

한국원자력학회 Workshop

(G. 원자력 비상 방재 방호 기술 개발 현황)

# EPZ 내 의료기관에 대한 방사선 방호 성능기준(안) 개발

---

전북대학교  
서희

주관기관



공동기관



UNIST

참여(실증)기관



# I. 서론

## 방사능재난 시 주민보호조치

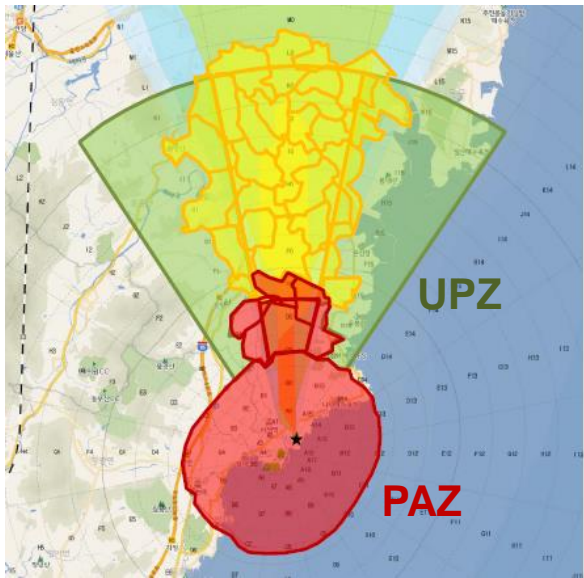
- 적색비상이 발령되면 방사선비상계획구역(EPZ) 내부의 주민들은 방사선 영향평가 결과 및 주민보호조치 결정기준에 따라 옥내대피 또는 소개가 이루어짐

「원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법」

<주민보호조치 결정기준>

주민보호조치	결정기준	비고
대피(옥내)	10mSv/2일	결정기준은 유효선량을 기준
소개	50 mSv/7일	대피(옥내)는 2일을 초과할 수 없음
갑상선방호약품 배포	100 mGy	소개는 7일을 초과할 수 없음
일시이주	30 mSv/처음 1월	월은 30일 기준
영구정착	1Sv/평생	평생은 70년 기준

\* 회피선량 기준



<방사선 영향평가에 따른 주민보호조치>

\*그림 출처: AtomCARE 현황(KINS)

### EPZ 내부 주민보호조치

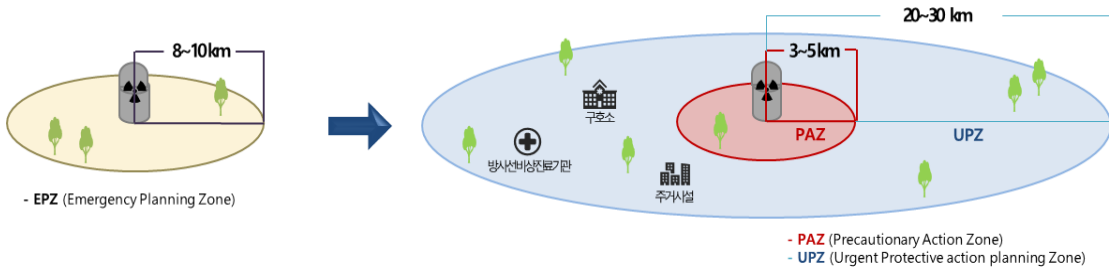
- PAZ (3~5 km) 내부: 집결지 이동 후 지자체 확보 주민 대피수단으로 통해 EPZ 외부 구호소로 소개 (결정론적 영향)
- UPZ (5~30 km) 내부: 방사선 영향 평가 결과에 따라 필요 시 옥내대피 또는 소개 실시 (확률론적 영향 ↓)

- 적색비상: 방사선 영향이 원자력시설 부지 외부로 확대될 가능성이 있는 경우
- 방사선비상계획구역(EPZ, Emergency Planning Zone)
  - 예방적보호조치구역(PAZ, Precautionary Action Zone): 사전에 주민을 소개하는 등 예방적으로 주민보호조치를 실시하기 위해 정하는 구역
  - 긴급보호조치계획구역(UPZ, Urgent Protective action planning Zone): 방사선영향평가 또는 환경감시결과를 기반으로 주민에 대한 긴급보호조치를 위해 정하는 구역

# I. 서론

## ➤ 연구 목적 및 필요성

- 방사선비상계획구역(EPZ) : 예방적보호조치구역(PAZ) 및 긴급보호조치계획구역(UPZ)로 세분화  
→ 기존 8~10 km 에서 20~30 km로 확대(15) 「원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법」 개정
- 방사선비상계획구역 확대로 인해 일부 **구호소 및 병원시설이 EPZ 내 위치**
- 일반적으로 EPZ 내 위치한 병원 환자 또한 EPZ 외부 구호소로 소개하는 것이 원칙이지만, **재난약자(중환자 및 노약자)**의 경우 지속적인 의료 제공을 받을 수 있는 병원 내 옥내대피가 더 적절함
- 하지만 방사선 방호 관점(거주성)에서 병원시설에 대한 기준은 없음  
→ 방사선방호 관점 위험성 평가 및 **방호성능 기준 마련 필요**



<방사선비상계획구역(EPZ)의 확대(15)>



<부산 원전지역 EPZ 범위 확대(22)>

## 연구 목표

- 방사능재난 시 병원시설 내에 대피하는 **재난약자(노약자 및 중환자 등)**에 대한 방사선 안전 확보 및 의료 연속성 제공을 위해 EPZ 내 병원시설에 대한 방사선 방호 기준(안) 개발

# I. 서론

## ➤ 연구 목적 및 필요성

### ◆ 3대 원전사고 교훈 분석<sup>1)</sup>

- ◆ TMI (Three Mile Island) 원전사고<sup>2)</sup> (1979)
  - 일부 병원 직원의 방사선 피폭에 대한 우려로 인한 퇴사로 즉각적인 병원 소개가 필요한 위급한 상황에서 **의료 및 운영 기능 저하**
- ◆ 체르노빌 원전사고(1986)
  - 병원의 80명의 환자가 소개 대상으로 선정되어 4월 27일 병원에서 퇴원하였지만 당시 **환자의 자세한 후송 상황은 불분명했음**
- ◆ 후쿠시마 원전사고(2011)
  - 요양 시설에 입원한 환자와 노인과 같은 취약한 사람들은 소개 중과 후에 심각한 건강 위험에 직면
  - 소개 명령이 내려진 병원 의료진의 노력에도 불구하고 소개 준비와 실행 과정에서 인력 부족이 드러났음 **이송 과정에서 적절한 치료가 이루어지지 않았을 뿐만 아니라 이들 환자들에게 물조차 제공되지 않았고, 60명 이상의 요양 시설 입원 환자 및 노인들이 소개 중 또는 소개 후 사망**

소개 과정 중 **재난약자**에 대한 치료 기능 상실로 인한 사망 多

재난약자의 경우 소개보다는 **옥내대피**가 적절함

소개 및 환자 이송 과정 중 의료진 인력 부족

재난약자를 위한 **병원 시설 옥내대피 계획 및 기준 마련 필요**

### ◆ 재난약자의 병원 옥내대피 필요성

- 후쿠시마 사고 이후 **정당화 원칙**에 따라 입원 환자 소개에 대한 개념적 근거 제시<sup>3)</sup>

#### 정당화 원칙

“**이로움** > **해로움**”

- UNSCEAR는 20km 구역 내 모든 주민을 대상으로 채택한 소개 조치로 최대 약 50mSv의 유효선량을 피할 수 있었다고 추정하였음.
- ICRP 압에 대한 명목 위험 계수(5.5% for the entire population)를 사용하면 이 피폭 선량은 0.3% (364분의 1)의 피폭 명목 위험에 해당함.
- 현재 일본 인구의 20% 이상이 암으로 사망하고 있으며, 도도부현 단위의 지역별 암 사망률도 10% 이상 차이가 나고 있음.
  - 피난 중 또는 피난 직후 사망한 50명 이상의 환자들이 겪은 신체적 부담은 **피난을 실시하지 않았을 때 예상되는 암 사망률 증가보다 훨씬 컸음.**
  - 따라서 **지속적인 치료가 필요한 입원 환자의 대피는 정당화되지 않았음.**

1) T. Ohba et al, Evacuation after a nuclear accident: Critical reviews of past nuclear accidents and proposal for future planning, Environment International 148, 106379 (2021)

2) J.S. Smith et al, Three Mile Island: The Silent Disaster, JAMA 245(16), p.1656-1659 (1981)

3) Yasuda H, “Implications of the evacuation of hospitalized patients in a nuclear emergency”, Front. Public Health 11:1217118 (2023)

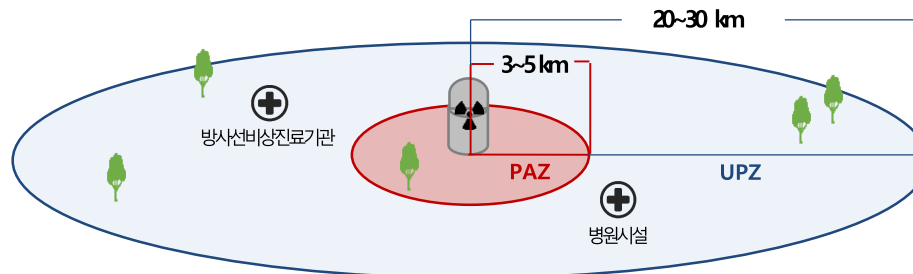
# I. 서론

## ➤ 연구 개요

- 국내 EPZ 내 의료기관 방사선 방호 성능 기준(안) 개발

### 재난약자 보호를 위한 병원 시설의 방사선 방호 성능 기준(안) 개발

❖ 방사능재난 시 EPZ 내 병원시설에 대피한 환자들의 내·외부 피폭을 최소화하여 방사선 영향에 대한 안전 확보



- EPZ (Emergency Planning Zone)
  - PAZ (Precautionary Action Zone)
  - UPZ (Urgent Protective action planning Zone)

# II. 국내·외 병원시설 현황 및 지정기준

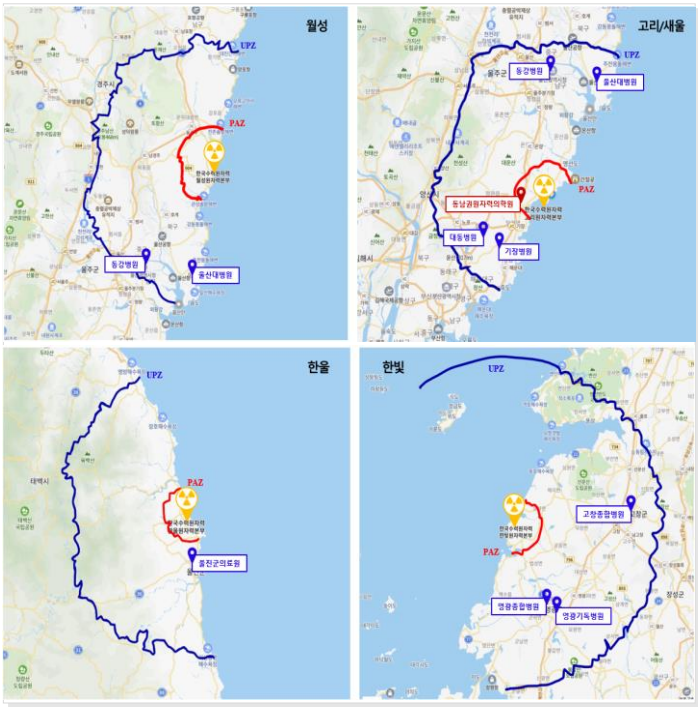
## 국내 EPZ 내 방사선비상진료기관 현황 및 지정기준

### 방사선비상진료기관 현황

- **월성**
  - 울산대 병원(2차) 218km
  - 동강병원(1차) 235km
- **고리/새울**
  - **동남권원자력의학원(1차) 421km**
  - 기장병원(1차) 114km
  - 대동병원(2차) 229km
  - 울산대병원(2차) 255km\*
  - 동강병원(1차) 26km\*
- **한울**
  - 울산군의료원(1차) 120km
- **한빛**
  - 영광종합병원(1차) 167km
  - 영광기동병원(1차) 180km
  - 고창종합병원(1차) 242km

(참고) 국내 총 37개 방사선비상진료기관 지정

\*월성 및 고리/새울 원전 비상계획구역 중첩



➤ 총 9개의 방사선비상진료기관 EPZ 내 위치

### 방사선비상진료기관 지정기준

❖ 원자력안전위원회 「원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법 시행령」

제36조 제3항 관련 → 일반기준, 시설기준, 장비기준, 인력기준 수립  
(방사선방호 관점 기준 미비)

- **일반기준**
  - 방사선 피폭환자에 대하여 방사선비상진료를 할 수 있는 시설 장비 및 인력을 갖출 것
  - 방사선 피폭환자 외의 환자와 구분하여 방사선 피폭환자를 치료할 수 있는 구역 확보할 것
  - 방사선 피폭환자의 외래 입원진료가 가능할 것
- **시설기준**
  - 방사선 피폭환자 진료구역 검사실, 방사선실, 수술실, 중환자실 및 입원실 병상, 원무행정실, 의사당직실, 보호자 대기실, 주차장
- **장비기준**
  - 방사선 피폭환자 의료관련 장비(개안선량계, 방사선방호복, 표면오염계측기, 방사선폐기물 수거통)
  - 일반 의료관련 장비(심장제세동기, 인공호흡기, CT촬영기 등)
- **인력기준**
  - 의사(전문의) 간호사, 응급구조사 및 운전기사, 방사선안전관리자

### 방사선비상진료기관 방호장비 현황

- **현장진료소 장비** - 에어텐트, 무전기 세트, 제염텐트
- **의료장비** - 환자감시장치, 제염테이블, 제세동기
- **계측장비** - 전자개인 선량계, 표면오염감시기, 휴대용핵종분석기, 문형감시기
- **의약품** - 안정화요오드, 프루시안블루, 초우란원소 내부오염치료제

\*각 병원별 방호장비 보유 개수는 상이함(출처: 권역별 현장조치 행동매뉴얼)

✓ 방사능 재난 시 주민들의 실내대피를 위한 시설에 대한 방호 관점 장비 및 기준 부재



# II. 국내·외 병원시설 현황 및 지정기준

## ▶ 국내 병원시설 지정기준 조사

### ■ 의료기관의 시설기준 및 규격(제34조 관련) – 의료법 시행규칙(2017년 시행)

(참고) 2015 메르스 국내 유행

#### 의료법 시행규칙 제34조 [별표3]



의료법 시행규칙 시설기준 개정 요약표

- **입원실(중환자실)의 환기기준**
  - 입원실에는 적절한 온습도 유지와 외기도입에 의한 환기가 가능한 **환기시설\***을 설치하여야 함
    - \***환기시설**은 외기를 도입하여 실내를 정화시켜주는 시설로 단독 또는 냉난방을 위한 공조시설에 그 기능이 포함될 수 있음
  - 환기시설을 통해 외기도입량 기준 환기횟수 2회/시간 이상을 유지하여야 하며, 실내 재순환량을 포함한 **환기횟수가 6회/시간 이상**이 되도록 하여야 함
    - 외기도입량은 실내 재순환을 제외한 외기가 병실 내에 공급되는 풍량임
    - 실내 재순환량은 입원실내에서 냉난방용으로 사용하는 팬코넛유닛(FCU)이나 멀티에어컨 또는 팬필터유닛(FPU) 등의 급기 또는 배기에서 측정한 풍량이며 외기도입량과 합산하여 **6회/시간 이상**이 되어야함
  - 입원실에서 사용하는 화장실의 배기는 재순환하지 말고 전부 배기하여야 함

	적용대상	현행기준	신·증축 시	기존시설 개선의무
음압격리병실 구비 의무화				
음압격리 병실 확보 (1인실 원칙)	300병상 이상 종합병원	없음	300병상 당 1개 + 추가 100병상 당 1개 (1인실, 면적 15㎡, 음압차 -2.5Pa)	'18.12.31.까지 300병상 당 1개 + 추가 100병상 당 1개 (1인실, 면적 15㎡, 음압차 -2.5Pa)
격리병실 (1인실 원칙)	300병상 이상 요양병원	없음	300병상 당 1개 이상 (사위시설을 갖춘 화장실)	'18.12.31.까지 300병상 당 1개 이상 (사위시설을 갖춘 화장실)
입원실 시설 기준 강화				
병실 당 병상 수 및 병실 면적	의원 병원급 요양병원	최대병상수 기준 없음	1병실 당 최대 4개 병상 1인실 : 10㎡ 다인실 1인당 6.3㎡	해당 없음
		1인실 : 6.3㎡ 다인실 : 4.3㎡	1병실 당 최대 6개 병상 1인실 : 10㎡ 다인실 1인당 6.3㎡	해당 없음
손씻기 및 환기시설		없음	설치	해당 없음
병상 간 거리		없음 (환선0.8m)	병상 간 1.5m	'18.12.31. 까지 병상 간 1.0m
중환자실 시설 기준 강화				
병상 간 거리	300병상 이상 종합병원	없음	벽에서 1.2m 병상 간 2.0m	'18.12.31. 까지 병상 간 1.5m
병실면적		10㎡	1인당 15㎡	해당 없음
(음압)격리병실		없음	병상 10개 당 1개씩 (최소 1개는 음압격리병실)	'21.12.31. 까지 10개 병상 당 1개씩 (최소 1개는 음압격리병실)

➢ 2017.23일자 「의료법 시행규칙」 제34조 [별표4] 규정이 개정됨에 따라 동 개정일자 이후 의원/병원/요양병원에서 신·증축하는 입원실에는 **손씻기·환기 시설**을 설치해야 함 (시행 2017.6.21)

# II. 국내·외 병원시설 현황 및 지정기준

## ▶ 국내 병원시설 지정기준 조사

### ■ 의료기관의 시설기준 및 규격(제34조 관련) – 의료법 시행규칙(2017년 시행)

#### 의료법 시행규칙 제34조 [별표4]

#### ● **수술실** 시설규격 관련 세부기준(공기정화설비)

➢ 단계별 수술에 따라 공기정화설비 기준 다름

#### 1) 감염 고위험도 수술

- **HEPA 필터 사용**(KS B6740 준수)
- 층류(Laminar flow) **환기시스템**: 수술대 상단에서 아래방향으로 일방향 층류 급기
- 적어도 2개의 멀리 떨어진 배기구를 바닥에서 높이 200 mm 이상의 벽 하단에 설치

#### 2) 감염 중등도위험도 수술

- **HEPA 필터 사용**(KS B6740 준수)
- 시간당 15회 이상 공기순환, 시간당 3회 이상 외부공기 유입

#### 3) 감염 저위험도 수술

- **KS B6141의 계수법으로 95% 이상의 고성능 필터 사용**
- 시간당 15회 이상 공기순환, 시간당 3회 이상 외부공기 유입

#### ❖ **수술실 공기정화설비**

- 공기정화필터가 있는 팬필터유닛 등 고정식 공기정화장치 의미
- 외부공기 유입이 가능한 천정형 에어컨 등 냉난방기도 수술단계에 따른 필터를 갖추고 시간당 공기순환 횟수 등 기준을 준수할 경우 가능
- ❖ **KS B6141 계수법으로 95% 이상의 고성능 필터**
- 공기 중 0.3um 입자를 95% 걸러주는 필터(HEPA는 99.97%)

#### < 수술실 안전관리를 위한 “수술실 운영기준” >

- ① 복도 및 주변실 대비 양압 설정
- ② 급기되는 모든 공기는 공기정화필터를 거칠 것
- ③ 실내 재순환 냉난방기 사용 불가. 단, 실내 재순환 냉난방기 중 급기구에 MERV14 이상의 고성능 필터 탑재 또는 상시 소독 및 청소가 가능한 구조의 냉난방기 (복사 냉난방패널 등)는 사용 가능
- ④ 정기적인 공기정화설비 관리(필터교체 등)
- ⑤ 수술실 내 손씻기 시설, 개수대 등 설치 금지
- ⑥ 기구, 수술에 참여하는 의료진, 환자의 동행 외에는 수술실 문은 닫아 놓고, 필요한 인력 외에는 수술실에 드나드는 인력을 최소화
- ⑦ 수술장에는 수술실 이외에 스크럼공간, 수술준비공간, 환자회복공간, 청결을 보관공간, 오염물처리 및 오염물 보관공간, 의료진 탈의공간 등을 구비(저위험도 수술의 경우 미적용)



## II. 국내·외 병원시설 현황 및 지정기준

### ▶ 국내 병원시설 지정기준 조사

#### ■ 국내 요양병원 지정기준

##### 의료법 시행규칙 제34조 [별표3]

- (그 밖의 시설) 거동이 불편한 환자의 장기간 입원을 위해 식당, 휴게실, 욕실, 화장실, 복도 및 계단과 엘리베이터를 갖추어야 함.
- (입원실) 입원 환자 30명 이상을 수용할 수 있는 입원실
  - 1) 입원실은 3층 이상 또는 「건축법」 제2조제1항제5호에 따른 지하층에는 설치할 수 없다. 다만, 「건축법 시행령」 제56조에 따른 내화구조(耐火構造)인 경우에는 3층 이상에 설치할 수 있다.
  - 2) 입원실의 면적(벽·기둥 및 화장실의 면적을 제외한다)은 환자 1명을 수용하는 곳인 경우에는 10제곱미터 이상이어야 하고(면적의 측정 방법은 「건축법 시행령」 제119조의 산정 방법에 따른다. 이하 같다) 환자 2명 이상을 수용하는 곳인 경우에는 환자 1명에 대하여 63제곱미터 이상으로 하여야 한다.
  - 3) 입원실에 설치하는 병상 수는 최대 6병상으로 한다. 이 경우 각 병상 간 이격거리는 최소 15미터 이상으로 한다.
  - 4) 입원실에는 손씻기 시설 및 환기시설을 설치하여야 한다.
  - 5) 병상이 300개 이상인 요양병원에는 보건복지부장관이 정하는 기준에 따라 화장실 및 세면시설을 갖춘 격리병실을 1개 이상 설치하여야 한다.

✓ 방사능 재난 시 주민들의 실내대피를 위한 시설에 대한 방호 관점(거주성) 기준 부재

# II. 국내·외 병원시설 현황 및 지정기준

## 국외 병원시설 지정기준 조사

### 국외 중환자실 공기조화(HVAC) 설비 기준

중환자실 (ICU, Intensive Care Unit) 의 온도, 상대습도, 필터, 가압 등 국외 기준 비교    ❖ HVAC : Heating, Ventilation, and Air Conditioning

Country	Recommendation society/association (reference)	Temperature	Relative humidity	Filtration	Pressurization	Air change (outside air/total) per hour [ACH]
Type of ICU – general (일반)						
호주	QHFG <sup>[1]</sup>	21–24 °C	30–60%	G4–F8	Positive	2/6
독일	VDI <sup>[2]</sup>	-	-	F9	Neutral	-
인도	ISCCM <sup>[3]</sup>	16–25 °C	-	99% efficiency till 5 µm	Neutral	2/6
UAE	DHA <sup>[4]</sup>	21–24 °C	30–60%	HEPA(≥MERV 17)	Positive	2/6
영국	DHF <sup>[5]</sup>	18–25 °C	-	F7	Positive	10 (total)b
영국	HTM <sup>[6]</sup> 2025	20–22 °C	40–60%	-	Neutral	100% FA (fresh air)
미국	AIA <sup>[7]</sup>	21–24 °C	30–60%	-	Neutral	2/6
미국	ASHRAE <sup>[8]</sup>	21–24 °C	30–60%	-	Neutral	2/6

<sup>[1]</sup> QHFG: Queensland Health Facility Guideline  
<sup>[2]</sup> VDI: Verein Deutscher Ingenieure (German engineers association)  
<sup>[3]</sup> ISCCM: Indian Society of Critical Care Medicine  
<sup>[4]</sup> DHA: Dubai Health Authority  
<sup>[5]</sup> DHF: Department of Health Estates and Facilities Division  
<sup>[6]</sup> HTM: Health Technical Memorandum  
<sup>[7]</sup> AIA: American Institute of Architects  
<sup>[8]</sup> ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

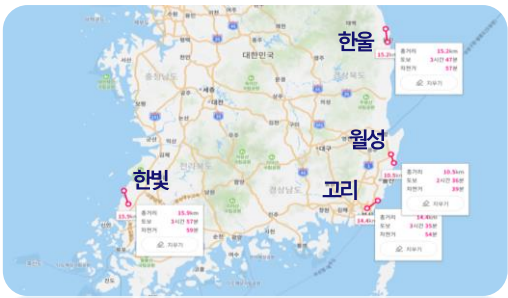
- 필터 등급 및 양압기준, 환기기준 제시
- 방사선 방호 관점에서의 거주성을 고려한 것이 아니라 감염 예방 차원의 기준

# III. 국내·외 대피시설 및 방재 관련 시설 기준

## ▶ 국내 현장방사능방재지휘센터(방재센터) 거주성 설비

### ■ 국내 원전지역별 방재센터 EPZ 내 위치

방재센터	고리	월성	한울	한빛
원전과의 거리	14km	10km	15km	14km



### ❖ 「원자력안전위원회 고시」 제2019-15호

[원자력사업자의 방사선비상대책에 관한 규정]

② 비상대책실은 제1항의 기능을 수행하기 위하여 다음 각 호의 기준을 만족하게 설치되도록 기술하여야 한다.

1. 방사선비상계획구역 외부로부터 10 km 이내에 위치하여야 하며 방사선비상계획구역내에 설치하였을 경우에는 제 1항에 따른 기능을 수행하기에 적합한 거주성을 갖추거나 방사선 비상계획구역 외부로부터 10 km 이내에 예비비상대책실을 지정할 것

- 양압설비: **60 Pa 이상**(방재센터 시설 내부 양압상태 유지)
- 기밀성 확보: 기밀성능 1등급 이상의 **창호 및 현관 도어**
- 공기정화설비: **HEPA 필터**, 활성탄 필터\*, 프리필터, 미디움 필터

▶ 방재센터가 EPZ 내에 위치하게 됨에 따라 방재센터의 거주성 확보를 위한 양압설비 및 공기정화설비 구축

### ❖ 방재센터 거주성 및 공기정화설비 성능점검 기준

구분	시험항목		기술기준
거주성 확인시험	양압시험		
	HEPA 필터	누설시험	<ul style="list-style-type: none"><li>• NRC RG 1.197</li><li>• NUREG-0696</li><li>• NRC RG 1.52</li><li>• ASME AG-1</li><li>• ASME N510</li><li>• ASME N511</li><li>• KEPIC-MHB</li></ul>
	송풍기	유량/정압/회전시험	
		진동시험	
	덕트/하우징	누설시험	
공기정화설비 성능점검	가동점검	필터차압/송풍유량/ 양압점검/육안점검	<ul style="list-style-type: none"><li>• ASME N510</li><li>• ASME N511</li></ul>
	현장계측기 교정	차압계(유량계)	<ul style="list-style-type: none"><li>• ASME N510</li><li>• ASME N511</li><li>• KEPIC-MHB</li><li>• KOLAS-G-013</li></ul>

\* 방사성요오드는 감상샘 방호약품 복용을 통해 효과적으로 방호 가능하므로 활성탄 필터의 설치 및 관리는 검토 필요

# III. 국내·외 대피시설 및 방재 관련 시설 기준

## 국외 대피시설 및 방재 관련 시설 기준



국제 방사선방호위원회

**ICRP 146**  
대규모 원전사고 시 사람 및 환경의 방사선방호

- 비상피폭상황에 해당하는 초기단계의 주민보호조치(대피 및 소개)에 대한 일반적인 방사선 방호 권고사항 제시  
(초기단계) - 정당화(위해<이득)는 피폭을 줄이기 위해 즉각적인 조치를 취할것인지 여부에 대한 결정에 적용  
- **대피와 소개는 중요한 결정**



국제 원자력기구

**GSR Part 7**  
핵 또는 방사능 비상에 대한 대비 및 대응

(요건) 핵 또는 방사선 비상에 대한 방호 전략

- 정부는 핵 또는 방사선 비상 시 효과적인 방호조치 및 기타 대응조치를 취하기 위한 준비단계에서 방호 전략이 개발되고, 정당화 및 최적화되도록 보장해야 함.

**GS-G-21**  
핵 또는 방사선 비상에 대비한 조치

- 대피(Sheltering)의 효과는 방사능 방출의 특성이나 피폭 원 대피소의 구성 및 피폭 경로에 따라 크게 다름.
- 외부 피폭은 큰 구조물로 대피함으로써 10배까지 줄일 수 있음.
- 사전에 결정된 대피소 위치는 방사선 준위의 수용 가능 여부 및 인간의 요구를 충족시키기 위한 준비가 제공되어야 함.



미국 연방재난관리청

**FEMA 453**  
대피소 설계 지침

**독립형 대피시설**

- 장기간 대피가 가능한 독립형 대피시설
- 잠재적 파편의 위협으로부터 이격되어야 함
- 구조적 기계적인 부분이 타 건축물과 분리되어야 함
- 기존 건물의 설계와 통합되지 않으며 차별화됨

**건물 내 대피시설(Shelter in Place)**

**Class 1**

- 양압 75Pa 이상
- HPA 필터(99.97%) 사용
- 가스 흡착기 직렬 연결
- 가압에 의한 공기 누출 표준 테스트(ASTM E793)
- 배기 팬 및 자동 댐퍼 제어 연동시스템
- 실내 압력 게이지

**Class 2**

- 양압 5~12Pa
- 현관 진입 시 이중문 혹은 회전문의 설치
- 통풍형/비통풍형
- HPA 수준 필터
- 활성탄 함유한 흡착제 및 미립자 필터
- 1CFM/ft<sup>2</sup> 공기 공급율
- 바닥/테이블 및 천정 장착형 필터장치

**Class 3**

- 양압 0Pa
- 비통풍형
- 기밀성 바닥/벽 사이판, HVAC 및 환기 시스템 개구부 밀봉, 환풍기 커버, 기타 밀봉
- 접착 테이프(문틈 텍트 테이프, 창문 기밀 테이프)
- 외부 공기 차단 댐퍼 시스템
- 이산화탄소 감지기 및 모니터 (환기되지 않는 대피소)

12 방사능 재난 대피시설 방호기술 개발

# III. 국내·외 대피시설 및 방재 관련 시설 기준

## 국외 대피시설 및 방재 관련 시설 기준



FEMA

미국 연방재난관리청

FEMA TR-87  
낙진 대피소 표준

### 공공 대피소

방사성 낙진으로부터  
주민을 보호하기 위한  
최소 기준

- 방호계수  $PF \geq 40$
- 환기 및 온도
  - 특수 필터 필요하지 않음
  - 10°C 이상의 온도 유지

### 병원 대피소

방사성 낙진 환경에서 **입원환자**를  
위한 **엄격한 의료제공 및 응급 치료**  
제공 가능해야 함

- 방호계수  $PF \geq 100$
- 환기 및 온도
  - 환기 시스템용 덕트
  - 18°C 이상의 온도 유지



미국 국방부

UFC 4-024-01  
화생방 대피시설  
설계 절차

- 양압설비 (화생방 대피시설) - 1등급(75 Pa 이상), 2등급(5~12 Pa), 3등급(0 Pa)
- 기밀성 - 별도 규정 없으나, 건물 구조형태에 따른 공기누설비율 고려 및 별도 적용
- HVAC 시스템\* - 송풍기(AHU), 프리필터(MERV 13-15), HEPA 필터(MERV 17), 가스흡착필터, 댐퍼
  - 기존의 환기시스템에 HEPA 필터 장착만으로도 화생방 물질 노출 위험 감소
- 환기량 - 시설규모, 체류인원, 이산화탄소 농도 고려(비통풍형)

\*HVAC(Heating, ventilation, & air conditioning): 공기조화설비



미국 원자력 규제 위원회

NUREG-0696  
비상대응시설 기능기준

### BPZ 내부 비상대응시설

- 기밀성 확보 및 HEPA 필터 설치
- 활성탄 필터 요구되지 않음
- 방호계수  $PF \geq 5$

### BPZ 외부 비상대응시설

- 거주성 요건 없음



일본 내각부

オフサイトセンターに係る設備等の  
要件に関するガイドライン  
오프사이트센터 시설 요건  
지침

### (요건5)

- 시설 내에서의 피폭 방사선량 줄이기 위하여 **콘크리트벽, 환기설비**, 창문 등의 기밀성 향상, **HEPA 필터, 활성탄 필터**(제거율 99.9% 이상) 등의 **공기정화필터** 등 방사선 또는 방사성물질 차단하는 기능 필요

# IV. 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 개발

## ➤ EPZ 내 실내 대피시설 방호 성능 지표

- 국내·외 대피시설 및 방재 관련 시설 기준에서 공통적으로 요구되는 성능지표 도출

방호계수

양압설비

기밀성

공기정화설비

## ➤ EPZ 내 실내 대피시설 방호 성능 기준 설정 및 고려사항

- 병원시설에 대한 특성 및 실효성 고려

→ EPZ 내 병원시설 특성에 따른 **정량화된 방호 성능 기준(안) 설정**

- ★ 사고 시 방사선영향평가결과 / 방호 대책의 실현가능성 / 사회·경제적 인자 고려하여 설정

✓ 방호성능 기준 부여를 통한 선량감축 효과(비용 vs 효과)

✓ 일반적으로 EPZ 내 병원의 입원환자 또한 소개의 대상이므로 모든 병원시설에 방호성능 부여하는 것은 현실성 및 효과성, 경제적 측면 고려하였을 때 비효율적

→ 최소한의 중환자 및 의료진 옥내대피 고려 필요

✓ 재난약자를 위해 장기간 엄격한 의료지원이 가능하도록 방호 성능 부여 및 의료진에 대한 방사선 영향 고려



# IV. 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 개발

## 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 설정

- EPZ 내부 의료기관에 대하여 환자 및 의료진용 2개의 구역으로 나누어 방호 성능기준 설정

### 재난약자 보호를 위한 병원 시설의 방사선 방호 성능기준(안) 개발

❖ 병원 및 요양시설의 **재난약자(노약자 및 중환자 등)**에 대한 의료 연속성 제공 가능하도록 방호성능 부여 고려

#### 중환자(재난약자)

- 중환자실
  - ◆ 24시간 상주 가정
  - ◆ 상당수의 환자는 소개
    - 중환자만 병원 내 대피(인력 최소화)



#### 방호 성능 지표

방호계수

양압설비

기밀성

공기정화설비

#### 의료진 및 시설 운영자

- (예) 강당
  - ◆ 근무시간 고려한 선량 평가
    - 예) 3교대 근무 가정 → 선량 1/3 고려
  - ◆ 의료진/시설운영 필수인력을 위한 정책적 지원 필요



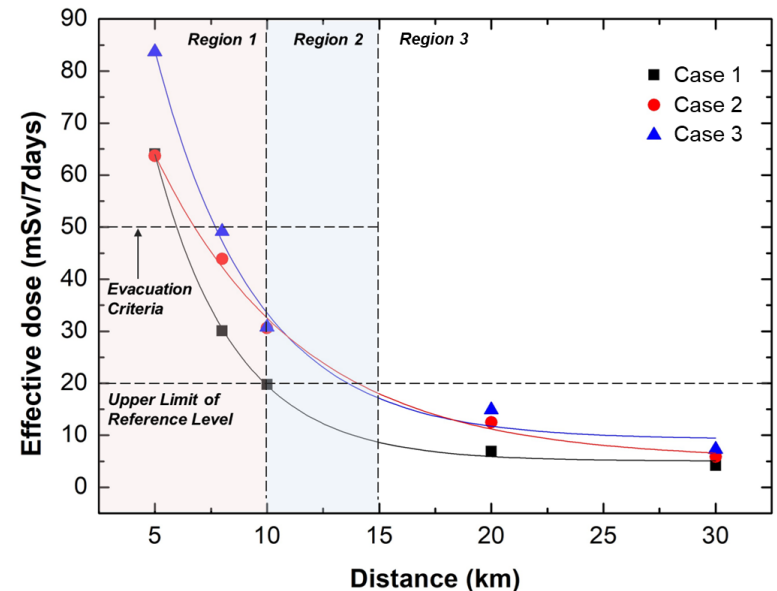
# IV. 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 개발

## ▶ 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 설정

### ■ EPZ 내부 의료기관에 대하여 원전으로부터 거리에 따라 3개의 그룹으로 나누어 방호 성능 기준 설정

- ✓ 지역/사고유형에 따라 예상피폭선량에 약간 차이가 있지만, 대체로 유사한 경향
- ✓ EPZ 내부에 있는 모든 병원시설에 동일한 기준을 적용하는 것은 불합리
- ✓ 일반인 참조준위 상한: 20 mSv (기준피폭상황) / 100 mSv (비상피폭상황)
- ✓ 방사능 재난 발생 시 원전지역 거리별 선량평가 결과 (ADAMO<sup>1)</sup>)
  - 대체로 원전반경 10 km 이내 지역에서 30~80 mSv (7일 기준) 수준
  - 원전반경 15 km 지점에서 약 18 mSv (7일 기준) 수준
- ✓ 국내 현장 방재센터 10~15 km 내 위치

- 1) EPZ 내부(<10 km): 방재센터 수준의 방호 성능 부여
- 2) EPZ 내부(10 ~ 15 km): 구호소와 동일한 방호 성능 부여
- 3) EPZ 내부(>15 km): 요건 없음



<중대사고 시 원전으로부터 거리에 따른 누적 유효선량 (7일 기준) 예>

1) ADAMO (Accident Dose Assessment and Monitoring): 방사성물질 확산 예측 및 선량평가(방사능 영향평가 정보시스템)

# IV. 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 개발

## 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 설정

방호계수

양압설비

기밀성

공기정화설비

### 01 방호계수

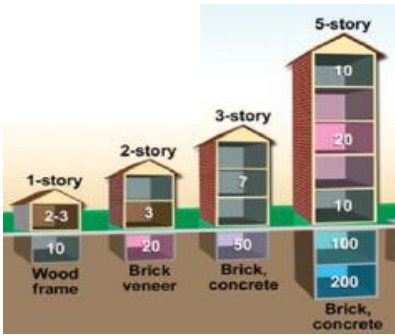
#### 1) EPZ 내부(<10 km)

- 중환자용 (ex. 중환자실)
  - 설정기준(안): PF ≥ 5 (콘크리트 건물)
- 의료진 및 시설 운영자용 (ex. 강당)
  - 설정기준(안): PF ≥ 5 (콘크리트 건물)

- 모든 건물에는 고유한 차폐 특성 존재. 목조건물을 제외한 건물 방호계수 PF 10 이상
- FEMA TR-87 (공공대피소 PF ≥ 40, 병원시설 PF ≥ 100)
- LLNL-TR-512111 (PF ≥ 10)
- US NRC EPZ 내부 비상대응시설 PF ≥ 5 (EPZ 반경: 16 km)
- 일본 내각부 방재센터 건물: 콘크리트벽

<건물 유형별 방호계수(PF, Protection Factor)>

Shelter Location	Protection Factor (PF)
Underground 3 feet	5,000
Wood Frame House	2-3
Basement	10-20
Vehicle	1.7-2
Apartment (upper stories)	100
Apartment (lower stories)	10
Concrete Blockhouse	
9-inch (23 cm) walls	10-150
12-inch (30 cm) walls	30-1000



# IV. 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 개발

## 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 설정

방호계수

양압설비

기밀성

공기정화설비

### 02 양압설비

#### 1) EPZ 내부(<10 km)

- 중환자용 (ex. 중환자실)
  - 설정기준(안): 60 Pa
- 의료진 및 시설 운영자용 (ex. 강당)
  - 설정기준(안): 5~12 Pa

<국내 방재센터 거주성 기준- 양압설비 관련>

양압설비

- 60 Pa 이상
  - 방재센터 시설 내부 양압상태 유지
  - 거주성 확인 시험-양압시험 시행 (주: 4년)

- 국내 방재센터 기준: 60 Pa 이상
  - FEMA 453/UFC 4-024-01 기준: Class 1 (75 Pa 이상), Class 2 (5~12 Pa), Class 3 (0 Pa)
- (중환자용 구역)
- 방사능재난 시 대응요원이 상주하는 방재센터의 양압기준(60 Pa) 고려
- (의료진 및 시설 운영자용)
- 의료진용 구역에 대해서는 의료진들이 24시간 병원 내에 상주하지 않는 것을 고려하여 FEMA 453 Class 2 기준(5~12 Pa)과 동일하게 설정
  - Class 2 시설의 경우 짧은 기간의 화생방 공격 대응을 위한 시설이며, 약한 양압을 형성하여 화생방 작용제에 대해서는 외부공기를 정화하여 지속적인 보호를 가능하게 함
  - Class 2의 5~12 Pa의 양압을 유지하기 위해서는 이중문 혹은 회전문을 설치하여야 하며, 시설에 대한 기밀성 확보 및 테스트도 진행해야 함

# IV. 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 개발

## 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 설정

- 방호계수
- 양압설비
- 기밀성
- 공기정화설비

### 03 기밀성

#### 1) EPZ 내부(<10 km)

- **중환자용 (ex. 중환자실)**
  - 설정기준(안): 이중문 / 현관 도어 및 창문 기밀
- **의료진 및 시설 운영자용 (ex. 강당)**
  - 설정기준(안): 이중문 / 현관 도어 및 창문 기밀

#### <국내 방재센터 거주성 기준-기밀성 관련>

거주성 확보를 위해 창호 및 현관 도어에 대한 기밀 방안 마련

- 양압을 유지하기 위해서는 출입문 이중화 및 창문의 기밀 등이 필요
- 검증된 등급 이상의 기밀 성능을 갖는 여닫이 창호를 사용
  - ✓ 현관 도어는 KS F 2292에 의해 검증된 등급 이상의 기밀 성능을 갖는 시스템 도어
  - ✓ 현관 도어 하부는 장비의 반출입이 가능하면서 기밀을 유지할 수 있도록 턱을 최소화

- 국내 방재센터에서는 현관 도어와 창문의 기밀성 유지를 제시
- FEMA 453 Class 2에서는 현관 진입 시 이중문이나 회전문의 설치로 양압 형성이 지속적으로 이루어지도록 설계하는 것을 제시
- 일본내각부에서도 시설 내에서 피폭 방사선량 줄이기 위하여 창문 등의 기밀성 향상을 기준으로 제시
- 여러 기준에서 공통적으로 제시하고 있는 이중문, 현관 도어 및 창문의 기밀을 성능 기준으로 설정

# IV. 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 개발

## 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 설정

방호계수

양압설비

기밀성

공기정화설비

### 04 공기정화설비

#### 1) EPZ 내부(<10 km)

- 중환자용 (ex. 중환자실)
  - 설정기준(안): HEPA 필터를 갖춘 공기정화설비
- 의료진 및 시설 운영자용 (ex. 강당)
  - 설정기준(안): HEPA 필터를 갖춘 공기정화설비

<FEMA 453 대피소 설계 지침-공기정화설비 관련>

구분	기준
Class 1	<ul style="list-style-type: none"><li>HEPA 필터(99.97%)</li><li>초고효율 가스 흡착기 직렬 연결</li></ul>
Class 2	<ul style="list-style-type: none"><li>HEPA 수준 필터</li></ul>

- 국내 방재센터 공기정화설비: HEPA 필터, 활성탄 필터, 프리 필터, 미디움 필터
- 활성탄 필터로 차단 가능한 방사성 요오드는 주민보호조치 시 지급되는 갑상샘방호약품 복용을 통해 효과적으로 방호 가능 (NUREG-0696)
- FEMA 453 Class 1 및 Class 2 모두 HEPA 수준(MERV 17) 필터를 기준으로 제시
- 미국 EPZ 내부 비상대응시설 및 일본내각부 시설 기준에서도 HEPA 필터 제시



# IV. 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 개발

## ▶ 국내 EPZ 내 의료기관 방사선 방호 성능기준(안)

<EPZ 내 실내대피시설(병원시설) 방호성능 기준(안)>

위치	시설유형	방호성능지표	기준	근거
EPZ 내부 ( < 10 km )	병원(중환자용) < 예 > 중환자실 >	방호계수	• PF ≥ 5 (콘크리트 건물)	• FEMA & LLNL / U.S.NRC NUREG-0696
		양압설비	• 60 Pa 이상	• 국내방재센터/ FEMA 453 Class 1 / UFC 4-024-01
		기밀성	• 이중문 • 현관 도어/창문 기밀	• 국내방재센터/ FEMA class2 / 일본 내각부 / U.S.NRC NUREG-0696
		공기정화설비	• HEPA 필터를 갖춘 공기정화설비	• 국내방재센터/ FEMA 453 Class 1 / UFC 4-024-01/의료법 시행규칙
	병원(의료진용) < 예 > 강당 >	방호계수	• PF ≥ 5 (콘크리트 건물)	• FEMA & LLNL / U.S.NRC NUREG-0696
		양압설비	• 5~12 Pa	• FEMA 453 Class 2
		기밀성	• 이중문 • 현관 도어/창문 기밀	• 국내방재센터/ FEMA class2 / 일본 내각부 / U.S.NRC NUREG-0696
		공기정화설비	• HEPA 필터를 갖춘 공기정화설비	• 국내방재센터/ FEMA 453 Class 1 / UFC 4-024-01 / 의료법 시행규칙
EPZ 내부 ( 10~15 km )	병원 (중환자용&의료진용)	방호계수	• PF ≥ 3 (콘크리트 건물) *목조건물(PF 2~3) 제외	"구호소 방사선 방호 성능 기준(안)과 동일"
		양압설비	• 0 Pa	
		기밀성	• 문틈 및 창문 기밀 테이프 • 환풍기 커버	
		공기정화설비	• 시설용량에 맞춘 공기정화설비 (CO <sub>2</sub> 저감 목적) • HEPA 필터는 요구되지 않음	

1) 전북대학교, "구호소 및 대피수단 방사선방호 기준 개발", 2023 대한방사선방어학회 춘계학술대회 워크숍 I. 방사능재난 대피시설 방호기술 개발 (2023)

## ➤ 국내 EPZ 내 의료기관 방사선 방호 성능기준(안) 개발

- 국내 EPZ 내 방사선비상진료기관 현황 조사
- 국내·외 병원시설 지정기준 조사
- 국내·외 대피시설 및 방재 관련 시설 기준 조사 및 분석
- EPZ 내 의료기관 방사선 방호 성능 지표 도출
- EPZ 내 의료기관 방사선 방호 성능 기준(안) 개발



EPZ 내 의료기관 방호 성능 확보를 통해 방사능재난 시 재난약자 및 의료진의  
내·외부피폭을 최소화하여 방사선 영향에 대한 안전 확보 및 지속적인 의료 제공



방사능재난 대피시설 방호기술 개발

# 감사합니다.

THANK YOU FOR YOUR KIND ATTENTION