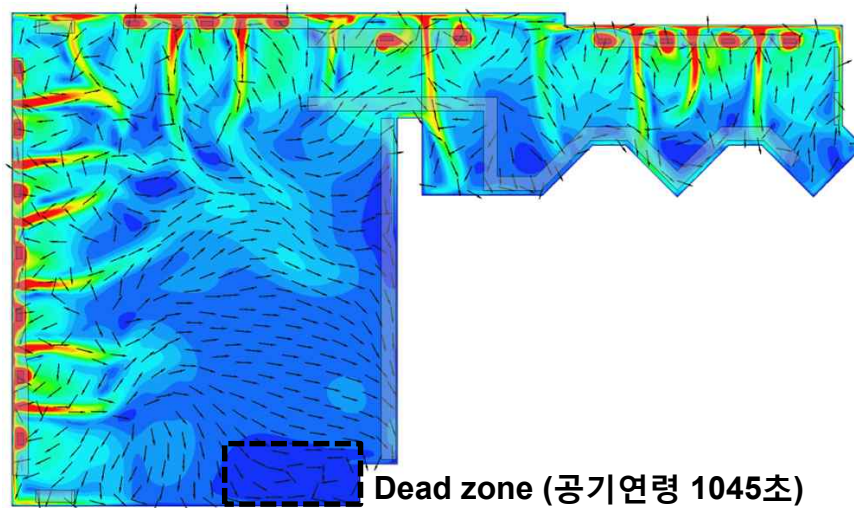
[방사화 평가] 배기 시설: 가속기실 내부 속도 분포 비교



가속기실 core를 중심으로 넓은 영역에서의 dead zone이 발생.
(공기연령이 30분이 넘는 구역이 존재 공기연령, 공기연령=1800초)

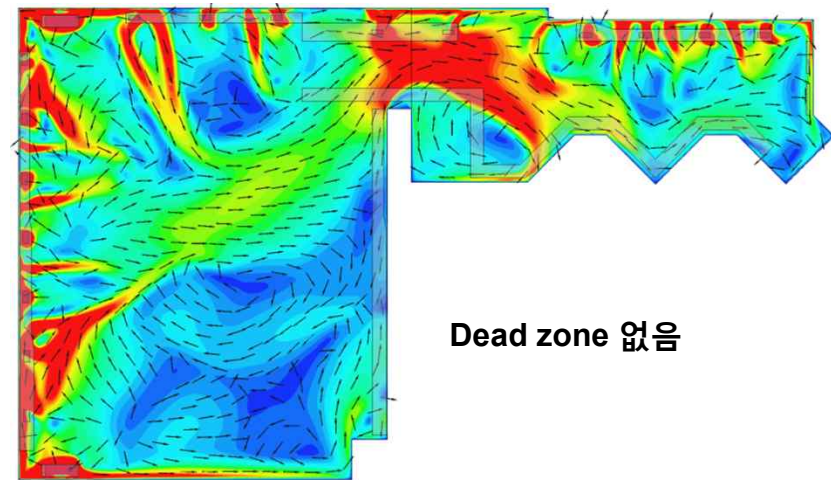


업그레이드이전



Dead zone (공기연령 1045초)

1차 업그레이드이후



Dead zone 없음

2차 업그레이드이후

안전 시설 및 계통 설계 보고서: 사고 위험 시나리오 대책 보고서

33

방사선 안전 보고서 4-5, 9장

작성자: 민 선 홍	조안: 2016. 8. 23.
자료 협조: 조일성	1차 수정: 2017. 6. 21.

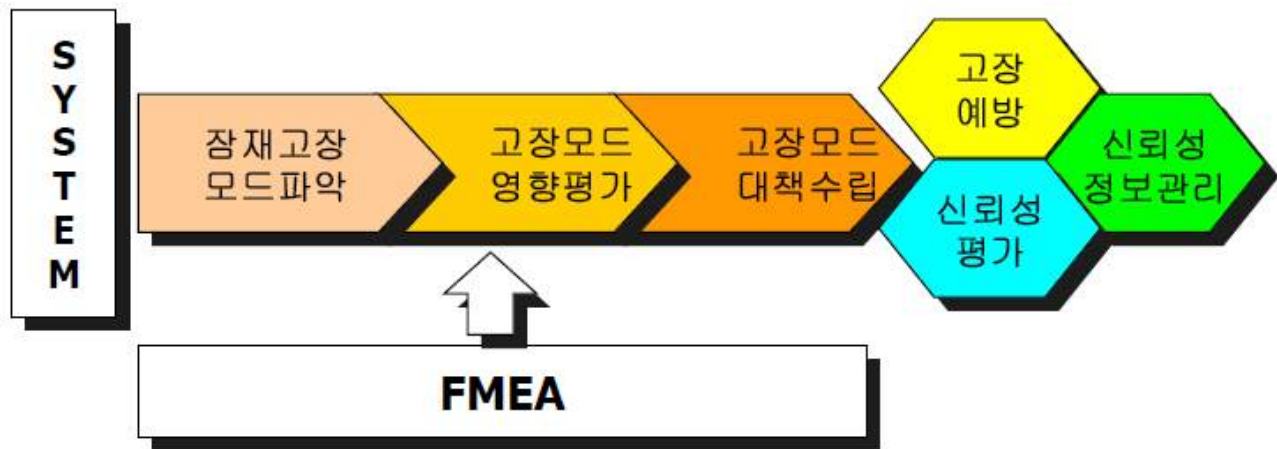
사고 위험, 시나리오, 대책 보고서

2017. 6. 21.

한국원자력의학원

□ 사고의 위험 및 대책

- ☑ 전체 사용기간 동안 1회 이상 발생할 수 있는 사고의 종류와 발생빈도 기술
- ☑ 예상 사고의 영향 및 이로 인한 종사자, 일반인의 피폭선량 평가 방법, 결과 기술
- ☑ 사고수습 및 피해가소를 위한 대책 수립
 - 종류별 사고에 대한 조치절차
 - 사고수습에 적용할 조직, 인력, 장비에 관한 사항
 - 비상연락망



SAR 9장 사고의 위험 및 대책

가. 사고예측	1) 사고의 종류와 확률	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전체 사용기간 동안 1회 이상 발생할 수 있을 것으로 예상되는 사고의 종류와 발생빈도를 추정하여 기술한다. ➔ 고장률 데이터 필요
	2) 사고의 영향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 예측한 각각의 사고에 대해 영향을 평가하고 종사자 및 일반인의 예상 피폭선량 등에 대하여 기술한다.
나. 사고대책	1) 비상계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대단위사업의 경우에는 사고의 확인, 보고, 경보의 전파, 대응팀의 구성, 대응활동계획, 유관기관 협조계획 등 사고의 수습과 피해의 감소를 위해 필요한 조치를 취하기 위한 비상계획 수립계획에 대하여 기술한다.
	2) 비상대응 태세의 유지	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사고 발생시 비상계획의 원활한 이행을 위해 필요한 준비(설비, 장비, 통신망, 협조체계 유지와 대단위사업의 경우에는 훈련, 비상계획서 검토 및 보완 등)에 대하여 기술한다.
다. 비상계획		<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵융합실험장치의 경우에는 방사선사고를 포함한 비상계획을 수립하여 별도로 제시한다.

사고시나리오: FMEA 표 작성

Failure Mode and Effect

항목: 의료용 중입자 가속기 구성품: 의료용 중입자 가속기 치료 시스템 완료 (예정)일: 2021-12-31 Page: 제조사: Manufacturer ○○○ Inc. 핵심팀: 중입자구축팀 FEMA 최초 작성일: 2017-02-01							
No.	Main System	Sub-system	Description/ Requirement	잠재적 고장모드	잠재적 고장의 영향	중요도 (심각도)	구분
1	ECR	미온원발생부 Gas Panel, RF-Triax, RF Amplifier, RF Signal Generator, Plasma Chamber, Extractor Lens	작업중사 자접촉부	전기적에너지	전기적쇼크	작업자 누설전류	전기
2	ECR	미온원발생부 Gas Panel, RF-Triax, RF Amplifier, RF Signal Generator, Plasma Chamber, Extractor Lens	Single Fault Condition for ME Equipment (단일고장상태)	전기적에너지	전기적쇼크	누설전류	전기
3	ECR	미온원발생부 Gas Panel, RF-Triax, RF Amplifier, RF Signal Generator, Plasma Chamber, Extractor Lens	Single Fault Condition for ME Equipment(단일고장상태)	기계적에너지	물리적상해	기기제어불능	기계
4	ECR	미온원발생부 Gas Panel, RF-Triax, RF Amplifier, RF Signal Generator, Plasma Chamber, Extractor Lens	Single Fault Condition for ME Equipment (단일고장상태)	기계적에너지	물리적상해	기기열발생	기계
5	ECR	미온원발생부 Gas Panel, RF-Triax, RF Amplifier, RF Signal Generator, Plasma Chamber, Extractor Lens	전기부품	전기적에너지	전기적쇼크	누설전류	전기
6	ECR	미온원발생부 Gas Panel, RF-Triax, RF Amplifier, RF Signal Generator, Plasma Chamber, Extractor Lens	Use of components with high-integrity characteristics (고신뢰성부품의 사용)	전기적에너지	전기적쇼크	누설전류	전기
7	ECR	미온원발생부 Gas Panel, RF-Triax, RF Amplifier, RF Signal Generator, Plasma Chamber, Extractor Lens	Other conditions (기타조건)	전기적에너지	전기적쇼크	부품 및 부품 조립이 불완전하여 고장 발생	전기
8	ECR	미온원발생부 Gas Panel, RF-Triax, RF Amplifier, RF Signal Generator, Plasma Chamber, Extractor Lens	Other conditions (기타조건)	기계적에너지	물리적상해	최대부하조건에서의 잘못된 설정	기계

심각도, 발생도, 검출도(DFMEA)

1. 심각도

호 과	기준: 영향의 심각성	순 위
경고없는위험	재적 고정형태가 안전한 자동차 운행에 경고 없이 정부규제를 벗어났을 매우 높은 심각성 순위임.	10
경고있는위험	재적 고정형태가 안전한 자동차 운행에 경고 없이 정부규제를 벗어났을 매우 높은 심각성 순위임.	9
매우 높음	근본적인 기능을 상실하면서 자동차 / ITEM이 작동 불가	8
높 음	자동차 / ITEM이 작동하지만, 주행능력 수준저하 고객 불만족	7
보 통	자동차 / ITEM이 작동하지만 몇가지 면의 ITEM의 작동불능 고객의 강한 불만족	6
낮 음	자동차 / ITEM이 작동하지만 몇가지 면의 ITEM의 작동불능 주행능력 수준에 미달됨, 고객의 경향 다소 불만족	5
매우 낮음	맞춤 & 팔마무리 / 배거력 거림 & 덜거덕 거리는 ITEM이 적당치 않다. 대부분 고객에 의해 감지 가능	4
극 소	맞춤 & 팔마무리 / 배거력 거림 & 덜거덕 거리는 ITEM이 적당치 않다. 보통의 고객에 의해 감지 가능	3
매우 극소	맞춤 & 팔마무리 / 배거력 거림 & 덜거덕 거리는 ITEM이 적당치 않다. 민감한 고객에 의해 감지 가능	2
없음	영향 없음	1

2. 발생도

고 장 확 률	고 장 가능성 비율	순 위
매우높음: 고장이 거의 불가피함	2개 중 1개 이상	10
높 음: 반복된 고장	3개 중 1개 이상	9
	8개 중 1개 이상	8
	20개 중 1개 이상	7
적당함: 가끔씩 발생하는 고장	80개 중 1개 이상	6
	400개 중 1개 이상	5
낮 음: 상대적으로 적게 발생하는 고장	2000개 중 1개 이상	4
	15000개 중 1개 이상	3
	150000개 중 1개 이상	2
희박성: 거의 고장 없음	1500000개 중 1개 이하	1

3. 검출도

발 견	기준: 설계관리에 의한 발견 가능성	순 위
절대적인 불가능	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 수 없거나 또는 설계관리가 없다.	10
매우 희박성	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 가능성이 매우 희박하다.	9
희 박 성	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 가능성이 희박하다.	8
매우 낮음	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 가능성이 매우 낮다.	7
낮 음	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 가능성이 낮다.	6
조 절 함	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 가능성이 적당하게 있다.	5
높 음 적절함	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 가능성이 높다.	4
높 음	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 가능성이 매우 높다.	3
매우 높음	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 가능성이 높다.	2
거의 확실	설계관리는 잠재적 원인 / Mechanism과 연속적인 고장형태를 발견할 가능성이 거의 확실하다.	1

㈜ ○○○○

사고시나리오 표 작성

순번	사고 시나리오	분류	비고
1	초과 방사화 발생	초과방사화 발생	방사화 평가 보고서
2	치료실 내 작업자 출입 중 빔조사	작업자 출입중 빔 조사	평가 필요
3	가속기실 내 작업자 출입 중 빔조사		
4	빔 정지 직후, 작업자 출입구역의 고방사선장에 의한 피폭	고방사선장에의한 피폭	평가 필요
5	가속기실에서 과도한 빔 사용	과도한 빔의 사용	평가 필요
6	치료실에서 과도한 빔 사용		
7	가속기실에서 출입문 개방시 이온소스의 가속	출입문 열린상태에서 가속 기 동작	
8	방사화 물질 처리 중 피폭	방사화 물질취급중 피폭	
9	방사화 물질의 방사능 측정 없이 이동		
10	선량계의 잘못된 선량의 측정	치료조사영역에 과도한 피폭	평가 필요
11	이온함과 연결된 인터락의 오동작		
12	가속기 인터락 시스템의 오동작		
13	치료계획정보에서 고선량의 요구 전달	분할치료중 과도한 피폭	평가 필요
14	잘못된 리플필터 선택으로 인한 잘못된 선량의 전달		
15	에너지 변환의 부족으로 인한 distal 방향의 선량 중첩		
16	불충분한 빔 스케닝으로 인한 선량의 중첩	분할치료중 검출안되는 불 충분한 선량 전달	
17	잘못된 빔 콜리메이터의 선정		
18	정전 및 단전으로 인한 환자데이터의 잘못된 저장		
19	잘못된 환자 치료 위치의 선정	치료조사야 밖으로 선량의 전달	평가 필요
20	잘못된 로봇 카우치의 위치		
21	잘못된 볼러스 및 환자 어퍼쳐의 선택		
22	볼러스 및 환자 어퍼쳐 없이 빔 조사		
23	환자 어퍼쳐에서의 빔 누수		
24	잘못된 빔 레인지 또는 잘못된 빔 에너지 선정		
25	치료중 발생하는 카우치의 움직임		
26	제어시스템의 고장으로인한 치료시작 또는 종료후 빔 조사 발생	치료시작전 또는 종료후 빔의 잘못된 전달	
27	환자 방사선방호 시스템의 고장		
28	빔 조사 전에 불충분한 환자 치료 위치의 확인		

✓ 방사선 안전에 관련된 부분은 ISO 14971 clause 2.5, IEC 60601 clause 10 과 연관됨

✓ RM에 관련된 시나리오의 평가는 개별규격의 요구사항을 만족시킴을 보임으로써 평가하며 시험결과에 관한 리포트를 첨부한다.

안전 시설 및 계통 설계 보고서: 안전 제어 시스템 보고서

방사선 안전 보고서 4-6, 9장

편집자: 민 선 홍
자료 협조: 김 병 수

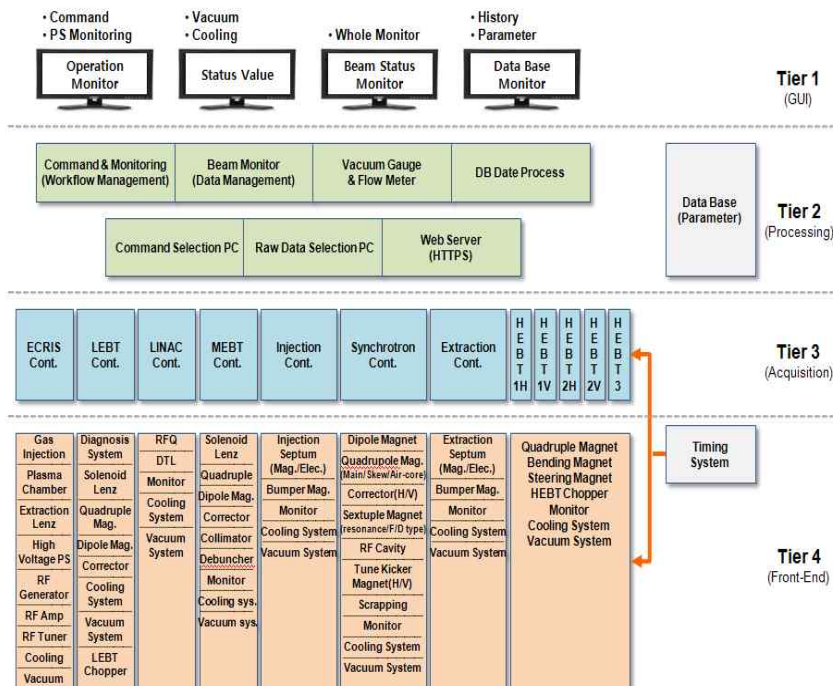
초안: 2017. 3. 27.

안전 제어 시스템 보고서

2017. 3. 27.

한국원자력의학원

제어시스템	Personnel safety system and interlock 설계 개요	<input type="checkbox"/> 방사선 구역설정 (Access control) <input type="checkbox"/> 설계 목표 <input type="checkbox"/> Methods of beam turn on/off <input type="checkbox"/> 추가적인 안전장치 (fail-safe 기능)
	Personnel safety system and interlock 구성 및 기능	<input type="checkbox"/> 방사선 구역 관리/통제 <input type="checkbox"/> 방사선구역의 출입문 관리 <input type="checkbox"/> Door lock & limit switch <input type="checkbox"/> Patrol/identification system <input type="checkbox"/> Emergency entry box <input type="checkbox"/> Local display <input type="checkbox"/> CCTV <input type="checkbox"/> Siren & speaker <input type="checkbox"/> 경광등 <input type="checkbox"/> 가속기 실 및 치료실 Beam control box (machine on/off system) <input type="checkbox"/> Personnel safety system beam intercepting (emergency) status & action <input type="checkbox"/> 빔 사용 (beam on) 가능 상태 표시 패널 <input type="checkbox"/> 다양한 Personnel safety system설비요소들의 위치 및 작동상태 표시 패널 <input type="checkbox"/> Radiation monitoring system (RMS) <input type="checkbox"/> (Automatic) Emergency stop system <input type="checkbox"/> 대피시설



가속기 치료시설에 있어서의 안전 요소-1

1. 안전(Safety)에 대한 요소별 필수 안전 요구 사항

- 1) 시설(Facility)에 대한 안전 요소
- 2) 시스템 및 장치(System & Equipment)에 대한 안전 요소
(Hardware/Software assurance)
- 3) 사이버 보안(Cyber Security)에 대한 안전 요소

2. 안전성 분류 등급

등 급	설 명
하(Minor)	고장, 잠재적 설계 결함으로 환자나 조작자에게 어떤 부상이나 신체적 피해가 발생할 가능성이 없는 경우
중(Moderate)	고장이나 잠재적 설계 결함이 직접적 원인이 되어 환자나 조작자에게 경상을 입힌 경우, 또는 고장 또는 잠재적 결함이 간접적인 원인으로 작용하여 부정확하거나 지연된 정보로 환자나 조작자에게 경상을 입힌 경우
상(Major)	고장이나 잠재적인 결함이 직접적인 원인으로 환자나 조작자에게 사망 또는 중상을 입힌 경우, 또는 고장이나 잠재적 결함이 간접적 원인으로 작용하여 부정확하거나 지연된 정보로 인하여 환자나 조작자에게 사망이나 중상을 입힌 경우

3. 시설 관점에서의 안전 확보

- 1) 안전 시설에 대한 부분
 - 구역별 빔 전송 중지에 대한 오류 처리를 위한 안전 기능의 명확한 기능 설정
- 2) 시설 건축 있어서의 요구 조건
 - 출입자 관리
 - a) 구역 출입 통제를 위한 전용 캐비닛이 각 구역 입구 문 근처에 설치.
 - b) 방사선 차폐 목적을 위해 미로 형태로 이어지는 통로 및 콘크리트 문 설치.
 - c) 치료 구역의 캐비닛에는 터치 패널을 장착하여 출입자는 요구된 순차적 조치 메뉴를 통해 해당 구역으로 액세스를 허가함.
 - d) 각 중 경고등과 오디오 시그널은 액세스 모드가 잠금 상태로 변경 전 경고표시.
 - 안전 관리 구역 설정 및 구역별 인원 관리
 - a) 안전 관리 구역별 출입 접근 권한 설정 및 인원 제한
 - b) 출입 접근 상태는 패널에서 볼 수 있도록 하여 액세스 상태를 변경하거나 제한된 액세스 모드에서 내부에 들어가려면 제어실로 직접 연결된 인터폰이용 접근 요청.
 - 이동 차폐물(or 기능 장비) 구비 의무화
 - 시설 내 안전 복무 규정 제정 및 명문화

4. 시스템/장치 관점에서의 안전 확보

- 1) 프로세스 전반에서의 안전관리
 - 안전 시스템은 프로젝트 초기에서부터 구축하고자 하는 시스템의 설계, 설치, 시운전 및 운영에 이르기까지 일련의 과정 모두를 고려되어야 함.
- 2) 빔 온 / 오프 구현
 - Interlock Reset 이후 빔이 자동으로 다시 켜지도록 해서는 안되며 빔을 다시 켜기 위해서는 안전을 위해 반드시 수동으로 조치 필요.
 - 빔 차단 구성요소들(components)은 기계제어시스템과 안전시스템 모두로부터 "beam off" 명령을 수신할 수 있어야 함.
- 3) Fail-safety System 적용
 - 가속기 치료시설과 같은 복잡한 시스템에서 발생하는 고장은 Common Mode Failure 와 Common Cause Failures 로 나누어 관리되어야 함.
 - a) Common Mode Failure
 - : 두 개 이상의 기기 고장이 동일한 원인으로 발생하는 오류.
 - b) Common Cause Failures
 - : 어떤 하나의 사건으로부터 발생한 여러 기기의 고장을 발생시키는 오류.
- 4) 안전 장치의 이중화 구현(Redundancy)
 - a) 이중화 필요성
 - 시스템 운영에 있어 심각한 오류로 인한 인적 물적 피해를 최소화하기 위해서 적어도 두 개 이상의 Redundancy를 갖추어야 함.
 - 위험도가 높거나, 복잡한 처리과정을 요구하는 프로세스의 경우 신뢰성 확보 위해 이중화(Redundant or replicated) 구조가 필수적으로 요구됨.
 - 하나의 센서가 고장이 나거나 한쪽의 명령라인이 단선이 되는 상황이 발생하더라도 우리가 보호하고자 하는 시스템이 위험한 상태로 빠지는 것을 방지하는 데 매우 유용한 구성임 .
 - b) 이중화 구현
 - 요소들은 독립된 센서 장치와 상태 판별 및 정확한 조치 판단할 수 있는 로직 분석시스템을 가지고 있어야 함.
 - 각 요소들의 각자 판단과 이에 대한 조치를 병렬적으로 수행하고 최종적으로 제어하고자 하는 장치에 명령이 전달 가능 해야 하고, 최종적 전달되어지는 명령은 독립적으로 연결된 명령 라인을 따라 전달되도록 구성되어야 함 .

가속기 치료시설에 있어서의 안전 요소-2

5. 사이버 보안 관점에서의 안전 확보

1) Cyber security 의 필요성

- 최근 공공기관, 군사 시설, 발전소 등 국가 기반 시설을 비롯해 여러 대규모의 시설에 대한 사이버 테러의 위험이 증가
- 원자력 시설에 대한 사이버 테러 예
: 스텝스넷 (Stuxnet) 웜 바이러스
→ 2010년 이란 핵 발전시설의 제어 SW에 침투해 원심분리기 회전수를 주기적으로 1,014Hz, 2Hz, 1,640Hz로 변경하는 방법으로 과부하를 일으켜 핵 농축 원심분리기의 기계고장을 발생시키는 사고 발생
→ 기존의 바이러스와 달리 물리 시스템의 특성을 활용한 사이버와 물리가 융합된 형태로 공격

2) 망 분리(Network Separation)

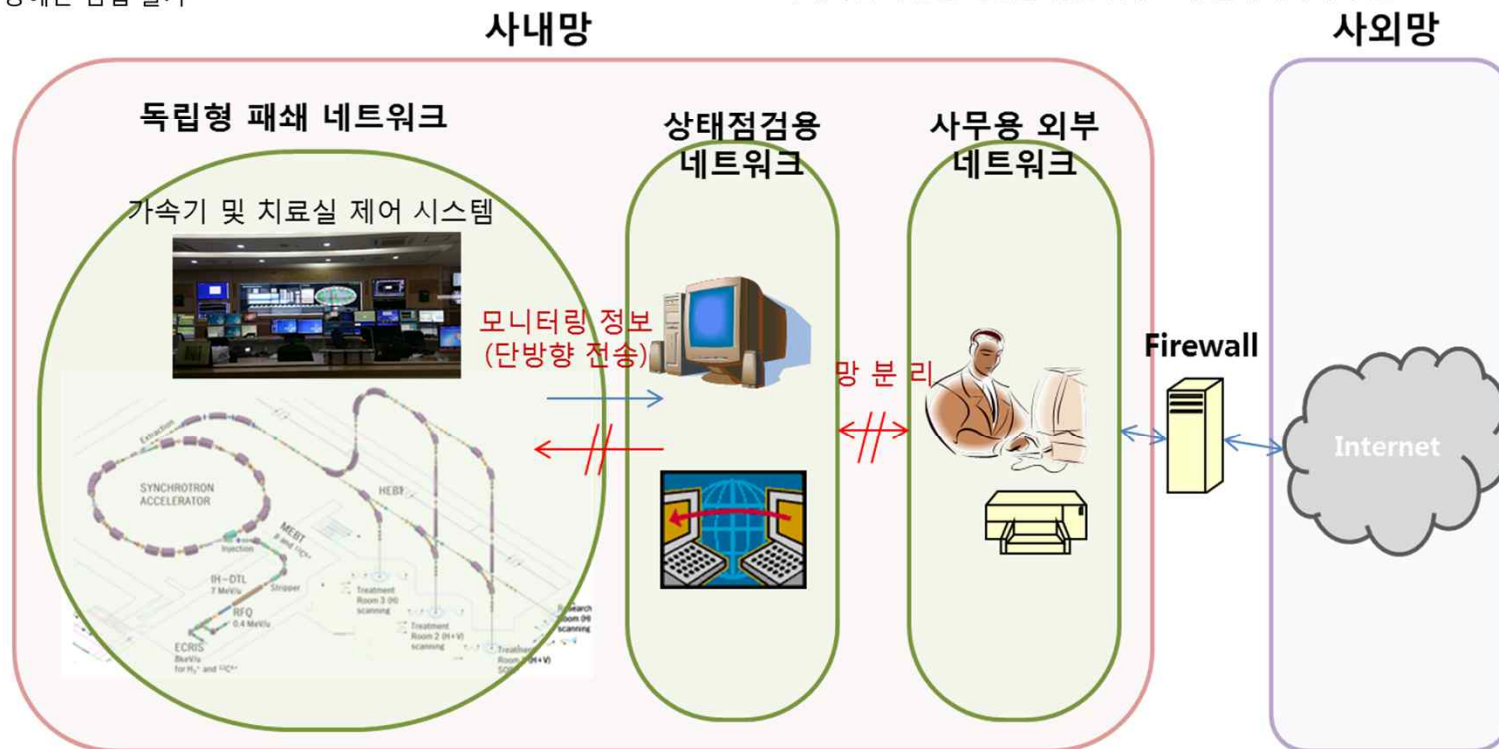
- 내부직원이 사용하는 업무 망과 외부 망 자체를 분리하여 운용
→ 회선 자체를 물리적으로 격리시켜 해커가 인터넷을 통해 사내 망에 침투하더라도 내부 업무 망에는 침입 불가

3) 망 분리의 종류

- 물리적 망 분리
→ 한 사람이 두 개의 PC를 사용하거나 네트워크 카드를 두 개 탑재한 PC를 사용하여 업무영역과 인터넷 영역을 완전히 따로 분리시키는 것.
즉, 물리적으로 PC를 완전히 분리하는 것을 의미.
- 논리적 망 분리
→ 1인 1PC에서 가상환경을 구현해서 로컬 영역은 업무용, 가상영역은 인터넷용으로 사용하는 것.

4) 네트워크 보안대책

- 망 분리는 각각의 방식에 따라 장단점이 있고 어떤 환경, 어떤 방식을 택하느냐에 따라 그 위험성은 달라질 수 있음.
- 가속기 치료시설은 방사선 물질이 나오는 특수성으로 그 중요도는 타 산업 및 어느 기관보다 높은 수준의 보안이 요구되어짐
→ 최소한 가속기 및 치료시설, 제어시스템들은 가능한 물리적 망분리에 의해 외부 세계와는 차단된 독립된 망을 갖추도록 설계되어야 함.



안전 시설 및 계통 설계 보고서: 소방 안전 해석 보고서

방사선 안전 보고서 4-5, 9장

작성자: 민 선 홍	초안: 2016. 8. 23. 수정: 2017. 6. 05.
<h2>소방 안전 해석 보고서</h2>	
<p>2017. 6. 5.</p>	
<p>한국원자력의학원</p>	

- ☑ 주변 안전 확립 시스템을 위한 정보 기입
 - 사업소 주변의 경찰관서, 소방서의 위치 및 거리
 - 사고발생시 소방차 등이 접근할 수 있는 경로
 - 사업소 주변의 폭발성, 인화성 물질 취급시설 현황
- ☑ 시설주변 작업환경의 특성
 - 방사선(직접방사선, 배기 및 배수)에 의한 영향이 미칠 수 있는 장소에 대한 사람의 접근 가능성
 - 131I 치료병실 배수라인 접근 가능성
 - 선형가속기실 내부 접근 가능성(양치질, 견학 등)
 - 사용시설 등에 접근할 수 있는 유형별 집단의 예상규모
- ☑ 계통도 자료 입수 완료 및 추가 자료 보완

[소방 안전] 중입자 치료 센터 소방설비 시스템

41

CABLE SCHEDULE

NO.	WIRE SCHEDULE	PIPE SIZE	REMARK
1. 자동화재탐지설비 공사			
(A)	CVV-SB 1.5mm ² /2C	22C	신호 전송선 x2
	2-HFIX 2.5mm ²	16C	중계기 전원 x2
	8-HFIX 2.5mm ²	22C	위차표사동 x2, 소화전벨프 작동확인 x2 전환선 x1, 발신기응답선 x1 시각경보기x2
2. 스프링클러설비 공사 (일람벨브, 트라이밸브, 기타)			
(B)	CVV-SB 1.5mm ² /2C	22C	신호 전송선 x2
	2-HFIX 2.5mm ²	16C	중계기 전원 x2
3. 스프링클러설비 공사 (프리엑션벨브)			
(C)	CVV-SB 1.5mm ² /2C	22C	신호 전송선 x2
	4-HFIX 2.5mm ²	22C	중계기 전원 x2, 전환선 x2
4. 방화셔터/도어밀러설비 공사			
(D)	CVV-SB 1.5mm ² /2C	22C	신호 전송선 x2
	2-HFIX 2.5mm ²	16C	중계기 전원 x2

화재수신반

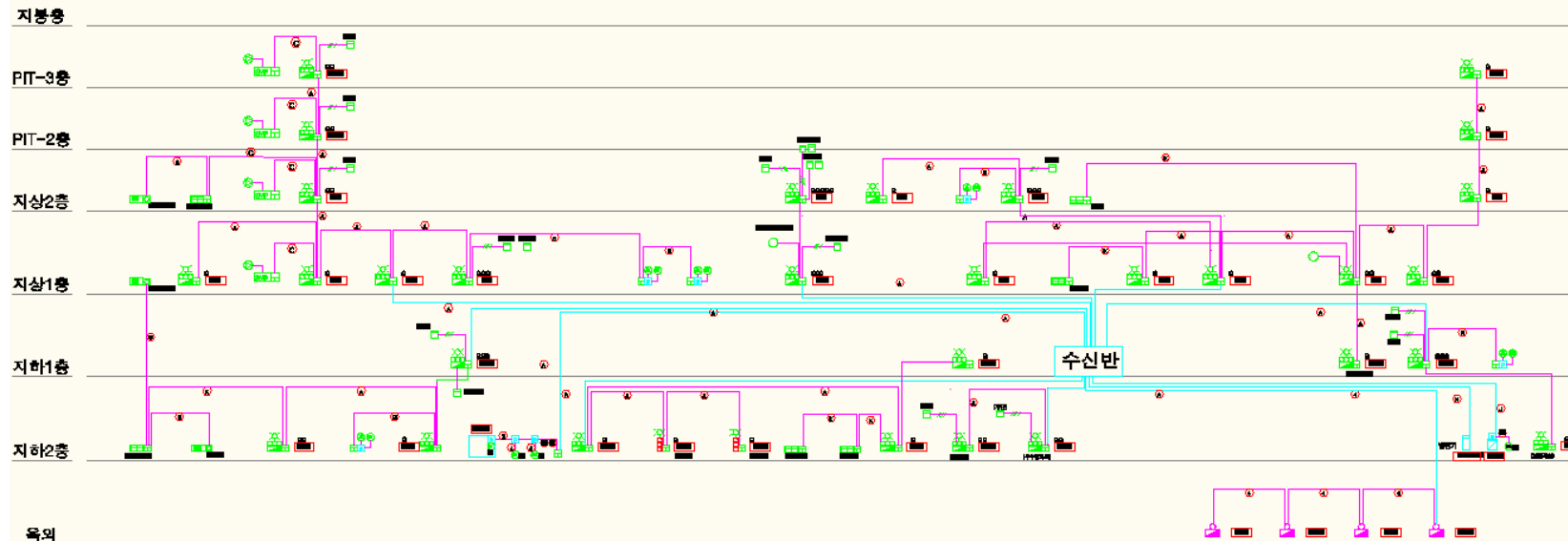
자동화재탐지설비 : 52회로
 - 발신기 : 32회로
 - 계단감지기 : 10회로
 - ELEV 기(계)설 : 3회로(기타 7회로)
 소화가스설비 : 24회로
 - 구역당 3회로 : 감지기 A,B, 방출확인
 일람벨브 : 5회로
 프리엑션벨브 : 8회로
 자동분류점장치 : 2회로
 임퍼스위치 : 6회로
 벨퍼스위치 : 16회로
 저수위감시 : 2회로

총 115회로

NO.	WIRE SCHEDULE	PIPE SIZE	REMARK
5. 배연장설비 공사			
(E)	CVV-SB 1.5mm ² /2C	22C	신호 전송선 x2
	2-HFIX 2.5mm ²	16C	중계기 전원 x2
	2-HFIX 4mm ²	16C	배연장 전선 x2
6. 전실 제연설비 공사			
(F)	CVV-SB 1.5mm ² /2C	22C	신호 전송선 x2
	2-HFIX 2.5mm ²	16C	중계기 전원 x2
	2-HFIX 4mm ²	16C	배연장 전선 x2
7. 비상콘센트설비 공사			
(G)	5-HFIX 4mm ² , NFR3-4mm ²	36C	단상, 3상 전원
8. 비상발전기설비 공사			
(H)	1-NFR3 4mm ² /6C	28C	환전감시 x2, 비상전원감시 x2, 기동 x2
9. MCC 판넬			
(I)	1-NFR3 4mm ² /5C	28C	(전원+/-, 운전표시, 정지표시, 공통)
	1-NFR3 4mm ² /5C	28C	(전원+/-, 운전표시, 정지표시, 공통) x3대
	1-NFR3 4mm ² /5C	28C	(전원+/-, 운전표시, 정지표시, 공통) x3대

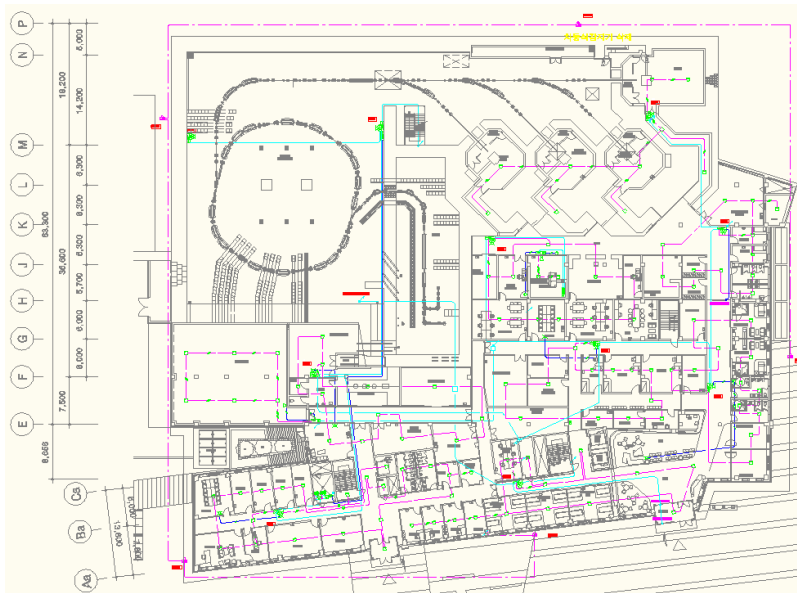
NO.	WIRE SCHEDULE	PIPE SIZE	REMARK
10. 가스설비 공사 (전역방출식 & 픽케이지 통일)			
(K)	CVV-SB 1.5mm ² /2C	22C	신호 전송선 x2
	2-HFIX 2.5mm ²	16C	중계기 전원 x2
11. 소화펌프관련 공사			
(L)	1-HC/W-SB 1.5mm ² /1P	22C	저수위 및 벨퍼스위치
	2-HFIX 2.5mm ²	22C	
(2)	2-HFIX 2.5mm ²	16C	(11) 11-HFIX 2.5mm ² 26C
(3)	3-HFIX 2.5mm ²	16C	(12) 12-HFIX 2.5mm ² 26C
(4)	4-HFIX 2.5mm ²	16C	(13) 13-HFIX 2.5mm ² 26C
(5)	5-HFIX 2.5mm ²	22C	(14) 2-HFIX 4mm ² 16C
(6)	6-HFIX 2.5mm ²	22C	(15) 2-HFIX 2.5mm ² 16C
(7)	7-HFIX 2.5mm ²	22C	
(8)	8-HFIX 2.5mm ²	28C	
(9)	9-HFIX 2.5mm ²	28C	
(10)	10-HFIX 2.5mm ²	28C	

1. A/V, P/V, D/V 벨브와 P/S, T/S와의 간선은 16C(2-HFIX 2.5mm²)임.
2. 도어밀러이간 간선은 16C(4-HFIX 2.5mm²)임.
3. 전실제연벨브 간선은 16C(4-HFIX 2.5mm²)임.
4. 시각경보장치 간선은 16C(2-HFIX 2.5mm²)임.

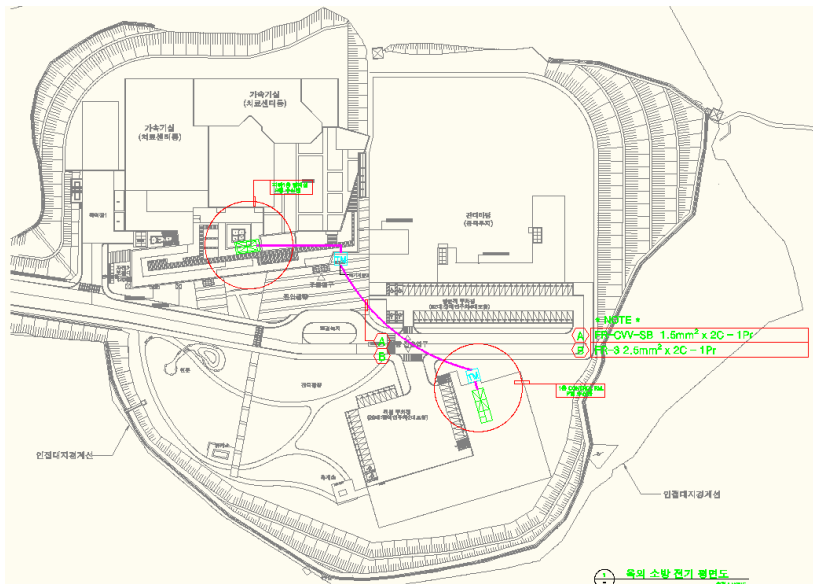


자동 화재 탐지 설비 계통도

[시설의 안전장치] 소방설비 시스템 (KHIMA)



소방 시설 전기 평면도

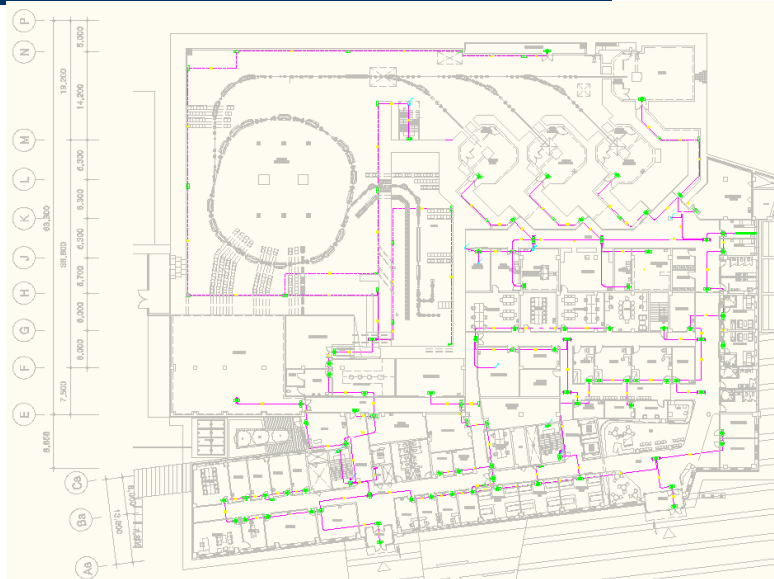


옥외 소방 전기 평면도

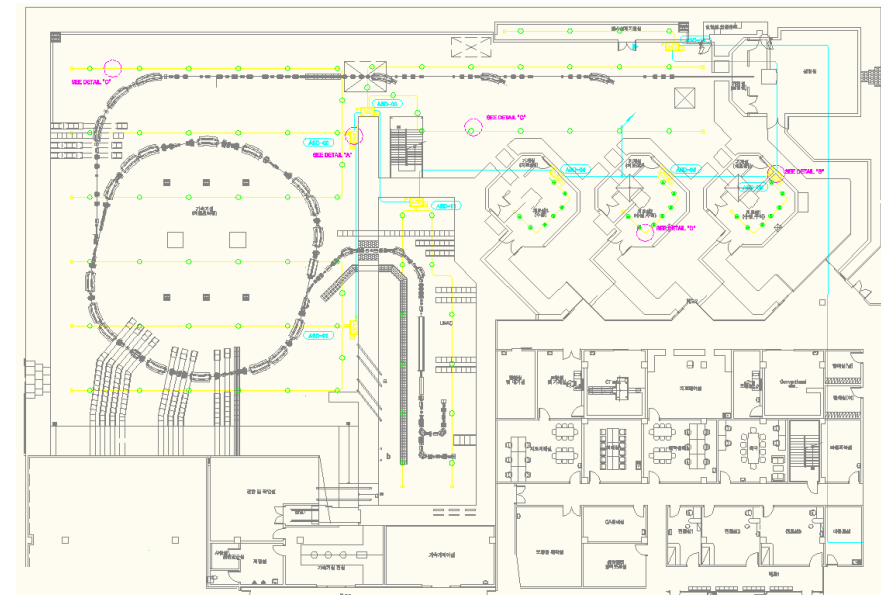
<p>가림식 스프링 감지기</p>	<p>장문식 스프링 감지기</p>	<p>플러그식 압축가능형 벨기감지기</p>	<p>전체식 세이렌</p>
<p>소파형 내장형 탐지기 SET</p>	<p>프레임식탐지기 SET</p>	<p>탐지기</p>	<p>피난구유도등(천정 매립-LED)</p>
<p>피난구유도등(천정 노출-LED)</p>	<p>피난구유도등(벽부착-LED)</p>	<p>피난구유도등(천정 매립-LED)</p>	<p>피난구유도등(벽부착-LED)</p>
<p>가림플러그식도등(천정형 노출-LED)</p>			<p>PI형 수신기</p>

소방 시설 전기 상세도

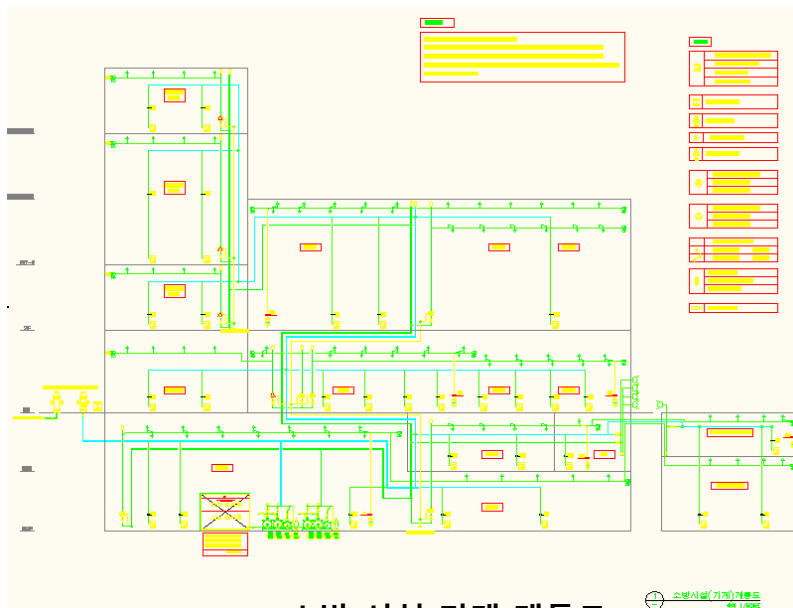
[시설의 안전장치] 소방설비 시스템 (KHIMA)



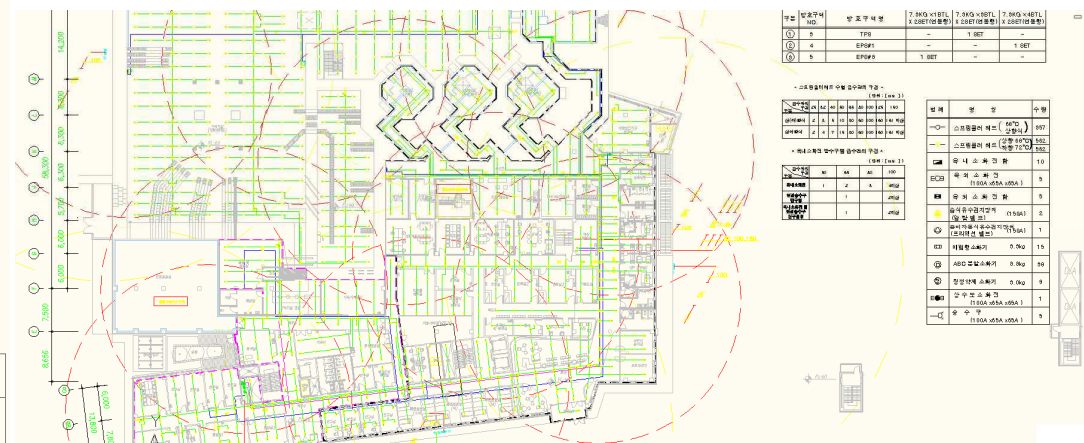
유도등 평면도



공기 흡입형 화재 감지기 평면도



소방 시설 기계 계통도



소방 시설 기계 평면도

[시설의 안전장치] 소방설비 시스템 관련 준비 문서

SAR 반영 소방 안전 시설 자료

1. 소방 기계 도면

- (1) 도면 목록표, 범례표, 장비일람표 1부
- (2) 계통도 5부
- (3) 기계 평면도 7부
- (4) 청정 소화 가스 평면도 5부
- (5) 동파방지 지열선 평면도 1부
- (6) 소방시설 기기 상세도 2부
- (7) 건축 평면도 1부

2. 소방 전기 도면

- (1) 전기 평면도 20부
- (2) 공기흡입형 평면도 8부
- (3) 유도등 평면도 14부
- (4) 소방 안전 무선통신도 7부

3. 시험성적서 및 기타 (각 1부)

- VESDA 시방서
- VESDA 운영 메뉴얼
- VSMA4 운영 메뉴얼
- 무선통신보조설비 전계 강도 측정
- 발전기 시험성적서
- 방열복카달로그 14
- 방화보드 시험성적서
- 방화유리 시험성적서
- 설비 내화충진재 시험성적서
- 소화가스 검사결과서 (1)
- 소화가스 검사결과서 (2)
- 소화가스 검사결과서 (3)
- 소화가스 충전내역서
- 양개도어 시험성적서
- 엘리베이터도어 시험성적서
- 전기트레이 내화충진재 시험성적서
- 통신트레이 내화충진재 시험성적서
- 편개도어 시험성적서
- 감리일지 완공신청서

소방 안전 참고 자료

- 김위경(KINS), "원전 화재방호 규제선진화 방안" 16th Nuclear Safety Information Conference, Daejeon Convention Center, 2012.4.3-4.4
- 문성준(소방방재청), "원전시설에 대한 화재방호대책"
- 마진수, 권경옥 (전주대학교 소방안전공학과), "원자력 발전소 화재방호 규제 개선 방향에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, 제24권 제4호, 2010년
- 윤명오(서울시립대 재난과학과/건축공학과), "원자력 발전과 화재방호"
- 김용달, 재난과보험컨설팅(주), "원자력발전소 화재안전 기준 개발에 관한 연구", 소방방재청의 원자력발전소 화재안전기준 개발에 관한 연구용역 과제의 최종보고서, 2013. 12.
- 원자력안전위원회, "원자력안전연차보고서(최종본)", 2012
- 한국수력원자력사장, "국내 원전 안전점검 결과 개선 대책 추진 현황 보고" 2011
- 한국 원자력 안전 위원회, "후쿠시마 원전사고 대응 추진실적 및 향후 추진계획", 2012

[소방 안전] 소방 정보화 시스템 기술발전 동향

정보통신, 전자정부 분야의 세계 1위 국가로써 소방정보화 분야에서도 전세계 최고수준의 정보화 수준을 이룩하고 있으며, 스마트기기의 보급 확산을 기반으로 **모바일 스마트 재난관리체계** 구축 중



[출처 : 스마트재난관리 기본계획, 소방방재청, 2011]

□ 모바일 기반 스마트재난관리 본격화!

2011년 이후 : 스마트 기기
 2010년대 : 모바일
 2000년대 : 인터넷 웹 기반
 1990년대 : 클라이언트/서버 기반

□ U-기반 소방정보시스템 구축사업 사례

[2011년도]

- ✓ 119 다매체 신고서비스 시범구축
- ✓ 모바일 국가재난안전정보센터 구축
- ✓ 소방긴급출동(영상·방송) 시스템 구축
- ✓ 재해구호물자정보시스템 구축

[2010년도]

- ✓ 소방현장통제영상전송시스템

[소방 안전] 원전 스마트 경보정보의 소방공유시스템

원전/대형가속기시설 스마트 경보정보의 소방공유시스템

국내에서 운영 중인 원자력발전소 21기 중 절반인 10기가 경상북도(울진, 월성)에서 가동중이며, 원전 재난발생시 잠재적 피해규모를 감안할 때 소방방재청을 대표로 하는 원전방호체계 구축, 운영

□ 국내 원전시설 현황



□ 원전시설 및 대형 가속기시설의 특징

- ✓ 부지가 넓고
- ✓ 건물이 높고
- ✓ 내부구조 복잡
- ✓ 출입 등 폐쇄적

기존 소방법령,
소방활동 시설,
설비만으로는 한계

□ 이행 현황

원자력위원회, 한국원자력안전기술원, 소방방재청
합동 TFT 구성 운영

- 2012.3 ~ 안전대책 추진 완료시까지
- 월 1회 정례회의 및 분과위원별 미팅 수시
- 소방방재청 구조구급, 방호, 화재예방, 현장소방본부 4명 참여
- 소방공무원 1명 원자력안전위원회 파견

1 원자력발전소 특성에 맞는 안전관리 체계 강화

- 원전특성에 따른 원전소방시설 화재안전관리기준 고시 제정
- 원전시설을 특급소방안전관리 대상으로 격상

2 원전관련 기관과 상호협조 체계 강화

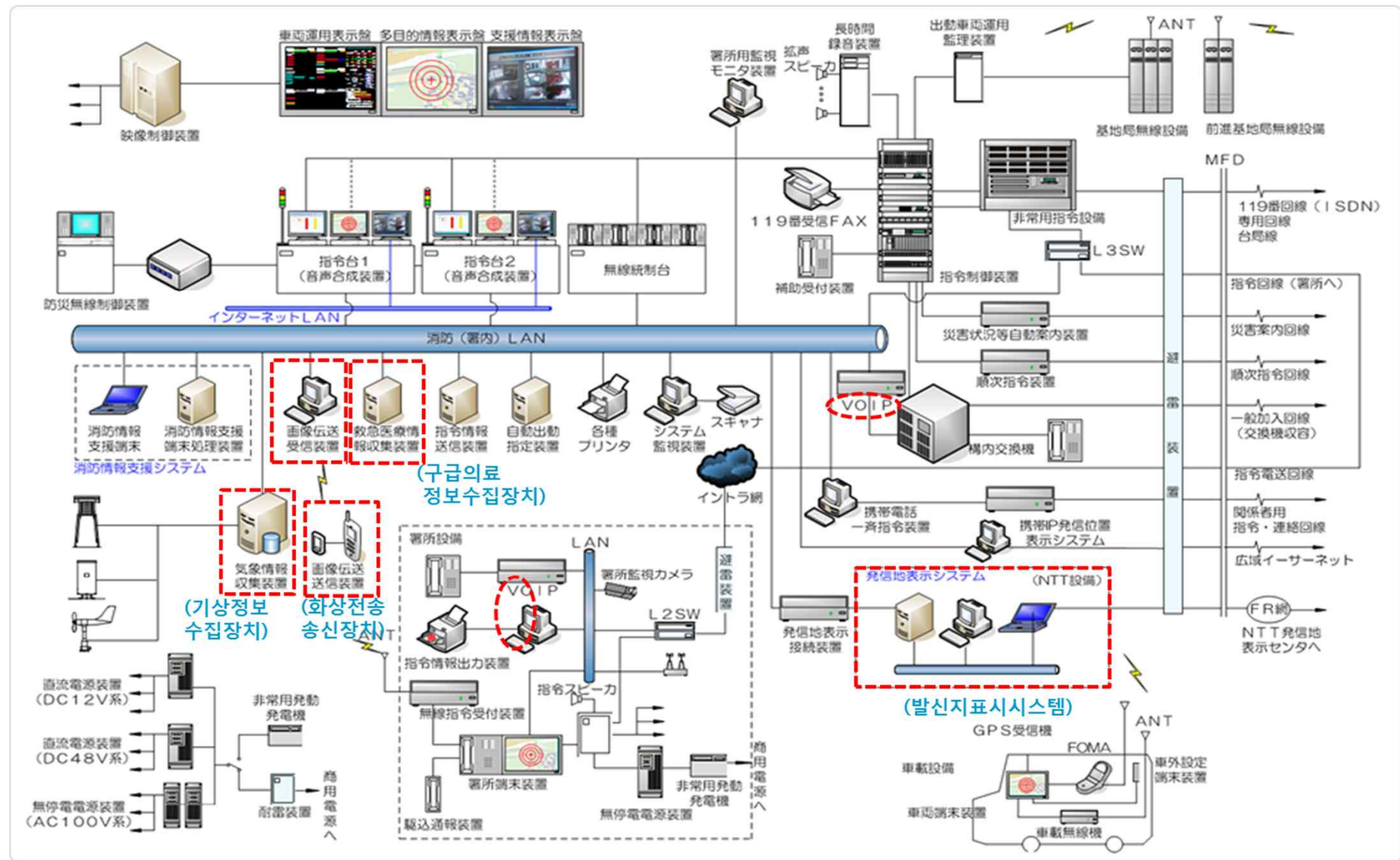
- 합동 소방기술심의회 등 개최
- 법적규제(출입통제) 완화
- 원전시설에 대한 정보제공

3 현장대응 능력 강화

- 소방본부별 "특수화재 진압 전문 소방대" 신설 운영
- 원자력위원회, 원전사업자, 전담소방대, 군·경 등 합동훈련
- 전문교육 강화 및 대응장비 보강 등

출처: 경상도소방본부 용역 과제, "유비쿼터스 기반의 소방정보화 기본계획 수립", (주) 엘지유플러스, 2012

[소방 안전] 일본 원전 방재센터의 방재정보시스템 구성도



출처: 일본 군마대학교, 2016 ver.

[소방 안전] 소방 안전 설계의 요점

1. 화재 안전성 해석(Fire Safety Analysis)

- 화재 위험도 분석 (FHA : Fire Hazard Analysis)
- 원자력안전과 관련된 FHA 부분은 안전정지를 위해 필요한 모든 구조, 시스템, 구성요소에 대한 화재의 영향에 대한 FSSA(Fire Safe Shutdown Analysis)에 통합
- FSSA는 화재로 인한 고장 또는 오작동 시 원자로 안전정지를 방해할 수 필수 설비의 포괄적 목록을 포함해야 함
- FSSA는 가능한 모든 운전모드에 대해 수행
- 화재와 소화수 또는 파손된 수관에 의한 내부 범람과의 상호작용에 따른 결과 해석
- 비활성화된 일차봉쇄구역을 제외하고 화재로 인한 시스템 및 설비의 작동불능 및 오작동 가정
- FHA와 FSSA는 화재 확률론적 안전성 분석(FPSA : Fire Probabilistic Safety Analysis)을 반영하여 개선되고 발전되어야 함

2. 안전정지 시스템 및 기기(Safe Shutdown System & Equipment)

- 방화구획에 의한 정지기능들의 완전분리가 불가능한 곳에서는 FHA의 평가에 따라 검증된 화재 모델링 기법을 이용하여 안전정지를 위한 손상되지 않음을 검증할 수 있음
- 모든 원자력안전 관련 지역에는 주제어실에 화재감지시스템을 비치해야 함
- 주제어실에서 계측과 제어의 분리에는 한계가 있음
- 주제어실 화재시 안전정지 및 잔열 제거 능력을 확보하기 위해 주제어실과 완전 분리된 별도의 지역에 원자로를 정지할 수 있는 비상정지패널(Remote Shutdown Panel) 설치

감사합니다
Thank you~!

