

원자력 분야의 리스크정보활용 현황과 과제*

Current Status and Issues of Risk-informed Approach in Nuclear Area

양준언**

Joon-Eon Yang

우리는 자주 원자력발전소와 같은 산업 설비의 '안전'에 대해 이야기하지만 사실 안전은 공학적으로 측정할 수 없는 개념이다. 원전과 같은 복잡한 대형 설비의 안전성을 정량적으로 파악하기 위해서는 리스크 개념이 필요하다. 리스크평가와 관리 기술을 통하여 원전의 안전성과 성능을 가장 효과적이고, 효율적으로 향상할 수 있다는 것은 지난 몇십 년간 보여준 미국 원전의 운전 이력을 통하여 입증되고 있다. 본 논문에서는 리스크의 기본 개념과 이런 리스크 개념이 원자력 분야에 도입된 배경을 간략히 소개한다. 또한, 원자력 분야에서 사용되는 리스크 평가 방법인 확률론적안전성평가 방법과 리스크 평가 결과를 이용하여 원자력시설의 리스크를 효과적, 효율적으로 줄이고자 하는 리스크 관리 체제를 소개한다. 아울러 이런 리스크 평가 및 관리 결과를 외부와 소통할 때 유의할 점과 우리 사회가 원전의 리스크에 대해 어떻게 접근하여야 할지에 관한 내용을 기술했다.

주제어 확률론적안전성평가, 리스크정보·성능기반접근방식, 리스크평가, 리스크관리, 리스크 소통

Keywords Probabilistic Safety Assessment, Risk Information/Performance-Based Approach, Risk Assessment, Risk Management, Risk Communication

투고일 2023.4.21. 수정일 2023.5.27. 게재확정일 2023.5.28.

* 이 성과는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구임(No. 20224B10200050).

** 한국원자력연구원(jeyang@kaeri.re.kr)

I. 안전과 공학적 리스크 개념의 차이

우리는 자주 원자력발전소(원전) 혹은 비행기와 같은 산업 설비의 ‘안전’에 대해 이야기한다. 하지만 사실 안전은 공학적으로 혹은 정량적으로 측정할 수 없는 개념이다. 우리가 느끼는 안전이란 어떤 산업 설비로 인한 위험에 관해 알려진 객관적 사실(Fact)보다도 그 설비에 대한 우리의 인식, 선입견 혹은 감성에 의해 좌우되는 부분이 많다. 따라서 우리는 어떤 산업 설비의 안전 수준을 정확히 파악하기 위해서 정량적으로 표현할 수 없는 ‘안전’이 아니라 그 설비로 인해 유발될 수 있는 잠재적 피해를 정량적으로 표현할 수 있는 ‘리스크(Risk, 위험도)’¹를 평가해야 한다. 이때 리스크라는 용어는 ‘어떤 요인에 의해 미래에 발생할 잠재적 손실’을 의미하며 공학적으로는 다음과 같은 식에 의해 정량적으로 정의된다(양준언, 2023a).

$$\text{리스크} = \text{어떤 사고의 발생 가능성(확률, 빈도)} \times \text{해당 사고의 영향(피해, 손실)}$$

예를 들어 국내 자동차 사고에 의한 사망 리스크는 연간 자동차 사고 발생빈도 20만 번과 자동차 사고당 사망자 수 0.015명을 곱해 3,000명/년으로 평가될 수 있다.

모든 산업 설비는 사회에 편익을 제공하는 동시에 그 사회에 피해를 가져올 수도 있다. 우리는 사회에 도입되는 산업 설비에 다양한 안전 조치를 취함으로써 해당 설비의 도입 때문에 사회에 부과되는 리스크를 줄이고자 노력한다. 그러나 우리가 아무리 다양한 안전 조치를 추가해도 어떤 산업 설비의 리스크를 완전히 없앨 수는 없다. 안전 계통을 구성하는 기계가 고장이 나기도 하고, 설비를 운전하는 사람이 실수할 수도 있다. 따라서 사회가 어떤 설비를 수용할 것인가 거부할 것인가는 그 설비가 사회에 제공하는 편익의 규모와 해당 설비의 리스크 수준에 따라 결정하는 것이 사회 전체의 안전과 편익을 최대화하는 가장 과학적인 접근 방법이라고 할 수 있다. 현재 산업 설비의 리스크 평가(Risk Assessment) 기술이 가장 발전한 분야는 원자력 분야이다. 이는 사고는 잘 발생하지 않지만, 일단 사고가 발생하면 그 영향이 클 수 있는 원전사고의 특성 때문에 원전의 종합적인 안전성은 리스크 관점에서 평가할 수밖에 없기 때문이다.

1 국내에서는 리스크를 ‘위험도’로 표현하기도 하나, 리스크 용어의 개념을 정확히 표현하기에 부족한 점이 있어 본 논문에서는 리스크라는 용어를 사용한다.

II. 원자력 분야의 리스크 개념 도입 배경

원전 개발 초기 단계부터 원전의 안전성 확보에서 가장 중요한 개념은 ‘설계기준사고’²이다(IAEA, 2009). 설계기준사고란 원전을 설계, 건설할 때 고려 되는 사고이다. 원전은 설계기준사고와 안전 계통의 단일고장이 동시에 발생해도 원전의 안전이 유지되도록 설계 및 건설되어야만 한다³(IAEA, 2009). 원전의 안전을 지키는 또 하나의 중요한 기본 원칙은 ‘심층방어’ 개념이다. 심층방어란 전쟁에서 적의 진격을 막기 위한 방어선을 하나만 만드는 것이 아니라 여러 겹으로 만드는 것처럼 원전의 안전을 지키기 위한 방어 체계를 여러 단계로 구성하는 것을 의미한다. 심층방어는 만약 원전에서 설계기준사고가 발생해도 여러 겹의 방어선을 통해 원전의 사고가 중대한 상태로 진행되는 것을 방지한다는 개념이다. 혹은 사고가 설계기준사고를 초과해 원전의 핵연료가 녹는 ‘중대사고’⁴로 진행되어도 원전의 최종 방벽인 격납건물과 주변 주민의 효과적 대피 등을 통해 방사성 물질의 누출에 따른 피해를 최소화하고자 하는 것이 심층방어 개념이다.

그러나 1979년에 발생한 미국의 TMI 원전사고 이후 설계기준사고에 대한 대비만으로 원전의 안전을 확보하는 것이 가능한가 하는 의문이 제기되었다. TMI 원전사고 이전에는 설계기준사고와 심층방어 개념을 통해 원전의 안전성을 확보할 수 있다고 원자력계는 생각했다. 앞서 기술했듯이 설계기준사고를 분석할 때는 관련 안전계통의 단일고장만을 고려하며, 여러 개의 고장이 동시에 발생하는 다중고장은 고려하지 않는다. 그러나 TMI 원전사고는 설계기준사고와 같은 큰 사고가 발생하지 않아도 계통의 고장, 운전원의 실수 등 몇 가지 사건이 겹치면 원전의 중대사고를 유발할 수 있다는 것을 보여주었다(NRC, 2016).

이에 따라 TMI 원전사고는 기존의 원전 설계 방식, 안전 확보 개념을 되돌아보는 계기가 되었다. 특히 사고 발생 4년 전인 1975년에 미국에서 발간되었던 세계 최초의

2 설계기준사고란 원설 설계·건설에서 고려하여야 하는 가상사고들을 의미한다. 원전은 원전에서 이들 가상 사고가 발생하여도 공중의 보건과 안전을 보장하는 데 필요한 구조, 계통 및 기기의 손실이 없도록 설계 및 건설되어야만 한다.

3 이를 단일고장가정(Single Failure Criteria)이라 부른다. 이는 원전의 어떤 안전계통에서 하나의 고장이 발생하여도 해당 안전계통이 본래의 기능을 수행할 수 있어야 한다는 설계 요건이다.

4 중대사고란 설계기준사고보다 훨씬 높은 수준에서 안전 계통에 문제를 일으킬 수 있는 사고 유형으로, 일반적으로 원전의 핵연료가 손상되면 중대사고가 발생한 것으로 간주한다.

원전 리스크 평가 보고서인 WASH-1400에서 1979년에 TMI 원전에서 실제 발생한 사고경위가 동일 유형의 원전에서 가장 리스크가 높은 사고경위로 이미 평가되어 있었다는 점에서 TMI 원전사고는 논란의 대상이 되었다(NRC, 1975). 이에 따라 TMI 원전사고 이후 미국 규제기관은 리스크 개념을 원자력의 안전 확보를 위한 중요 개념으로 규제에 도입했다. 이는 기존의 설계기준사고를 기반으로 하는 원전 안전 확보 체계가 원전에서 발생 가능한 다양한 사고의 영향을 모두 파악하는 데에는 한계가 있으므로 리스크 개념을 활용해 그 한계를 보완하기 위한 것이다.

III. 원자력 분야의 리스크 평가 방법

WASH-1400 이후 원자력 산업계에서 사용되는 원전의 리스크 평가 방법은 확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment: PSA)⁵라고 불리는 방법이다. PSA 방법은 TMI 원전사고 이후 전 세계에서 원전의 리스크 평가에 사용되고 있다. PSA는 이론적으로는 원전에서 발생 가능한 모든 사고경위를 파악하고 그 사고경위의 발생 확률과 영향을 종합함으로써 원전사고로 인해 발생할 수 있는 미래의 잠재적 손실과 피해, 즉 리스크를 종합적으로 평가하는 기술이다.

현재 원자력계에서 사용되는 PSA의 분류가 [표 1]에 나와 있다. 현재 PSA는 평가 범위에 따라 [그림 1]에 나와 있는 바와 같이 원자로 핵연료(노심)의 손상 빈도를 평가하는 ‘1단계 PSA,’ 격납건물 파손 빈도와 방사성 물질 누출량을 평가하는 ‘2단계 PSA,’ 그리고 외부로 누출된 방사성 물질이 주변 주민과 환경에 미치는 영향을 평가하는 ‘3단계 PSA’로 구분한다. 그리고 원전이 정상적인 운전 상태(100% 출력 상태)에 있을 때와 출력을 낮추었거나 정지한 상태에 대한 PSA를 구분해 ‘전(全) 출력 PSA’와 ‘정지저출력 PSA’로도 구분한다. 또한, PSA 방법은 리스크를 유발하는 원인에 따라 ‘내부사건 PSA’와 ‘외부사건 PSA’로 구분한다. 내부사건 PSA는 기계의 고장이나 운전원의 실수로 원전이 정지된 이후 핵연료 손상으로 발전할 수 있는 사고경위의 발생 가능성과 영향을 평가하는 PSA이다. ‘내부 화재 PSA’란 원전 내부에서 화재가 발생했을 때의 사고경위와 화재 영

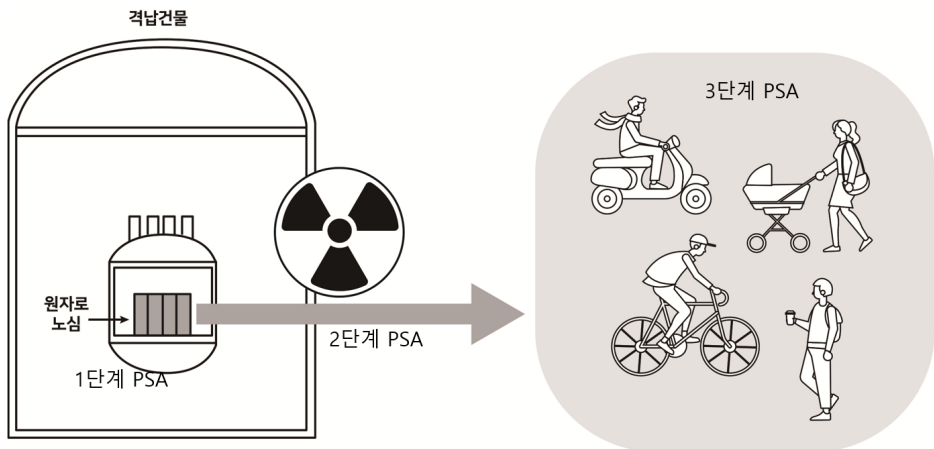
5 미국에서는 PSA라는 용어를 쓰지 않고 PRA(Probabilistic Risk Assessment)라는 용어를 사용하는데 동일한 기술을 의미한다. 대부분의 국가와 IAEA 등 국제기구는 PSA라는 용어를 사용한다.

[표 1] PSA의 분류

운전 상태	원인	단계			
		1단계	2단계	3단계	
전 출력	내부 사건	내부 사건(냉각재 상실사고, 과도사건)			
		내부 침수			
		내부 화재			
	외부 사건	지진			
기타 외부 재해(외부 침수, 강풍 등)					
정지/ 저출력	내부 사건	내부 사건(냉각재 상실사고, 과도사건)			
		내부 침수			
		내부 화재			
	외부 사건	지진			
기타 외부 재해(외부 침수, 강풍 등)					

(PSA의 수행 범위는 PSA의 목적과 각국의 규제 요건에 따라 달라진다. 현재 국내는 신규원전에 대해서는 3단계 PSA까지 수행하여야 한다.)

[그림 1] 1~3단계 PSA 범위



자료: 양준언(2023a)

향을, ‘내부 침수 PSA’란 원전 내부의 배관 혹은 탱크 등이 파손되어 기계나 계통 등이 물에 잠길 때의 사고경위와 영향을 평가하는 PSA이다. ‘지진 PSA’란 지진의 발생 가능성과 지진이 발생할 때의 사고경위와 영향을 평가하는 것이다. 이 이외에도 원전이 있는 지역의 특성에 따라 토네이도 PSA 등 그 지역의 특성을 고려한 외부사건 PSA가 추가되기도 한다(양준연, 2023a).

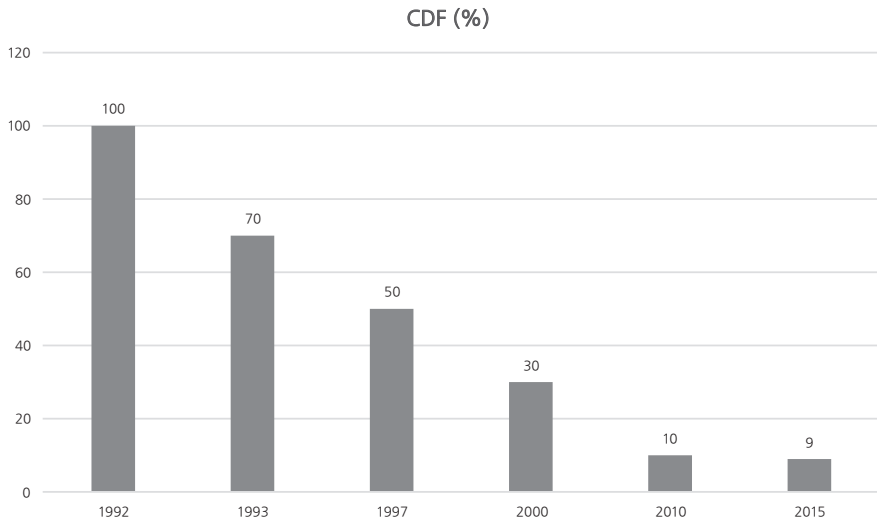
PSA는 미래의 잠재적 위험을 다루기 위해 확률을 사용한다. 따라서 리스크 평가는 확률의 본질적인 속성상 불확실성이 존재한다. 그러나 현재의 PSA 기술은 현재 우리가 사용할 수 있는 최고의 과학·공학 기술을 활용해 원전의 잠재적 위험 수준을 평가하고 있다. WASH-1400 보고서의 여러 문제점을 지적했던 루이스 보고서(NRC, 1978)에서도 PSA 기술이 적절한 신뢰도 자료와 함께 사용된다면 원전 리스크 평가를 위한 최고의 도구임을 인정하고 있다. 현재도 PSA가 원자력 분야만이 아니라 NASA 등 항공·우주 분야와 같이 복잡한 산업 설비의 리스크 평가에 활발히 사용되고 있음을 보면 이 판단은 아직까지도 유효하다고 할 수 있다(NASA, 2002).

IV. 원자력 분야의 리스크 관리 체계

우리가 PSA를 수행하는 목적은 PSA를 통해 단순히 원전의 리스크 수준을 확인하는 것이 아니다. 우리의 궁극적인 목표는 리스크 평가를 통해 해당 원전의 리스크에 크게 영향을 미치는 요인을 파악하고 이에 대한 개선 방안을 도출함으로써 원전의 리스크를 더욱 줄이고자 하는 것이다. 이와 같은 작업을 리스크 관리(Risk Management)라고 부른다. 리스크 관리는 리스크 정보를 활용해 원전의 규제와 운영을 좀 더 효과적(Effective), 효율적(Efficient)으로 개선하고자 하는 시도라고 할 수 있다.

미국은 1995년에 PRA 정책성명을 내며 원자력 규제 체제를 리스크정보활용 규제(Risk-informed Regulation) 체제로 전환할 것을 천명했다(NRC, 1995). 이후 리스크 정보를 활용해 규제 의사결정을 하고, 아울러 원전의 성능(Performance)을 감시해 의사결정의 타당성을 검증하는 리스크정보활용·성능기반방식(Risk-informed·Performance-based Approach: RIPBA)로 발전했다. RIPBA란 PSA 등을 이용한 리스크 평가 결과와 성능감시 결과를 기반으로 원자력시설의 리스크를 최소화하기 위한 리스크 관리 체제라고 할 수 있다.

[그림 2] 미국 원전의 평균 CDF 변화 추이



미국 원자력학회에서 2020년 5월에 발간한 ‘원자력 뉴스(Nuclear News)’에 RIPBA를 도입한 이후 나타난 미국 원전의 안전성과 성능 향상 결과를 보여주는 기사가 나와 있다(True and Butler, 2020). 이 기사에 따르면 RIPBA의 도입 이후 현재 미국 원전의 안전성은 [그림 2]에 나와 있듯이 미국 원전의 평균 노심손상빈도(Core Damage Frequency: CDF)⁶ 측면에서 1990년대 대비 1/10로 감소하는 정도까지 안전성 향상을 이루었다고 한다. 이는 개별 원전 PSA 결과에 따른 안전성 향상 조치, 운전 효율성 및 설비 개선 등 다양한 조치를 통하여 달성되었다. 또한, 1980년대 미국 내 원전의 불시정지⁷가 평균 연 7.8회 정도였지만 2010년대 후반에는 원전의 불시정지가 한 번도 발생하지 않은 해가 3년 연속으로 있는 등 성능 측면에서도 역사상 가장 뛰어난 성과를 보인다고 기술하고 있다. 대부분의 미국 원전이 1960~70년대에 운전을 시작하여 현재 미국 원전의 평균 운전 기

6 노심손상빈도(CDF)란 TMI 원전사고와 같이 원전 핵연료의 현저한 손상(노심손상)을 초래하는 중대사고의 연간 발생빈도에 대한 평가 결과이다.

7 불시정지란 가동 중인 원전이 기계 고장, 인간 실수 혹은 지진과 같은 자연재해로 계획하지 않았던 원자로 정지가 발생하는 사건을 의미한다.

간이 40년이 넘는 것을 고려하면 현재 미국 원전의 안전성과 성능은 놀라운 수준이라고 할 수 있다.

미국이 RIPBA를 도입한 이후 우리나라를 포함해 일본, 중국, 스페인, 멕시코 등 원전을 보유한 세계 여러 나라가 미국의 RIPBA와 같은 제도를 도입하기 위해 노력하고 있지만, 아직도 미국 수준으로 RIPBA 제도를 운영하는 나라는 없는 것으로 보인다. RIPBA가 미국을 제외한 다른 나라에서는 아직 성공적으로 정착되지 못하고 있는데에는 여러 이유가 있을 것이다. 기존에는 여러 나라에서 RIPBA를 도입하면서 주로 미국의 다양한 RIPBA 관련 제도 중 각국 상황에 맞추어 선별적으로 몇 개의 제도만을 도입하는 방식으로 추진되어왔다. 그러나 이와 같은 방식으로는 리스크정보활용 보안(Risk-informed Security) 등 계속 진화, 확장하는 미국의 RIPBA 체제의 장점을 구현하기는 쉽지 않다.

우리나라도 2000년대 RIPBA의 도입을 추진하였으나(원자력안전기술원, 2010) 2011년의 후쿠시마 원전사고 이후 이에 대한 논의가 중단되었다. 그러나 현재 다양한 사회적·기술적 요인으로 원전 운영에 어려움을 겪고 있는 우리나라의 입장에서는 미국 원전이 RIPBA를 통하여 어떻게 현재와 같은 수준의 안전성과 성능 수준을 살펴보는 것은 의미 있는 일이라고 할 수 있다. 우리나라와 같은 RIPBA 체제 관련 후발국 입장에서는 미국의 RIPBA 체제의 도입 및 발전 과정을 체계적으로 심층 검토함으로써 미국이 RIPBA 체제를 도입하며 겪은 시행착오를 회피하고 국내 고유 환경이 반영된 좀 더 효율적인 RIPBA 체제를 구축하는 것이 가능할 것으로 생각된다(양준연 외, 2016). 예를 들어 현재 한국원자력학회에서는 ‘규제 효율성 향상을 위한 국내 규제 체제 개선안 도출’ 과제를 수행 중으로, 이 과제에서는 (1) 정비규정, (2) PSA 표준 및 품질 개선, (3) 원자로 감시절차(Reactor Oversight Process: ROP) 순으로 RIPBA 제도를 도입하는 것을 제안하고 있다(양준연, 2023b).

V. 원자력 분야의 리스크 소통

우리가 원전의 리스크 평가와 관리를 훌륭히 수행한다고 해도 한가지 문제가 남는다. 즉, 리스크 평가 및 관리 관련 내용을 상위의 의사 결정자 혹은 주민 등 외부의 관련자에게 어떻게 잘 전달할 것인가 하는 문제이다. 따라서 보통 리스크 분야의 3대 중요 요소

를 (1) 리스크 평가, (2) 리스크 관리 및 (3) 리스크 소통(Risk Communication)이라고 이야기한다. 이는 리스크 평가와 관리에 관해 원자력계 내외부와 적절히 소통하는 것이 리스크 평가·관리만큼이나 중요하다는 것을 의미한다.

그러나 일반 대중은 물론 원자력 전문가라도 리스크 분야를 전공하지 않은 사람이 리스크 개념과 철학을 명확히 이해하기는 쉽지 않다. 특히 어떤 위험 요인의 리스크에 대해 일반인과 안전 전문가 사이의 인식 차이가 크다는 사실은 리스크 소통 분야에서 이미 오래전부터 알려진 문제이다. 예를 들어 똑같이 방사선이 관련된 엑스레이(X-ray)와 원전의 리스크에 대해 일반인과 전문가 사이의 인식 차이를 들 수 있다(Slovic, 1987). 전문가들은 엑스레이에 과다 노출되는 것에 따른 안전성 문제를 우려하지만, 원전의 안전성에 대해서는 그리 큰 우려를 하지 않는다. 그러나 일반인들은 일상에서 친숙해진 방사선인 엑스레이보다는 이해하기 어려운 원전의 방사선 문제에 대한 우려가 훨씬 크다.

이처럼 일반인과 전문가 사이에 리스크에 대한 인식 차이가 나타나는 것은 각자 리스크의 크고 작음을 느끼는 기준이 다르기 때문이다. 일반적으로 전문가들은 공학적 정의에 따른 리스크를 기준으로 문제를 판단한다. 반면에 일반인들의 리스크 인식은 (1) 재해의 규모, (2) 재해에 대한 이해 수준, (3) 재해에 대처하는 기관에 대한 신뢰도, (4) 재해에 대한 언론의 관심과 같은 요소의 영향을 받는다고 알려져 있다(NRC, 2004).

이와 같은 요소를 고려하면 일반 국민이 원전이 위험하다고 느끼는 것은 당연하다고 볼 수 있다. 후쿠시마 원전사고에서 보듯이 원전사고에 따른 재해의 규모는 매우 방대하다. 또한, 일반인이 눈에 보이지 않는 방사선과 그 피해를 이해하기는 쉽지 않다. 아울러 원자력에 대해 우호적이지 않은 언론 보도도 많다. 2012년도의 고리 정전 사고 은폐 사건과 같이 원자력계가 스스로 원자력 관련 기관에 대한 국민의 신뢰 저하를 자초한 면도 있다. 이와 같은 상황에서 원자력을 운영하거나 규제하는 기관에 대한 일반 대중의 신뢰도 높지 않다. 리스크 소통은 단순히 리스크 분야 전문가만의 영역이 아니라 사회·심리적인 접근이 필요한 분야이다. 원자력에 대한 국민 수용성을 높이기 위해서는 리스크 소통을 위한 종합적인 접근이 필요한 상황이다.

VI. 결론

본 논문에서는 원자력 분야의 리스크 평가 방법, 리스크 관리 체제 및 리스크 소통에 관해 간략히 소개했다. 우리가 어떤 설비에 대해 안심하고 있다고 해서 그 설비가 실제 안전한 것이 아닐 수도 있고, 반대로 어떤 설비가 실제 안전하다고 해서 일반 대중이 안심하는 것도 아니다. 1998년도에 영국에서 웨이크필드란 의사가 어린이의 자폐증이 홍역 등의 백신과 관련이 있을 수 있다는 논문⁸을 발표했고, 이는 유럽 국가에서 백신 접종 거부 운동으로 발전했다. 유럽의 홍역 발생자 수는 1990년대는 거의 무시할 수준이었으나, 2018년도에는 접종 거부 운동의 영향으로 4만 명 이상의 환자가 발생했다. 즉, 어떤 의사결정이 관련 사안에 대한 정확한 과학적 이해가 없이 이루어지는 것은 최종적으로는 사회의 리스크를 높이는 결과를 가져올 수 있다(백원필 외, 2021).

우리는 어떤 설비를 사회에 도입하면 그 설비의 도입에 따른 리스크가 부수됨을 이해해야 한다. 그리고 앞서 이야기하였듯이 사회가 어떤 설비를 수용할 것인가 거부할 것인가는 리스크 관점에서 접근하는 것이 가장 이성적인 접근 방법이라고 할 수 있다. 이를 위해서는 어떤 설비에 대해 우리 사회가 용인할 수 있는 리스크 수준에 대한 사회적 합의를 이뤄야 한다.

한국은 원전의 리스크 관련 안전목표로 소위 0.1% 규칙을 사용하고 있다(원자력안전위원회, 2017). 0.1% 규칙은 1개의 새로운 원전으로 인해 추가되는 리스크가 사회 전체의 기존 리스크에 비교해 1/1000 이하일 것을 요구한다. 예를 들어 한 개의 새로운 원전이 운전됨에 따른 암 발생률의 증가분은 기존 암 발생률의 1/1000 이하여야 한다는 것이다. 현재 국내 원전의 리스크 수준은 이 안전목표를 충분히 만족하는 수준이다.

노벨 경제학상 수상자인 맨큐는 그의 저서 ‘경제학 원론(Mankiw, 2009)’에서 리스크와 관련하여 다음과 같이 조언하고 있다. ‘인생은 도박으로 가득하다. 스키를 타러 가면 넘어져 다리가 부러질 리스크가 있다. 출근길에 운전할 때는 교통사고의 리스크가 있다. 저축한 돈을 주식 시장에 투자하면 주가가 하락할 리스크가 있다. 이러한 리스크에 대한 합리적인 대응은 어떤 대가를 치르더라도 리스크를 피하는 것이 아니라 의사결정 시 이를 고려하는 것이다.’

8 웨이크필드의 논문은 전혀 과학적인 근거가 없는 논문이었고 그 논문은 결국 그 논문이 실렸던 학술지로부터 취소가 되었다.

참고문헌

- 백원필, 양준언, 김인구, 『후쿠시마 원전사고의 논란과 진실』, 동아시아, 2021.
- 양준언, 『원자력시설의 리스크 평가와 활용』, 서울대출판문화원, 2023a(출판 예정).
- 양준언, “규제 효율성 향상을 위한 국내 규제 체제 개선안 도출”, 한국원자력학회, 2023b(출판 예정).
- 양준언, 황태석, 이창주, 나장환, 김명로, “국내 원자력시설 위험평가와 관리 분야 발전방안 보고서”, 한국원자력학회 원자력 열수력 및 안전 분회, 2016.
- 원자력안전기술원, “리스크정보활용 규제(IRR)에 관한 정책보고서”, KINS/AR-911, 원자력안전기술원, 2010.
- 원자력안전위원회, “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정”, 고시 제2017-34호, 원자력안전위원회, 2017.
- IAEA, “Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants,” IAEA, No. SSG-2, IAEA, 2009.
- IAEA, “Safety of Nuclear Power Plants: Design, Specific Safety Requirements,” No. SSR-2/1 Rev.1, IAEA, 2016.
- N. Gregory Mankiw, “Principles of Economics,” South-Western Cengage Learning, 2009.
- NASA, “Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners,” NASA, 2002.
- NRC, “Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, NUREG-75/014 (WASH-1400),” NRC, 1975.
- NRC, “Risk Assessment Review Group Report to the U.S. NRC,” NRC, 1978.
- NRC, “Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities: Final Policy Statement,” NRC, 1995.
- NRC, “Effective Risk Communication: The Nuclear Regulatory Commission’s Guideline for External Risk Communication,” NUREG/BR-0318, NRC, 2004.
- NRC, “WASH-1400 The Reactor Safety Study: The Introduction of Risk Assessment to the Regulation of Nuclear Reactors,” NUREG/KM-0010, NRC, 2016.
- P. Slovic, “Perception Of Risk,” *Science*, Vol. 236, American Association for the Advancement of Science, 1987.
- Doug True and John Butler, “The Nexus between Safety and Operational Performance,” *Nuclear News*, ANS, 2020.

