

## 국가위기관리와 법공학의 상호관계\* -원자력발전소 안전성 확보를 중심으로-

김 동 주\*\* \*\*\*

### 논문요지

최근 코로나바이러스감염증(COVID-19), 미세먼지, 원자력발전사고 등과 같은 재난안전사고의 피해 범위 및 규모와 영향력이 국내에 국한되지 않고 발생하는 현상을 보면 현대사회에서의 위험이 광범위하고 복합적임을 실감하게 된다. 특히 일본 후쿠시마 원자력발전사고로 인해 방사능 오염 물질이 대기, 해양, 대륙 전 범위에서 누출 및 확산하여 10년이 지난 지금도 방사능으로 인한 피해가 계속되고 있는 점을 고려하면 재난안전사고의 영향은 세기를 초월하여 발생할 수 있다.

재난안전사고는 예측 불가능성을 특징으로 하므로 언제, 어디에서, 어떻게 발생하는 것이 어렵다. 결국, 현대사회에서 공존하고 있으며 자연재해, 환경오염, 건강, 경제 및 사회생활, 대외관계 등 다양한 영역에서 현대인은 '위험'을 직면하고 있음을 부정할 수 없다.

재난안전사고를 국가 위기관리 측면에서 보면 국민의 안전권 보장에 관한 문제이다. 대한민국 「헌법」 제34조 제6항에 근거하여 국가는 재해를 예방하고 그 위험으로부터 국민을 보호하기 위하여 노력해야 할 임무를 수행해야 하고 이를 위해 국민의 생명과 재산을 보호하고 위기 발생의 가능성을 최소화하는 등의 모든 조치를 취해야 한다. 그 뿐만 아니라 국가적·정치적·경제적·사회문화적·개인의 위기와 같이 다양한 의미의 위기에 대한 위기관리를 구축해야 한다.

이를 위해서는 국민의 생명과 재산을 재난안전사고로부터 보호하기 위한 새로운 재난안전관리 패러다임 수립이 필요하다. 또한, 국민의 안전권 보장이 국가의 의무인지 혹은 책무인지 검토할 필요가 있다.

이에 본고에서는 국가 위기관리에서의 폭넓은 의미로 재난안전사고에 관한 체계적인 위기관리 체계를 구축하기 위한 선행연구로써, 원자력발전 사고에서의 효율적인 위기관리를 위한 방법으로 법공학(Forensic Engineering)의 역할을 검토하고자 하였다.

검색용 주제어: 위기관리, 환경 행정, 재난안전사고, 법공학, 원자력발전사고

· 논문접수: 2020.12.07. · 심사개시: 2020.12.23. · 게재확정: 2021.01.11.

\* 본 연구는 국립재난안전연구원 2020년도 재난안전관리 업무지원 기술개발 사업인 안전취약계층 맞춤형 재난안전 지원기술 개발 과제(NDMI-주요-2020-02-01)로 수행되었습니다.

\*\* 국립재난안전연구원 안전연구실 연구원

\*\*\* 본 논문은 국립재난안전연구원의 공식적인 입장이 아닌, 저자의 개인적인 입장임을 밝혀둡니다.

## I. 들어가는 글

과학기술의 발달로 인해서 우리가 살고 있는 세상은 점점 더 위험해지고 환경은 파괴되고 공멸할 수도 있다.<sup>1)</sup> 처음부터 과학기술의 발달로 인해 각종 위험과 환경파괴 문제가 증가한 것은 아니고, 오히려 환경문제를 해결한 경우도 있었다. 하지만 인간이 새로이 만들어낸 플라스틱, 농약, 화학비료, 신규화학물질 등은 새로운 환경문제를 유발하였다.<sup>2)3)</sup> 본고의 주제인 원자력발전소 사고 역시 원자폭탄 등과 같이 과학기술 발전에 따른 환경을 위협하는 요인에 해당할 뿐만 아니라 인재, 물건의 손괴, 환경오염으로 이어지는 파급력이 큰 사고로써 재난에 해당한다.

최근 원전사고<sup>4)</sup>, 코로나바이러스 감염증-19(COVID-19)<sup>5)</sup>와 같은 신종 바이러스, 미세먼지<sup>6)</sup>등의 복합적인 재난안전사고를 보면 그 발생·결과·영향이 국내에 국한되지 않고 전 세계로 확산한다는 점에서 현대사회에서의 위험은 광범위하고 복합적이다.

나아가 단순히 재난안전사고의 발생부터 피해까지 일련의 과정뿐만 아니라 이러한 이유로 한 책임의 문제로까지 이어지고 있다. 원자력발전소 인근 주민의 건강상 침해로 한국수력원자력을 상대로 소송을 제기한 사례<sup>7)</sup>, 미세먼지로 인하여 건강상 침해를 당하였다고 주장하는 사람들에게 의하여 국가를 상대로 손해배상청구소송도 제기된 사례 등을 보면 앞으로 이러한 소송이 증가할 것이라 볼 수 있다.<sup>8)</sup>

이렇듯 재난안전사고는 손해배상 문제를 비롯하여 과실상계, 책임의 정도와 범위, 업무상과실 등의 법적 문제로 이어질 가능성이 있다. 이때 객관적 증거의 유무와 입증 정도에 따라 승소 여부가 달라지므로, 책임 유무를 판단함에 있어 근거가 될 수 있다.

국민의 생명과 재산을 재난안전사고로부터 보호하기 위한 기술 개발의 필요성이 대두되고 있고 이러한 기술들을 재난 안전 분야에 활용·도입하는 새로운 재난 안전관리 패러다임 수립<sup>9)</sup>이 요구된다.

이에 본고에서는 국가의 위기관리 측면에서 폭넓은 의미에서의 재난안전사고에서의

1) 강현호(1), 「환경국가와 환경법」, 新論社, 2015, 16면.

2) 광결호, “환경정책과 과학기술”, WeWe 100회 기념세미나 및 환경리더 간담회, 「대한환경공학회」참조.

3) 레이철 카슨은 50년 전에 그녀의 저서 <침묵의 봄>에서 과학기술을 맹신한 인간이 지속적으로 환경을 파괴 할 경우 발생하는 문제에 관하여 경고하였다.

4) 과학기술정보통신부 연구개발정책실 거대공공연구정책관 거대공공연구협력과, “후쿠시마 원전 오염수 문제 비중 있게 다루고 있어 -IAEA 등 국제사회에 후쿠시마 원전 오염수 관련 우려 전달 및 공조 요청-”, KDI 경제정보센터, 2019, 1-2면.

5) 신종코로나바이러스감염증중앙사고수습본부, “신종 코로나바이러스감염증 대응 총리 주재 회의 - 신종 코로나바이러스 감염증 대응계획 등-”, 보건복지부, 2020.

6) 박현욱/배충식, “미세먼지 현황과 과제”, 「기계저널」, 제59권 제6호(2019), 55-58면.

7) 부산지방법원 동부지원 2014.10.17. 선고 2012가합100370판결.

8) 강현호, “한국과 독일에 있어서 미세먼지를 둘러싼 소송법적 쟁점들”, 「공법연구」, 제48권 제1호(2019), 468면.

9) 정태성, “4차 산업혁명 기반 재난 안전 연구개발 중장기계획 수립연구”, 행정안전부, 2018, 5면.

원자력발전 사고를 바라보면서 효율적인 위기관리를 위한 방법으로 법공학(Forensic Engineering)의 역할을 검토하고자 하였다.

## Ⅱ. 위기관리와 원자력발전소 사고

### 1. 위기관리 의미

#### (1) 위기관리의 의미와 절차

위기관리(Crisis Management)란 국가적인 위기, 정치적 위기, 경제적 위기, 사회문화적 위기, 기업의 위기, 개인의 위기와 같이 다양한 의미의 위기를 관리(Crisis management)하는 것을 일컫는다.<sup>10)</sup> 이는 다양한 위기에 적절하게 대응하는 지침을 제공함으로써 위기로 인한 위협을 감소시키거나 피하게 만드는 활동을 의미하므로,<sup>11)</sup> 상황에 따라 필요한 관심사가 아닌 일상적인 업무의 한 부분으로 인식<sup>12)</sup>될 필요가 있다.

OECD에 가입한 미국, 영국, 캐나다 등의 선진국에서는 일상생활에서 반복적으로 발생 가능한 대형사건 사고, 지역별·계절별로 반복되는 재난에 의한 피해를 최소화하기 위하여 효과적인 국가재난안전관리체계를 적극적으로 활용하고 있다.<sup>13)</sup> 우리나라 역시 「위기·재난·안전관리 업무에 관한 규정」과 같이 행정규칙을 마련하거나,<sup>14)</sup> 재난 안전 분야 위기관리를 위해 표준 매뉴얼을 개정<sup>15)</sup>하는 등 위기관리를 위해 노력을 기울이고 있다.

위기관리절차 과정은 서로 독립적이라기보다는 상호 유기적이며 순환적인 관계<sup>16)</sup>를 갖고 있으며, 예방-대비-대응-복구 관계로 표현되기도 한다. 재난의 발생을 중심으로 재난 발생 전(Pre-Disaster)과 재난 발생 후(Post-Disaster)로 나누어, 재난 발생 전에는 예방과 완화(Prevention and Mitigation)단계<sup>17)</sup>와 대비(Preparedness)단계<sup>18)</sup>로, 재난

10) 채경석, 전계서 22면.

11) Coombs, Timothy, 전계서, 17면.

12) Coombs, Timothy, 전계서, 241면.

13) 2001년 발생한 미국 9·11 테러 이후, 미국은 물론 영국, 캐나다 등 OECD에 가입된 주요 선진국들은 테러뿐만 아니라 자연재난, 인적재난 발생으로 인한 인명피해와 재산피해, 그리고 국토의 물리적 환경피해를 최소화하고 효과적으로 대응·복구하기 위해서 국가 차원에서 새로운 국가안전관리체계를 마련하였다. 안영훈, “재난대응 역량 강화를 위한 국가재난위험사전평가제도(NRA)의 활성화”, 「World & Cities」, 제7권(2014), 26면.

14) 환경부훈령 제1180호.

15) 재난대응정책과, “재난분야 위기관리 표준매뉴얼 전면 개정된다. -폭염·한파 등 신규 재난 유형별 위기관리 표준매뉴얼 제정 마무리-”, 행정안전부, 2018.

16) McLouglin, David, “A Framework for Intergrated Emergency Management”, 「Public Administration Review」, vol 45(1985). p.165-172.

발생 후에는 대응(Response)단계<sup>19)</sup>와 복구(Recovery)단계<sup>20)</sup>로 분류한다.

## (2) 국가의 위기관리의 성질

「헌법」 제10조<sup>21)</sup>는 모든 국민은 인격적으로 존엄함을 규정하면서 국민의 기본권을 인정하고 있다. 나아가 동법 제34조 제6항은 “국가는 재해를 예방하고 그 위험으로부터 국민을 보호하기 위하여 노력하여야 한다.”고 규정되어 있다. 이때, “노력하여야 한다.”를 해석하는 데에는 의무로 보는 견해와 책무로 보는 견해의 대립이 있다.

### 1) 의무로 표현하는 조문과 견해

의무로 표현하는 견해도 헌법상 기본권으로 명백히 규정하여야 한다는 점은 인정하는 듯 보인다.

우선 위의 해석을 “안전의 확보는 국가의 의무로서 각종 재난으로부터 국민의 생명과 신체 및 재산을 보호하여야 할 의무의 지속성, 연결성, 영구성을 선언하고 있는 것”으로 의무로 인정하는 듯 보이는 견해가 있다.<sup>22)</sup> 이 견해는 헌법 전문 중 “...우리들과 우리들의 자손의 안전과 자유와 행복을 영원히 확보할 것을 다짐하면서...” 부분을 국가가 국민 개인의 안전 확보를 위하여 항상 노력하여야 할 헌법적 의무를 지고 있음을 천명하는 부분<sup>23)</sup>이라고 이해하고 있다. 안전을 기본권의 하나로 규정하는 것보다 사회구성원의 안전 보장에 관해 국가의 책무 또는 국가 목표 규정을 두는 것이 바람직하다는 견해도 제시된 바 있다<sup>24)</sup>는 내용을 언급하면서 이에 관한 입장표명을 하지 않고 있어 본고에서는 안전권의 확보를 의무로 인정한 문장에 의해 이와 같이 생각하였다.

그리고 원자력 사고와 관련한 방사능 재난은 원전 환경의 위험으로부터 방사능누출 및 방사성 물질 사고의 위험을 방지하고 국민의 안전을 확보하는 것을 국가의 의무

17) 사회의 건강·안전·복지에 대한 위험이 존재하는 영역에서 무엇을 해야 할 것인지를 결정하고 위험 감소를 위해 노력하는 단계이다. 채경석, 전게서, 59면.

18) 재난에 대비하여 필요한 비상계획을 수립하고 훈련을 통해 재해대응조직의 능력을 강화하는 단계이다. 채경석, 전게서, 60면.

19) 재난이 발생하면 일련의 대응조치를 통해 재난의 심각성을 줄여 가고 확산을 방지하기 위한 활동을 의미한다. 채경석, 전게서, 61면.

20) 재해 지역이 재해전의 상태로 회복시키는 과정이다. 채경석, 전게서, 61면.

21) 제10조 모든 국민은 인간으로서의 존엄과 가치를 가지며, 행복을 추구할 권리를 가진다. 국가는 개인이 가지는 불가침의 기본적 인권을 확인하고 이를 보장할 의무를 진다.

22) 나채준/장민선/김은정/배건이/양기근, “재난 및 안전관리 기본법 체계정비를 위한 연구”, 행정안전부, 2018, 1면.

23) 나채준/장민선/김은정/배건이/양기근, 위의 연구보고서, 7면.

24) 나채준/장민선/김은정/배건이/양기근, 위의 연구보고서, 24면.

로<sup>25)</sup>로 인정하는 견해가 있다.

## 2) 책무로 표현하는 조문과 견해

재난 및 안전관리기본법의 구성 체계와 관련 법규를 비교해본 결과, 「재난 및 안전관리 기본법」 제4조<sup>26)</sup>, 동법 제5조<sup>27)</sup>, 「자연재해대책법」 제3조<sup>28)</sup>, 「지진·화산재해대책법」 제3조<sup>29)</sup> 에서 책무로 규정하고 있다. 그리고 판례도 환경오염으로 인한 위해를 예방하고 자연환경 및 생활환경을 적정하게 관리·보전할 책무<sup>30)</sup>로 인정하고 있다.

지정된 위기유형별 체계적 관리를 위해 정부는 위기관리에 필요한 조직, 자원, 문서 등의 기본요소들을 확보하는데 이때, 조직을 유형별 위기관리 활동에 관한 직·간접적인 책무와 역할을 수행하는 위기관리 활동의 주체로 인정하면서 국가의 위기관리를 책무로 인정하는 듯 보이는 견해가 있다.<sup>31)</sup>

국민의 생명과 신체에 대한 권리는 입법부, 행정부, 사법부가 국가작용을 함에 있어서 최대한 존중할 것을 요구하고 있다.<sup>32)</sup> 국가의 일차적 기능은 각종 재난과 재해, 그리고 위부의 침략으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는 것이고, 국가는 위기 발생의 가능성을 줄이고, 그 정도를 완화하는 모든 조치<sup>33)</sup>를 하여야 한다.

결국, 국가안전관리기본계획 수립과 재난 안전관리는 국가의 중요한 책무<sup>34)</sup>로 인정하

25) 김종천, 전계 논문, 7면.

26) 제4조(국가 등의 책무) ① 국가와 지방자치단체는 재난이나 그 밖의 각종 사고로부터 국민의 생명·신체 및 재산을 보호할 책무를 지고, 재난이나 그 밖의 각종 사고를 예방하고 피해를 줄이기 위하여 노력하여야 하며, 발생한 피해를 신속히 대응·복구하기 위한 계획을 수립·시행하여야 한다.

27) 제5조(국민의 책무) 국민은 국가와 지방자치단체가 재난 및 안전관리업무를 수행할 때 최대한 협조하여야 하고, 자기가 소유하거나 사용하는 건물·시설 등으로부터 재난이나 그 밖의 각종 사고가 발생하지 아니하도록 노력하여야 한다.

28) 제3조(책무) ① 국가는 기본법 및 이 법의 목적에 따라 자연재난으로부터 국민의 생명·신체 및 재산과 주요 기간시설을 보호하기 위하여 자연재해의 예방 및 대비에 관한 종합계획을 수립하여 시행할 책무를 지며, 그 시행을 위한 최대한의 재정적·기술적 지원을 하여야 한다.

29) 제3조(국가와 재난관리책임기관의 책무) ① 국가와 지방자치단체는 「재난 및 안전관리 기본법」 및 이 법의 목적에 따라 지진재해 및 화산재해(이하 "지진·화산재해"라 한다)로부터 국민의 생명과 재산, 주요 기간시설을 보호하기 위하여 지진·지진해일 및 화산활동의 관측·예방·대비 및 대응, 내진대책, 지진·화산재해를 줄이기 위한 연구 및 기술개발 등에 대한 계획을 수립하여 시행할 책무를 지며, 그 시행을 위하여 재정적·기술적 지원을 하여야 한다.

30) 환경오염으로 인한 위해를 예방하고 자연환경 및 생활환경을 적정하게 관리·보전할 책무는 일차적으로는 법집행을 직접 담당하고 있는 행정기관의 책무가 될 것이지만, 환경보전이 국가와 국민 모두에게 부과된 의무인 이상 법원도 가능한 한 구체적인 법규를 해석·적용함에 있어 헌법 및 환경 관련 법률의 정신을 존중하여 전체 공동체의 삶의 질을 높여야 할 의무가 있다고 하지 않을 수 없다[대법원 1999. 8. 19. 선고 98두1857 전원합의체 판결].

31) 정지범/김은성, 「자연재해 및 국가위기 발생 시 국가적 종합위기 관리방안 연구(Ⅱ)」 제2편, 한국행정연구원, 2009, 125면; 중앙안전관리위원회, 「제4차 국가안전관리기본계획(2020~2024)」, 중앙안전관리위원회, 2019, 6면에서도 책무로 인정하고 있다.

32) 김종천, “원전의 위험과 환경법의 역할”, 「환경법과 정책」, 제20권(2018), 9면.

33) 채경석, 전거서, 19면.

게 된다. 따라서 이를 위한 과정인 재난에 대한 대책을 마련하기 위한 원인분석<sup>35)</sup>과 재난에 대응하는 재난관리<sup>36)</sup> 역시 국가의 책무에 해당한다고 볼 수 있다.

생각건대, 원자력 사고와 관련한 방사능 재난은 원전 환경의 위험으로부터 방사능누출 및 방사성 물질 사고의 위험을 방지하고 국민의 안전을 확보하는 것 역시 법률과 판례의 취지에 근거하여 책무로 인정하는 것이 타당하다.

## 2. 원자력발전 사고(事故)

### (1) 원자력발전 사고의 의미와 관리 중요성

원자력발전 사고는 “원자력의 연구·개발·생산·이용과 이에 따른 안전관리에 관한 사항을 규정하여 학술의 진보와 산업의 진흥을 촉진함으로써 국민 생활의 향상과 복지증진에 기여하며, 방사선에 의한 재해의 방지와 공공의 안전을 도모”하는 것을 목적으로 하는 「원자력안전법」의 적용 대상이다.

동법에 의해 건설허가를 받기 위해서는 원자로 및 관계시설의 건설·운영함에 있어서 건설허가(제10조 제2항), 부지 승인(제10조 제5항)을 받기 위해서 방사선 환경영향 평가서를 제출하여야 한다. 그리고 방사선 환경영향 평가서를 제출하고 허가(제11조 제3호)와 표준설계인가(제12조 제5항)를 받기 위해서는 방사성 물질 등으로부터 국민의 건강 및 환경상의 위해를 방지하여야 한다는 요건을 충족하여야 한다.

이는 원자력안전법이 원자력의 연구·개발·생산·이용 등에 따른 안전관리에 관한 사항을 규정하여 방사선에 의한 재해의 방지와 공공의 안전을 도모한다는 목적이 있으나, 기능적인 의미에서 환경보호의 목적을 갖는 규범도 포함하기 때문일 것이다.

우리나라는 법률에서 원자력 사고의 개념을 정의하고 있지는 않지만, 원자력발전 사고는 운영·관리 중에 발생한 원인에 의하여 사람에게 위해(危害)를 끼치거나 물건을 손괴(損壞)하는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 이때 사람에게 대한 피해에는 사망이라는 결과를, 물건의 손괴에는 재산상 피해의 전 범위를 포함할 수 있다.

원자력발전 사고는 한 번의 사고로 수많은 인명과 환경에 피해를 줄 수 있으며, 원자력발전소의 위치에 따라 다른 국가에서 사고가 발생하였다도 우리나라에 영향을 미칠 수 있다는 점에서 원자력발전소의 안전 중요성은 재차 강조될 필요가 있다.

34) 중앙안전관리위원회, 위 국가안전관리기본계획, 6면 참조.

35) 미세먼지의 대책을 마련하기 위해서 먼저 원인을 분석하여야 한다는 견해로 강현호, “국민 안전과 건강 보호를 위한 미세먼지 관리 특별대책” 토론회, 「환경법연구」, 한국환경법학회 제129회 정기학술대회 및 임시총회, 2017, 83면.

36) 정호경/마정근, “스위스의 재난 및 지진 관리체계에 관한 연구”, 「법학논총」, 제34권 제3호 (2017), 135면.

## (2) 원자력발전 사고의 파급력과 재난

재난의 개념은 학자나 관련 법규, 각 나라의 기관에 따라 차이가 있다. 이에 관한 구체적인 언급은 기존 선행연구가 많이 있으므로, 본고에서는 구체적으로 논하지 않았다.

우리나라는 「재난 및 안전관리 기본법」상 재난의 개념을 기본으로 적용하므로 “재난”이란 국민의 생명·신체·재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것으로서 유엔인도주의업무조정국(United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, UNOCHA)과 마찬가지로 자연재난<sup>37)</sup>과 사회재난<sup>38)</sup>으로 구분하고 있다.

2011년에 발생한 후쿠시마 원전사고<sup>39)</sup>로 방사능과 방사성 물질이 전 세계로 확산하여 미국, 유럽, 중국은 물론 우리나라에 다양한 방사성 물질이 검출되었고,<sup>40)</sup> 인재(人災)로 이어진 후쿠시마 원전사고<sup>41)</sup>는 9년이 지난 2020년에도 환경오염<sup>42)</sup>을 유발하고 있다. 이처럼 원자력발전 사고의 영향은 세기와 영역을 불문하고 발생하므로, 파급력이 큰 사고임과 동시에 재난에 해당한다.

우리나라 원자력발전소가 위험한 이유로 가장 문제 되는 것이 밀집성과 원전 30km 반경 내 인구수<sup>43)</sup>라는 점을 감안하면 원자력발전소 사고로부터 국민의 안전을 확보하기 위한 법제와 위기관리 시스템 구축이 절실한 상황이다.

37) 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 한파, 낙뢰, 가뭄, 폭염, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대 발생, 조수(潮水), 화산활동, 소행성·유성체 등 자연 우주물체의 추락·충돌, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해.

38) 화재·붕괴·폭발·교통사고(항공사고 및 해상사고를 포함한다)·화생방사고·환경오염사고 등으로 인하여 발생하는 대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해와 국가핵심기반의 마비, 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」에 따른 감염병 또는 「가축전염병예방법」에 따른 가축전염병의 확산, 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」에 따른 미세먼지 등으로 인한 피해.

39) 후쿠시마는 일본의 제1원전이 위치한 지역이다. 규모 9.0의 대지진 당시 제1원전의 원자로 6기 중 1, 2, 3호는 가동되고 있었고, 4, 5, 6기는 점검 중이었는데, 이 원전에 해일이 덮쳤다. 이로 인하여 원전 전원이 중단됐고, 원자로를 식혀주던 긴급 노심냉각장치가 작동을 멈췄다. 그러자 뜨거운 온도를 감당하지 못하던 1호기가 대지진 다음날인 3월 12일, 수소 폭발하였고, 이후 이를 뒤인 3월 14일에 3호기가 수소 폭발했고, 15일에는 2호기와 4호기가 수소 폭발했다.

40) 요오드(Iodine), 세슘(Cesium), 텔루륨(Tellurium), 루테늄(Ruthenium), 란타넘(Lanthanum), 바륨(Barium), 세륨(Cerium), 코발트(Cobalt), 지르코늄(Zirconium).

41) 조행만, “대부분의 원전 사고는 인재(人災) -체르노빌, 스리마일, 후쿠시마의 증언-”, The Science Times, 2013, <https://www.sciencetimes.co.kr/news/%EB%8C%80%EB%B6%80%EB%B6%84%EC%9D%98-%EC%9B%90%EC%A0%84-%EC%82%AC%EA%B3%A0%EB%8A%94-%EC%9D%B8%EC%9E%AC%E4%BA%BA%E7%81%BD/>, 최종 접속일: 2020. 08. 10.

42) 박기용, “후쿠시마 원전사고 9년…그린피스 재오염 진행 중”, 한겨레, 2020, <http://www.hani.co.kr/arti/society/environment/931753.html>, 최종 접속일: 2020. 09. 23.

43) 장다울, “우리나라 원전 왜 문제일까요?”, GREENPEACE, 2016, <https://www.greenpeace.org/korea/update/6978/blog-ce-why-are-korean-nukes-a-problem/>, 마지막 접속일: 2021. 01. 14.

### 3. 소결

현대의 재난안전사고는 복합성과 연쇄성을 특징으로, 국민과 국가의 안전을 해할 뿐만 아니라 세계적인 문제로 확산하는 경우도 있다.<sup>44)</sup> 예측하지 못한 상태에서 발생한 사고의 파급력이 크고, 그 파급력이 현실적·잠재적 위험을 내포하고 있다면 이는 위기에 해당한다.

원자력발전소는 효율성과 편리함을 장점으로 하지만, 중대한 위험성을 내포하고 있으며 사고 발생 시 파급력은 지역과 세기를 초월하여 인재와 환경오염 등의 사회문제와 자연문제로 이어진다.

이와 같은 이유에서 원자력발전소 사고는 국가위기관리의 대상인 위험에 해당하고 국가는 위험관리를 위하여 노력하여야 한다. 원자력발전 사고에 의한 국가적, 개인적, 경제적 위기 등을 관리하는 것은 국민의 기본권을 보장하고 안전을 확보하기 위한 국가의 책무로 인정하는 것이 타당할 것이나, 법령상 명확한 규정과 근거가 없으므로 이를 명확히 할 필요가 있다. 사고 발생 시 안전을 확보하기 위해서 일본의 경우 SNS를 통한 재난구조가 이루어지고 있는 점을 감안하면 우리나라도 다양한 방법을 통한 재난구조에 관한 연구가 필요할 것이다. 이때, 스마트폰, 태블릿 PC 등의 전자기기 사용 및 작동이 어려운 취약계층을 위한 방안을 마련하는 것도 고려하여야 한다.

원자력발전소 사고로부터 국가가 국민의 안전을 확보하기 위해 관리하기 위해서는 우선 원자력발전은 사고 후 발생하는 환경오염, 피해 규모 등의 문제가 있는 만큼 환경법상에서 환경에 영향을 미치는 대상으로 원자로 발전의 건설, 주변 환경 등이 국민의 안전과 무관하다고 볼 수 없다. 따라서 원자력발전소 사고 특성상 고도의 전문적 지식과 기술적인 사항을 요구하고 파급력이 세기를 초월하여 사회 전반에 영향을 미치는 만큼 명확하지 않은 포괄적·추상적인 국가의 의무보다는 적극적인 입법 형성 의무를 부여하는 국가의 책무로 인정하여 책임을 가중하는 것이 타당하다.

나아가 재난 발생 후 방안을 모색하기보다 사전에 다양한 시각에서 원자력발전소가 내포하는 위험에 대한 심층적 논의와 연구를 토대로 관련 정책 등을 구축하기 위하여 이에 관한 지속적인 관리 시스템을 구축하여야 한다.

## III. 위기관리 대응방법과 법공학

### 1. 법공학의 의의

---

44) 김동주/강현호, “자연기술복합재난 관리를 위한 법제 개선방안 연구”, 『法學研究』, 제23권 제4호(2020), 32면.

## (1) 법공학의 의미

법공학은 사실의 질문에 대답하기 위한 공학적 원칙과 방법론을 적용하는 것을 의미하며, 보통 사고(Accidents), 범죄(Crimes), 재해(Catastrophic events), 재산의 저하(Degradation of property), 그리고 다양한 실패 유형(Various types of failures)의 문제를 마주하게 된다.<sup>45)</sup>

이때 고장 혹은 작동이 불가하거나 제대로 기능하지 않아 부상이나 재산상의 손해를 입히는 물질, 제품, 구조물 또는 구성품에 대한 조사로 민·형사 등 법적 활동<sup>46)</sup>이 가능한 분야로 일반적으로는 고장이나 다른 성능의 문제를 조사하는데 공학 원리를 적용하는 것을 의미한다.<sup>47)</sup>

이러한 이유에서 폭넓은 의미로 법에 과학을 적용하는 개념<sup>48)</sup>으로 알려져 있다. 하지만 공학적 분석과 법적 판단은 엄밀히 다른 영역이라는 점에서 양자는 구분하는 것이 타당하므로 학문적으로는 법적인 문제에 대해서 공학적으로 해명을 주는 학문 분야<sup>49)</sup>이다.

이렇듯 법공학은 우선 공학적으로 사고 발생 후 원인을 규명함에 있어 특정 재료, 구성요소, 제품 또는 구조상 고장의 원인을 발견하는 등 향후 재발의 원인을 객관적으로 밝힐 수 있다. 나아가 법적으로 특정 재료, 구성요소, 제품 또는 구조상 고장의 원인이 고의 유무와 책임의 소재와 그 정도를 판단할 수 있다.

따라서 원자력 사고, 화재사고, 교통사고, 철도사고, 항공사고 등 다양한 안전 사건·사고에 관해 공학적으로 규명하여 추후 사고를 예방을 가능하게 하는 학문 분야이며 이를 토대로 법정 혹은 법 개정의 근거가 되는 등의 공학 및 법학 분야의 적용이 가능한 전문 분야이다. 이미 미국, 영국, 일본 등에서는 정식 학문명칭으로 등극하였고 대학 내 관련 학과 및 과정을 신설하여 많은 연구 활동 등이 이루어지고 있다.

## (2) 사고조사 방법

법공학을 적용한 분석과정은 사고조사 활동으로, 사고와 관련된 사실을 정의하고 원인을 규명함으로써 사고원인에 따른 재발 방지대책 평가와 적용 및 효과적인 사후 조치의 수행 등의 목적으로 이루어지는 행위이다.

45) Randall K.Noon, 『FORENSIC ENGINEERING INVESTIGATION』, CRC Press LLC, 2001, p.1-6.

46) B. S. Neale, 『Forensic Engineering - a professional approach to investigation』, Thomas Telford Ltd., 1999, p.170.

47) CEERISK Bridging the gap 홈페이지 참조.,

<https://www.ceerisk.com/site/services/forensic-engineering/>, 최종 접속일: 2020. 09. 20.

48) Vitaly Fedchenko, 『The New Nuclear Forensics: Analysis of Nuclear Materials for Security Purposess』, Sipri, 2015, p.5.

49) 최준섭, “안전하고 안심이 되는 기술사회를 지향하는 법시스템의 구축-법공학의 제창-”, 『기계저널』, 제40권 제7호(2000), 71면.

일반적으로 공학 전문지식을 반영한 사건의 원인, 시기 등에 미친 요인을 식별하는데 도움이 되는 구조화된 접근법으로 구성된다. 따라서 어느 사건의 문제를 초래하는 의사결정에 잠재적으로 관여했던 당사자들의 기술적 책임을 평가하도록 요청받으며 법공학적 분석을 수행하는 작업에 대한 규제 또는 법적 요건과 비교하여 평가해야 한다. 이때, 법원은 작업 기준, 제기되는 문제가 관련 분야의 상식이었는지 여부 등을 고려하여 당사자들의 책임을 평가하는 역할을 한다.

### 1) 사고원인에 대한 적용

현재 법공학을 법정에서 적용한 사례가 많지 않은 것은 부정할 수 없다. 게다가 법공학을 적용하여 사고원인을 밝히는 과정도 쉽지 않다. 왜냐하면, 국립과학수사연구원의 경우 형사소송에 관한 사건에 대해 담당할 뿐이므로 민사소송의 경우에는 담당하지 않기 때문이다.

결국, 민사사건에 있어서 공신력 있는 기관, 전문 기관 등이 결여되어 있는 상황이므로 조사 결과에 대한 신뢰성 확보에 어려움이 있거나 법정에서 증거능력을 인정받지 못하는 등의 문제로 해당 사건과 관련된 내용을 입증할 수 없게 된다.

사고조사 활동에서 법공학을 적용하는 것은 과학·공학 모델링 및 시뮬레이션 등과 같은 기술을 활용하여 환경 요인의 영향 평가, 사고조사와 관련된 규정 및 법령 비교, 사고원인 검토 등의 과정을 통해 사고와 불필요한 요소들을 제거하고 인과관계의 원인을 밝힐 수 있다는 점에서 의미가 있다.

이를 적용할 수 있는 기관으로는 국립과학수사연구원, 화학사고 조사단, 정부 합동 재난 원인 조사단, 건설사고 조사위원회, 중앙시설물 사고 조사위원회 등이 있다. 하지만 한정된 규모 이상<sup>50)</sup>의 피해가 발생한 시설물<sup>51)</sup>, 원자로, 방사선 발생 장치, 관계시설, 핵연료 주기시설 및 폐기시설 등의 건설공사를 제외한 현장에서 발생한 사고<sup>52)</sup>, 관계 기관의 장과 협의한 사항에 관한 사고 영향조사<sup>53)</sup> 등에 한하고 있다.

### 2) 원인 및 책임 소재 객관화

공학적 모델링(Engineering Modeling) 및 시뮬레이션(Simulation)을 통해 수치적 방법이나 시뮬레이션으로 제공되는 계산적 지원을 포함하여 고장 시 존재하는 스트레스, 부하, 동작, 에너지 레벨 또는 기타 물리적 조건의 계산이 가능하다.

이는 양자의 원리에 의해서 가능하다. 우선 공학적 모델링은 균형감(perspective)을

50) 시설물의 안전관리 특별법 시행령 제26조의2 (피해규모).

51) 시설물의 안전관리 특별법의 제33조의3 (사고원인 조사 등).

52) 건설기술 진흥법 시행규칙 제 62조 (중대건설 현장사고의 대상 등).

53) 화학물질관리법 제45조 (화학사고 영향조사).

특징으로 측정 모델(Measurement model), 제어 컴퓨팅(Control computing)을 통해 제어 핸들 모델(Control handle model)이 가능하여 객관적으로 제어 엔지니어링(Control Engineering)이 가능하다. 그리고 시뮬레이션은 시간에 따른 작동을 나타내는 프로세스(process) 또는 시스템(system)을 대략 모방한 것이다.

이러한 원리를 통해 사고 당시 건축, 부품 등의 구성요소에 대한 하중(Load)과 응력(Stress) 등의 물리적 거동을 파악하여 고장을 진단하거나, 사고 시기 등을 파악할 수 있다. 또한, 시뮬레이션을 통해 설계가 완료된 공학 설계에 대해 역방향으로 분석하거나, 사고 또는 고장의 원인이 되는 요소를 해석하는 등의 방법으로 각각도 해석을 통해 사고를 유발한 요인에 재조명할 수 있다.

이는 법정에서 전문가 증언과 더불어, 치밀하고 철저한 과학적 근거<sup>54)</sup>가 인정되는 증거가 될 수 있다는 점에서 법정에서 유효한 증거가 될 수 있다.

### (3) 법공학 기법

첫 번째, 재료 변화 여부 확인 방법이 아래의 기법이 적용된다.

Replication Test(레플리카 검사)는 화재로 인한 조직 변화 및 탄화물 발생 여부 등 관찰하는 검사로 배관 발화부, 비영향부 및 경계부 표면을 연마, 에칭한 후 복제 샘플을 취하여 현미경으로 조직상태, 이물질 분포 등을 관찰하는 기법이다.

그리고 DELTA FERRITE(델타페라이트)검사는 페라이트스코프(자성이용)를 사용하여 발화부, 비영향부 및 경계부 표면의 델타페라이트 함량을 측정한다.

두 번째, 비파괴 결함 검사 방법이 있으며 아래의 기법이 적용된다.

Ultrasonic Testing (초음파탐상검사)는 초음파를 시험체 내로 보내어 시험체 내에 존재하는 불연속을 검출하는 방법으로서 시험체 내의 불연속부로부터 반사되는 에너지양, 송신된 초음파가 시험체를 투과하여 불연속부로부터 반사되어 되돌아올 때까지의 진행 시간, 초음파가 시험체를 투과할 때 감쇠되는 양의 차이를 적절한 표준자료(Standard data)와 비교하여 결함의 위치와 크기 등을 측정하는 방법이다.<sup>55)</sup> 초음파탐상검사는 침투력이 높아 매우 두꺼운 단면에서도 부품의 깊은 곳에 있는 결함도 검출할 수 있으며 방사선 피폭을 방지하기 위한 안전관리의 문제에도 안전한 검사 기법이라 할 수 있다.<sup>56)</sup>

Penetration Test (액체침투탐상검사)는 표면으로 열린 결함을 탐지하는 기법으로

54) 사고 당시의 상황이 고의로 유발되었다는 과학적 근거가 충분한지 등에 대한 치밀하고도 철저한 검증 없이, 피고인이 고의로 갑을 살해하였다는 점이 합리적 의심을 배제할 정도로 증명되었다고 보아 유죄를 인정한 원심판결에 형사재판에서 요구되는 증명의 정도에 관한 법리를 오해하여 필요한 심리를 다하지 아니하거나 논리와 경험의 법칙에 반하여 자유심증주의의 한계를 벗어난 잘못이 있다[대법원 2017. 5. 30. 선고 2017도1549 판결].

55) (주)한국공업엔지니어링 홈페이지 참조., <http://hiendt.co.kr/>, 최종 접속일: 2020. 11. 22.

56) 송성진, “용접부 초음파 탐상 시험의 최적화.지능화 기술”, 「대한용접학회지」, 제21권 제4호 (2003), 11-18면 참조.

침투액이 모세관현상에 의하여 침투하도록 하여 현상하게 된다. 육안으로 식별 불가능한 물 연속을 가시화하는 기법으로 분석 기법이 비교적 단순하며 결함을 육안으로 확인 가능할 수 있다는 점과 용접물의 크기에 제한을 받지 않는 장점이 있다.<sup>57)</sup>

세 번째, 핵포렌식 (Nuclear forensic analysis or nuclear forensics)은 원자력 방사성 물질, 핵 물질 분석을 다루는 모든 응용 분야를 포함하는 개념으로<sup>58)</sup> 핵 또는 방사성 물질과 관련 증거를 제공 및 정보를 분석하는 것을 의미한다.<sup>59)</sup> 단계적으로 사전 폭발(Pre-explosion)과 폭발 후(Post-explosion) 포렌식으로 구분할 수 있으며, 폭발 후 포렌식은 잔해물 분석을 통해 폭발 전 동위 원소를 결정하는 데 사용된다.

핵연료와 감속재 못지않게 중요한 역할을 하는 냉각제(Coolant)와 핵분열 제어물질(Control Material), 원자력 방사성 물질, 핵 물질 분석을 다루는 모든 응용 분야를 포함하여 심층적으로 핵 또는 방사성 물질과 관련 증거를 제공 및 정보를 분석<sup>60)</sup>할 수 있다.

이러한 원리를 이용하여 법정에서 사건이 발생 한 장비에 대한 제품 하자의 원인으로 균열(Crack)에 관한 보고서가 첨부되었고 발견한 균열에 대한 보수청구를 하지 않았더라도 보수 가능한 정도임을 판단하여 사건 장비에 대한 안전성 결여의 하자 원인이 아님을 판단<sup>61)</sup>한 사례가 있다.

위와 같은 선례는 균열을 발견하기 위해서는 결함 검사 방법 등을 통해 도출할 수 있다는 점에서 법적인 의미가 내재되어 있고 기타 법공학 기법이 적용되어 판결된 판례 등에 관한 연구를 향후 진행될 필요가 있다고 생각된다.

## 2. 법공학의 특징

### (1) 공학과 법학의 융복합성

복잡한 역학적 환경에서 사건·사고가 발생함에 따라 사고의 원인을 규명하기 위한 조사와 해석 단계에서는 기계공학, 전기전자공학, 화학공학, 재료공학 등과 같은 전문적 공학 지식과 기술이 요구된다.<sup>62)</sup>

역학적 환경에서의 사고에 관한 법적 판단에 있어 사고와 관련된 증거 상에서의 공학적 분석 결과가 적용될 때, 계산 가능한 수량 또는 규격 준수와 관련된 기술적 문제 등에 관한 판단이 가능할 것이다. 그 외에도, 법적 책임 또는 사법행정의 질문 상에서

57) 한국비파괴검사학회 홈페이지 참조., <http://ksnt.or.kr/>, 최종 접속일: 2020. 11. 24.

58) Vitaly Fedchenko, 「*New Nuclear Forensics: Nuclear Material Analysis for Security Purposes SIPRI Monograph Series 1st Editions*」, Oxford University Press, 2015, p.4.

59) Vitaly Fedchenko, *ibid.*, p.5.

60) Vitaly Fedchenko, *ibid.*, p.6.

61) 서울고등법원 2017. 9. 8., 선고, 2015나2021866(본소), 2015나2021873(반소), 판결

62) 김의수/강승균, “국내 법공학 정착을 위한 한국법공학연구회”, 「기계저널」, 제52권 제7호 (2012), 60면-63면 참조.

의 적용이 가능하다.

예를 들어 변호사의 “기계의 광범위한 손상은 설계 불량, 부적절한 설치 또는 작동 불량으로 인한 것인가?”의 측면으로 접근한다면, 법공학자는 “기계가 공식적인 규격에 부합하는가?, 적절한 코드와 관행에 따라 설치되었는가?, 운영자가 표준 명령이나 절차를 위반하였는가?” 등 공학적인 측면에서 잘못된 점과 발생원인을 진술함에<sup>63)</sup> 따라 산업상의 응용에 및 결과를 종합적으로 해석하여 사고원인에 대한 법적 책임을 다루게 된다.

따라서 공학은 사고조사 및 예방을 위한 기술개발<sup>64)</sup>과 산업상의 응용에 및 결과를 종합적으로 해석하여 사고원인에 대한 법적 책임을 다루는 법적인 면을 가지고 있다. 이런 점에서 법공학은 공학적 측면과 법적 측면이 혼재된 특성을 갖는다.

재난안전사고 발생 시 최종적으로 사고 발생 및 결과에 있어서 객관적으로 원인과 결과를 밝히고, 민사 및 형사 책임 소재를 입증하고, 그 책임을 인정하는 방법으로 법정에서 공학·과학적 조사에 의한 객관적 자료를 제시하면서 유효한 증거능력을 가져야 하므로 법학 지식을 동반해야 한다.

## (2) 과학적 증거의 기능

판례는 과학적 증거의 신뢰성 여부에 관한 판단으로 그 이론이나 기술이 실험될 수 있는 것인지, 이론이나 기술에 관하여 관련 전문가 집단의 검토가 이루어지고 공표된 것인지, 오차율 및 그 기술의 운용을 통제하는 기준이 존재하고 유지되는지, 그 해당 분야에서 일반적으로 승인되는 이론인지, 기초자료와 그로부터 도출된 결론 사이에 해결할 수 없는 분석적 차이가 존재하지는 않는지 등을 심리·판단하는 방법에 따라야 한다는 입장이다.<sup>65)</sup>

발전설비 중 가스터빈의 압축기를 구성하는 19단 블레이드 가운데 1단 블레이드 1개가 파단되어 압축기의 전체 블레이드 등이 손상되는 사고가 발생한 사안<sup>66)</sup>에서 제조 “피해자가 제조물의 결함을 증명하지 못하면 제조물책임이 인정되지 않는다.”고 판시하였고 이에 원고는 그에 부합하는 증거로 사고원인조사 최종보고서를 제출하였다.

나아가 과학적 증거방법은 전제로 하는 사실이 모두 진실인 것이 입증되고 추론의 방법이 과학적으로 정당하여 오류 가능성이 전혀 없거나 무시할 정도로 극소한 것으로 인정되는 경우라면 법관이 사실인정을 하는 데 상당한 정도로 구속력을 갖는다고<sup>67)</sup> 판시한 바 있다.

63) ROGER L. BOYELL, “The Emerging Role of the Forensic Engineer”, 「IEEE Transactions on Professional Communication」, vol. PC-30, NO.1(1987), p.16-17.

64) 박남희/여옥현/이경아/황연정/이경한/나선영/은종화, 「재난 원인 Forensic 조사·분석 최적 기법 연구(붕괴, 화학사고를 중심으로)」, 국립재난안전연구원, 2017, 13-18면.

65) 대법원 2011. 9. 2. 선고 2009다52649 전원합의체 판결.

66) 대법원 2019. 1. 17. 선고 2017다1448 판결.

67) 대법원 2011. 5. 26. 선고 2011도1902 판결.

법공학에 의한 객관적 결과는 신뢰할 수 있는 상당성을 입증할 수 있다고 할 수 있다는 점에서 과학적 증거서의 기능을 할 수 있다.

#### (3) 재난위험요인 통제 방법 마련에 기여

우리나라 ‘국가재난위험 사전평가제도(National Risk Assessment, NRA)’는 재난위험요인들의 발생빈도에 따른 영향력의 연관 관계를 위험등급 형태로 평가하여 좌표(Matrix and Mapping)로 도식화하여 위험요인별로 대응할 수 있도록 가상 시나리오를 개발하여 훈련하는 실천적 방법론이다.<sup>68)</sup> 이를 통해 재난위험요인들이 현실 발생 가능성과 실제 발생 시 피해 규모 등을 고려해서 재난위험요인에 대한 통제 우선순위를 정할 수 있으므로 재난위험요인 통제 방법 마련에 긍정적인 영향을 미친다.<sup>69)</sup>

법공학은 공학적 모델링(Engineering Modeling) 및 시뮬레이션(Simulation)을 통해 현실 발생 가능성과 발생 시 피해 규모를 객관적으로 산정하고 시각화할 수 있으므로 재난위험요인 통제 방법을 마련하는데 있어 이를 도식화하고, 시나리오 개발에 도움이 될 수 있다.

#### (4) 재난대비 계획에 기여

재난위험요인의 발생 가능성은 현실적인 문제(결과)로 이어질 수 있기 때문에 대비하는 것이 필요하다. 이때, 시각화된 다이어그램이라고 일컫는 맵핑(Risk mapping)은 이를 시각화하고 객관화할 수 있는 방법이다. 맵핑을 통해서 위험 발생 요인들에 관한 정보를 다수의 국민에게 쉽게 전달할 수 있게 하면 사전에 취약점을 이해하고 보강할 기회도 제공한다.<sup>70)</sup>

디지털 사진매핑(Digital Photographic Mapping)을 통해 절리면의 방향과 간격 및 암질지수, 절리면 거칠기 등을 분석하여, 이를 공학적 암반분류 방법인 RMR(Rock Mass Rating)과 Q시스템에 입력하여 보강방법을 결정<sup>71)</sup>할 수 있듯이 맵핑에 공학적 객관성을 더한다면 향후 유사 재난의 대비방안을 마련하는데 도움이 될 수 있다.

### 3. 법공학 적용 사례

원자력 사고, 화재사고, 교통사고, 철도사고, 항공사고 등 각종 재난안전사고의 원인은 한 가지로 특정할 수 없다. 이때, 법공학은 결함 분석 또한 다루는 분야이므로 기계, 화

68) 안영훈, 앞의 논문, 28면.

69) 안영훈, 앞의 논문, 32면 참조.

70) 안영훈, 앞의 논문, 32면.

71) 이에 관하여 연구한 논문으로 김치환, “디지털 사진매핑에 의한 공학적 암반분류와 터널의 보강”, 『터널과 지하공간』, 제21권 제6호(2011) 참조.

학, 토목 및 구조 공학자들은 그 분야의 기술을 가지고 건물이나 다른 구조물, 재료 등이 어떠한 이유로 결함이 생기는데 대한 분석을 통해 원인을 규명하게 된다. 기계, 화학, 토목, 전기 공학 등의 개념을 도구로 사용하기 때문에<sup>72)</sup> 활용범위가 무궁무진하며 실제로 다양한 영역에서 법공학 적용을 통하여 원인을 규명한 사례로는 다음과 같다.

#### (1) 하얏트 리젠시 호텔 붕괴 사건

구조 엔지니어가 실수로 승인한 보행로의 원래 설계에 대한 변경사항을 발견<sup>73)</sup> 한 사례로 981년 캔자스시티 하얏트 리젠시 호텔 로비 위 발코니가 무너져 사람들이 다수 죽거나 다친 사고를 예로 들 수 있다.

미국 토목 공학 협회(the American Society of Civil Engineers: ASCE)의 엔지니어들이 붕괴 원인을 조사하기 위해 현장 검사, 실험실 테스트, 분석 연구를 진행하였고 구조적 결함의 주요 원인을 설계에서 이중 로드 시스템으로 변경하여 천장과 상부 보행로를 연결하는 붕괴 하부 보행로를 연결하는 다른 붕괴가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

이를 통해 실수로 변경된 설계는 상부 보행로의 하중을 2배로 증가시키는 문제가 있었음을 밝혀 이로써 캔자스시티 건축 법규에 요구되는 최소 하중에 미치지 못하였다는 사실을 입증할 수 있었다.

ASCE는 여전히 법공학을 공학 또는 기타 성능 문제의 조사에 공학적 원리를 적용한 것으로 설명하며 결함을 조사하고 민사 또는 형사 재판 절차에서 전문가 증언을 제공함으로써 과학기술 및 기술적 전문지식의 적용을 통해 사람들의 안전을 보장하는 데 중요한 역할을 하고 있다.<sup>74)</sup>

#### (2) TWA 800 항공기의 공중 폭발 사건

재료공학 적용을 통한 원인분석 사례로 1996년 7월 17일 뉴욕 케네디 공항에서 프랑스 파리로 향하던 TWA 800 항공기가 이륙한 지 14분 만에 폭발하는 사고를 예로 들 수 있다.

사고가 발생한 후, 재료학 조사(the Metallurgical investigation)를 통해 미사일 혹은 폭탄이 아닌 중앙 날개 연료 탱크(CWT)의 “과압 사건”에 의해 발생한 항공기의 날

72) Jay A. Siegel, “forensic science”, Encyclopædia Britannica, 2020,

<https://www.britannica.com/topic/forensic-engineering>, 최종 접속일: 2020. 02. 06.

73) LVI Associates, “How the Kansas City Hyatt Regency Walkway Collapse Changed the Engineering Profession”, LVI Associates, 2018,

<https://www.lviassociates.com/blog/2018/10/how-the-kansas-city-hyatt-regency-walkway-collapse-changed-the-engineering-profession>, 최종 접속일: 2020. 10. 05.

74) LVI Associates, Ibid.

개 중심 부분의 골절(기계적 고장)임을 결론<sup>75)</sup>지었으며 배선의 단락으로 인한 중앙 연료 탱크 내 가연성 연료 및 증기의 폭발이 유력한 원인으로 지목되었다.

당시 보잉사(Boeing company)와 국가 교통안전 위원회 (National Transportation Safety Board, NTSB) 및 연방항공청(the Federal Aviation Administration; FAA)의 협력으로 조사가 이루어졌으며 회수된 잔해에 대한 철저한 검사-연료에 대한 가설을 세우기 위해 ANSYS 주도의 조사기관에서 수행된 시뮬레이션인 구조 및 컴퓨터 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 통해 확인하였고, 연방항공청은 재발사고를 막기 위해 연료 탱크 및 모든 관련 구성요소의 물리적 상태 등에 대해 조치를 취했다.<sup>76)</sup>

### (3) 후쿠시마 원전 사건

9년이 지난 현재까지 영향을 미치고 있는 원전사고로 2011년 3월 11일 발생한 도호쿠 대지진과 쓰나미로 인해 이튿날 후쿠시마에서 일어난 원자력 사고를 예로 들 수 있다.<sup>77)</sup>

2017년 7월 1F3 원자로 압력용기 (RPV) 하단에서 교체화된 저 녹화 금속 파편이 확인됐지만 각 단위와 노심데브리스 위치에 대한 정확한 사고 진행은 규명되지 않았다. 현재까지 발표된 조사보고서는 지진과 쓰나미가 설계기준치를 넘어 전례 없는 사고를 유발해 결과적으로 불가피한 결과를 초래했다는 점을 고려했으나, 법공학적 연구에서 확인된 취약성이 제거되었더라면 환경오염과 공공 노출이 실질적으로 완화될 수 있었을 것이라는 연구<sup>78)</sup>가 발표되었다.

해당 연구자들은 방사선 유도 전기 분해실험을 통해 수소 발생의 위험, “the suppression pools”에서의 내부 수소 폭발의 잠재적 위험, 증기 응축과 수소 산소 가스의 축적이 일어날 수 있는 파이프에서의 내부 수소 폭발의 잠재적 위험 등에 대해 결과를 도출하였으며 이러한 취약성이 없었다면 환경 방출은 FDA의 활성 단계 동안 취한 TECO’s excellent 사고관리 완화 조치를 통해 최소 3회 이상 감소할 수 있었을 것이라는 결론을 내렸다.

75) WIKIPEDIA, “TWA Flight 800”, [https://en.wikipedia.org/wiki/TWA\\_Flight\\_800](https://en.wikipedia.org/wiki/TWA_Flight_800), 마지막 접속일: 2020. 11. 14.

76) Ansys 홈페이지 참조., <https://www.ansys.com/>, 최종 접속일: 2020. 03. 06.

77) 일본 동북부를 강타한 강진과 함께 발생한 후쿠시마 제1원전 폭발 사고는 2011년 3월11일 발생한 도호쿠대지진과 쓰나미로 인해 이튿날 후쿠시마에서 일어난 원자력사고이다. 위키백과 참조, <https://ko.wikipedia.org/wiki/>, 최종 접속일: 2020. 01. 06.

78) Genn Saji, “Preliminary forensic engineering study on aggravation of radioactive releases during the Fukushima Daiichi accident”, 「Nuclear Engineering and Design」, Vol.324(2017), p.315-336.

#### 4. 소결

법공학은 법정에서 과학적 증거로의 기능을 할 수 있으며, 나아가 법률 개정의 근거 또는 필요성을 보여주는 기능도 하게 될 수 있다.

그럼에도 불구하고 해외와 마찬가지로 우리나라 역시 오래전부터 법공학이란 개념을 적용하고 있었으나, 법공학의 개념이 확립된 해외와는 다르게 우리나라는 법공학에 종사하고 있는 전문가들도 본인들이 법공학 분야에 속해있다고 인식하지 못하고 있다.<sup>79)</sup>

법공학을 적용한 객관적 결과는 사법 활동의 필요를 충족시키는 것 외에도 다양한 유형의 사회적 분쟁에 대한 해결 메커니즘 역할을 하며 중재, 공증, WTO분쟁 해결 등에서 널리 채택<sup>80)</sup>될 수 있으므로 전문가 양성 또한 중요한 과제이다.

외국의 경우 공학을 전문적으로 수행하는 사설 기업이 존재하고 있으며 대학교에서는 관련 수업과 커리큘럼이 마련되어 있을 정도로 법공학이 보편적으로 활용되고 있지만,<sup>81)</sup> 우리나라는 사단법인 법안전 융합연구소와 자문기관인 한국법공학연구회에서 사건 사고조사 및 해석, 법원 증언 및 자문, 사고 예방 컨설팅 및 안전진단의 업무를 진행하고<sup>82)</sup> 중앙대학교에서 국립과학수사연구소와 MOU를 체결하여 교육과정을 신설하고 그 외 대학교에서도 학과를 신설하거나 교육과정을 개설하는 등의 방법으로 운영하고 있으나 외국에 비해서 전문가 양성이나 보편적인 법공학 활용이 미약한 면이 있다.

이처럼 우리나라에서는 민사소송과 관련하여 사고 원인조사를 담당할 만한 기관의 부재로 사고와 관련된 분야의 전문성을 입증할 수 있는 기관이 매우 제한적이라 할 수 있다.<sup>83)</sup> 법정에서의 법공학 적용을 위해서는 민·형사소송에 적용할 수 있는 방안을 모색하여야 한다. 따라서 해외와 같이 법공학자의 전문성, 우수성을 확보하기 위한 교육, 훈련 등의 체계를 국내 실정에 맞게 도입하여 전문가들로 구성된 단체를 확보하고 확대 방안에 대해 고려할 필요가 있다.

무엇보다 구조물 붕괴, 항공기 폭발, 원자력 발전사고 등 각종 재난안전사고에 관한 사고조사 기법을 통한 근본적인 문제점과 원인을 규명하고 객관적 근거에 의한 종합적, 체계적으로 사고 원인을 입증 및 분석할 수 있는 체계를 구축하여야 한다.

특히 원자력발전 사고는 100만eV(MeV) 단위로 표시되는 에너지인 고에너지(High Energy) 배관의 보온재 내부 유탄유 유입에 의한 화재 발생 가능성<sup>84)</sup>이 있는 등 “위험 물

79) 황보람, “사고조사 종사자들도 ‘법공학’ 몰라”, 중앙일보, 2012,

<https://news.joins.com/article/8998519>, 최종 접속일: 2020.02.01.

80) Z. X. FANG, “Progress and Challenges of Forensic Structural Engineering—Focus on Mainland China”, 『Procedia Engineering』, Vol.14(2011), p.1212-1218.

81) 김의수/강승균, 전계논문, 61면.

82) 해외의 6개 기관 및 대학교를 포함하여 정책, 법/제도, 세무/감사, 기계/건설, 화공/환경, 소재, 교통, 화재/재난, 국방, 원자력 연구위원들로 구성되어 있다.

83) 해외에서는 개인 혹은 단체 간의 법적 문제 해결에 공학적 해석이 필요한 경우 자문을 제공하는 사례가 빈번하지만, 아직 국내에서는 미약한 수준이다.

84) 작업 수행팀(전기팀)은 단순 사건으로 인식하여 소실장에게 보고하였고, 관련 부서(기계팀,

질”과 필수 불가결한 요소를 갖고 있다. 따라서 관련 사고조사 기법에 대해 근본적인 문제점과 원인을 규명하기 위한 체계적인 연구가 필요한 분야임이 분명하며, 객관적 근거에 의한 종합적·체계적으로 사고 원인을 입증 및 분석할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

#### IV. 위기관리 예방 측면에서의 원자력발전소 안전성

##### 1. 원자력발전소의 안전성

###### (1) 원자력발전소 안전성의 의미

원자력발전소는 하나의 사고로 방사성 물질이 외부로 흘러나가 인체에 해를 미칠 수 있어 원자력발전소에서는 원자력 에너지를 적절히 제어하고 다중의 차폐체를 이용하여 방사성 물질이 누출되지 않도록 격리함으로써 안전성을 유지한다.<sup>85)</sup>

이처럼 원자력에서의 위험요소는 방사능으로 알려져 있다. 위험요소로 인한 위험을 방지하고자 원자력발전소는 방사선과 방사성 물질이 격납건물 외부로 방출되지 않도록 설계되어 있어 안전성을 확보하고 있다.<sup>86)</sup> 이는 원자력발전소의 안전 활동(안전 목표, 안전성 확보 원리, 안전성 확보 방안)은 방사선 피폭(노출) 또는 방사성 물질의 외부 누출을 방지하는 데 집중되어 있음을 의미한다.

안전성 확보 방법으로는 다중방호와 다중방벽을 원칙으로 하는 심층방어(Defense in Depth)를 적용한다.<sup>87)</sup> 심층방어는 이상 상태의 발생을 방지하고, 이상이 발생해도 사고로 전개되거나 확대를 억제하여 사고가 나더라도 주변으로 방사선 누출이 없도록 하는 것을 의미하고, 다중방어(방호)는 방사선을 완벽하게 차단할 수 있는 다섯 겹의 방호벽을 의미한다.<sup>88)</sup>

이런 이유에서 원전 안전을 위한 필수 요건으로 i) 방사성 물질을 핵연료 피복관·원자로 용기·격납용기 등의 방벽 안에 억류, ii) 원자로 출력(핵분열 에너지)을 확실하게

---

발전팀 등)에 통보하지 않아 설비에 미치는 영향이 검토되지 못하였다.

85) 한국수력원자력(주), 「2012년도 원자력발전 백서」, 지식경제부, 2012, 359-363면 참조.

86) 한국원자력연료 홈페이지 참조,

<https://www.knfc.co.kr/board?menuId=MENU00519&siteId=null>, 최종 접속일: 2020. 11. 09.

87) 미국원자력규제위원회(U.S.NRC)에서는 ‘심층방어’를 “방사선 또는 위험물질 방출 사고들을 예방하고 완화할 수 있도록 원자력 시설을 설계하고 운전하기 위한 접근법”으로서, “잠재적인 인적 실수나 기계적 고장을 보상하기 위하여 아무리 튼튼하더라도 하나의 방어단계에만 의존하지 않고 다수의 독립적이고 중복된 방어단계를 제공하는 것이 핵심”이라고 표현하고 있다. 나아가 “접근 제어, 물리적 방벽, 다중성·다양성을 지닌 핵심 안전기능과 비상대응조치가 포함” 되는 것으로 설명하고 있다. 자세한 내용은 U.S.NRC 홈페이지 참조, <https://www.nrc.gov/> 최종 접속일: 2020. 11. 16.

88) 한국원자력연료 홈페이지 위와 동일, 최종 접속일: 2020. 11. 09.

제어하기 위하여 정상 운전 시 원자로 출력 조절, iii)비상시에는 원자로를 신속하고 안전하게 정지, vi)원자로 및 핵연료를 지속적으로 냉각하여 정상 운영 시에는 핵연료 봉으로부터 핵분열 에너지는 안전하게 제거, v)원자로 정지 후에는 핵연료봉으로부터 방사능 붕괴 열(Decay Heat)을 안전하게 제거할 수 있는 것을 요구하고 있다.

## (2) 원자력발전소의 안전성의 중요성

### 1) 인재(人災), 재해(災害)로의 높은 확대 가능성

원자력발전 사고로 인하여 인재와 재해로 이어질 수 있다는 점은 앞서 확인하였다. 과학기술의 발전과 더불어 산업화·도시화 되어 있는 현대사회는 재난으로 인한 인적재난의 피해가 증가하고 있으며 이로 인한 피해액 산정과 원인 규명 역시 중요한 문제가 되었다.<sup>89)</sup>

우리나라 원자력발전의 안전성은 신뢰할 만한 기술력을 갖추고 있으나 원자력발전 사고 유발 원인이 지진 또는 지진해일인 경우, 다른 자연재해의 문제를 배제할 수 없다. 자연재해는 아무리 완벽히 대비하려고 해도 예측 불가능한 영역이 있기에, 위험(Risk)을 줄이기 위해서라도 원자력발전소의 안전성을 재차 확인할 필요도 있다.

### 2) 위험관리의 중요성

재난 위험은 사고 발생 가능성(Hazard), 위험에 노출된 사람과 자산(Exposure), 사회가 그 피해를 얼마나 감당할 수 있는지(Vulnerability)의 결합물이다.<sup>90)</sup>

재난의 영향(파괴력)은 사고 발생 즉시 발생하는 인적 손실이나 물적 피해에 국한되지 않는다. 재난으로 인한 질병 확산, 트라우마, 복지 문제, 사회 서비스의 중단, 사회적·경제적·환경적 파괴를 포함하는 광범위한 것이다.

### 3) 원자력발전소의 밀집

각 원자력발전소가 안전하더라도 후쿠시마 원전사고 때와 같이 인근 지역에 모여 있으면 동시에 영향을 받아 10개 원전이 몰리면 1개에 비해 위험도가 19.4배 높아진다고 하는데 우리나라의 경우 부산과 울산에 원자력발전소가 모여 있다. 이는 사실상 바로 옆 부지라고 볼 수 있어서 사고가 나면 방사능누출 피해를 더 많은 사람이 겪을 위

89) 김동주/노명선, “안전·재난 관리 체계에 관한 비교법적 검토와 시사점”, 『경희법학』, 제53권 제4호(2018), 68면 참조.

90) Global Reinsurance Forum, “Global reinsurance: strengthening disaster risk resilience”, Global Reinsurance Forum, 2014, p.5-28.

험이 있다.<sup>91)</sup> 위험성이 더욱 커진 것이다.

현재 원자력발전소 사고 발생 시 인근 주민의 대피에 관한 체계를 비롯하여 방사능의 위험으로부터 대처방법이 미흡하다는 주장이 제기되고 있다는 점에서 원자력발전소의 자체 안전뿐만 아니라 사고 발생 시 대응조치 등 안전성 확보를 위한 지속적인 보완을 해야 한다.

#### 4) 심층방어(Defense in Depth)의 문제점

원자력발전소의 안전성을 확보하기 위한 심층방어는 설계에 오류가 있을 수 있다는 점, 기기는 고장이 발생할 수 있다는 점, 설계하는 사람의 실수가 있다는 점에서 완벽한 방법이라고는 할 수 없다. 이는 후술하는 인적 오류의 문제로 이어지게 된다.

따라서 인적 오류의 문제를 정확하게 객관적 입증 할 방법이 필요하고, 인적 오류와 사고결과의 인과관계를 밝히고 책임 비율을 객관적으로 산정할 방법으로 법공학이 유용하게 적용될 수 있다.

#### (3) 원자력발전소 평가방법

1975년 MIT의 노먼 라스무센(Norman Rasmussen)교수가 원자력 규제 위원회(Nuclear Regulatory Commission, NRC)에 제출한 “원자로 안전성 연구(Reactor Safety Study), WASH-1400” 보고서를 통해 원자력 안전규제 원칙을 이른바 위험도 정보 기반(risk-informed)으로 변화시키면서 전 세계의 원자로 안전성 평가 방식을 바꿔놓았다.<sup>92)</sup>

이로써 원자력 안전성 평가는 결정론적 방법(Deterministic Safety Assessment)에서 확률론적 안전성 평가(Probabilistic risk assessment, PRA)로 진화하였다. PRA<sup>93)</sup>는 1단계 원자력발전소 내의 사고로 일어나는 노심 손상, 2단계 노심 손상으로 인해 일어나는 격납용기의 반응 및 격납용기 밖으로의 방사능 유출, 3단계 발전소 주변 지역과 같은 외부에 미치는 사고를 단계적으로 수행할 수 있다.

현재 「사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정」 제9조 Risk 평가 및 제3조와 제5조와 관련 있는 별표1과 별표2, 「사고관리계획서 작성방법에 관한 규정」 제4조 사고관리능력의 평가, 「원자력안전법 시행령」 제37조 주기적 안전성 평가의 내용, 「원자력안전법 시행규칙」 제20조 주기적 안전성 평가의 세부내용에서 활용되고 있다.

91) 김은지, “원전, 내진설계 잘 됐다 고 안전한 게 아니다”, 시사인, 2017,

<https://www.sisain.co.kr/news/articleView.html?idxno=30626>, 최종 접속일: 2020. 08. 05.

92) 김효민/염성필, “인간의 실수를 어떻게 막을 것인가? : 확률론적 위험성 평가가 한국의 원자력안전 규제에 적용된 과정”, 「한국과학기술학연구」(2019), 83면 참조.

93) 확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment; PSA) 방법은 확률론적 위험도평가(Probabilistic Risk Assessment; PRA)라고 표기하는 경우도 있지만, 의미는 동일하다.

수행 단계는 구체적으로 발전소 친숙화, 초기 사건 (initiating event) 분석, 사건 분석 (event tree analysis), 계통 분석(system analysis) 및 신뢰도 자료 분석, 정량 분석으로 구분된다. 위의 방법을 통해서 원자력발전소의 안전성을 종합적으로 평가하고 있다.

앞서 심층방어(Defense in Depth)의 문제점에서도 언급하였지만, 사고에 관한 인간 실수(Human error)는 불가피하다.<sup>94)</sup> 원자력발전소 사고 역시 인간의 실수가 개입될 수 있으므로 원자로의 안전성 평가는 기계적 이상뿐만 아니라 인적 오류의 가능성까지도 고려한 총체적이라는 논리적 구조와 외관을 갖게 된다.<sup>95)96)</sup>

원자력 사고 방지를 위해서는 영원한 불확실성의 영역인 인적 오류의 발생 확률을 낮춰야 한다. 이를 위해서 작업현장/근로현장 개선, 스트레스, 구성원 상호작용, 인센티브, 조직 문화와 같은 요소<sup>97)</sup>를 개선하는 작업과의 연계 속에서 이루어져야 함은 물론이지만 본고에서는 인적 오류를 방지하기 위한 객관적 근거 마련으로써 법공학 적용의 필요성을 다루기 때문에 구체적으로 다루지 않는다.

## 2. 원자력발전소 사고에서의 법공학 적용 필요성

원자력발전은 수력, 화력 등의 발전방식과는 다르게 원자핵의 분열에너지를 이용하기 때문에 방사성 물질인 핵분열 생성물이 원전 연료 내에 축적된다. 이러한 발전소의 특성상 UN(United Nations, 국제 연합)이 정하는 9가지 위험 물질(Dangerous Goods)<sup>98)99)</sup> 중 하나인 방사성 물질을 비롯한 방사성 폐기물과 공존하는 관계라고 할 수 있다. 결국, 원자력발전이 중요한 에너지 공급 역할을 담당하기 위해서는 안정성을 확보하고, 사용 후 핵연료(Spent Nuclear Fuels, SNFs) 문제를 해결하여야 한다.<sup>100)</sup>

94) 최준섭, 앞의 논문, 73면., 이런 이유에서 최후 행위자의 책임만을 묻는 것이 타당한지에 대한 고민이 필요하다고 말한다.

95) 김효민/염성필, 앞의 논문, 91면.

96) 수행된 원자력발전소 PSA 결과에 의하면 인적오류가 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나로 나타났고 실제적으로 발생된 대형사고 대부분은 인적오류와 밀접히 관련이 있다. 강대일/정원대/양준원, “인간신뢰도 분석 표준 방법의 진단오류 분석 규칙 개발”, 한국원자력학회, 2003, 1면.

97) 강재열, “원자력 안전과 건전한 원자력안전문화 확산”, 전기저널, 2019, <http://news.koreanbar.or.kr/news/articleView.html?idxno=11489>, 최종 접속일: 2020. 02. 09.

98) 항공기, 선박 또는 육상운송 도중 물질의 화학적, 물리적 또는 생물학적 성질상 그 물질 자체의 특성으로 인하여 또는 다른 2종류 이상의 물질이 접촉 또는 압력, 온도변화 등으로 인해 폭발, 부식, 질식, 자연발화, 전염 등을 초래하여 인간, 환경 또는 수송 수단에 위험을 유발하는 물질 및 제품을 의미한다.

99) 9가지 위험 물질은 화약류 (Explosives), 가스류 (Gases), 인화성 액체류 (Flammable Liquids), 인화성 고체류 (Flammable Solids), 산화성 물질 및 유기과산화물 (Oxidizing Substances and Organic peroxides), 독성 및 전염성 물질 (Toxic and Infectious Substances), 방사성 물질 (Radioactive Materials), 부식성 물질 (Corrosives), 기타 위험 물질 (Miscellaneous Dangerous Substances)이다.

100) 류경하/이태현/이상혁/반병민/ 김재형, “액체금속 피동냉각유동모사 실증설비의 개발”, 「대한기계학회 논문집 C권」, 제3권 제4호(2015), 257면.

현재 총24기의 원자력발전소를 운영 중인 우리나라는 정부의 에너지전환 계획이 공식화된 이후에 신재생에너지·LNG(액화천연가스) 발전을 늘리고 원자력 발전을 감소함에 따른 문제점<sup>101)</sup>이 제기된 바 있으며, 급증하는 에너지 수요를 충족시키기 위해 원자력 발전소의 확대 정책의 기초가 불가피해 보인다는 견해<sup>102)</sup>도 주장되고 있다.

주로 원자력발전소에 대해 핵연료 처리 문제<sup>103)</sup>, 과학기술을 적용한 사고 대비 모의 훈련<sup>104)</sup>과 같은 연구는 진행 중이지만 원자력 사고조사 과정, 기법, 체계와 같은 본질적 원인에 대한 체계적인 데이터를 위한 연구는 미흡한 실정이라 할 수 있다. 만약 이러한 연구가 활발히 진행된다면 비슷한 사고의 재발을 방지하고 사고가 발생 후 신속하고 정확한 대응을 할 수 있을 것이다.

따라서 사고조사와 밀접한 관계가 있는 법공학을 적용하여 국내 원자력 사고뿐만 아니라 재난 및 재해 조사체계를 구축할 필요가 있다.

### 3. 원자력발전소 사고에서 법공학 적용 사례의 시사점

#### (1) 일본

후쿠시마 제1 원자력발전 사고(FDA: the Fukushima Daiichi Accident) 이후 TEPCO에 대한 많은 소송이 제기되고 있고 정부 조사위원회 보고서에는 법공학적 조사를 고려해야 했다.<sup>105)</sup>

원자력발전소에서 수소 발생은 지르코늄-증기 반응이나 전파 분해를 통해 일어날 가능성이 크므로 그 사고에 대한 확실한 증거가 필요한데 이때 아래와 같은 다양한 증거들이 수집되고 통합될 수 있다.

다양한 증거는 화학 및 방사선 분석의 세부 특성 데이터, 방사선 모니터링 데이터, 사고 직후 로봇 검사 데이터뿐만 아니라 최근 촬영된 로봇 검사 데이터, “핵심 이물질” 식별 및 영상 데이터 등<sup>106)</sup>을 수집하여 후쿠시마 원자력발전 사고에 관한 연구가 진행 중이다.

101) 안상희, “文정부 탈원전 실행 2년…한전 적자 원전산업 붕괴 온실가스 증가”, 조선비즈, 2019, [https://biz.chosun.com/site/data/html\\_dir/2019/10/25/2019102502063.html](https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2019/10/25/2019102502063.html), 최종 접속일: 2020. 06. 15.

102) 김종호, “오바마의 새 원전, 문재인이 탈원전”, 조선비즈, 2019, [https://biz.chosun.com/site/data/html\\_dir/2019/07/20/2019072000107.html](https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2019/07/20/2019072000107.html), 최종 접속일: 2020. 05. 26.

103) 김순강, “원자력 발전의 진실을 밝히다”, 사이언스타임즈, 2019, <https://www.sciencetimes.co.kr/news/%EC%9B%90%EC%9E%90%EB%A0%A5-%EB%B0%9C%EC%A0%84%EC%9D%98-%EC%A7%84%EC%8B%A4%EC%9D%84-%EB%B0%9D%ED%9E%88%EB%8B%A4/>, 최종 접속일: 2020. 07. 15.

104) 유성민, “발전소서 전방위 활용중인 ‘드론’”, 사이언스타임즈, 2019, <https://www.sciencetimes.co.kr/news/%EB%B0%8C%EC%A0%84%EC%86%8C%EC%84%8C-%EC%A0%84%EB%B0%A9%EC%84%ED%89%EC%8A%A9%EC%A4%81%EC%8D%8B-%EB%83%8C%EB%A1%A0/>, 최종 접속일 2020. 08. 06.

105) Genn Saji, Ibid., p.452-480.

106) Genn Saji, Ibid., p.452-480.

## (2) 한국

2019년 한빛 1호기 가동 준비 중 원자로냉각재계통(RCS) 유로(Loop) C 중간냉각재관(Cross-Over Leg) 보온재 연기 및 불꽃 사고가 발생하였다. 이 사고는 원자력안전위원회 고시 제2018-3호 별표 1.9 “시설에서 유독가스의 발생, 화재, 아크, 폭발 등으로 인하여 외부소방서 119 안전신고센터 포함)에 소방대 출동을 요청한 경우”에 해당하여 보고하여야 하는 사건이었다. 사건 발생 후, 한국원자력안전기술원(KINS) 조사팀은 안전성 평가를 위해 사건 발생 원인분석, 사건으로 인한 영향, 사건대응 적절성, 원전운영자 재발 방지 조치에 대한 적절성을 확인하였다.

특히 화재 발생원인 조사를 위해서 앞서 언급한 법공학 분석 기법을 적용하기 위하여 배관 건전성 평가 구분을 하게 되는데 재료 변화 여부 확인 시험, 모사실증 시험, 비파괴 결함 검사로 구분하여 각 시험에 관한 시험방법으로 진행하였다.

이를 통해 제24차 계획예방정비 중 RCP 정비과정에서 누유된 윤활유를 적절하게 제거하지 못하여 발전소의 가열운전 중 자연 발화된 사실을 확인할 수 있었다.

원자로냉각재계통 유로 C 중간냉각재관에 대한 기계·재료 측면의 건전성을 확인하기 위한 검사로 “재료 응력 부식균열 및 입계부식 특성, 재료의 기계적 물성 변화, 표면 결함 발생 여부 및 배관의 화학성분 분석” 등의 공학적 검토도 진행하였고 원자로냉각재계통 유로 C 중간냉각재관 표면에 대한 기계·재료 측면의 건전성 확인을 수행한 결과 관련된 요건 및 기술기준에서 요구하는 사항을 만족<sup>107)</sup>하고 있었으며 방사성 물질 누출 등 안전 관련 사항 또한 발생하지 않아 발전소 안전성에는 영향이 없다는 점도 확인할 수 있었다.

## 4. 법공학 적용을 통한 원자력발전소 안전성 확인 사례

2011년 원자력발전소를 운영하는 회사가 과학기술부 장관의 허가를 받아 설계수명이 만료된 원자력발전소를 계속 운전하자, 발전소 인근 지역에 거주하는 주민들이 발전소 계속 운전엔 안전상 문제가 있다는 등의 주장을 하며 발전소 가동중지 가처분을 신청한 사안에서, 위 주민들에게 발전소의 가동중지를 구할 피보전권리가 없다고 하였다.<sup>108)</sup>

이유인즉 「고리 1호기의 계속 운전 과정에서 잠재적인 위험요인에 대한 기술적 통제 불가능 또는 결여로 인해 방사성 물질의 누출이 발생하여 채권자들의 생명, 신체, 재산 등이 침해되는 재해가 발생할 개연성이 있다는 구체적인 위험이 인정되는 경우라야 채권자들에게 고리 1호기의 가동중지를 구할 수 있는 사법상의 권리가 있다고 볼 수 있

107) 한국원자력안전기술원, 「원전사고·고장 조사 보고서: 한빛1호기 가동 준비중 원자로냉각재 유로 C 중간 냉각재관 보온재 연기 및 불꽃 발생(사건발생일: 2019.03.09.)」, 한국원자력안전기술원, 2019, 7-10면.

108) 부산지방법원동부지원 2011. 9. 19. 자 2011카합211 결정

다」는 것이었다.

이는 법원이 채권자들이 고리 1호기의 고장 이력, 주기적 안전점검과 주요기기 교체, 압력용기의 안전성, 천재지변 등 대비 문제를 개별적 가동중지 사유를 판단하는데 잠재적인 위험요인에 대한 기술적 통제 수행 여부를 판단하여 구체적 위험을 인정하지 않은 것이다.

다른 한편으로 본 결정은 잠재적인 추상적 위험의 정도와 발전소 계속 운전 과정에서 잠재적 위험요인에 대한 기술적 통제의 불가능 또는 결여로 인해 방사성 물질 누출이 발생하여 주민들의 생명, 신체, 재산 등이 침해되는 재해가 발생할 개연성이 있다는 구체적 위험 인정을 소명하였다면 가동중지를 구할 피보전권리가 인정될 수 있었을 것이었음을 짐작하게 한다.

본고에서는 법원이 해당 결정에 법공학 원리를 적용하였다는 점에 주목하고자 한다. 우선 압력용기의 안전성을 판단하는 데 있어서 특정 제품, 시스템, 프로세스 등에 물리적 및 공학을 위하여 시편에 대한 파괴 인성검사를 통해 최대흡수에너지가 사고 상태를 가정한 경우에도 기준치의 약 2.5배 안전 여유도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 가압열충격 기준온도 검사로 40년 운전을 기준으로 기준치 300°F에서 40°F 여유가 있는 260°F로 나타난 결과를 통해 압력용기의 안정성을 확인할 수 있었다.

또한, 압력용기의 안전성 판단에 있어서 천재지변 등 대비에 관해서도 내진검증에 최신기술수준인 Generic Implementation Procedure 3A를 적용한 점과 해일 위험의 증가에 대처하기 위하여 방호벽을 10m로 보강하고 비상 디젤 발전기실에 방수문과 방수형 배수펌프를 추가 설치하며 차량장착 이동형 비상 발전기를 도입할 계획을 수립·추진하는 점과 내진 성능이 보강되었다는 것을 감안하면 법공학을 통한 안전성 판단 가능성이 농후하다고 생각된다.

이는 기술적 통제의 판단과 이를 인정할 만한 소명자료 과정에서 공학 원리를 적용하는 것의 의미는 상당하다. 이에 법공학을 적용한 결과를 토대로 법적인 책임, 손해 등 판단이 가능하며 그 기준을 제시하고 과학적으로 입증할 수 있다는 점에서 의미가 있다.

## 5. 소결

원자력발전은 관련 분야에 대한 고도의 전문적 지식이 필요할 정도로 “위험 물질”과 필수 불가결한 요소를 갖고 있으며 국내에서 밀집된 형태로 구축된 원자력발전이 내포하는 위험을 줄이고 안전성 확보를 할 필요가 있다.

일본의 경우를 보더라도, 원자력 사고 발생 후에도 관련 사고조사 기법을 적용한 근본적인 문제점과 원인을 규명을 위해 공학적 연구를 꾸준히 지속하고 있는데 이는 법공학이 사고원인을 입증 및 분석할 수 있는 기술을 적용할 수 있는 체계가 수립되어 있기에 가능한 일이라고 생각한다.

국내의 경우, 2019년 한빛 1호기 사고는 법공학 조사 기법을 적용하여 발화부/비영향부 및 경계부 샘플 간 조직 차이, 조직 내 탄화물 및 균열 발생 여부, 함량의 정도, 체적결함 여부, 표면결함 여부 등 자연발화의 원인을 분석 후 공학적 측면의 문제가 아닌 원자력발전의 인적오류에 의한 사고임을 밝혀낸 바 있다.

이러한 사고의 근본적인 원인을 규명하고 안전성을 확보하는 과정에서 법공학적 적용은 이미 실현되고 있다고 볼 수 있으며 판례를 보더라도 원자력발전의 “안전성 문제의 판단”에 있어 근본적인 문제점에 대한 원인 규명의 과정으로써 법공학의 체계적인 연구 및 체계 구축을 위한 입법단계에서의 심층적 논의가 필요하다.

## V. 결론

원자력발전소 사고의 경우 국민의 생활에 간·직접적 영향을 줄 수 있는 요소들이 존재하고 있으며 이는 재난 및 재해로 이어질 가능성이 크다. 위기관리 측면에서, 국민의 안전을 보장하기 위한 국가의 책무 측면에서 원자력발전소 사고의 안정성은 중요한 문제이다.

본고에서의 법공학은 개념적으로 공학과 법학의 융합적인 연구가 필요한 분야이며 원자력발전소가 위기관리의 대상이라는 점, 효율적 위기관리를 위한 객관적 방법으로 법공학을 적용할 수 있다는 점을 검토하였다.

이러한 점에서 안전사고를 이해하는 법공학은 공학적 이해의 선행을 통해 법정에서 사실을 입증하여 객관적으로 데이터화 할 수 있고 이는 승소<sup>109)</sup>로 이어질 수 있다. 나아가 사고를 실질적으로 분석하면서 향후 사고 예방을 위한 관련 제도를 개선하는데 근거를 마련할 수 있다.

따라서 공판중심주의를 준수하는 우리나라 체계상 사건 사고 후 조사를 통해 원인을 밝혀내고, 법정에서 증언할 수 있는 법공학의 역할이 중요해졌다고 본다.

다른 한편으로는 소송에서 책임에 대한 비용부담을 정당화하는 객관적인 방법의 하나로 법공학 시스템을 구축하는 것도 고려해볼게 된다. 사고 발생 시 우리나라 체계상 형사사건의 경우 국과수가 조사를 담당하지만, 민사사건은 그렇지 않기 때문에, 전문가가 부재한 상황이기 때문이다. 이를 위해서는 법공학 전문가가 필요하다. 하지만 앞서 검토하였듯이 교육과정, 학술연구가 진행되고 있으나 외국에 비하면 그 규모가 작고, 민사 등에서의 실질적인 역할은 미비하다.

원자력발전 사고를 비롯한 재난안전사고의 관리와 사고 방지의 필요성은 재차 강조

109) 권동일, “법공학은 세계적 트렌드 안전사고 관련 규정 법제화 또한 중요해”, 대한변협신문, 2014, <http://news.koreanbar.or.kr/news/articleView.html?idxno=11489>, 최종 접속일: 2020. 10. 06.

되어도 무방하며 이를 위해서는 국가의 위기관리 역할과 사고조사 및 개선에 있어서 객관적이고 전문적인 방법이 동원되어야 한다.

이와 같은 견지에서 법공학을 적용하여 원자력발전 사고를 비롯한 재난안전사고의 효율적인 관리, 운영, 평가, 대응 체계를 마련할 수 있는 연구가 계속되기를 바란다.

## [참고문헌]

### < 단행본 >

- 강현호(1), 「환경국가와 환경법」, 新論社, 2015  
----- (2), 「행정법의 이해」, 동방문화사, 2018  
박남희/여옥현/이경아/황연정/이경한/나선영/은종화,, 「재난원인 Forensic 조사.분석  
최적 기법 연구(붕괴, 화학사고를 중심으로)」, 국립재난안전연구원, 2017  
정준금, 「환경정책론」, 대영문화사, 2007  
채경석, 「위기관리정책론」, 大旺社, 2004  
한국수력원자력(주), 「2012년도 원자력발전 백서」, 지식경제부, 2012  
한국원자력안전기술원, 「원전사고·고장 조사 보고서: 한빛1호기 기동 준비중 원자로냉각재 유로 C 중간 냉각재관 보온재 연기 및 불꽃 발생(사건발생일: 2019.03.09.)」, 한국원자력안전기술원, 2019  
B.S. Neale, 「*Forensic Engineering: a professional approach to investigation*」, London: Thomas Telford, 1999  
Coombs, Timothy; 이현우 옮김, 「위기관리 커뮤니케이션」, 커뮤니케이션박스, 2001  
Charles Perrow, 김태훈 옮김, 「무엇이 재앙을 만드는가?」, RHK, 2013  
National Transportation Safety Board Washington, D.C., 「*Metallurgy/Structure s Group Chairman Factual Report Sequencing Study*」, Docket No. 5A-516, Exhibit No. 18A., Retrieved January 31, 2010  
Randall K.Noon, 「*FORENSIC ENGINEERING INVESTIGATION*」, CRC Press LLC, 2001  
Richard Saferstein, 「*Criminalistics: An introduction to forensic science 4th ed Edition*」, Jenson Books Inc, 1990  
Ulrich Beck , 「위험사회-새로운 근대(성)을 향하여」, 새물결, 1997

### < 논문 >

- 강대일/정원대/양준원, “인간신뢰도 분석 표준 방법의 진단오류 분석 규칙 개발”, 한국원자력학회, 2003  
강현호, “국민 안전과 건강 보호를 위한 미세먼지 관리 특별대책” 토론문, 「환경법연구」, 한국환경법학회 제129회 정기학술대회 및 임시총회, 2017  
강현호, “한국과 독일에 있어서 미세먼지를 둘러싼 소송법적 쟁점들”, 「공법연구」제48

- 권 제1호, 2019
- 계인국, “안전규제를 위한 보장감독의 이론적 기초”, 법제처, 2018
- 곽결호, “환경정책과 과학기술”, WeWe 100회 기념세미나 및 환경리더 간담회, 대한환경공학회, 2016
- 김동주/강현호, “자연기술복합재난 관리를 위한 법제 개선방안 연구”, 「法學研究」 제23권 제4호, 인하대학교 법학연구소, 2020
- 김동주/노명선, “안전·재난 관리 체계에 관한 비교법적 검토와 시사점”, 「경희법학」 제53권 제4호, 경희대학교 법학연구소, 2018
- 김미숙/이상영/정진옥, “위험사회에 대한 국민의식조사”, 「보건사회연구」, 한국보건사회연구원, 2013
- 김의수/강승균, “국내 법공학 정착을 위한 한국법공학연구회”, 「기계저널」 제52권 제7호, 대한기계학회, 2012
- 김종천, “원전의 위험과 환경법의 역할”, 「환경법과 정책」 제20권, 강원대학교 비교법학연구소, 2018
- 김치환, “디지털 사진매핑에 의한 공학적 암반분류와 터널의 보강”, 「터널과 지하공간」 제21권 제6호, 한국암반공학회지, 2011
- 김효민/염성필, “인간의 실수를 어떻게 막을 것인가? : 확률론적 위험성 평가가 한국의 원자력 안전 규제에 적용된 과정”, 「한국과학기술학연구」, 한국과학기술학회 2019 학술대회, 2019
- 나채준/장민선/김은정/배건이/양기근, “재난 및 안전관리 기본법 체계정비를 위한 연구”, 행정안전부, 2018
- 류경하/이태현/이상혁/반병민/ 김재형, “액체금속 피동냉각유동모사 실증설비의 개발”, 「대한기계학회 논문집 C권」 제3권 제4호, 대한기계학회, 2015
- 박현욱/배충식, “미세먼지 현황과 과제”, 「기계저널」 제59권 제6호, 2019
- 송성진, “용접부 초음파 탐상 시험의 최적화·지능화 기술”, 「대한용접학회지」 제21권 제4호, 대한용접접합학회, 2003
- 송창영, “은평구의 재난관리 역량 강화 등을 위한 재난 안전에 대한 선진화 방안 연구” 2장, 서울특별시 은평구, 2012
- 안영훈, “재난대응 역량강화를 위한 국가재난위험 사전평가제도(NRA)의 활성화”, 「World & Cities」 vol.7, 서울특별시, 2014
- 정지범/김은성, 「자연재해 및 국가위기 발생 시 국가적 종합위기 관리방안 연구(II)」 제2편, 한국행정연구원, 2009
- 정호경/마정근, “스위스의 재난 및 지진 관리체계에 관한 연구”, 「법학논총」 제34권 제3호, 2017

- 정태성, “4차 산업혁명 기반 재난 안전 연구개발 중장기계획 수립연구”, 행정안전부, 2018
- 최준섭, “안전하고 안심이 되는 기술사회를 지향하는 법시스템의 구축-법공학의 제창-”, 「기계저널」 제40권 제7호, 대한기계학회, 2000
- Genn Saji, “Preliminary forensic engineering study on aggravation of radioactive releases during the Fukushima Daiichi accident”, 「Nuclear Engineering and Design」 Vol.324, 2017
- McLouglin, David, “A Framework for Intergrated Emergency Management”, 「Public Administration Review」 vol 45, 1985
- Z. X. FANG, “Progress and Challenges of Forensic Structural Engineering—Focus on Mainland China”, 「Procedia Engineering」 vol.14, ELSEVIER, 2011

< 보도 및 기타 자료 >

- 과학기술정보통신부 연구개발정책실 거대공공연구정책관 거대공공연구협력과, “후쿠시마 원전 오염수 문제 비중 있게 다루고 있어 -IAEA 등 국제사회에 후쿠시마 원전 오염수 관련 우려 전달 및 공조 요청-”, KDI 경제정보센터, 2019
- 신종코로나바이러스감염증중양사고수습본부, “신종 코로나바이러스감염증 대응 총리 주재 회의 - 신종 코로나바이러스 감염증 대응계획 등-”, 보건복지부, 2020
- 재난대응정책과, “재난분야 위기관리 표준매뉴얼 전면 개정된다. -폭염 · 한파 등 신규 재난 유형별 위기관리 표준매뉴얼 제정 마무리-”, 행정안전부, 2018

< 기사 및 인터넷 자료 >

- 강재열, 원자력 안전과 건전한 원자력안전문화 확산, 전기저널, 2019.07.05.
- 권동일, 법공학은 세계적 트렌드 안전사고 관련 규정 법제화 또한 중요해, 대한변협신문, 2014. 09. 22.
- 김소연, 法 원전과 갑상선암 발병, 인과관계 없다, 원자력신문, 2019. 08. 27.
- 김순강, 원자력 발전의 진실을 밝히다, 사이언스타임즈, 2019. 04. 09.
- 김은지, 원전, 내진설계 잘 됐다고 안전한 게 아니다, 시사인, 2017. 11. 22.
- 김종호, 오바마의 새 원전, 문재인이 탈원전, 조선비즈, 2019. 07. 20.
- 박기용, 후쿠시마 원전 사고 9년…그린피스 재오염 진행 중, 한겨레, 2020. 03. 09.
- 박성원, ‘신종 코로나’ 세계 감염 현황...3만명 육박, 디트 NEWS24, 2020. 02. 06,

- 박성훈, 강화도서 불과 400km...韓서해 맞은편에 中원전 12개 있다, 중앙일보, 2019. 09. 05,
- 안상희, 文정부 탈원전 실행 2년...한전 적자 원전산업 붕괴 온실가스 증가, 조선비즈, 2019. 10. 26.
- 유성민, 발전소서 전방위 활용중인 '드론', 사이언스타임즈, 2019. 06. 03.
- 장다울, "우리나라 원전 왜 문제일까요?", GREENPEACE, 2016. 12. 26.
- 조소영, 정기검사 '이상무'...원안위, 고리 3호기에 재가동 승인, NEWS1, 2020. 02. 11.
- 조행만, 대부분의 원전 사고는 인재(人災) -체르노빌, 스리마일, 후쿠시마의 증언-, The Science Times, 2013. 03. 13.
- 한영혜, 그린피스, 한국 OECD 회원국 중 초미세먼지 가장 심각, 중앙일보, 2020. 02. 06.
- 황보람, 사고조사 종사자들도 '법공학' 몰라, 중앙일보 머니투데이, 2012. 08. 08.

[Abstract]

**Relationship between National Crisis Management and Forensic Engineering**  
**-Focused on securing stability of nuclear power plant-**

Kim, Dong Joo

The extent, scale, and impact of disaster safety accidents such as coronavirus infection (COVID-19), fine dust, nuclear power plant accidents, etc. are not limited to Korea, and the risks in modern society are wide and complex. For example, radiation damage continues nine years after the Fukushima nuclear accident in Japan caused radioactive contaminants to leak and spread throughout the atmosphere, oceans and continents.

Unpredictable disasters and safety accidents coexist in the civilization of modern society, and it cannot be denied that modern people face 'risk' in various fields such as natural disasters, environmental pollution, health, economic and social life, and external relations. In terms of national crisis management, disaster safety accidents are a matter of guaranteeing the people's right to safety.

Based on Article 34 (6) of the 「Constitution of the Republic of Korea」, the State must perform its mission to prevent disasters and protect the people from such dangers, and to this end, protect the lives and assets of the people and minimize the possibility of a crisis. At this time, it is a question of whether it is the duty or responsibility of the state to guarantee the people's right to safety.

Therefore, crisis management must be established for crises in various meanings, such as national, political, economic, sociocultural, and individual crises. To this end, it is necessary to establish a new paradigm for disaster safety management to protect the lives and assets of the people from disaster and safety accidents.

Therefore, as a prior study to establish a systematic crisis management system for disaster safety accidents in a broad sense in the national crisis management, we decided to review the role of forensic engineering as a way to efficiently manage crises in nuclear power generation accidents.

**Key words:** Crisis Management, Environmental Administration, Disaster and Safety Accident, Forensic Engineering, Nuclear Power Plant Accident.

