

# 원전의 위험과 보험



김 재 화  
대한재보험(주) 원자력팀장

## 목 차

1. 머리말
2. 원자력발전의 안전성
3. 원자력사고 발생 확률과 사고 현황
4. 원자력발전소의 Exposure와 원자력보험
5. 맺는 말

## 1. 머리말

1950년대 중반부터 원자력의 평화적 이용을 위해 개발된 원자력발전소는 당시 과학적으로 미지의 부분이 많았고, 사고시 그 피해의 장기적 지속이 예상되었으며, 사고의 원인이 불명확할 뿐 아니라 피해액의 예측이 불가능하여 기기공급자들이 기기 공급을 기피함으로써 원자력산업의 평화적 이용이라는 본래의 목적을 수행할 수가 없게 되었다. 따라서 각국 정부는 원자력 사고로부터 기기공급자를 보호하는 특별법을 제정하고 그 특별법을 지원하기 위해 원자력보험이라는 새로운 보험을 탄생시켰다. 그러나 원자력위험의 특수성과 보험사들의 담보력 부족으로 인해 보험사들도 원자력시설의 보험 인수를 기피함에 따라 전세계 공히 Pooling 시스템이라는 특수한 형태의 보험인수기구(원자력보험 “풀”: 보험사들의 공동인수기구)를 설립. 지금까지 운영하고 있다.



이와 같이 각국 정부가 원자력사업을 지원함에 따라 1998년 12월 현재 전세계에서 422기의 원자력발전소가 가동중이며 우리나라에서는 1978년 고리 1호기의 상업운전을 시작으로 2000년 8월 현재 16기의 원자력발전소가 가동중으로서 시설용량 세계 8위, 발전량 세계 7위의 원자력 국가로 성장하게 되었다.

한편, 최근 국내·외 전력사업의 구조개편에 따라 정부에 의해 운영되고 있는 많은 원자력발전소가 민영화될 것으로 예상되며 대형사고시 그 피해 복구 및 보상과 관련하여 재정적으로 취약한 민영화사는 심각한 어려움에 직면하게 될 것이다. 따라서 원전의 위험관리가 더욱 중요하게 대두되고 있는 실정이다.

이와 관련하여 본 고에서는 원전의 안정성 여부와 사고발생 확률 및 사고원인과 사고시 원자력사업자가 얼마만큼의 재정적 위험에 노출되어 있는지를 알아보고, 그 위험관리 방안의 한 분야인 원자력보험에 대해 언급해 보고자 한다.

## 2. 원자력발전의 안전성

### 가. 원자력발전소의 종류

원전의 종류는 크게 4가지로 구분되며 전세계적으로 가동중인 원전의 대부분이 다음 4가지 범주에 속하고 있다.

#### (1) 가압경수로

(Pressurized Water Reactor; PWR)

보통의 물을 냉각제<sup>1)</sup> 및 감속제<sup>2)</sup>로 사용하여 2~5% 농축된 우라늄을 핵연료로 사용하는데, 국내 원자력발전소의 대부분이 여기에 속한다.

1) 냉각제 : 원자로 구성재료의 하나로 원자로의 냉각이나 동력을 얻는 목적으로 원자로의 노심으로부터 열을 끄집어내는 역할을 하는 것(액체, 기체, 액체 금속으로 대별)

2) 감속제 : 중성자 속도를 늦추어 주기 위한 물질(경수, 중수, 흑연 등)

#### (2) 가압중수로

(Pressurized Heavy Water Reactor; PHWR)

중수(D<sub>2</sub>O)를 냉각제 및 감속제로 사용하며 천연우라늄을 핵연료로 사용하는 것으로 캐나다에서 개발된 관계로 CANDU 타입이라고도 하는데, 국내에서는 월성원자력발전소가 가압중수로형이다.

#### (3) 비등경수로

(Boiling Water Reactor; BWR)

가압경수로와 달리 별도의 증기발생기가 없이 원자로<sup>3)</sup>에서 생긴 증기를 바로 터빈으로 보내 발전하는 방식을 채택하고 있어 열효율은 우수하나 방사선 관리에 주의해야 하는 단점이 있으며 일본과 독일의 주력 기종이다.

#### (4) 액체금속로

(Liquid Metal Fast Cooled Breeder Reactor; LMFBR)

감속제로 액체 나트륨을 사용하며 연료의 효율적 측면에서 장점이 있으나 액체 나트륨 처리에 기술적 문제가 있어 현재 개발이 중단된 상태로 고속증식로라고도 한다.

### 나. 원자력발전의 특성

(1) 원자력발전소는 원자로가 운전됨에 따라 많은 양의 방사성 물질<sup>4)</sup>이 원자로 내에 생성·축적된다.

(2) 정상운전중인 원자로를 적절하게 냉각시키지 못하면 원자로 내에서 생성된 핵분열 생성물이 외부와 차단하고 있는 방벽들을 손상시켜 방사성 물질이 외부로 누출될 수 있다.

(3) 원자로를 정지시키더라도 핵분열 생성물의 방사성 붕괴에 의하여 계속 높은 에너지(붕괴열)가 발생되므로 지속적 냉각이 이루어져야 한다.

3) 원자로 : 핵분열 연쇄반응을 스스로 유지하며 제어할 수 있는 장치

4) 방사성물질 : 방사능을 갖는 물질

다. 원자력발전소의 안전조건

위에서 언급한 바와 같이 원전이 다른 위험시설과 틀린 것은 방사성물질 생성과 그에 따른 붕괴열의 발생이다. 따라서 원전의 필수안전조건은

(1) 원자로의 출력조절이 가능하여 정상상태를 벗어나더라도 원자로를 확실하게 정지시킬 수 있어야 하며,

(2) 원자로가 정지된 후에도 핵분열 생성물들의 방사성 붕괴열이 계속 발생되므로 핵연료의 지속적 냉각이 보장되어야 하고,

(3) 핵연료의 냉각에 실패할 경우에 대비하여 방사성 물질을 적절히 방벽 내에 물리적으로 격납시킬 수 있어야 한다.

라. 원자력발전소의 안전성 확보 구조

원자력발전소는 상기 필수안전조건에 따라 다양한 안전성 확보구조를 가지고 있는데, 이 중 가장 중요한 것은 다중방호설비(벽)와 비상노심냉각장치이다.

(1) 다중방호설비

① 제1방호벽 : 핵연료 피복관

핵연료는 1cm 직경의 피복관 내부에 있어서 손상되더라도 핵연료 자체나 방사성 물질이 피복관 안에 머무르도록 되어있다.

② 제2방호벽 : 원자로 용기

핵연료피복관이 손상되더라도 방사성 물질은 높은 압력에도 견딜 수 있는 원자로 용기(직경 12cm~20cm의 철판 용기) 내에 머무르도록 되어 있다.

③ 제3방호벽 : 원자로 차폐 콘크리트 벽

원자로는 210cm 두께의 철근콘크리트로 완전 차폐되어 있다

④ 제4방호벽 : 원자로 건물 내벽

원자로 건물 내벽은 두께 6cm의 철판으로 차폐되어 있다.

⑤ 제5방호벽 : 원자로 건물 외벽

원자로 건물 외벽은 두께 120cm의 철근콘크리트로 차폐되어 있다.

미국 TMI(Three Miles Island) 원자력발전소 사고시 방사선의 외부 누출을 방지하는 중요한 건물로 입증되었다(체르노빌 원전은 동 건물이 없었음).

(2) 비상노심냉각장치

비상노심냉각장치는 냉각재 상실사고(Loss of Coolant Accident) 발생시 원자로심에 냉각수를 공급하여 핵연료봉을 안전하게 냉각시키기 위한 장치로써 격납용기계통과 함께 대표적 안전장치이다.

이와 함께 오조작방지장치, 자동 원자로정지장치 등 2중, 3중의 공학적 안전설비를 확보하고 있으며 미국 TMI 원전사고 이후 100여 가지의 안전장치를 보완함으로써 이와 유사한 사고가 재발하지 않을 것으로 전문가들은 내다보고 있다.

3. 원자력사고 발생 확률과 사고 현황

가. 원자력사고 발생 확률

위에서 언급한 바와 같이 원자력발전소는 설계시부터 안전을 최우선으로 고려하여 국제 기준상 심각한 원자로심 손상이 발생할 확률은 만년에 1회, 방사성 물질이 대규모로 외부에 누출되는 사고는 10만년에 1회 이하가 되도록 설계되었으며, 국내의 경우는 이보다 한단계 강화된 설계 기준을 적용하고 있으므로 인공 재해와 비교, 월등한 안정성을 유지하고 있다.

<표 1> 설계기준

구 분	국제 기준	한국형 원전	실제 발생
심각한 노심손상	10 <sup>-7</sup> /RY	10 <sup>-7</sup> /RY	1.42×10 <sup>-7</sup> /RY
방사성물질의 대규모 외부유출	10 <sup>-7</sup> /RY	10 <sup>-7</sup> /RY	-

\*RY(Reactor Year) : 1원자로가 1년 가동시 1워자로년(Reactor Year)이라 함

<표 2> 인공 재해와의 비교  
(단위 : 화년)

구 분	10명 사망	100명 사망	1,000명 사망
100기의 원전	1/30,000	1/90,000	1/1,200,000
화재	1/10	1/90	1/1,000
댐 붕괴	1/12	1/20	1/65
폭발	1/5	1/10	1/110

※ 미국원자력규제위원회(NRC)의 확률론적 안전성평가 보고서(WASH- 1400) 인용

#### 나. 사고 현황

위에서 언급한 바와 같이 원자력발전소는 다중 안전장치에 의해 노심 손상과 같은 원자력사고의 발생 확률은 매우 낮으며, 전세계 원자력발전소에서 일어난 대부분의 사고는 일반공장에서도 항상 일어날 수 있는 화재사고, 기계사고, 전기사고 등의 재래사고이다. 지금까지 원자력보험 “풀”에서 집계한 원전의 원인별 사고발생 건수는 1998년 12월 현재 아래와 같다.

- 기계(전기)사고 : 45.9%
- 화재사고 : 23.5%
- 원자력사고 : 10.2%
- 기타 사고 : 20.4%

그러나 원자력발전소의 기술적·공학적 안전성에도 불구하고 아래와 같은 대형 원자력사고가 발생하는 것은 운전 및 안전규정을 무시한 불법적 운전이나 인간의 중대한 실수(Human Error)에 기인하고 있다.

## 4. 원자력발전소의 Exposure와 원자력보험

### 가. 원자력발전소의 Exposure

1979년 미국 TMI 2호기 원전사고 당시 TMI 원전 소유주인 General Public Utility Company(GPU)는 미국 원자력보험 “풀”(American Nuclear Insurers)에 US\$3억의 원자력재산보험에 가입하고 있었다. 사고 후 동 원자력발전소는 전손 처리되어 보험가입금액인 US\$3억까지 보험금을 지급하였으나 그때까지만 해도 생각하지 못했던 엄청난 방사능오염 제거비용으로 GPU는 한때 파산 직전의 위험에까지 몰리기도 하였다.

이와 관련 미국 정부는 1987년 원자력사고에 의한 방사선 위험으로부터 국민을 보호하기 위해

<표 3> 주요 원자력 사고 현황

구 분	TMI사고 (미국)	체르노빌사고 (구 소련)	토카이무리사고 (일본)
사고 일시	'79. 3. 28	'86. 4. 26	'99. 9. 30
노형 및 출력	가압경수로, 88만kW	흑연감속로, 100만kW	핵연료공장
사고 원인	- 운전규정 무시 - 운전원의 판단 착오	- 안전규정 무시 - 안전장치 차단 - 군사관련 실험	- 안전규정 무시한 불법 운전
사고 내용	- 노심 용융	- 노심 용융 - 막대한 양의 방사선 외부 누출	- 방사선 외부 누출 - 인근 주민 옥내 대피
피해액	- 자체시설: US\$3.0억 - 배상책임: US\$0.7억 ※ 보험금 기준 이상	- 자체시설: 전손 - 배상책임: 산정 불가	- 배상책임: 50~160억 엔 추정

사고 후 방사능오염제거를 법제화하고 이를 위해 최소 US\$ 10.6억의 원자력재산보험 가입을 강제화하였으며 동 금액의 사용을 방사능 오염제거비에 우선 증당하게 하였다. 이로 인해 미국 원자력사업자는 의무적으로 최소 US\$ 10.6억의 원자력재산보험에 가입해 오고 있는 것이다.

미국 원자력발전사업자는 방사선오염 제거비 US\$ 10.6억, 발전소시설 자체복구비 최고 US\$ 17억(발전소 폐쇄 기준), 발전소 가동중단에 따른 이익상실 US\$ 5억(3년 보상 기준), 법적배상조치액(사고로 인해 피해를 입은 제3자에 대한 배상책임 관련) US\$ 2억 등 총 약 US\$ 34.6억의 Exposure를 안고 있다.

국가간의 경제력 차이에 따라 다소 차이는 있으나 대부분의 원자력사업자는 미국과 같은 Exposure를 안고 있다 하겠다.

#### 나. 원자력보험

지금까지 살펴본 바와 같이 원자력발전소에서 대부분의 사고는 화재, 기계, 전기사고 등 재래사고로 이와 같은 사고로 인한 피해액은 원자력시설 소유자의 재정으로 흡수하거나 일반 보험으로도 충분히 보상이 가능하므로 큰 문제가 되지 않으나 사고발생 빈도는 낮지만 그 심도가 높은 원자력사고의 경우는 인적·물적 피해를 비롯한 환경오염, 이익상실 등 그 피해가 광범위하고 누적적이며 후발성이어서 원자력시설 소유자가 그 피해를 흡수하거나 특정 보험사가 보험으로 인수하기는 사실상 불가능함에 따라 전세계 보험사들의 담보력을 모두 사용할 수 있는 원자력보험이 탄생하게 된 것이다.

그러나 그 동안 보험업계는 전세계적으로 40여 년간의 원자력보험 인수를 통해 양호한 손해를 시현(전세계 손해를: 약 12%, 국내손해를: 3.5%)함으로써 최근에는 보험자간의 인수경쟁으로 인해 담보력의 증액과 함께 보험료의 대폭적 인하 현상을 나타내고 있다.

#### (1) 원자력보험의 종류

원자력보험이란 원자력시설을 관리·운영함에 있어서 우연하고도 급격한 사고로 인하여 발생한 원자력시설 자체의 손해를 보상하는 『원자력재산보험』과 제3자의 신체나 재산상의 손해에 대한 시설운영자의 배상책임을 담보하는 『원자력손해배상책임보험』으로 대별되며 이와 별도로 원자력시설의 가동중단에 따른 이익상실 위험을 담보하는 기업휴지보험이 있다.

#### (2) 원자력재산보험

원자력재산보험은 핵사고나 화재, 폭발 등의 재래사고로 인해 원자력발전소나 핵연료공장 등 원자력시설 구내(Site)에 소재한 설비, 장치, 건물 및 구축물 등이 입은 물적 손해를 보상하는 임의보험으로 현재 국내 원자력발전소 재산보험은 기업휴지위험 담보를 제외한 거의 모든 위험을 담보하는 전위험 담보증권을 사용하고 있으며 보험가입금액은 US\$ 10억으로서 앞에서 분석한 Exposure에는 미치지 못하고 있다.

#### (3) 원자력손해배상책임보험

원자력손해배상책임보험은 보험기간중 원자력시설에서 발생한 사고로 타인의 신체나 재산상에 피해를 입힌 경우 피보험자(시설소유주)가 부담하는 손해를 보상하는 보험이며 전세계적으로 법률상 강제보험이다.

원자력손해배상책임보험에서 보상하는 손해는 방사선 피폭자의 신체상해배상 이외에 주민 소개비용, 건강진단비, 정부 조치액, 정신적 및 경제적 손실 배상액, 법적 대응비, 환경복구비 등 방사선 누출에 의해 예상되는 모든 비용을 포함하므로 그 피해액 예측이 사실상 불가하다 하겠다. 그 실례로서 미국 TMI 원전사고는 IAEA 5등급의 대형사고였으나 원자로 건물 외벽에 의해 방사선의 외부 누출이 차단되어 발전소 주변 주민들의 방사선 피폭이 거의 없었음에도 불구하고 98년 9월 30일 현재 지급된 보험금은 약 US\$ 7천만으로서 거의 대부분이 소개비, 의료진단비 등 방사선 피

폭과 직접 관련이 없는 보상비용이었다.

현재 국내 원자력손해배상법에 원자력사업자의 법적 배상조치액은 60억원으로서 한국원자력보험 "플"에 60억원의 원자력손해배상책임보험을 가입하고 있다. 그러나 미국 TMI 사고나 1999년 일본 토카이무라 핵연료공장 사고에서도 보듯이 현행 60억원 원자력사업자의 법적 배상조치액은 60년대 말 기준으로 제정, 그 동안 물가상승 등을 전혀 고려하지 않아 현실과 거리가 있고 원자력손해배상에 관한 국제협약과도 상이한 부분이 있어 현재 과학기술부 주관 하에 사업자의 배상조치액 증액을 골자로 한 원자력손해배상법 개정이 추진되고 있다.

## 5. 맺는 말

원자력발전소는 어떤 대형시설보다 안전하게 설계·건설되어 있으며 유지 보수에 있어서도 완벽하므로 시설이 노후화되어도 사고 개연성은 매우 낮음을 통계를 통해 알 수 있다. 대형 원자력 사고는 기술적, 공학적 결함에 의하기보다 운전원의 운전 미숙이나 실수(Human Error)와 안전 규정 무시 등에 의해 발생하는 것이다. 따라서 원자력사업자가 원자력위험의 특수성을 고려하지 않고 이익 추구를 위해 효율성, 경제성만을 강조한 나머지 안전성을 무시한 무리한 발전소 운영을 한다면 대형 원자력사고의 개연성은 상존한다 하

겠다. 그러므로 발전소운영자는 안전을 위해 언제라도 발전소 가동을 중지할 수 있어야 하며 철저한 운전 규정 준수와 함께 발전소 종사자들에게 대한 지속적 교육훈련과 처우 개선이 병행되어야 원자력사고에서 벗어날 수 있을 것이다.

또한, 원자력사고시 자체시설의 피해 복구와 피해자 구제 및 발전소 가동중지에 따른 수익의 감소로 사업자가 재정적 위험에 직면하지 않고 원자력사업을 계속 영위하기 위해서는 경제적이고 효율적인 재무위험관리가 선행되어야 하겠다. 이와 관련, 대부분의 원자력사업자가 대표적 위험관리 방법인 보험에 가입하고 있으며, 국가별 보험인식의 정도 및 민영화 여부에 따라 보험가입 정도에는 다소 차이가 있다.

국내의 경우, 충분하고 완벽한 보험가입에는 다소 미흡한 점이 있으나, 향후 정부의 원자력손해배상법 개정시 원자력손해배상책임보험의 보험가입금액의 대폭 증액이 예상되며 아울러 원자력 발전사업이 분리·독립될 경우 기업휴지 보험 등 추가적 보험가입이 예상되고 있다.

## 참고문헌

- [1] 『International Guidelines for Machinery Breakdown Prevention at Nuclear Power Plants』, American Nuclear Insurers, May 2000
- [2] 『Identification of On-site Costs Associated with Severe Nuclear Reactor Accidents』, ABZ, Incorporated, August 1989
- [3] 『원자력용어사전』, 한국원자력산업회의, 1983. 4
- [4] 장수홍, 백원필, 『원자력사전』, 청문각, 1998.2
- [5] 『원자력보험의 이해』, 대한재보험주식회사, 1997.4