

## 원전 중대사고시 경제적 영향 평가

### The Estimation Economic Impacts from Severe Accidents of a Nuclear Power Plant

정중태, 정원대

한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

#### 요약

원자력 발전소에서 중대사고가 발생하면 일반 대중에게 건강상의 영향을 미칠 뿐만 아니라 사고로 인해 경제적 영향 또는 비용을 야기시킨다. 이러한 경제적 영향 평가는 방사선 비상 계획이나 의사결정 수단의 일부분으로서의 발전소 안전설비의 설계 연구나 대응조치의 분석 등에 응용이 가능하다. 본 연구에서는 방사선원 방출변수와 기상자료들의 조합으로 이루어진 다양한 시나리오에 대해 원자력 발전소의 중대사고시 발생 가능한 경제적 영향을 비용 측면에서 평가하였다. 또한, 우리나라의 계절별 기상 특성을 고려한 계절별 시나리오를 구성하여 비용의 변화를 분석하였다. 분석 결과는 비용/이득 분석 방법 및 리스크 감소 대책의 최적화 기법 개발에 있어서 주요 입력자료로 활용될 수 있다.

#### Abstract

The severe accidents of a nuclear power plant may cause health effects in the exposed population and societal economic impacts or costs. Techniques to assess the consequences of an accident in terms of cost may be applied in studies on the design of plant safety features and in examining countermeasure options as part of emergency planning or in decision making after an accident. In this study, the costs resulting from the severe accidents of a nuclear power plant were estimated for the different combinations of source term release parameters and meteorological data. Also, the costs were estimated for the different scenarios considering seasonal characteristics of Korea. The results can be used as essential inputs in costs/benefit analysis and in developing optimum risk reduction strategies.

## 1. 서론

원자력 발전소에서 발생하는 사고의 영향을 평가하는 방법의 하나로 발전소의 사고를 그에 따른 경제적 영향의 측면에서 평가할 수 있다. 이러한 평가 방법을 사용하면 여러 가지 영향을 비용이라는 하나의 인자로 나타낼 수 있으며 발생하는 다양한 영향에 대한 결합된 평가가 가능하다. 또한 경제적 영향 평가 방법을 사용하여 사고 발생시 사고의 영향을 완화시키기 위해 실시되는 여러 가지 대응 조치들의 비용을 고려할 수 있고 실시된 조치들의 경제성을 평가할 수 있게 된다 [1].

원자력 발전소에서 발생하는 사고의 영향 정도를 경제적 영향 측면에서 평가하는 작업은 다음의 두 분야에서 응용이 가능하다. 첫째, 발전소에서 발생한 사고로 인해 소외에서 발생하는 영향들을 평가하고 그 결과를 바탕으로 소외 방사선 관리 계획을 수립하게 된다. 소외 방사선 관리 계획의 수립에 있어 궁극적 목표가 되는 주민 보호와 사업자의 경제적 이해 관계는 서로 상반관계에 놓이게 되는데 이러한 경우 비용-이득 분석(Cost-Benefit Analysis) 방법을 사용할 수 있다. 비용-이득 분석 방법을 사용한 최적화를 통하여 환경의 복구 및 보호 조치에 소요되는 비용에 대한 주민들의 선량 완화가 최대로 되는 경제적인 비상 계획을 수립하는데 활용 가능하다. 그리고, 원자력 발전소에서 발생한 사고의 영향을 사고의 발생 빈도와 결합하여 원자력 발전소의 실제 위험도를 평가할 수 있고 이러한 위험도 평가를 이용하여 원자력 발전소의 안전성 측면 연구에도 응용이 가능하다[2].

원자력 발전소에서 발생한 사고의 경제적 영향을 평가하기 위해서는 우선 사고 발생시 소내 및 소외에서 발생하는 사고의 영향에 대한 여러 가지 완화 조치의 실시에 따른 비용 인자의 도출이 필요하다. 이와 더불어 발전소의 정상 운전에 영향을 미친 결과들에 대한 비용 인자를 도출하여 평가 대상 인자를 선택하여야 한다. 최종적으로 도출된 비용 인자들에 대한 평가와 평가 결과에 대한 비교를 통하여 사고 완화 조치의 경제성 및 타당성을 평가할 수 있다.

본 연구에서는 원자력 발전소의 중대사고시 발생하는 비용을 소내와 소외로 구분하여 각각의 비용 항목을 선정하고 기존의 비용 평가 방법론 검토 결과를 토대로 영광 3,4 호기를 대상발전소로 하여 원전의 중대사고시 소외 경제적 영향을 평가하였다.

## 2. 비용의 분류

### 2.1 소내 비용 항목

소내 비용 항목이란 원자력 발전소에서 사고 발생시 소내에서 고려할 수 있는 비용 항목으로 대부분 발전소의 허가, 발전 사업, 원자력 발전 사업 전반에 영향을 미치는 항목이거나 비용의 발생 장소가 소내이기 때문에 소내 비용으로 정의된다. 대표적인 소내 비용 항목으로는 대체전력 비용, 발전소 제염 비용, 작업자 보건 영향 비용, 발전소에 대한 투자비 손실에 따른 비용, 조기 폐기로 인한 비용, 소내 보수 비용, 원자력 발전 사업에서 발생하는 손해로 인한 비용, 소내의 문제

로 인한 소송 비용 등을 포함한 기타 소내 비용 등이 있다.

대체전력 비용은 원자력 발전소에서 사고가 발생하여 해당 원자력 발전소가 정상적으로 발전을 하지 못하는 경우의 운전정지 기간에 대하여 고려하는 비용이다. 대체전력 비용은 원자력 발전소에서 발전할 것으로 예상되었던 전력량을 원자력이 아닌 대체 발전원으로 발전할 경우 발생하는 전력 생산 비용의 증가를 운전정지 기간 동안 고려하여 평가할 수 있다. 발생하는 비용의 증가는 원자력에 의한 발전 단가가 석탄이나 석유 등의 타 발전원으로 인한 발전 단가보다 저렴하다는 가정 하에서만 고려하게 된다.

원자력 발전소에서 사고가 발생하고 그 결과로 원자로나 원자로 냉각수 계통 내의 방사성 물질이 누출될 경우 소내에서 방사성 물질의 확산으로 인한 오염이 발생하게 된다. 발전소 소내 오염 비용이란 발생한 오염을 발전소의 운전이 필요한 정도의 허용 가능한 수준으로 낮추기 위한 작업에서 발생하는 다양한 비용으로 정의된다.

원자력 발전소에서 사고가 발생할 경우 방사성 물질의 누출이나 고온 고압의 냉각수 누출 등의 이유로 인해 작업자에게 부상 또는 사망 등의 보건 영향이 발생할 수 있게 된다. 발생한 작업자의 보건 영향과 의료 조치에 의한 비용은 사고의 영향이 크지 않은 사고의 경우에는 발생하는 보건 영향의 경우가 많지 않게 되므로 전체 비용에서는 작업자 보건 영향 비용보다 다른 비용 항목들이 지배적이 된다. 그렇지만 소외 지역까지 큰 영향을 미치는 중대사고의 경우 작업자 중에서 심각한 사상자가 발생할 수 있게 된다. 또한 중대사고에서는 격납용기의 파손이 고려될 수 있으며 원자로에서 누출된 방사성 물질은 환경으로 방출될 정도로 확산되기 때문에 발전소 설비에 대한 오염이나 작업자들의 오염 역시 광범위하게 된다. 그렇지만 이 경우에도 전체 비용에 대한 작업자 보건 영향 비용의 기여도는 크지 않게 된다.

사고의 영향 평가 결과로써 발전소의 폐로가 고려될 경우, 원자력 발전소가 예상 수명을 만족시키지 못함에 따라 발전소 투자비의 일부분이 손실로써 나타나게 된다. 이 비용은 중대사고 발생시 폐로가 결정될 경우에만 고려하게 되며 이 때의 손실은 발전소의 조기 가동 중단에 의해 복구되지 못한 발전소의 남아있는 장부가격으로 평가될 수 있다. 그러나 표준 회계 장부 가격은 발전소의 잠재적인 미래 이익에 대한 손실을 완전히 반영하지 못하는데 이는 발전소의 감가상각이 실제 고려되는 발전소의 수명에 비해 빨리 이루어지기 때문이다. 발전소의 사고에 따른 영향의 결과로 고려되는 폐로는 정상적인 발전소 예상 수명의 마지막에서 고려되는 폐로와 그 과정 및 비용이 비슷하다고 가정할 수 있다. 따라서 조기 폐로로 인한 비용은 발전소의 예상 수명 뒤 소모될 비용이 앞당겨져서 사용됨으로써 발생하는 비용으로 가정된다.

소내 보수 비용은 사고 발생시 오염되거나 고장난 기기의 보수에 따라 발생하는 비용으로 정의된다. 심각한 사고에 따른 발전소 기기들의 보수 비용은 제염이 끝난 뒤에 발전소를 운전 가능한 상태로 복구시키는데 소모되는 비용이 된다. 소내 보수 비용은 일반적인 발전소 기기들의 유지 보수 비용과 사고에 의한 보수 비용의 구별이 어렵기 때문에 대부분의 발전소 사고나 운전정지에 대해 정량화하기가 어렵다.

발전소에서의 사고 영향에 따라 앞에서 언급한 바와 같이 직접적으로 발생하는 여러 소내 비용

항목들 외에도 소내 소송 비용, 원자력 발전 사업에서 생기는 손실 비용, 원자력이 아닌 대체 발전원의 사용으로 인한 환경 오염에 의한 비용 등의 유무형의 비용이 발생하여 전체적인 발전 사업에 영향을 미치게 된다.

## 2.2 소외 비용 항목

중대한 원자로 사고시 실시되는 여러 가지의 방사선 방호조치 중 가장 중요한 조치로써 발전소 인접 지역의 주민들에 대한 소개 또는 대피를 고려할 수 있다. 사고로 인한 방사성 플룸으로부터 방사성 물질이 지표면으로 침적되고 침적된 방사성 물질로부터 발생한 고준위 방사능으로 인해 주민들의 피폭이 발생할 수 있다. 주민 소개란 이러한 경우의 주민 피폭을 저감시키거나 완전히 차단시키기 위하여 주민들을 거주지로부터 즉각적으로 이동시키는 조치라고 정의할 수 있다. 주민 소개는 발전소 내의 상태가 더욱 악화될 징후에 따라 방사성 물질의 누출이 발생하기 전에 실시될 수도 있다. 주민 소개는 방사선 피폭을 절감시킬 수 있는 가장 효과적인 방법으로 방사성 플룸이 도달하기 전에 주민 소개가 이루어질 경우, 해당 지역 내 주민들의 방사선 피폭이 완전히 차단된다.

주민 소개와 달리 이주는 측정, 평가된 방사성 물질에 의한 오염 정도에 따라 주민들의 이동이 실시된다는 점에서 주민 소개와 구별이 된다. 주민 이주는 주민 소개의 경우처럼 사고에 따라 즉각적으로 실시되는 조치가 아니므로 보다 더 선택적인 방법으로 실시될 수 있다. 원자력 발전소에서 중대사고가 발생하여 임의의 지역이 오염될 경우 오염된 지역의 오염 정도를 평가하여 주민의 피폭 선량이 선량한도를 초과할 경우에는 주민들의 이주가 고려될 수 있다. 주민의 이주는 소개된 주민들을 대상으로 소개 기간을 연장시키는 경우와 주민 소개가 실시되지 않은 지역에 대하여 추가적으로 주민들을 이주시키는 경우를 고려할 수 있다. 이주가 실시된 뒤 침적된 방사성 물질로 인한 피폭 선량율에 대한 정보가 충분히 수집되고 주민들의 귀가 조치가 가능할 정도라는 평가에 주민들의 귀가가 실시된다. 주민들의 임시 이주에 따른 비용의 평가는 주민 소개 비용의 평가에서와 마찬가지로 주민들의 숙식비, 교통비, 주민들의 손실된 수입에 따른 비용 등이 고려된다.

중대사고의 발생에 따른 방사성 물질의 환경 방출로 인해 한계 선량 이상의 선량 피폭을 경험한 주민에게 보건 영향이 발생할 수 있다. 이 경우 발생한 주민 보건 영향에 의한 비용을 평가하는 방법으로는 2가지의 접근 방법이 일반적으로 고려된다. 첫번째의 보건 영향 비용 평가 방법은 보건 영향의 위해도를 줄이거나 기피하려는 개인이나 사회적 성향을 평가하는 방법이다. 이러한 접근 방법을 사용한 연구에서 보건 영향을 감소시키려는 성향은 위해도를 갖는 활동이나 환경에 의해 좌우된다고 결론 지었다. 이러한 개인이나 사회적 성향을 이용한 보건 영향의 평가는 직접적으로 정량화될 수 없는 정신적인 고통과 질환 등이 개인의 성향에 포함될 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 개인이나 사회적 성향을 통한 비용 평가 과정에서는 위해도를 감소시키려는 성향을 유도하기 위한 설문조사 과정이 필요하게 되어 작업의 수행에 많은 노력이 필요하게 된다. 두번째의 접근 방법은 보건 영향의 발생으로 인한 인적 자본의 손실을 평가하는 방법이다. 이러한 접근 방법은 보건 영향의 발생으로 인한 개인의 생산성 손실을 평가하는 방법이다. 이 방법에서는 특정

보건 영향의 발생으로 인해 발생한 수입의 손실을 예측되는 개인의 수명 손실 기간에 대해 할인해서 평가할 수 있다. 이 방법은 비용 평가가 수월하다는 장점이 있지만 순수한 비용만 고려하므로 개인의 고통 같은 감정적인 면을 비용으로 고려할 수 없다는 단점이 있다.

방출된 방사성 물질의 침적으로 인해 경작지에서 재배되던 다양한 곡물들이 오염될 수 있다. 오염된 농산물의 섭취로 인한 예상 체내 피폭이 허용 수준을 초과할 경우 해당 농산물의 처분을 고려하게 된다. 일반적으로 곡물의 처분에 따른 비용은 곡물의 성장기에 대해서만 고려하게 되므로 곡물의 성장기 이외의 기간에 대해서는 곡물 처분 비용을 따로 평가하지 않게 된다.

방사성 물질의 방출로 인해 임의의 지역에 대한 주민들의 피폭선량이 허용 수준을 초과할 것으로 평가된 경우 해당 지역에 대해 소외 제염을 실시하게 된다. 충분한 제염의 실시로 선량이 허용 수준 이하가 된다면 주민들의 영구 이주가 필요치 않고 주민들이 원래의 활동 지역으로 되돌아오게 된다. 소외 제염을 실시하여 오염되었던 구역에서의 토지와 자산에 대한 사고 이전의 경제적 가치와 경제 활동을 상당 부분 복구할 수 있게 된다.

위에서 언급한 다양한 소외 비용 항목들 외에 주민들의 이주 기간이 길어짐에 따라 고려되는 장기 이주 비용이나 방출된 핵종으로 인한 오염의 정도가 심한 토지나 다양한 사회 자본의 폐기에 의한 비용 등을 고려할 수 있다. 또한, 소외에서 손해가 발생한 집단의 소송으로 발생하는 소송 비용, 직접적인 주민 방호 조치가 적용되지 않은 지역에서의 물가 상승, 주민의 고용, 피해 지역에서의 생산성 감소 등의 영향이 비용 항목으로 고려될 수 있다.

### 3. 소외 경제적 영향 평가 모델

#### 3.1 Reactor Safety Study(RSS)

RSS[3]의 연구 목적은 미국 내의 상업용 원자력 발전소 운영으로부터 발생하는 공중 위해도를 평가하는 것이다. 이 연구는 원자력 발전소로부터 발생하는 공중 위해도를 현실적으로 평가하고 이 리스크를 비원자력 리스크와 비교하는 것이다. RSS에서의 자산 손실 평가는 LWR 중대사고시 수행하는 대중 보호조치에 대한 비용 평가에 기초한다. 원자로 사고로 인한 소외 손실이나 가능한 2차 소외 비용은 평가하지 않는다.

RSS에서 계산되는 소외 손실 평가는 인구소개 비용, 우유와 작물의 폐기 비용, 오염지역의 제염 비용, 경작지의 경작금지 비용, 유형자산 손실 비용, 경작금지 지역으로부터의 인구이주 비용 등이 포함된다. CRAC 모델에서 제염이나 토양의 경작금지는 기본적으로 Cs-134이나 Cs-137과 같은 반감기가 긴 동위원소의 지표면 침적 농도에 의해 결정된다. 대량의 방사성 물질 누출 사고의 경우, 소개나 우유, 작물의 폐기 비용은 각각 10%, 제염 비용은 20%, 그리고, 토양의 경작금지 비용은 약 60%를 차지한다.

RSS 연구에는 100기의 원자력발전소에 대한 손실 리스크 평가 결과와 인공 혹은 자연 재해에 대한 손실 리스크 평가 결과가 비교되어 있다. 인간에 의한 자산 손실의 대부분은 화재에 기인한

다. 심각한 자산손실을 야기하는 자연 재해는 삼림 화재, 허리케인, 그리고 지진이다. 원자력 발전소는 다른 요인들에 비해 100배 혹은 1,000배 정도의 낮은 손실을 나타내는 사고로 평가된다.

RSS에 포함된 자산손실 평가는 LWR 노심용융 사고시의 소외 경제 리스크에 관련된 중요한 정보를 제공해 준다. 노심용융 사고시  $1 \times 10^{-9}/RY$ 의 확률을 가진 방사성 물질 누출의 경우 약 150억\$(1974년) 정도로 예측된다.  $1 \times 10^{-6}/RY$ 의 확률을 가진 노심용융 사고시 소외 비용은 약 10억\$ 이하로 평가된다.

### 3.2 ECONO-MARC 모델

ECONO-MARC[4] 모델은 영국에서 사고로 인해 방사성 물질이 환경으로 방출되었을 경우 비상대응 조치의 비용을 평가하기 위해 개발된 모델로 사고 이후에 취해지는 인구 보호조치로 인한 GDP 손실을 평가한다. ECONO-MARC 모델의 기본 가정은 토양 경작금지 등과 같은 대응조치 비용은 사고 이전 그 지역의 GDP 기여분의 함수라는 것이다. GDP는 NIPA(National Income and Product Accounts)에서 사용되는 경제적 산출물의 척도이며 경제활동 수준을 반영한다. GDP는 특정 지역의 국가 경제활동에 대한 기여도를 평가하기 위해 이용될 수 있는 거시 경제척도이다. 이 모델은 특정 지역의 GDP 기여도에 대한 대응조치 수행의 영향을 평가하며 영국의 원자로 사고시 광역의 거시경제 척도를 제공해 준다. 이 모델에 의한 예측은 미국의 특성을 반영한 미시경제 가정에 기초한 CRAC-2에 의한 경제적 영향 예측과 직접 비교하기는 어렵다.

### 3.2 산업에 미치는 영향 평가 모델

원자로 중대사고시 지역의 산업 특징적인 경제적 영향을 평가하는데 사용할 수 있는 산업영향 평가 모델을 개발하기 위한 연구가 수행되었다[5]. 이 영향 평가는 노심용융 사고에 대한 원자로 특징적인 정보가 BEA(Bureau of Economic Analysis)에서 개발된 RIMS-II(Regional Input-Output Modeling System)로부터 도출된 지역 경제 모델에 기초한다. 이 연구의 궁극적인 목표는 환경영향 평가를 위한 Class 9 원자로 사고의 잠재영향을 평가하기 위해 사용할 수 있는 모델을 개발하는 것이다.

원자로 사고가 산업에 미치는 영향 평가는 BEA 연구의 지역 및 산업의 상호 의존성 분석 결과에 기초한다. 이들 분석은 고려 대상의 특정 지역에 대한 지역 상호간의 거래량 표 형태의 많은 양의 입력자료를 필요로 한다. 이들 지역 상호간의 거래량 표는 지역단위나 SMSA(Standard Metropolitan Statistical Area) 수준의 자료에 기초한 BEA 분석에 정의되어 있다. RIMS II 경제 모델은 원자로 사고로 인해 야기되는 최종 수요나 최종 지불 비용의 변화로부터 야기되는 지역 경제 활동을 예측하기 위해 이용된다. St. Lucie 원자로 부지에 대해 WNW 방향의 풍향시 SST1 등급의 사고 이후에 취해진 비상대응 조치에 의해 발생하는 BEA 분석 결과에 의하면 사고로 인해 연간 약, 80,000개의 직업 손실을 예측하는 것을 보여준다. 원자로 사고의 산업에 미치는 영향에 대한 BEA의 평가는 연간 직업 손실로써 표시되며 영향평가는 노심용융 사고 발생 후 1년 동안에 대해서만 이루어진다.

## 4. 중대사고시 경제적 영향 평가

### 4.1 시나리오 구성

원자력 발전소에서 중대사고가 발생하여 방사성 물질이 대기 중으로 방출될 경우 인체 및 환경에 미치는 영향에는 여러 가지 변수들이 중요한 인자로써 작용하는데 이 중 대표적인 것은 사고 당시의 기상 상태와 방사선원 방출 변수들이 있다. 이 중 방사선원 방출 변수가 건강영향에 미치는 영향들에 대한 개별적인 평가 결과[6]에 의하면 조기 사망자 수와 조기 사망 리스크는 방출고도가 증가할수록 그 값이 감소한다. 또한, 열 함량의 값이 증가함에 따라 열부력에 의한 플룸 상승이 증가함에 따라 조기 건강영향 인자들의 값은 모두 감소한다. 방출 시간은 원자로가 정지된 이후 방사성 물질이 대기 중으로 방출되는 시점까지의 시간인데 이 방출시간이 2시간이 될 때 조기 건강영향 인자는 최대값을 가지며 이후의 방출 시간에 대해서는 급격히 감소하는 경향을 보여준다. 경고 시간은 방사성 물질의 방출이 예측된다고 주변 주민에게 알리는 시점과 실제 방출이 시작되는 시점 사이의 시간으로 이 경고시간이 길어질수록 조기 사망자 수 및 조기사망 리스크는 증가한다.

원자력 발전소의 중대사고시 기상자료의 변화가 인체 건강에 미치는 영향 평가결과[7]에 의하면 풍속이 증가할수록 건강영향 인자들의 값은 대기난류 영향에 의한 대기확산이 크게 나타나면서 방사성 플룸에 의해 영향을 받는 지역은 넓어지지만 상대적으로 방사능 농도는 줄어들기 때문에 모두 감소하며 그중 감소 폭이 가장 큰 인자는 조기 사망자 수이다. 강수량의 변화에 따른 건강영향 인자의 변화 결과에 의하면 강수량의 증가에 의한 습 침적 양의 증가 때문에 강수량이 증가할수록 조기 사망의 경우 강수량이 50 mm/hr로 증가할 때까지 급격히 증가하다 이후에는 약간 감소한다. 이로 인하여 조기 사망 리스크도 강수량이 증가하면서 그 값이 증가한다. 대기안정도의 변화에 따른 건강영향 인자의 변화 결과에 의하면 개인별 암사망 리스크를 제외한 나머지 건강영향 인자들의 값은 대기안정도 등급 E나 F 즉, 안정한 대기상태에서의 값이 중립이나 불안정한 대기 상태보다 훨씬 크게 나타난다. 이러한 대기안정도 상태의 변화에 따른 건강영향 인자들의 변화 특성은 대기안정도 차이에 의한 대기난류의 변화 및 이로 인한 대기확산 특성의 변화에 기인한다.

위의 결과를 토대로 건강영향 평가 시나리오를 구성하기 위한 방사선원 방출 변수들로는 방출고도, 열함량, 방출시간, 경고시간을 선택하였으며 기상자료로는 풍속, 강수량, 대기안정도를 선택하여 기본적인 4가지 시나리오를 구성하였다. 이 기본 시나리오는 표 4.1에 나타난 바와 같으며 시나리오-1의 경우는 조기 건강영향 인자들의 값이 가장 크게 나타나는 값들로 구성하였으며 시나리오-4의 경우는 그들 값이 가장 적게 나타나는 값들로 구성되어 있다. 따라서, 동일 사고의 경우 방사선원 방출변수나 기상자료들의 값을 정확하게 알 수 없을 경우에는 시나리오-1의 값들을 이용하면 건강영향 인자들에 대한 가장 보수적인 결과를 얻을 수 있다.

계절별 기상자료 특성을 고려한 계절별 시나리오는 표 4.2에 나타난 바와 같다. 각 계절별로 방출변수들의 값은 기본 시나리오의 값들과 동일하며 기상자료는 연간 기상자료의 분석을 통해 얻은 각 계절을 대표하는 값들로 구성되어 있다. 그리고, 각 계절-5는 가장 보수적인 값을 얻을 수 있는 변수들로 구성된 각 계절-1의 경우에서 강수량만 “0” 인 경우이다. 이는 비가 오는 경우보다

비가 오지 않는 경우의 수가 훨씬 많기 때문에 가장 보수적인 결과를 얻을 수 있는 경우와 그 중 비가 오지 않는 경우를 비교하기 위함이다.

표 4.1 기본 시나리오 및 변수 값

변수 시나리오	방출고도 (m)	열함량 (MW)	방출시간 (Hr)	경고시간 (Hr)	풍속 (m/sec)	강수량 (mm/hr)	대기안정도
시나리오-1	0	1	2.0	3.0	2	50	F
시나리오-2	20	10	1.0	2.0	4	30	E
시나리오-3	40	20	0.5	1.0	6	10	D
시나리오-4	60	30	4.0	0.5	10	0	B

표 4.2 계절별 시나리오 및 변수 값

변수 시나리오	방출고도 (m)	열함량 (MW)	방출시간 (Hr)	경고시간 (Hr)	풍속 (m/sec)	강수량 (mm/hr)	대기안정도
봄-1	0	1	2.0	3.0	3.0	9.4	E
봄-2	20	10	1.0	2.0	3.0	9.4	E
봄-3	40	20	0.5	1.0	3.0	9.4	E
봄-4	60	30	4.0	0.5	3.0	9.4	E
봄-5	0	1	2.0	3.0	3.0	0.0	E
여름-1	0	1	2.0	3.0	3.4	50.0	D
여름-2	20	10	1.0	2.0	3.4	50.0	D
여름-3	40	20	0.5	1.0	3.4	50.0	D
여름-4	60	30	4.0	0.5	3.4	50.0	D
여름-5	0	1	2.0	3.0	3.4	0.0	D
가을-1	0	1	2.0	3.0	3.6	9.0	C
가을-2	20	10	1.0	2.0	3.4	9.0	C
가을-3	40	20	0.5	1.0	3.4	9.0	C
가을-4	60	30	4.0	0.5	3.4	9.0	C
가을-5	0	1	2.0	3.0	3.4	0.0	C
겨울-1	0	1	2.0	3.0	4.0	11.4	E
겨울-2	20	10	1.0	2.0	4.0	11.4	E
겨울-3	40	20	0.5	1.0	4.0	11.4	E
겨울-4	60	30	4.0	0.5	4.0	11.4	E
겨울-5	0	1	2.0	3.0	4.0	0.0	E



#### 4.2 기본 시나리오별 경제적 영향 평가

기본 시나리오별 경제적 영향 평가 결과는 표 4.3 에 나타난 바와 같다. 기본 시나리오별 경제적 영향 평가 결과에 의하면 소외 경제적 비용 중 인구 관련 비용이 전체 비용의 대부분을 차지함을 알 수 있다. 그리고, 주민 보호를 위한 대응조치 비용은 전체 비용 중에서 차지하는 비중이 높지 않으며 시나리오별로 그 값의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 그리고, 시나리오별 건강영향 평가 결과와는 달리 시나리오-1 이 가장 심각한 건강영향을 야기하는 반면에 비용 측면에서는 시나리오-4가 가장 큰 값을 나타낸다. 이는 각 시나리오를 구성하는 값들의 차이에 의한 대기확산 차이가 많이 나기 때문이다. 즉, 시나리오-1에 비해 시나리오-4는 방출고도가 높으며 열함량이 높고 대기안정도가 불안하기 때문에 대기난류에 의해 확산이 광범위하게 일어나며 이로 인하여 시나리오-4의 경우에는 피해를 받는 지역이 시나리오-1에 비해 훨씬 넓어진다. 또한, 시나리오-1은 시간당 강수량이 50mm/hr인데 반해 시나리오-4는 강수가 일어나지 않는 경우이다. 따라서, 방사성 물질이 넓은 지역으로 이동하기 전에 강수에 의한 습침적으로 인해 피해를 받는 지역이 상대적으로 적어지기 때문이다.

표 4.3 기본 시나리오별 경제적 영향 평가(원)

비용 시나리오	총 비용	인구 관련 비용	면적 관련 비용	소개 및 이주 비용
시나리오-1	$1.79 \times 10^{11}$	$1.78 \times 10^{11}$	$9.74 \times 10^8$	$3.04 \times 10^{10}$
시나리오-2	$5.98 \times 10^{11}$	$5.93 \times 10^{11}$	$4.65 \times 10^9$	$3.04 \times 10^{10}$
시나리오-3	$3.37 \times 10^{12}$	$3.34 \times 10^{12}$	$2.53 \times 10^{10}$	$3.05 \times 10^{10}$
시나리오-4	$5.77 \times 10^{12}$	$5.69 \times 10^{12}$	$7.78 \times 10^{10}$	$9.13 \times 10^{10}$

#### 4.3 계절 시나리오별 경제적 영향 평가

각 계절별 조기 건강영향의 변화는 기본 시나리오별 건강영향 인자들의 변화 결과와 유사하다. 그리고, 사계절 중 조기 사망자 수 및 조기 상해자 수 모두 가장 작게 나타나는 계절은 가을이다. 이는 봄, 여름, 겨울을 대표하는 대기안정도가 중립이나 안정인데 반해 가을을 대표하는 대기안정도는 불안정이기 때문이다. 즉, 대기가 불안정하면 대기난류의 영향으로 인해 수평 및 수직 방향으로의 플룸 팽창이 더 크게 발생하기 때문에 방사성 플룸에 의해 영향을 받는 지역은 넓어지지만 그 농도는 감소하기 때문이다.

또한, 전체적으로 조기 사망자 수가 가장 크게 나타나는 계절은 여름인데 이는 강수 영향 때문이다. 플룸이 대기중으로 방출되어 대기확산이 충분히 발생하기 전에 강수를 만나면 습침적에 의해 방사성 물질의 지표면 농도가 증가한다. 이로 인한 외부 피폭선량의 증가로 인해 사고 후 약 일주일 정도의 기간을 가지는 비상기간 내에 발생하는 조기 사망자 수는 증가한다. 가장 심각한 사고결말 영향을 야기시킬 수 있는 변수 값으로 구성되어 있는 각 계절-1의 시나리오에서 강수가

일어나지 않는 경우인 각 계절-5의 시나리오의 경우, 각 계절-1의 시나리오에 비해 조기 사망자 수가 현저하게 줄어드는데 이 또한 이러한 강수에 의한 영향 때문이다.

표 4.4, 4.5, 4.6, 4.7에는 각 계절별 경제적 영향평가 결과가 나타나 있다. 각 계절별 비용을 살펴보면 기본 시나리오별 비용평가 결과와 유사한 경향을 보인다. 즉, 전체 비용 중에서 인구관련 비용이 전체 비용의 대부분을 차지하며 소개 및 이주 비용이 차지하는 비중은 매우 낮다. 그리고, 각 계절별 시나리오를 분석해 보면 각 계절-5의 경우를 제외한 시나리오별 비용의 차이는 거의 나타나지 않거나 매우 적은 값을 나타낸다. 따라서, 시나리오별 건강영향 차이는 매우 크게 나타나는데 반해 비용 차이는 거의 없음을 알 수 있다. 따라서, 방사선원 방출변수들 값 차이로 인한 경제적 영향의 변화는 거의 없는데 반해 기상자료의 변화에 의한 경제적 영향 차이는 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 그러나, 각 계절-5 시나리오는 다른 시나리오에 비해 비용이 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 각 계절-5 시나리오는 각 계절-1의 시나리오에서 강수가 일어나지 않는 경우이기 때문이다. 즉, 강수가 일어나지 않기 때문에 습침적에 의해 지표면에 침적되는 양이 없으며 대기확산에 의해 광범위한 지역이 방사선의 영향을 받기 때문이다.

각 계절별 건강영향을 살펴보면 가을철이 가장 적은 값을 나타내며 여름철에 가장 높은 값을 나타낸다. 그러나, 비용 평가 결과에 의하면 반대로 가을철 비용이 가장 크게 나타나며 여름철 비용이 가장 적게 나타난다. 이는 습침적과 대기확산 때문이다. 즉, 가을철에는 강수량이 가장 적으며 여름철에는 강수량이 최대이다. 이로 인하여 습침적에 의해 방사성 플룸에서 제거되어 지표면에 침적되는 양이 여름철에 가장 크게 나타나며 이로 인해 방사선의 피해를 받는 지역이 적어지기 때문이다.

표 4.4 봄 시나리오별 경제적 영향 평가(원)

비용 시나리오	총 비용	인구 관련 비용	면적 관련 비용	소개 및 이주 비용
봄-1	$8.45 \times 10^{11}$	$8.38 \times 10^{11}$	$7.46 \times 10^8$	$3.04 \times 10^{10}$
봄-2	$8.59 \times 10^{11}$	$8.52 \times 10^{11}$	$7.46 \times 10^9$	$3.04 \times 10^{10}$
봄-3	$1.07 \times 10^{12}$	$1.07 \times 10^{12}$	$7.46 \times 10^9$	$3.04 \times 10^{10}$
봄-4	$1.11 \times 10^{12}$	$1.10 \times 10^{12}$	$7.46 \times 10^9$	$3.04 \times 10^{10}$
봄-5	$7.36 \times 10^{12}$	$7.31 \times 10^{12}$	$4.85 \times 10^{10}$	$3.04 \times 10^{10}$

표 4.5 여름 시나리오별 경제적 영향 평가(원)

비용 시나리오	총 비용	인구 관련 비용	면적 관련 비용	소개 및 이주 비용
여름 -1	$2.85 \times 10^{11}$	$2.83 \times 10^{11}$	$2.36 \times 10^8$	$3.05 \times 10^{10}$
여름 -2	$2.85 \times 10^{11}$	$2.83 \times 10^{11}$	$2.36 \times 10^8$	$3.05 \times 10^{10}$
여름 -3	$2.85 \times 10^{11}$	$2.83 \times 10^{11}$	$2.36 \times 10^8$	$3.05 \times 10^{10}$
여름 -4	$2.88 \times 10^{11}$	$2.86 \times 10^{11}$	$2.36 \times 10^8$	$3.05 \times 10^{10}$
여름 -5	$7.14 \times 10^{12}$	$7.10 \times 10^{12}$	$4.86 \times 10^{10}$	$3.05 \times 10^{10}$

표 4.6 가을 시나리오별 경제적 영향 평가(원)

비용 시나리오	총 비용	인구 관련 비용	면적 관련 비용	소개 및 이주 비용
가을 -1	$2.67 \times 10^{12}$	$2.65 \times 10^{12}$	$2.26 \times 10^{10}$	$5.13 \times 10^{10}$
가을 -2	$2.67 \times 10^{12}$	$2.65 \times 10^{12}$	$2.26 \times 10^{10}$	$5.13 \times 10^{10}$
가을 -3	$2.67 \times 10^{12}$	$2.65 \times 10^{12}$	$2.26 \times 10^{10}$	$5.13 \times 10^{10}$
가을 -4	$2.70 \times 10^{12}$	$2.68 \times 10^{12}$	$2.26 \times 10^{10}$	$5.13 \times 10^{10}$
가을 -5	$6.34 \times 10^{12}$	$6.29 \times 10^{12}$	$5.60 \times 10^{10}$	$5.13 \times 10^{10}$

표 4.7 겨울 시나리오별 경제적 영향 평가(원)

비용 시나리오	총 비용	인구 관련 비용	면적 관련 비용	소개 및 이주 비용
겨울 -1	$1.64 \times 10^{12}$	$1.63 \times 10^{12}$	$9.18 \times 10^8$	$3.04 \times 10^{10}$
겨울 -2	$1.65 \times 10^{12}$	$1.64 \times 10^{12}$	$1.04 \times 10^{10}$	$3.04 \times 10^{10}$
겨울 -3	$1.68 \times 10^{12}$	$1.67 \times 10^{12}$	$1.04 \times 10^{10}$	$3.04 \times 10^{10}$
겨울 -4	$1.71 \times 10^{12}$	$1.70 \times 10^{12}$	$1.04 \times 10^{10}$	$3.04 \times 10^{10}$
겨울 -5	$7.10 \times 10^{12}$	$7.06 \times 10^{12}$	$4.85 \times 10^{10}$	$3.04 \times 10^{10}$

## 6. 결론

원자력 발전소의 중대사고시 발생하는 소의 경제적 영향 평가 모델에 대한 검토를 수행하고 방사선원 방출변수와 기상자료가 건강영향에 미치는 상대적 중요도에 대한 평가 결과를 토대로 구성된 기본 시나리오 및 계절별 기상 특성을 고려한 계절별 시나리오를 구성하여 각각에 대한 비용 평가를 수행하고 그 결과를 분석하였다. 영광 3,4호기를 대상 발전소로 하여 MACCS 코드를 소의 건강영향 평가 도구로 활용하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

1. 기본 시나리오별 경제적 영향 평가 결과에 의하면 소의 경제적 비용 중 인구 관련 비용이 전체 비용의 대부분을 차지함을 알 수 있다. 그리고, 주민 보호를 위한 대응조치 비용은 전체 비용 중에서 차지하는 비중이 높지 않으며 시나리오별로 그 값의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.
2. 시나리오별 건강영향 평가 결과와는 달리 시나리오-1 이 가장 심각한 건강영향을 야기하는 반면에 비용 측면에서는 시나리오-4가 가장 큰 값을 나타낸다. 이는 각 시나리오를 구성하는 값들의 차이에 의한 대기확산 차이가 많이 나기 때문이다.
3. 각 계절별 비용을 살펴보면 기본 시나리오별 비용평가 결과와 유사한 경향을 보인다. 즉, 전체 비용 중에서 인구관련 비용이 전체 비용의 대부분을 차지하며 소개 및 이주 비용이 차지하는 비중은 매우 낮다. 그리고, 각 계절별 시나리오를 분석해 보면 각 계절-5의 경우를 제외한 시나리오별 비용의 차이는 거의 나타나지 않거나 매우 적은 값을 나타낸다. 따라서, 시나리오별 건강영향 차이는 매우 크게 나타나는데 반해 비용 차이는 거의 없음을 알 수 있다.
4. 각 계절-5 시나리오는 다른 시나리오에 비해 비용이 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 각 계절-5 시나리오는 각 계절-1의 시나리오에서 강수가 일어나지 않는 경우이기 때문이다. 즉, 강수가 일어나지 않기 때문에 습침적에 의해 지표면에 침적되는 양이 없으며 대기확산에 의해 광범위한 지역이 방사선의 영향을 받기 때문이다.
5. 각 계절별 건강영향을 살펴보면 가을철이 가장 적은 값을 나타내며 여름철에 가장 높은 값을 나타내지만 비용 평가 결과에 의하면 반대로 가을철 비용이 가장 크게 나타나며 여름철 비용이 가장 적게 나타난다. 이는 습침적과 대기확산 때문이다. 즉, 가을철에는 강수량이 가장 적으며 여름철에는 강수량이 최대이다. 이로 인하여 습침적에 의해 방사성 플룸에서 제거되어 지표면에 침적되는 양이 여름철에 가장 크게 나타나며 이로 인해 방사선의 피해를 받는 지역이 적어지기 때문이다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기 연구개발 사업의 일환으로 수행되었음.

## 참고문헌

1. Richard P. Burke, et al., "Economic Risks of Nuclear Power Reactor Accident," NUREG/CR-3673, 1984.
2. S. M Haywood, C. A. Robinson, and C. Heady, "COCO-1: Model for Assessing the Cost of Offsite Consequences of Accidental Release of Radioactivity," NRPB, 1990.
3. USNRC, "Reactor Safety Study: Executive Summary," WASH-1400, NUREG-075/14, 1975.
4. M. J. Clark and J. Dionan, "Methods for Assessing the Economic Impact of Emergency Countermeasure After and Accident," NRPB-M85, 1982.
5. Cartwright, J. V et al., "Estimating the Potential Impacts of a Nuclear reactor Accident: Methodology and Case Studies," NUREG/CR-2591, 1982.
6. Jongtae Jeong and Jaejoo Ha, "The Influence of Source Term Release Parameters on Health Effects," J. of the Korean Nuclear Society, Vol. 31, No. 3, pp.294-302, June 1999.
7. Jongtae Jeong and Jaejoo Ha, "기상자료가 인체 건강에 미치는 영향 평가" KAERI/TR-1230/99, Korea Atomic Energy Research Institute, 1999.