





# 국가기반시설 물리적 방호체계 운영개념 및 설계방법 개선방안 연구: 원자력발전소를 중심으로

나 석 종\* · 성 하 안\*\* · 최 선 희\*\*\*

## 〈요 약〉

한국의 국가기반시설은 시설규모가 증가하고 밀집되어 강화된 북한의 국지도발, 테러공격을 위한 풍부하고 매력적인 잠재적 표적으로 식별될 것이다. 또한 드론위협, 주 52시간 근무제도에 따른 경비병력 부족 등의 보안환경 변화에 따라 현 물리적 방호체계에 대한 유효성과 적절성을 재평가하고 전환을 고려할 시점으로 사료된다.

본 연구에서는 국가기반시설 중 원자력발전소의 외곽 물리적 방호체계에 집중하여 국가기반시설 외곽 물리적 방호체계의 전환 방향과 개선방안을 운영개념 및 설계 방법론 측면에서 연구하였다. 원자력발전소에 집중하는 이유는 원자력발전소는 피해 시 전기발전 중단 의 단기적인 피해와 함께, 방사능 물질 유출과 오염에 따르는 광범위하고 장기적인 피해가 발생하므로 가장 높은 보안수준을 필요로 하기 때문이다.

개선방향 도출 목표로 국내 연구동향과 국내·해외 관련법을 종합 검토하고 한국의 특수성을 고려하여, 과학화, 기동화, 유연성으로 운영개념을 재설정하고 체계전환의 기준을 수립하였다. 새로운 외곽 물리적 방호체계의 기술적 성능개선을 위하여 개별설계에서 탈피, 고신뢰성·다방법론 기반의 통합설계 방법론 적용방안을 연구하고 구매제도 개선 및 해외 수출, 他국가기반시설로의 확대적용을 제언한다.

**주제어** : 물리적 방호체계(PPS), 물리적 방호운영개념, DRI, 가시성분석, 고신뢰성·다 방법론 기반 통합설계

\* 고려대학교 정보보호대학원 융합보안학과 석사과정 (제1저자)

\*\* 에스원 SP사업부 SI컨설팅그룹 과장 (교신저자)

\*\*\* 에스원 SP사업부 SI컨설팅그룹 대리 (공동저자)

목 차
-----

- |   |
|---|
| <p>I. 서 론</p> <p>II. 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계 전환의 배경 및 필요성</p> <p>III. 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계 연구동향 및 현안분석</p> <p>IV. 외곽 물리적 방호체계 운영개념 및 성능개선 설계방안 연구</p> <p>V. 결론 및 시사점</p> |
|---|

## I. 서 론

한국의 국가기반시설은 국가 경제성장과 함께 시설규모와 중요성, 복잡도가 크게 증가하였으며 국내·외 보안환경 변화에 따른 새로운 보안 요구사항으로 현 국가기반 시설 물리적 방호체계(Physical Protection)<sup>1)</sup>의 유효성(Effectiveness)과 적절성(Appropriateness)를 재검토하여 한국의 상황에 맞는 새로운 체계로 전환을 고려할 시점으로 사료된다. 특히, 대표적이며 사고발생 시 국가경제와 환경에 지속적이면서도 광범위한 영향을 발생할 수 있어 중요도가 가장 높은 원자력발전소의 외곽 물리적 방호체계를 주연구 대상으로 선정한다.

우선 원자력발전소의 물리적 방호체계의 전환의 배경, 현안 및 원인을 이해하여야 새로운 물리적 방호체계의 전략과 방향설정, 개선방안 도출이 가능한데, 우선 배경

1) 물리적 방호체계는 1972년 경 Sandia National Laboratory에서 연구가 시작된 원자력발전소의 보안체계를 가리키는 용어이다.(INIS, <https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=18101080>, IAEA (검색일자: 2019. 11. 12). Mary Lynn Garcia (2007. 5. 17). "The Design and Evaluation of Physical Protection System, 1st ed.", Butterworth-Heimann, Massachusetts, US, 1, 6-7 에서 "물리적 방호체계(Physical Protection System, PPS)는 절도, 파괴(Sabotage), 또는 악의적인 인원의 공격에 대하여 자산과 시설의 보호를 위한 인력(People), 절차(Procedures), 장비(Equipment)를 통합한다. PPS의 목적은 적(Adversary)이 시설에 대한 악의적인 행동의 성공적 완료를 예방하는 것이며 주기능은 탐지(Detection), 지연(Delay) 및 대응(Response)이다."라고 PPS의 목적과 기능을 기술하였다.

이해를 위하여 동인분석(Force Analysis)방법론의 PESTEL요소<sup>2)</sup>를 활용하여 보안환경 변화와 원자력발전소 물리적 방호체계 전환의 동인(Force)을 다측면에서 분석한다. 원자력발전소 방호체계 현안과 원인분석을 위하여 DEPO방법론<sup>3)</sup>에 기반한 원자력 발전소의 물리적 방호체계 3단계 프로세스(목적결정 → 설계 → 분석평가)에 대한 국내 연구동향과 영역을 추적하여 보면 “목적결정, 분석평가”에 연구가 집중되고 “설계”영역에는 연구가 거의 이루어지지 않고 있음을 제시하여 본 연구의 중요성을 제고하고자 한다. 여러 부서가 참여한 개별설계 프로세스와 기존의 2D 방식 및 경험에 의존한 저신뢰성 설계방법으로 물리적 방호체계 구성요소인 “지연, 탐지, 대응”의 성능이 저하되고 통합성능이 발휘되지 않는 문제점을 제시하고자 한다. 한편 국내·해외 원자력발전소 물리적 방호체계의 법적 보안요구사항을 보면 한국의 남북 대치 특수성으로 원자력 방호 외, 국방부, 국정원의 보안요구사항이 있어서 보안 규제 준수에 어려움을 발견하였다. 이에 따른 원자력발전소 물리적 방호체계 전환과 개선을 위한 시사점으로 물리적 방호개념 재설정 및 설계체계의 개선방안 필요성을 도출하였다.

개선방안으로서 위협을 재정의하고 특히, 드론과 같은 신규위협을 포함하여 새로운 원자력발전소 물리적 방호체계 설계 고려사항을 식별하고자 한다. 북한과 대치하는 한국의 정치·사회적 특수성으로 한국의 원자력발전소 관련 물리적 방호기준 외 통합방위법도 적용받고 있는데 원자력발전소 및 국가중요시설 보안요구사항을 충족하는 한국형 원자력발전소 물리적 방호운영 개념을 재설정하고 새로운 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계로의 전환과 개선을 위한 고신뢰성·다방법론 기반 통합설계방법론을 제시하고자 한다.

결언 및 시사점으로 개별·통합설계방식의 차이점과 예상효과를 요약 제시하고 시사점으로 새로운 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계의 국내 기반시설로의 확대, 한국 국가기반시설의 해외수출에 기여하는 패키지 방안과 현 정부·공기업 계약제도의 제약사항에 대한 제도적 개선의 필요성도 통합설계방법론 적용의 전제조건으

2) Force Analysis는 사업에 영향을 미치는 대내·외 영향요소와 환경을 PESTEL요소관점에서 종합 분석하는 사업환경분석방법론이다. PESTEL은 Political(정치), Economic(경제), Socio-demographic(사회인구), Technological(기술), Environmental(환경) 및 Legal(법)의 약자이다.

3) DEPO(Design Evaluation Process Outline)는 ‘목적결정 → 설계 → 분석평가’의 3단계 프로세스로서 1970년대 말 美 Sandia National Laboratory에서 개발한 물리적 방호체계 설계 및 평가 방법론으로 35년 이상 지속적으로 검증 및 발전되어 왔다.

로 제언하였다.

원자력발전소 물리적 방호체계는 국가기반시설의 보안이라는 고유속성으로 비밀 정보·자료와 관련되어 일부 상세 기술과 비교가 어려워 기본적인 모델링과 모의분석으로 대체하는 제약사항이 있음에 양해와 이해를 부탁드립니다.

## II. 원자력발전소 물리적 방호체계 전환의 배경 및 필요성

본 장에서는 기존 원자력발전소 물리적 방호체계 전환에 영향을 주는 요인과 요구사항을 PESTEL(정치, 경제, 사회, 기술, 환경, 법)요소 관점에서 검토하여 위협식별 및 물리적 방호체계 전략, 방향설정의 기준정보로 활용한다.

### 1. 정치·사회관점 : 원자력발전소 규모증가·밀집에 따른 취약성

한국의 원자력 발전소는 전기수요 및 설비용량의 증가에 따른 시설규모의 증가와 집중으로 원자력 시설대비 인구 밀집도가 세계최대이다. 특히 시설과 인구 밀집은 “Target Rich, Target Attractive (풍부한 표적, 매력적인 표적)”라는 테러공격대상 선정의 대표속성에 속한다. 고리·새울지역은 반경 30km내 380만명이 거주하고 있어 캐나다 브루스(Bruce) 원자력발전소와 함께 전세계에서 원전이 6기 이상 집중된 단지 중 세계 최다 원자로·인구가 밀집한 지역이다<sup>4)</sup>. <그림 1> 참조.

### 2. 정치·기술관점 : 새로운 위협 등장, 강도 강화 및 공격양상 다양화

북한은 한국군과의 재래전 능력의 열세를 만회하기 위하여 특수부대 증강 및 중요시설 침투·타격 연습, 경상북도 일부도 포함하는 장사정포 개발 등 비대칭 전략·전술에 집중하여 국가기반시설을 포함한 후방지역 국지도발 위험이 크게 증가하고 있다. 전 세계적 측면에서 테러 공격의 양상과 전술이 다양화되며 재래식 테러(총기, 폭탄) 외 일상 물품을 무기화하여 테러에 이용하는 “Low Tech 테러”라는 새로운 테러전술도 등장하였다<sup>5)</sup>. 산업용 핵물질, 산업용 독가스 살포는 대표적인 Low Tech

4) 한겨레 (2016.9.13.). “한국 원전밀집 1위, 주변인구는 후쿠시마 22배”

5) 한국일보 (2017.8.27.). “브뤼셀·런던서 또 ... 유럽 ‘로 테크 테러’ 공포”

공격전술로 예측되며 핵물질을 보유한 원자력발전소도 핵물질 탈취를 목적으로 한 테러리즘 공격의 목표가 될 잠재성을 가지고 있는 것으로 사료된다

또한, 기술의 발전으로 드론을 이용한 정찰·공격위험이 높아지고 있다. 최근 고리원전 상공에 이틀 연속 드론 추정 비행체 출현<sup>6)</sup>과 드론을 이용한 사우디아라비아 원유시설에 대한 공격사례<sup>7)</sup>는 이제 드론의 위험이 실재한다는 것을 보여주는 대표적인 사례며 이에 대한 대응책 준비가 필요한 것으로 사료된다.



한국 고리·새울지역

캐나다 브루스(Bruce)

〈그림 1〉 한국·캐나다 원자력발전소 밀집 현황

### 3. 경제·기술관점 : 주 52시간 근무 및 원자력발전소 해체 관련 준비 필요

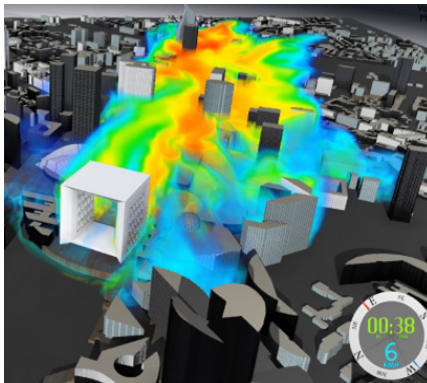
고리 등 한국 원자력발전소는 설계수명 종료에 따라 2023년~2029년까지 총 10기의 원자력발전소 해체(Nuclear Decommissioning)가 필요하며 “원전해체 중 보안(Nuclear Decommissioning Security)”은 국내 경험과 기술이 없어서 새로운 물리적 방호대책이 필요하다. 원자력발전소 해체 시 방사능 방호시설 제거, 방사능으로 오염된 시설·설비잔해가 산재, 운영원전과 해체원전의 공존, 다수의 공사인원 출입 등 공정 진행에 따라 보안위험도와 방호선이 지속변경되면서 불확실하고 유동적 환경 조건에서 보안체계를 구축하고 운영·관리해야 한다.

6) 경향신문 (2019.10.3.). “드론에 뚫린 안보 ... 원전·휴전선 등 비행금지구역 드론 비행 급증”  
 7) 동아일보 (2019.9.16.). “드론 10대 공격에 ... 사우디 석유생산, 걸프전 이후 최대 타격”

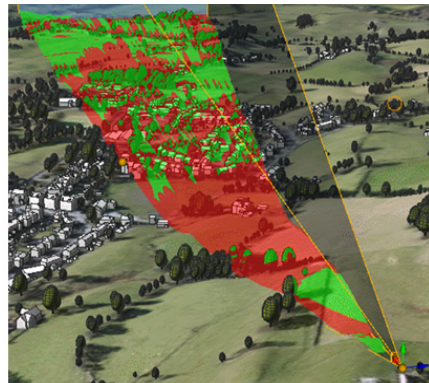
주 52시간 근무시간 도입으로 인원 확충이 어려운 현실에서 보안근무자의 휴식시간 보장 및 복지 등을 위하여 부족한 보안인력 운영대책도 필요하다.

#### 4. 기술관점 : 고신뢰성(High-fidelity) 기반 M&S·V<sup>8)</sup> 기술 활용 낮음

New IT기술 및 컴퓨팅 기술의 발전으로 고신뢰성 기반의 모델링 및 시뮬레이션, 가시화 기술이 발전하여 현상의 거동(Behavior)모사 및 예측의 정확도가 크게 향상되었다. 3D 지리공간 기술 및 물리·수학엔진을 활용한 디지털트윈 및 행위기반 전투 모델링 등이 상용화되어 스마트팩토리, 스마트시티 및 미국 DoE의 원자력발전소별 물리적 방호 유효성 평가를 위한 대항군 연습(Force-on-Force Exercise) 등 세계적으로 다방면에서 광범위하게 이용되고 있는 반면, 국내 물리적 보안산업계는 고신뢰성 기반의 모델링 및 시뮬레이션, 가시화 기술의 활용이 매우 낮은 실정이다.



도시공간 내 유독가스 확산 모델링  
(프랑스 닷소社 3DExperience)



야외지역 감시성능·사각지역 분석  
(미국 ESRI社 CityEngine)

〈그림 2〉 디지털트윈 기술의 물리적 보안활용 사례

8) M&S·V : Modeling & Simulation, Visualization, 모델링 및 시뮬레이션, 가시화

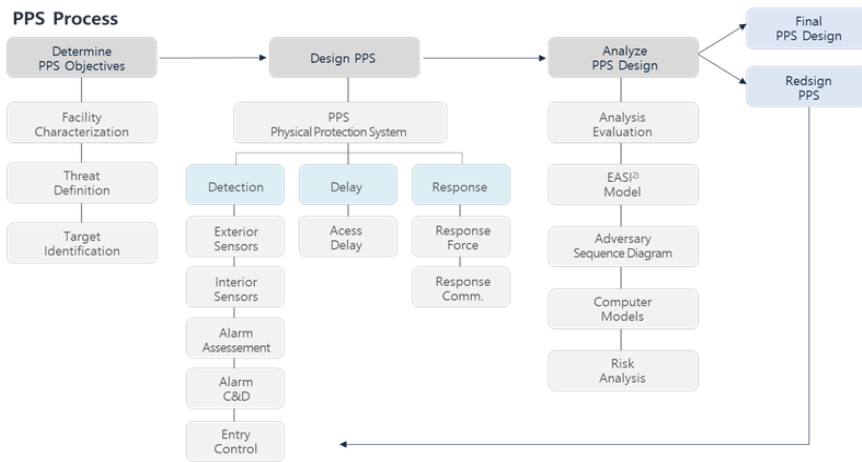


### Ⅲ. 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계 연구동향 및 현안분석

원자력발전소 물리적 방호체계 이해의 핵심인 DEPO기반의 PPS프로세스를 소개하고 3단계 프로세스 영역별 원자력발전소 물리적 방호체계에 대한 국내 연구동향 및 현안을 분석하여 개선사항을 도출한다. 또한 국내·해외 물리적 방호체계의 법, 규정, 표준 등을 종합검토하여 한국의 특수성과 국제 원자력발전소 보안요구사항을 충족하는 분석평가·개선대책의 기준을 제시하고자 한다

#### 1. DEPO 방법론 기반, 원자력발전소 물리적 방호체계 프로세스

DPEPO방법론 기반 PPS 프로세스는 “목적결정 → 설계 → 분석평가” 3단계 프로세스로서 원자력발전소에 대한 위협정의, 표적식별 후 지연, 탐지, 대응요소를 연속된 프로세스로 통합설계하고 방호성능 유효성을 검증하는 물리적 방호체계 설계·평가 방법론이다.



〈그림 3〉 물리적 방호체계 설계·평가 프로세스  
(Physical Protection System Design & Evaluation Process)

9) Mary Lynn Garcia (2007. 5. 17). “The Design and Evaluation of Physical Protection System, 1st ed.”, Butterworth-Heimann, Massachusetts, US. 4

## 2. 국내 연구동향

본 절에서는 물리적 방호체계 프로세스의 영역(전체 프로세스, 목적결정, 설계, 분석평가)에서 국내 원자력발전소 물리적 방호체계 연구동향을 검토하고 연구영역의 분포를 식별하여 본 연구의 필요성과 현재 연구의 문제점을 제시하고, 개선방향 설정을 위한 시사점을 찾고자 한다.

“물리적 방호” 키워드로 최근 10년(2010~2019)간의 학술논문과 학회지를 검색하면 학위논문 (K-eArticle) 110개, 국가과학기술전자도서관(NDSL<sup>10</sup>) 65개, 학술연구정보서비스(RISS<sup>11</sup>) 69개의 결과를 얻을 수 있으며 실제 물리적 방호체계와 연관된 학위논문·학회지·단행본은 13개로 압축된다. 아래 <표 1>과 같이 13개 연구성과 중 12건(92.3%)이 전체 프로세스, 목적결정 및 분석평가 연구영역에 편중되어 있고 설계와 관련한 연구는 단 1건(0.7%)으로 물리적 방호체계 설계방법에 대한 연구가 시급한 것으로 분석되었으며 설계방법론을 제시하는 본 연구가 의미가 있는 것으로 판단된다.

## 3. 원자력발전소 물리적 방호체계 관련법·규격체계 분석

원자력발전소의 물리적 방호체계는 IAEA 및 NRC의 보안권고·규격에 따라 각 국가별 제정된 법·규정을 준수하여 구축, 운영관리 및 평가된다. 그러나 한국의 경우, 북한과 대치상황에서 후방지역 국지도발과 관련된 통합방위법도 적용받고 있다. 이에 따라 한국 원자력발전소의 물리적 방호체계 관련법·규격체계는 크게 규제주체에 따라 <표 2>와 같이 2개 영역, 7개 하위영역으로 구분할 수 있다. 2개 영역은 “원자력발전소 물리적 방호”와 “한국특화 국방·보안법”으로 구분된다. 물리적 방호는 다시 IAEA, NRC, 국내 관련법·고시 및 원자력발전소 내부규정의 4개 하위영역으로 분류될 수 있으며 한국특화 국방·보안관련 법은 통합방위법, 청원경찰법 및 경비업법으로 분류할 수 있다. 원자력발전소 물리적 방호체계는 「원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법(이하 “방사능방재법”）」을 준수하여 물리적 방호체계를 구축

10) NDSL(National Digital Science Library)는 국가과학기술전자도서관으로서 한국과학기술정보연구원(KISTI, Korea Institute of Science and Technology Information)에서 운영

11) RISS(Research Information Sharing Service)는 학술연구정보서비스로서 교육부 출연기관인 한국교육학술정보원(KERIS, Korea Education and Research Information Service)에서 운영

〈표 1〉 원자력발전소 물리적 방호체계 연구영역 분포

항목	수량	세부내용
전체 프로세스	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 우태호(2013). 원자력 발전소의 물리적 방호에 관한 연구. 서울대</li> <li>▪ 최지은, 장성순, 고문성 (2016). 원자력시설의 전주기 물리적 방호를 구축하기 위한 국내외 동향 분석. 한국방사성폐기물학회 학술대회논문집</li> <li>▪ 지문구, 김명수(2015). 신규원전을 위한 물리적방호체계 구축 프로세스 개발. 대한전기학회 학술대회 논문집, Vol,2014 No.7</li> <li>▪ 지문구, 김명수 (2015). 국제기준을 만족하는 원전 물리적 방호체계 제안. 한국에너지공학회 학술발표회, Vol,2015 No.11</li> <li>▪ 김종천 (2016). 원자력발전소시설 전주기적 물리적 방호 규제체계정립을 위한 법제개선 방안, 법학논문집, 제40집 제3호</li> </ul>
목적결정	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 최영, 김길유, 정우식, 박희성, 신희성, 김호동 (2011). 물리적 방호에서의 핵심구역과아 예비분석, 한국방사성폐기물학회 학술논문요약집, Vol.9 No.1</li> <li>▪ 원자력통제기술원 (2012). 물리적방호 분야 신기술개발, 원자력연구개발사업 연구보고서, 교육과학기술부</li> <li>▪ 정우식, 황미정, 강민 (2017). 원자력발전소의 물리적방호를 위한 핵심구역과아 규칙 개발 및 적용. 한국안전학회지, 제32권 제3호</li> </ul>
설계	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 최영, 송대용, 신희성, 김호동 (2011). 원자력 시설의 물리적 방호 개념설계 및 특성분석, 한국방사성폐기물학회 학술논문요약집, Vol.9 No.2</li> </ul>
분석·평가	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 원건연, 서장훈, 고문성 등(2016). 물리적방호 취약성 평가프로그램(AVERT) 성능인자 분석, 한국방사성폐기물학회 학술논문요약집, Vol,2016 No.10</li> <li>▪ 서장훈, 장성순, 유호식 (2016). 시설 모델링 방식에 따른 물리적 방호 취약성 평가 프로그램 분석. 한국방재학회, Vol,16 No.5</li> <li>▪ 강연욱, 백인선 (2019). 국내 원자력시설 물리적방호 시스템의 취약성평가를 위한 시물레이션 방법 및 절차. 대한산업공학회 춘계학술대회 논문집, Vol,2019 No.4</li> <li>▪ 강연욱 (2018). 고급행동기능 시물레이션을 통한 원자력시설의 물리적방호 취약성평가. 한국경영과학회 학술대회논문집, Vol,2018 No.04</li> </ul>
계	13	

※ 출처 : 조사자료 정리(2018)

하며 원자력안전위원회 승인을 받고 검사(최초, 정기, 운반, 특별검사)를 받아야 한다. <표 2> 참조

〈표 2〉 국내·해외 원자력발전소 물리적 방호관련 법·규격체계

영역	하위영역	수량	
원자력발전소 물리적 방호	IAEA 권고·협약	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IAEA (2011). INFCIRC/225/Rev.5 Nuclear Security Recommendations on Physical Security of Nuclear Material &amp; Nuclear Facilities</li> <li>▪ IAEA (2016). INFCIRC/274/Rev.1/Mod 1 Amendment to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material</li> </ul>
	NRC 법·규정	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 10CFR Part 73 (2018). Physical Protection of Plants and Materials</li> <li>▪ Regulatory Guide 5.44 (1997). Perimeter Intrusion Alarm Systems, Rev.3</li> <li>▪ Regulatory Guide 5.54 (1978). Contingency Plans for Nuclear Power Plants</li> <li>▪ Regulatory Guide 5.65 (1986). Vital Area Access Controls, Protection of Physical Security Equipment, and Key &amp; Lock Controls</li> <li>▪ Regulatory Guide 5.69 (2014). Guidance for Application of the Radiological Sabotage Design Basis Threat</li> <li>▪ Regulatory Guide 5.70 (2014). Guidance for the Application of the Theft and Diversion Design-Basis Threat</li> <li>▪ Regulatory Guide 5.81 (2013). Target Set Identification and Development for Nuclear Power Reactors</li> <li>▪ NUREG-1959 (2011). Intrusion Detection System &amp; Subsystems</li> <li>▪ NUREG-1964 (2011). Access Control Systems</li> <li>▪ NUREG-7145 (2013). Security Assessment Guide</li> </ul>
	국내 법·규격	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 원자력안전위원회 (2016). 원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법 (시행령, 시행규칙)</li> <li>▪ 원자력안전위원회 (2017). 원자력시설등의 방호검사에 관한 규정</li> <li>▪ 원자력통제위원회 (2016). (대외비) 물리적 방호 기준</li> </ul>
	내부규정	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (3급비밀) 위협경의</li> </ul>

※ 출처 : 조사자료 정리(2018)

한편, 국가중요시설 관련 「통합방위법」, 국가보안목표 관련 국가정보원의 「(3급비밀) 국가보안시설 및 보호장비 관리지침」, 청원경찰 및 특수경비원 운영과 관련된

「청원경찰법」 및 「경비업법」을 준수하여야 한다. <표 3> 참조

**<표 3> 한국특화 원자력발전소관련 국방·보안법·규격체계**

영역	하위영역	수량	
한국특화 국방·보안 관련	국가 중요시설	1	▪ 국방부 (2017). 통합방위법
	국가 보안목표	1	▪ 국가정보원. (3급비밀) 국가보안시설 및 보호장비 관리지침
	보안인력 운영	2	▪ 경찰청 (2017). 청원경찰법 ▪ 경찰청 (2018). 경비업법

※ 출처 : 조사자료 정리(2018)

국내 물리적 방호체계 법 및 규격의 현안을 보면 보안운영 및 보안기술 관점에서 크게 2가지로 요약할 수 있다. 첫 번째 보안운영 관점에서 원자력 관련 보안규제와 국방부 및 국가정보원의 보안요구사항, 2개의 보안규격이 적용되고 있어 원자력발전소 시설주와 운영자는 이중규제 준수의 부담을 안고 있다. 둘째로 보안기술 관점에서 「방사능 방재법」 및 원자력안전위원회, 원자력통제위원회 등에서 정한 물리적 방호체계의 기준이 있으나 미국 등 최상위 규제기관 요구사항 대비, 영역별 상세기준이 미비한 실정이다. 미국 원자력규제위원회는 물리적 방호관련 법(NRC Part 73), 상세해설서(NRC Regulatory Guide), 및 상세기술규격(NRC Nuclear Regulation) 등 10개 이상의 기준과 규격을 제정·운영하는 반면, 국내의 경우, 방사능 방재법 및 원자력규제위원회, 원자력통제위원회의 규정을 적용하고 있는 것이 현실이다. (일부 비밀사항으로 상세 기술 생략함)

#### 4. 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계 현안 및 원인분석

본 절에서는 물리적 방호체계 프로세스에 기반하여 물리적 방호 운영개념, 위협정의 및 외곽 물리적 방호체계 설계방법에 기인한 원자력 발전소 뿐만 아니라 국가기반시설, 민간시설의 공통적인 보안취약성을 설명하고자 한다.

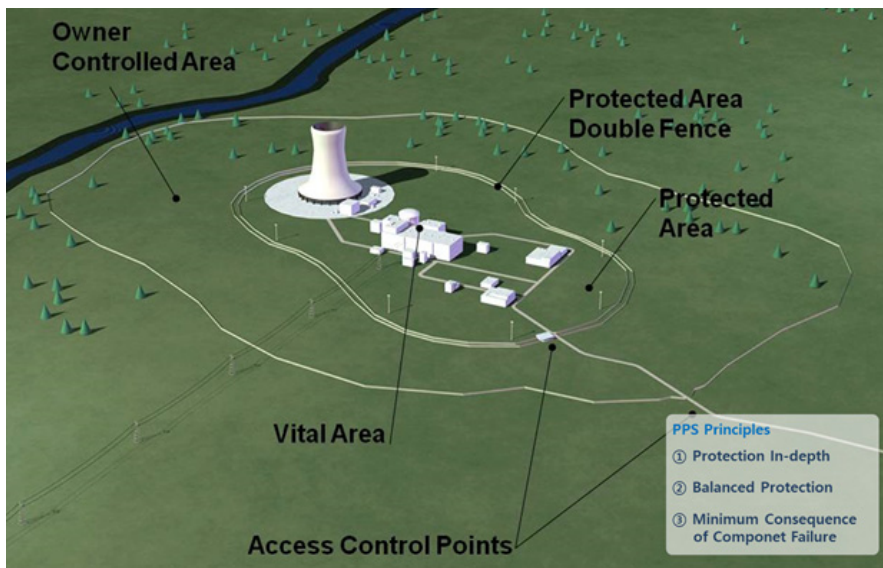
##### 1) 원자력발전소 물리적 방호 운영개념

미국 원자력규제위원회(NRC, Nuclear Regulatory Commission)에서 요구하는 원자

력발전소 물리적 방호 기본개념을 우선 검토하고 한국의 운영개념과 공통점 및 차이점을 비교하여 개선체계 운영개념 재정의의 위한 밑그림을 도출한다.

(1) 美 NRC기준 물리적 방호체계 운영개념

美 원자력발전소 물리적 방호체계의 공통 운영개념은 <그림 2>와 같이 3단계 방호개념을 적용하고 있으며 한국도 동일하나, 국방부 통합방위법 및 국가정보원 보안관련 규제가 적용되어 차이점을 가지고 있다.

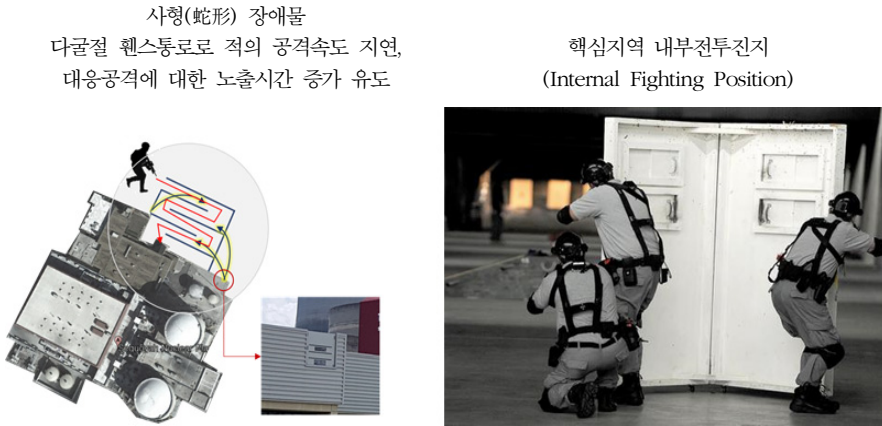


<그림 4> 미국 원자력발전소 다단계 물리적 방호체계 표준모델

※ 출처 : NEI(Nuclear Energy Institute) 이미지 활용

美원자력발전소의 물리적 방호체계는 3단계의 “중심깊은 방호 (Protection In-depth)” 개념으로서 OCA(Owner Controlled Zone)는 시설주가 관리하는 영역으로 NRC 물리적 방호체계 규정이 적용되지 않는 방호선으로서 시설주 판단에 따라 펜스로 경계를 표시하고 감시시스템을 운영한다. PA(Protected Area)부터 NRC Part 73의 물리적 방호체계 규제를 적용하여 관련법과 규정에서 정의한 지연, 탐지 및 대응 3개 요소가 적극적으로 구축·운영된다. 발전소 건물인VA(Vital Area)는 가장 핵심지역으로서 발전소 외부에는 물리적 지연(Delay)·차단(Deterrence)대책

을 운영하여 침투하는 적을 점진적으로 약화·무력화시킨다. 또한 발전소 건물 내부에도 방사능 파괴행위 및 방사능 물질의 유용·절도의 공격대상이 되는 표적집합(Target Set) 접근경로 상 내부 대응진지(Internal Fighting Position) 등을 운영하여 침투하는 적을 최종 차단·무력화한다. <그림 5> 참조



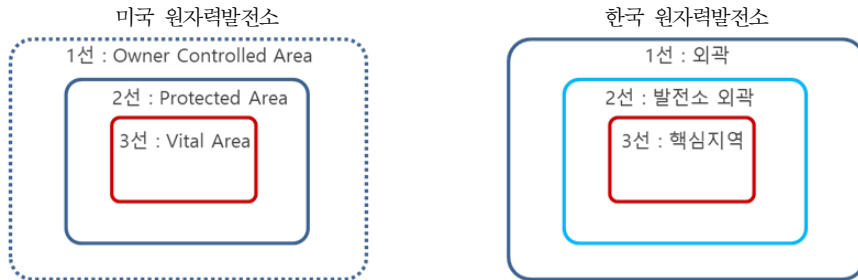
<그림 5> 핵심지역 지연·차단대책 사례

**(2) 미국·한국 원자력발전소 물리적 방호체계 운영개념 비교<sup>12)</sup>**

미국과 한국 원자력발전소의 물리적 방호체계를 비교하여 국제 기준을 충족하면 서도 한국의 안보 특수성, 국방 및 사회, 기술 등을 고려한 한국형 원자력 발전소 물리적 방호 운영개념을 검토하고자 한다.

<그림 6>에서 보면 미국은 2선 Protected Area부터 NRC 보안요구사항을 적용하 고 3선 Vital Area는 더욱 강화된 물리적 방호체계를 운영하고 있다. 반면 한국은 안 보 특수성으로 3개의 보안규제사항이 있다. 국방부 요구 “국가중요시설”, 국가정보 원 요구 “국가보안목표시설”, 및 원자력안전위원회 「방사능방재법」을 준수하여야 한다. 따라서, 한국의 원자력발전소 시설주와 물리적 방호 담당자는 외곽(1선)부터 핵심지역(3선)까지 다단계 방호를 모두 구축·운영해야 하는 부담을 안고 있는 실정 이다.

12) 한국 원자력발전소 물리적 방호체계의 상세내용은 비밀로서 논문에서는 상세 언급하지 않음.



〈그림 6〉 원자력발전소 물리적 방호선 비교

## 2) 원자력발전소에 대한 위협 재정의

일반적으로 발전시설·기능의 파괴에 따른 발전·전원공급 중단을 발전소 공격 목적으로 이해하지만 원자력발전소의 경우, 방사선 핵물질을 발전의 연료로 사용하여 일반인이 이해하는 위협과 전혀 다른 위협을 고려해야 한다. NRC Part73에서 원자력발전소의 위협을 방사능 파괴행위(Radiological Sabotage) 및 방사능 물질의 절도·유용(Diversion) 2개로 정의하고 있다.<sup>13)</sup> 또한, 한국 「방사능방재법」 제8조 2항에서도 물리적 방호요건을 NRC와 동일하게 정의하고 있다<sup>14)</sup>.

차량·소형선박에 의한 강습 폭탄공격, 소규모 특수부대의 침투 등은 위협이 아닌 방사능 파괴행위 및 방사능 물질의 절도·유용을 위한 공격전술로 이해하고 최종 표적을 공격목표로 하는 적의 공격경로, 시간, 전술에 대하여 방호방안을 연속적 관점에서 고려해야만 한다<sup>15)</sup>. 원자력발전소 물리적 방호에서는 이를 적 공격시간

13) NRC 10CFR Part 73

73.1 (a) The following design basis threats shall be used to design safeguards systems to protect against acts of radiological sabotage and to prevent the theft or diversion of special nuclear material

14) 원자력안전위원회(2017). 원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법

제8조(물리적방호 대상 핵물질의 분류 등) ②항에서 물리적 방호에 관한 요건을 3개로 정의하였다 : 1. 불법이전, 2. 사보타주, 3. 전자적 침해행위

15) NRC Part 73에서는 방사능 파괴행위 또는 방사능 물질의 절도·유용을 위한 공격전술로서 외부자 공격, 내부자 위협, 차량·선박에 의한 폭탄공격, 사이버 공격을 제시하고 있다.

NRC 10CFR Part 73

73.1 (B) Insider Threat : Active (e.g., facilitate entrance and exit, disable alarms and communications, participate in violent attack) or passive(e.g. provide information), or both, knowledgeable inside assistance;

73.1 (b) (2) Theft or diversion of formula quantities of strategic special nuclear material ( i ) A determined violent external assault : a single or multiple groups, a combination



(Adversary Attack Timeline) 및 대응시간(Response Timeline)으로 정의하고 지연, 탐지, 대응을 통하여 공격시간은 늘리고 대응시간을 짧게 하는 물리적 방호설계를 요구하고 있으며 이러한 기술은 DBT(설계위협기반) 분석<sup>16)</sup>에서 도출된다.

원자력발전소 물리적 방호체계의 위협 재정의의 위해서는 철저하게 “방사능 파괴 행위 또는 방사능 물질의 절도·유용”이라는 최종 공격목적을 달성할 수 있을 것인지를 우선 고려하여 DBT기반의 대책을 수립하는 사고와 업무 프로세스를 구축해야 한다.

### 3) 외곽 물리적 방호체계 설계방법

PPS 프로세스는 설계요건으로서 지연(Delay), 탐지(Detection), 대응(Response)의 3개 영역을 포함한다. 외곽 물리적 방호체계에서 지연이란 이중펜스, 철조망, 내·외부 클리어존(Clear Zone), 이중펜스 내 격리지대(Exclusion Zone), 순찰로 등의 물리적 장애물과 보안시설을 지칭한다. 탐지란 보안시스템으로서 외곽 침입탐지센서, 침입 탐지정보에 대한 평가(Assessment)체계로서의 감시시스템을 의미한다. 대응이란 침입상황이 발생하면 초동대응하는 외곽초소 및 현장에 출동하는 기동타격대를 포함한다. 지연-탐지-대응은 연속 프로세스로서 DBT와 측면에서 통합성능을 고려하여 설계·구축하고 운영되어야 한다. 즉, DBT 분석에서 적의 공격 예상경로, 적의 공격 시간, 최종 표적을 고려하여 물리적 방호요소를 배치하고 운영해야 한다. 지연요소로 적의 공격시간을 증가시키는 반면, 시설 보안운영자는 탐지체제로 침입을 조기탐지하고 신속 대응하여 방어자의 가용 대응시간을 확보한다. 다단계의 중심 깊은 방호는 적이 여러 단계의 방호선을 통과하면서 탐지확률이 증가되는 반면 적은 점진적으로 약화·차단(Deter)되고 최종에는 무력화(Neutralization)되는 체계며 PPS의 3대

(A) Well-trained & dedicated individuals,

(B) Active passive, or both inside assistance (E) Land and water vehicles

(ii) An internal threat

(iii) A land vehicle bomb assault

(iv) A waterborne vehicle bomb assault

(v) A cyber attack

16) NRC Glossary (2019.3.21.). Design-Basis Threat적(Adversary)의 형태, 구성 및 능력에 대한 특성으로서 NRC와 라이선스 소유자는 방사능 파괴행위(Nuclear Sabotage)에 대하여 보호하고 핵물질의 도난을 예방하기 위한 보호체계(Safeguard System)을 설계하는 기본으로 DBT를 사용한다. DBT의 상세내용은 NRC Part 73.10에 제시되어 있으며 원자력발전소 운영자는 DBT에 기반한 방호능력을 보여주어야 한다.

설계요건은 이를 지원할 수 있게 연속적인 통합성능을 발휘해야 한다.

특히 설계방법 집중하여 보면 설계방식과 설계방법론의 문제점으로 외곽 물리적 방호체계의 현안을 요약할 수 있다. 현 외곽 물리적 방호체계 설계방식은 개별 부서별 설계방식으로서 아래 <표 4>과 같이 물리적 방호설계 요건별 6개 부서가 참여하고 있어서 보안부서 주도로 통합되고 연속된 성능을 고려한 통합설계방식으로서의 전환이 필요할 것으로 사료된다. 그러나 통합설계 적용을 위한 전제조건으로 추진 조직과 구매·계약방식의 제도적 보완도 우선 고려되어야 할 것으로 보인다.

<표 4> 외곽 물리적 방호체계 구성요소별 설계주체

설계요건	구 성 요 소	설계 담당부서	비 고
지연	▪ 펜스 ▪ 순찰로	토목	
	▪ 외곽 경계등	전기	
	▪ 조경	조경	
탐지	▪ 외곽 침입탐지시스템 ▪ 외곽 감시시스템	정보통신	
대응	▪ 보안인력운영	보안운영	
	▪ 외곽초소	건축	

※ 출처 : 내부자료 정리(2019)

다음은 설계방법론에 의하여 발생하는 외곽 물리적 방호체계 성능의 문제점과 원인이다. 첫째 지연으로서의 외곽방호선과 보안시스템 운영환경을 제공하는 되는 보안시설 설계방법이다. 기존 방식에서 펜스는 시설의 부지경계를 따라 설치되어 지형 굴곡에 따른 펜스의 굴곡과 고저차로 감시가 되지 않는 감시취약 구간이 발생하거나 감시카메라의 감시거리가 축소되어 소요수량이 증가하는 문제점을 가지고 있다. 펜스 주변에 설치되는 보안등은 외곽 감시카메라의 감시방향 등을 고려하지 않고 일괄 설치되어 감시카메라를 정면으로 바라보는 경우가 있어 빛에 의한 플래어 현상으로 야간감시를 방해한다. 조경 또한 대표적인 외곽 보안방해 요소로서 감시카메라 배치와 감시방향을 고려하지 않으면서 펜스에 인접한 수목배치는 나뭇가지에 의한 감시시계 및 외곽보안근무자의 경계시계를 방해하고 심지어 펜스를 월장하는 수단으로 활용될 수도 있다.

둘째 보안시스템은 보안시설에 의한 성능저하 외에 측정 가능한 기준을 적용한 성능위주 설계 및 DBT 기반으로 연속적인 감시성능을 고려할 필요가 있다. 현 감시 범위 및 감시성능 설계는 지형, 거리별 감시능력 등을 고려하지 않고 2D 도면에 일률적인 감시원을 그려서 감시망을 배치하여 침입자 탐지와 식별이 어려운 상황도 발생한다. DBT기반의 연속적인 감시성능 설계는 외곽부터 핵심지역까지 적의 예상 공격경로를 고려, 적의 이동상황을 연속적으로 감시·추적이 가능하여야 한다. 또한, 현 가시광선 기반의 감시카메라는 교전에 의한 폭발 화염, 먼지로 감시시계가 방해되고 넓은 공중에서 작은 드론을 찾아내기 어려운 성능 상의 고유한 한계점을 가지고 있다.

셋째 외곽초소는 경계 및 초도대응 임무 수행을 위한 최적의 위치가 선정되어야 한다. 즉 경계시계가 확보되면서도 적의 관측·정찰을 거부하고 유사 시 외곽 보안인원의 사격대응도 고려하여 최적의 지점이 선정되어야 하는데 이러한 지점은 답사나 도면분석으로 선정이 어렵다. 특히 수십 개의 외곽초소를 외곽선 전범위에서 경계와 거부, 공격·방어를 고려하며 통합배치하는 설계는 기존 인력에 판단과 경험에 의한 저신뢰성 설계방법론으로는 현실적으로 매우 어렵고 시간이 소요되는 작업으로 사료된다.

#### IV. 외곽 물리적 방호체계 운영개념 및 성능개선 설계방안 연구

원자력발전소 물리적 방호체계는 앞에서 검토·분석한 바와 같이 원자력발전소 시설규모의 증가와 함께 보안운영 환경 변화로 높은 공격강도 및 다양한 위협에 대응하고 주 52시간 근무시간에 따른 경비인력 부족에 대비, 새로운 물리적 방호체계 전환과 준비가 필요하다. 한편 한국적 특수성으로 원자력발전소 뿐만 아니라 국가중요시설, 국가보안목표의 보안요구 모두를 충족하는 물리적 방호 운영개념과 체계를 재정립하면서도 기존의 현안을 해결하고 개선된 성능을 보장 할 수 있는 방안을 찾아야 한다. 또한 앞에서 분석하지는 않았으나 새로운 물리적 방호체계의 성능 분석 평가 방안, 수명주기가 도래한 원자력발전소 해체보안 준비 및 국가기반시설의 해외 수출에 기여하는 방안도 함께 고려해야 한다. 그야말로 한국의 원자력발전소, 나아가 국가기반시설의 물리적 방호체계는 새로운 도전에 직면하여 중대한 체계전환의

시점이라 할 수 있다. 본 장에서는 외곽 물리적 방호체계 전환을 위하여 국내법, 국제규제 및 한국의 정치, 사회 특수성과 요구사항을 고려하여 운영개념을 재설정하고 새로운 물리적 방호체계로 개선발전을 위한 최신기술을 이용한 통합설계방법론을 제시하고 통합설계를 위한 제도적 개선방안도 함께 제안하고자 한다.

## 1. 한국형 물리적 방호개념 재설정

원자력발전소 물리적 방호규제 및 통합방위법 등 한국의 특수한 보안요구사항 충족, 경비인력 부족 등에 대비할 수 있는 새로운 물리적 방호체계 전환전략과 방향을 “과학화”, “기동화”, “유연성”으로 정의하고자 한다.

### 1) 과학화 (시스템화)

과학화는 인력부족 보완에 대표적이면서도 국내·해외 원자력발전소 보안규제 충족 및 국가중요시설 방호에도 공통 적용 가능한 방안이다. 1선은 외곽감시 및 대응 초소를 DBT에 기반하여 배치·운영한다. 외곽 침입탐지시스템은 시설의 중요도와 위협의 심각성을 고려하여 운영여부를 결정할 수 있다. 또한 적의 침입을 연속적으로 탐지·추적할 수 있도록 고정 감시카메라 및 구동형 감시카메라복합의 다단계 연속감시망을 적용하고 드론과 같은 새로운 위협 대응을 위한 열영상 감시시스템 운영도 제안하고자 한다.

### 2) 기동화

현재 원자력발전소에 대한 적의 공격전술로서 강력한 작전능력을 가진 소규모 조직의 동시다발 형태의 공격을 가정하고 있다. 방호선 중심의 선형 고정배치는 신속하게 이동하며 공격하는 유동적인 동시다발 상황에 대응이 매우 어렵다. 따라서 기동화는 인력부족 보완과 함께 변화한 새로운 위협양상에 대한 대응능력 확보에도 유효한 것으로 사료된다. 기동화된 보안인력은 복수의 소규모 조직으로 구성하고 원자력발전소 전체지역에 대하여 균등하게 대응하면서도 DBT기반의 공격예상지역·경로에서 최종목표 공격 전 적의 공격을 차단·무력화할 수 있는 작전중심 지점에 배치하여 대응능력을 강화한다.

### 3) 유연성

지속적인 DBT재평가 및 결과에 따라 보안인력 및 물리적 방호시스템 운영도 유효성을 재평가하고 새로운 계획으로 갱신한다. 위협시나리오 별 상황변화에 따라 능동적으로 변형대응할 수 있도록 인력 및 시스템을 통합한 대응계획을 수립하고 훈련을 지속 수행한다.

## 2. 설계방법론 개선 : 통합설계 및 고신뢰성·다방법론 설계

### 1) 통합설계

통합설계는 기존 개별설계 방식과 다르게 물리적 방호체계를 운영관리하는 보안 운영부서가 주관이 되어 토목, 건축, 조경, 전기 및 정보통신 등을 통합관리하는 설계 방식이다. 각 업무영역에 보안시설, 시스템 및 보안운영의 통합운영성능을 분석하여 보안 설계 요구사항을 도출·제시하고 설계 및 구축 전과정을 추적관리한다. 설계는 물리적 방호 유효성 평가분석 방법론<sup>17)</sup>을 적용하여 반복시험하여 가장 높은 유효성으로 평가되는 설계안을 적용한다.

### 2) 고신뢰성(High-fidelity)·다방법론(Multi-methodology) 설계방법론

새로운 원자력발전소 물리적 방호체계 설계방법론은 고신뢰성 및 다방법론에 기반한 M&S·V (Modeling & Simulation, Visualization) 기술을 적용하여 물리적 방호체계 구성요소를 설계한다.

#### (1) 지연 : 외곽보안시설

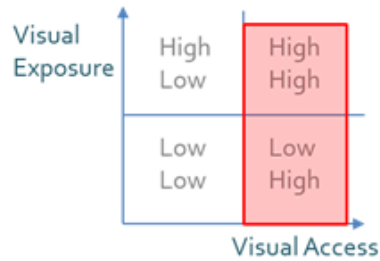
외곽펜스는 시설부지 경계에 따른 설계보다는 가능한 선형화하여 설계하면 지형과 펜스 굴곡에 의한 사각을 최소화하고 감시시스템 소요도 최적화할 수 있다. 펜스 규격은 NRC 및 국가정보원의 ‘국가보안목표 관리지침 설계기준’의 규격을 반영한다.

외곽 보안초소 위치선정은 공간구문론 (Space Syntax)<sup>18)</sup> 기반의 가시성 분석

17) 대표적 물리적 방호체계 유효성 평가 시뮬레이션은 Ares社 “Avert”와 행위기반 시뮬레이터인 Rhino Corps “Vanguard”가 미국 에너지부(Department of Energy, DoE)등 원자력산업 영역에서 가장 널리 사용되고 있다.

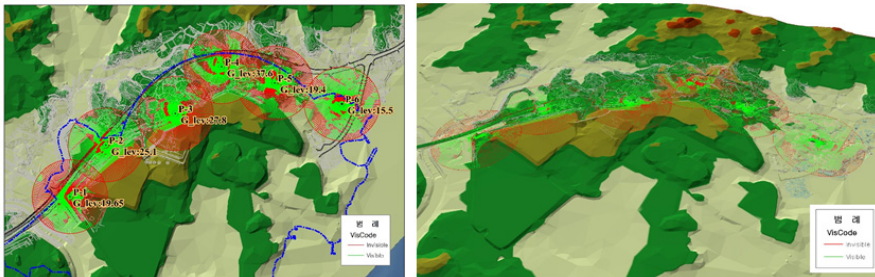
18) 공간구문론은 Barlett School of Architecture의 Bill Hillier교수가 제안한 방법론으로 형태학과 위상수학을 이용, 공간의 연결성을 출입과 시각측면에서 공간구조를 정의한다, 접근성 및 가시성

(Visibility Analysis)을 활용한 설계방법론을 제안한다. 가시성 분석은 최상의 감시·경계위치와 적의 관측·정찰에 노출되지 않는 위치를 3차원 시뮬레이션을 통하여 선정하는 방법론이다. 우측 <그림 7>의 그래프에서 보듯이 Visual Exposure (가시노출도)는 현 위치의 노출 정도며 Visual Access (가시접근도)는 현 위치에서의 경계 및 감시 정도를 표현하는 기준요소이다. 초소 및 감시카메라 위치로서 Visual Access가 높아 경계가 용이하고, Visual Exposure가 낮아 보안초소 또는 경비인력이 관측·정찰에 노출이 낮은 장소를 선정한다.



<그림 7> Visibility 평가 그래프

가시성 분석은 ESRI社의 ArcGIS 소프트웨어를 사용하여 Ray Tracing 방법으로 외곽 보안초소 예상위치별 경계범위, 사격범위, 감시범위 등을 다음 <그림 8>과 같이 분석·예측할 수 있다. 녹색선은 감시 가능, 적색선은 사각영역을 표시한다. 초소 간 거리는 소총 유효사거리 및 보안인력의 사격능력을 고려하여 결정한다.



<그림 8> 외곽초소 가시성분석 및 최적위치 선정 시뮬레이션

※ 출처 : 내부자료 재정리(2019)

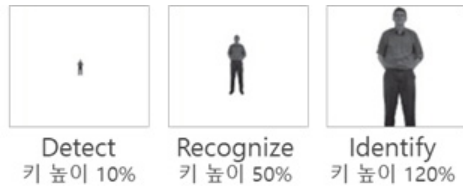
## (2) 탐지·평가 : 외곽 감시시스템 설계

외곽 감시시스템은 개별 감시카메라의 감시성능을 설계 후 전 외곽배치 설계 시 사각이 없고 연속적으로 침입자를 탐지, 추적할 수 있도록 DBT에 기반하여 감시망

분석에 활용되며 물리적 보안에서는 감시카메라 설계 등에 활용 가능하다.

을 구성한다. 특히, 드론 감시를 위한 열영상 감시시스템도 추가 운영한다.

우선 개별 감시시스템 설계는 DRI분석 기법을 활용한 시뮬레이션으로 성능위주 설계방법을 적용한다. DRI란 감시카메라의 성능을 설계·평가하는 기준으로서 D(Detect, 탐지), R(Recognize, 인지), I(Identify, 식별)의 약자이다.

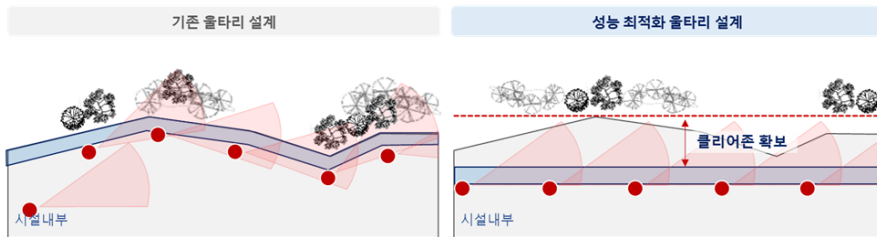


<그림 9> DRI별 피사체 전시크기 비교

※ 출처 : John Wood(2017). CCTV Ergonomics: Case Studies and Practical Guidance

DRI기준 별 피사체의 모니터 전시비율은 <그림 9>와 같으며 정확한 상황추적 및 사후증적 자료 활용을 위하여는 “인지” 이상의 성능을 보유해야 한다.

개별 감시카메라의 성능설계가 완료되면 개별 감시카메라를 배치하여 외곽 감시망을 구축한다. 펜스가 선형으로 배치되면 아래 <그림 10>과 같이 감시카메라 시계가 확보되며 감시카메라 소요가 감소할 수 있다.



<그림 10> 굴곡펜스 대비 선형펜스의 감시망 개선효과 모델링

※ 출처 : 내부자료 재정리(2019)

감시카메라의 구성은 고정형과 구동형 고성능 감시카메라를 조합하여 탐지·추적이 가능하도록 설계하고 배치위치는 DBT 상 최종표적의 위치를 고려, 예상 침투로가 연속적으로 감시되도록 선정한다. 고정형 감시카메라 감시거리 기준으로서 NRC

에서는 감지체계의 감시평가 적정거리로 100m를 권고<sup>19)</sup>하고 있으나 외곽 전지역을 한방향으로 사각없이 연속감시하고 DRI기준을 충족할 수 있도록 20%(20m)의 중첩을 두어 감시카메라 간 80m 거리로 설계를 권고한다. 구동형은 소총 유효사거리를 고려하고 고정형 5대 당 1대 기준으로, 반경 200m 감시거리로 운영하여 침입상황을 확대 전시하고 연속적으로 추적감시가 가능하도록 설계한다.

최근 드론 등의 새로운 위협대응과 야간상황, 교전상황을 고려, 열영상 감시시스템과 복합 운영하도록 설계할 필요가 있다. 열영상 감시시스템은 야간감시 뿐만 아니라 교전, 폭발상황에서 유용하다. 가시광선 감시카메라(CCTV카메라)는 교전상황에서 벌어지는 섬광, 연기와 먼지로 감시에 방해받을 수 있는 반면, 열상시스템은 시계방향 상황을 투과하여 감시가 가능하다. 또한 열영상 감시카메라는 광역의 대공감시에서 열영상 이미지로 드론을 탐지할 수 있다. <그림 11> 참조



열영상카메라 연막탄내 이동물체 감시

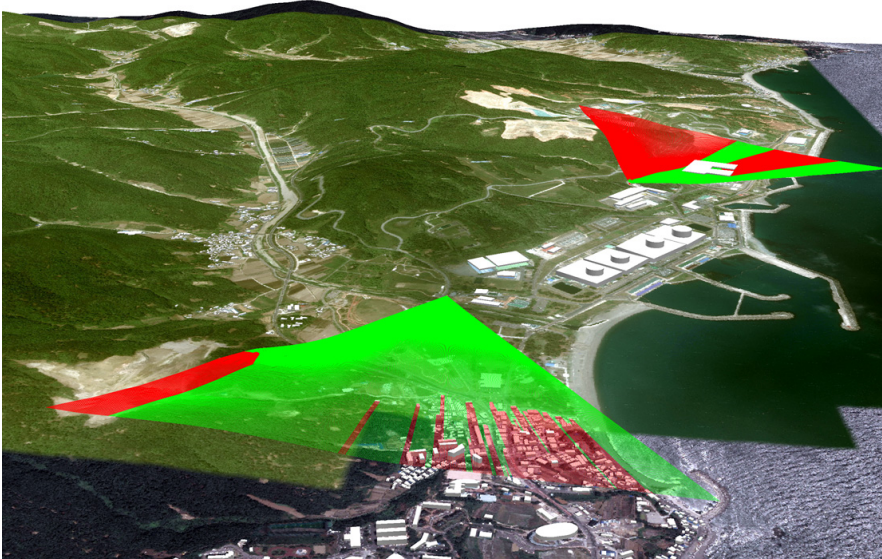
열영상카메라를 이용 드론 감시영상

<그림 11> 열영상 감시 사례

※ 출처 : 좌측 FLIR社 IR Spectral Bands and Performance (2019)  
우측 <http://www.longrangethermalcam.com/> (2019)

19) Regulatory Guide 5.44(1997.10월). Perimeter Intrusion Alarm Systems, NRC, Rev.3, 1.Design Objectives & Integration, 1.1 Layout





〈그림 12〉 3D 지리공간 기반 야외 감시망 배치 및 사각지역 시뮬레이션

※ 출처 : 내부 감시망 설계 시뮬레이션 자료 정리(2018)

물리적 방호체계의 외곽 감시망 종합설계는 3D 지리공간에 DBT상 공격 가능성이 높은 경로와 감시카메라를 배치하고 지형과 건물에 의한 사각지역 등을 종합적으로 시뮬레이션하여 감시망 설계를 확정한다. <그림 11>은 감시망 배치 및 사각지역을 식별하여 감시시스템의 감시범위와 성능을 3D기반 시뮬레이션 및 모델링, 가시화 모의사례이다. 실체는 다수의 감시카메라가 배치되어 감시망과 사각지역 전체를 식별할 수 있도록 가시화된다. 녹색은 감시 가능영역, 적색은 감시사각지역이다.

## V. 결론 및 시사점

원자력발전소 및 국가기반시설은 중요도와 시설규모가 증가하고 적대세력(Adversary)의 전술도 함께 진화하면서 Target Rich하고 Target Attractive한 대표적 공격대상으로 고려될 수 있으며 원자력발전소는 피해 시 전기발전 중단 외에도 방사능 오염, 방사능 물질의 유출 등 광범위하고 장기적이며 연속적인 피해가 예상된다. 또한 주 52시간 근무제도로 경비인력의 부족도 대비해야 하는 실정이다. 이에 변화된

현 환경에서도 지속적으로 유효하고 적절할 수 있도록 원자력발전소 물리적 방호체계의 전환과 개선·발전을 검토할 시점이다.

현 외곽 물리적 방호체계의 전환전략 및 방향을 도출하기 위하여 국내 기술연구 동향을 분석하여 물리적 방호 프로세스 중 “설계영역”의 연구가 이루어지지 않음을 식별하였으며, 국내·해외 관련법·규정 및 기술적 현안 등을 분석하여 개별 설계방식과 저신뢰성 설계에 의한 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계의 문제점을 도출하였다. 한국은 북한과의 대치상황에서 원자력발전소 물리적 방호체계 규제에 더하여 국방부의 통합방위법, 국가정보원의 국가보안목표로서의 보안요구사항도 충족해야 한다. 따라서 운영환경, 법적 요구사항, 기술적 현안을 고려하여 한국형 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계의 방호운영개념을 “과학화, 기동화, 유연성”으로 재설정하고 성능개선을 위한 고신뢰성·다방법론 기반 통합설계방안의 도입을 제시하였다.

다음 <표 5>는 개별·통합설계방법을 운영개념, 설계방식 및 설계방법론, 외곽 물리적 방호체계 구성, 신규위협 대응기능 측면에서 요약·비교하였다. 통합설계 방식은 보안부서가 설계 전체 프로세스를 주도하고 고신뢰성·다방법론 기반의 통합설계방법을 적용하는 것으로 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계의 “지연, 탐지, 대응”이 DBT에서 정의한 위협에 연속적으로 상호 동작하고 대응하도록 설계를 통합·조정할 수 있는 장점이 있다 하겠다.

<표 5> 원자력발전소 외곽 물리적 방호체계 개별설계·통합설계 비교분석

항목	개별설계	통합설계
운영개념	선방호 중심의 과학화, 기동화	과학화, 기동화, 유연성 * 복수의 강화된 기동타격대 운영 * 과학화 보안시스템 개선
설계방식	개별부서 분산 보안, 토목, 건축, 전기, 정보통신 조정 등	단일부서 통합조정·관리 보안부서가 전체 활동 오케스트레이팅
설계방법론	저신뢰성, 2D기반, 지식·경험의존 설계	고신뢰성, 3D기반 M&S·V기술 다방법론기반 설계
PPS구성 (감시)	고정형, 외곽중심	외곽+공간지역(외곽~핵심시설) 고정형+구동형+열영상
신규위협 대응	-	드론 감시·탐지 기능

※ 출처 : 본 연구 요약비교 (2019)

현 물리적 방호체계의 보안시설과 시스템별을 분리발주하는 정부·공기업의 구매관련 제도적 제약이 있는데 통합설계방식을 적용하여 외곽 물리적 방호체계의 지연, 탐지, 대응요소가 연속적으로 통합되고 물리적 방호체계 프로세스인 설계-구축-유효성 분석평가가 일괄 추진되기 위하여는 통합발주 등 구매제도의 개선이 전제조건으로 선행되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구자의 해외사업 경험에 비추어 보면 저신뢰성 기반의 개별추진 방식은 국가기반시설의 해외수출 경쟁력에도 영향을 주고 있다. 해외에서 한국이 국가기반시설사업을 수주하면 한국 보안업체가 통합설계능력이 없는 이유로 미국 또는 유럽의 컨설턴트가 통합 보안설계 계약을 하고 있는 실정이다. 한국의 국가기반시설 수출에서 다른 국가가 이익을 보고 있는 상황이다. 고신뢰성 기반의 통합설계 기술은 국가기반시설 수출 시 물리적 방호체계를 패키지화하여 한국의 수출경쟁력 강화에도 기여할 것으로 판단된다. 또한, 물리적 방호체계 통합설계 기술은 국내 국가기반시설로 확대 가능한 공통방법론으로 사료된다.

## 참고문헌

- 강연욱 (2018). 고급행동기능 시뮬레이션을 통한 원자력 시설의 물리적 방호 취약성 평가. **한국경영과학회 학술대회논문집**, 2705-2705.
- 강연욱, 백인선 (2019). 국내 원자력시설 물리적 방호시스템의 취약성 평가를 위한 시뮬레이션 방법 및 절차. **대한산업공학회 춘계학술대회논문집**, 1094-1116.
- 서장훈, 장성순, 유호식 (2016). 시설 모델링 방식에 따른 물리적 방호 취약성 평가 프로그램 분석. **한국방재학회논문집**, 16(5), 221-230.
- 우태호 (2013). 원자력 발전소의 물리적 방호에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
- 원건연, 서장훈, 고문성 등 (2016). 물리적 방호 취약성 평가프로그램(AVERI) 성능인자 분석. **한국방사성폐기물학회 학술논문요약집**, 55-56.
- 원자력통제기술원 (2012). 물리적 방호 분야 신기술개발, 원자력연구개발사업 연구보고서. 교육과학기술부.
- 지문구, 김명수 (2015). 국제기준을 만족하는 원전 물리적 방호체계 제안. **한국에너지공학회 학술발표회**, 227-227.
- 지문구, 김명수 (2015). 신규원전을 위한 물리적 방호설계 구축 프로세스 개발. **대한전기학회 학술대회논문집**.
- 최영, 김길유, 정우식, 박희성, 신희성, 김호동 (2011). 물리적 방호에서의 핵심구역파악 예비 분석. **한국방사성폐기물학회 학술논문요약집**, 423-424.
- 최영, 송대용, 신희성, 김호동 (2011). 원자력 시설의 물리적 방호 개념설계 및 특성분석. **한국방사성폐기물학회 학술논문요약집**, 75-76.
- 최지은, 장성순, 고문성 (2016). 원자력 시설의 전주기 물리적 방호를 구축하기 위한 국내외 동향 분석. **한국방사성폐기물학회 학술대회논문집**, 51-52.
- Garcia, M. L. (2007). *The Design and Evaluation of Physical Protection System 1st ed.* Burlington, MA: Elsevier/Butterworth-Heinemann.
- NRC 10CFR Part 73 (2018). *Physical Protection of Plants and Materials.*
- NRC Regulatory Guide 5.44 (1997). *Perimeter Intrusion Alarm Systems Rev.3.*

【Abstract】

**A Study on the Concept of Operations and  
Improvement of the Design Methodology for the  
Physical Protection System of the National  
Infrastructure  
– Focused on Nuclear Power Plants –**

Na, Seog-Jong · Sung, Ha-Yan · Choi, Sun-Hee

As the scales & density of the Korean national infrastructures have been increased, they will be identified as rich and attractive potential targets for intensified North Korea's attack in the rear region and terrorism attack. In addition, due to changes in security environment such as drone threats and lack of security forces under the 52-hour workweek law, I think that it is the proper time point to reevaluate the effectiveness and appropriateness of the current physical protection system and its shift to a new system.

In this study, the direction and improvement of the perimeter physical protection systems of the national infrastructures are to be studied from the viewpoints of its concepts of operations and design methodology, focusing on the nuclear power plant. The reason why we focus on nuclear power plants is because they cause wide-range and long-term damages caused by radioactive materials dispersal and pollution, along with short-term damage caused by the interruption of electricity generation in the event of damage to nuclear power plants.

With the aim of extracting improvement directions, as we will comprehensively review domestic research trends and domestic · overseas related laws, and consider Korea's specificity, we try to reframe the concept of operation - systematization, mobilization and flexibility -, and establish criteria on system change. In order to improve the technical performance of the new perimeter physical protection system, we study on high-fidelity · multi-methodology based integrated design methodology, breaking from individual silo-type design methods, and I suggest improvement of government procurement, its expansion to

export business and other national infrastructure.

**Keywords:** Physical Protection System, DRI, Visibility Analysis,  
High-fidelity · multi-methodology Based Integrated Design  
Methodology