

# 靈光原電 環境放射線影響 評價모델 開發方案



김 승 평  
조선대학교 원자력공학과 교수

**원**자력발전소를 건설 및 운영하기 위해서는 발전소의 정상운전시 방사성물질의 방출로 인한 발전소 주변의 주민과 환경에 미치는 영향을 평가하는 것이 반드시 필요하다. 영광 원자력발전소에서는 이를 위해 GASP와 LADTAP라는 컴퓨터 프로그램을 사용하고 있다. 그런데 이러한 프로그램들은 표준 서구인의 모델과 자료를 사용하여 개발되었기 때문에 우리나라의 경우에 그대로 적용하기에는 여러가지 문제점을 가지고 있다.

특히, 영광의 경우는 Wind T-

unnel에 의한 Tunnelling 효과가 발생할 수 있으며, 해양의 경우 조수간만의 차가 큰 특성을 지니고 있어 이러한 특수한 영향을 고려하는 모델의 개발이 필요하다.

## 환경방사능영향평가방법 개발동향

환경으로의 방사성핵종의 누출에 대한 평가는 1940년대에 처음으로 큰 규모로 요구되었는데, 그 대상은 미국 정부소속의 원자력 연구기관과 생산시설의 주변환경이었다.

1950년대에는 핵실험에 따른 전 세계적 낙진의 측정과 평가가 이루어졌다. 그런데, 측정시스템의 미비로 환경 측정의 결과는 순  $\beta$ - $\gamma$  또는  $\alpha$ 순으로만 보고되었다. 따라서 초기의 평가는 평가라기 보다는 측정에 가까웠다.

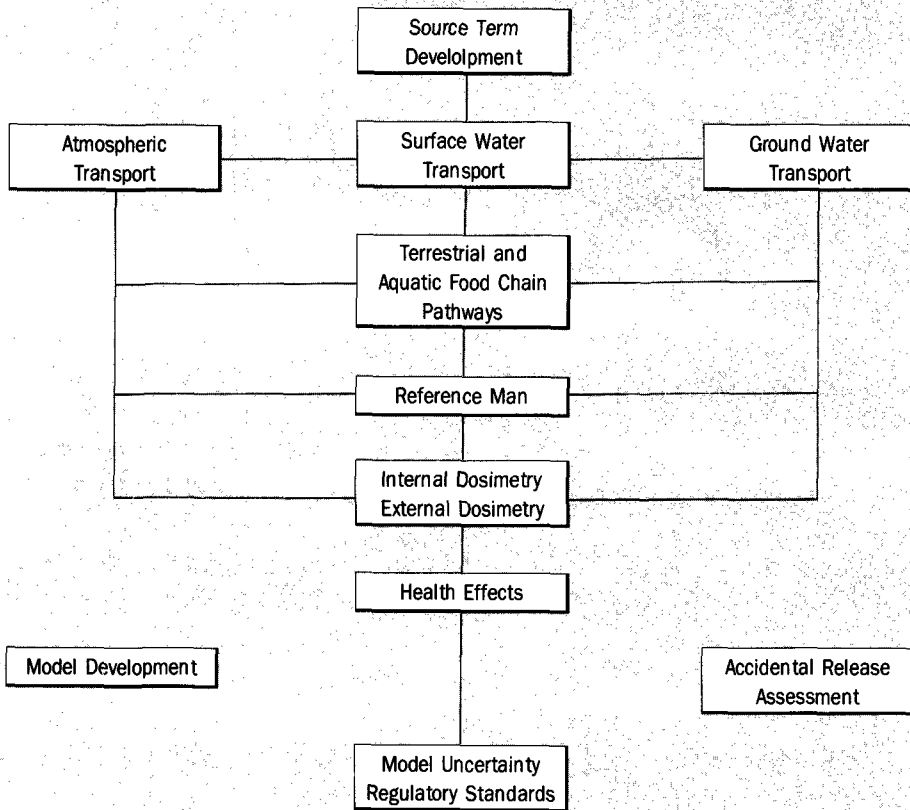
1940년대에는 핵무기의 초기실험과 함께 농업지역에 축적된 방사능에 의한 방사선피폭 조사량을 평가하기 위해 여러 종류의 조사와 연구가 이루어졌다. 이 결과는 음식경로를 통한 방사성핵종의 이동을 분석하고 컴퓨터 코드를 개발하는 데 활용할 수 있었다. 또한 개발된 코드를 사용하여 원자력발전소 사고로 인한 방사선영향을 평가할 수도 있게 되었다.

미국은 1957년 Plowshare 프로그램을 통하여 핵무기의 평화적 이용을 시작하였다. 이러한 프로그램은 즉각적으로 대가나 지하수를 통해 인간에게 조사되는 방사성핵종의 분산 및 거동을 예측할 필요를 가져왔다.

1960년대 후반에는 원자로 동력학에 관해 개발된 코드가 환경조사 경로에서의 핵종이동을 예측하는 유용한 수단으로 등장하는데, 이는 Plowshare 프로그램에서 개발된 시스템 분석법에 크게 의존한다.

1960년대에는 핵실험에 의한 핵종의 대규모 분산과 이동에 관한 연구가 활발히 이루어졌고, 후반에는 민간 원자력 프로그램이

그림 1. 방사선 평가 주요단계



대규모로 추진되는데, 이는 과거에 정부 주도하에 이루어진 방법론의 직접 활용에 기인한다. 1969년의 국가환경정책법안(NEPA)의 제정은 연방기관으로 하여금 관련 프로젝트로 인한 환경영향의 가능성을 상세하고도 총체적으로 평가하도록 요구하고 있다.

이 법안에서 방사선학적 평가는 보수적 방법을 채택하고 있지만, 또한 다른 기관이나 이해집단의 검토와 공청회 개최를 명시하고 있다.

1970년대 초반에는 원자력발전소 주변의 주민에 대한 피폭평가가 본격적으로 이루어졌는데, 환

경영향 평가는 미국의 경우, WASH-1258과 10 CFR 50 Appendix I의 발간을 계기로 더욱 강조되었다.

그런데 Appendix I에서는 조사량으로 환산할 수 있는 구체적인 설계 목표치를 제시하고 있어서 평가 방법론을 더 보강하고

계산에 있어서 지나친 보수주의를 배제하게 되었다. 중요한 변화로는 물리적 이동과 생물학적 축적에 있어서 최대값보다는 평균값을 이용하고, 환경권 내 이동경로의 고려 등을 들 수 있다. 또 다른 분기점으로는 WASH-1400의 발간이 있는데, 이것은 원자로안전에 대한 확률론적 위험도평가(PRA)의 최초 적용이라고 할 수 있다. 현재는 PRA 기법이 원자력발전의 각 분야에 광범위하게 쓰이고 있다. TMI와 Chernobyl사고 이후 비상대응계획의 효율성, 피폭조사량의 실시간 평가 및 신뢰성 있는 예측 등이 많이 연구되는 분야라고 할 수 있다.

현재, 원자력분야의 선진국들은 환경방사선의 영향평가를 원자력발전소의 안전을 보장하는데 필수적인 연구로 간주하고, 분석기법의 자립화, 정확도의 개선, 비상계획의 완전성 추구 등에 관한 연구에 많은 투자를 하고 있다.

### 방사선평가 방법론

방사선평가는 방사성핵종의 누출에서 환경권에 이르는 과정에서 인간에 미치는 영향을 평가하는 정량적 과정이라 할 수 있다. 이것은 복합적인 주제로서 여러 분야의 전문가를 필요로 하는데, 방사선 원형을 예측하고 환경권 내 이동의 묘사, 체내 및 체외 조

사량의 계산을 수행하며, 최종적으로 건강에 미치는 영향을 평가하게 된다. 방사선평가의 최종목표는 방사선 원형 또는 누출 핵종의 종류와 양, 그리고 인간의 건강에 미치는 영향 사이의 관계를 보여주는 것이라 할 수 있다. 평가과정은 논리적 방식으로 진행되어야 하며, 관심 핵종의 이동경로를 따라 이루어진다. 이 과정의 주요 단계 및 그 상관관계는 <그림 1>에 나타나 있다.

#### 방사선 원형개발

이 단계의 목적은 측정이나 이론적 계산을 통해 누출된 핵종의 종류와 양을 단위 시간당 방사능으로 결정하는 것이다. 누출의 화학적, 물리적 형태도 고려해야 한다. 지금까지는 선원형의 정확한 평가를 무시한 경향이 있으며, 그동안 수행된 여러 평가에서도 높은 불확실성이 존재한다.

#### 핵종이동

본 단계에서의 목적은 직접적으로 또는 섭취한 음식을 통해 간접적으로 인간에 도달하는 방사성핵종의 농도를 예측하는 것이다. 관련 모델들은 물리적 이동을 묘사하며, 일반적으로 핵종 고유성을 가진다. 최종 결과는 물이나 공기의 단위체적당 방사능의 정도이다.

#### 환경권 내 이동경로

본 단계에서는 핵종의 수증 및

지중 환경 내 축적을 결정하고 생물학적 축적을 평가하게 된다. 목표는 먹이사슬에 도입된 핵종의 농도를 정량적으로 예측하는 것인데, 섭취한 단위 질량당 방사능의 단위로 주어진다.

#### 표준인

이 단계에서는 여러 음식의 섭취율, 관계적인 신진대사관련 변수를 취급한다. 특정인이나 집단이 아닌 가상적인 개인의 특징이 정해진다. 이 단계는 전 단계에서의 계산된 농도와 최종적인 조사량의 결정을 연결하는 중요한 과정으로, 여기서 결정된 사용인자를 적용, 신체 내 도입된 핵종의 양을 평가할 수 있다.

#### 체내 및 체외 조사량 결정

이 단계에서는 보건물리적기법을 사용하여 핵종의 흡입이나 흡수, 또는 직접 피폭에 의해 신체 내 각 기관에 축적된 에너지를 평가하게 된다. 이때, H-3, C-14, Kr-85, I-129 등의 핵종은 특별한 경우로 취급하는데, 그 이유는 이들 핵종이 생물학적 시스템 내를 자유스럽게 이동하는 경향이 있고 다른 안정된 원소와 쉽게 결합하기 때문이다.

#### 보건영향

일단 흡수선량이 계산되면, 보건상 위해는 주로 역학자료에 근거한 위험도 인자를 적용, 평가하게 된다.

방사선에 의한 피폭 정도는 대부분 낮은 수준이며 관련 영향은 자연보건영향을 이내이므로, 방사선 피폭에 의한 위험도 평가는 어려운 과정이고 계속 재평가가 필요하다.

### 모델의 불확실성

방사선학적 위험도는 선원항 개발에서 위험도 추정까지 여러 수준의 정확도를 가진 가정과 자료에 근거하게 된다. 각 단계별 불확실성을 고려하면, 계산에 있어서 전반적 신뢰도 수준을 결정하는 것이 필요하다.

현재, 평가과정은 규제측면에서 방사능 누출의 가동전 평가는 필수적인 단계로 인정되고 있으며, 주요 이동경로를 결정하게 된다. 또한 불확실성 분석은 과정의 필수적인 부분이다.

### 국내현황

국내 발전소에서는 발전소 주변 주민선량계산지침서(ODCM)를 사용하여 방사성 기체 및 액체 방출물에 의한 대중피폭선량을 계산하고 있다.

그런데, 지침서의 방법론은 미국에서 개발된 것으로 국내 발전소의 부지 특성과는 부분적으로 맞지 않는다.

방사성물질의 대기확산의 경우, 컴퓨터 모델이 쓰이지만 검증을 위한 확산시험은 수행된 바 없다.

표 1. 국내 원전 환경방사선 평가 전산코드

|           | Gaseous Effluents | Liquid Effluents | Atmospheric Disperion |
|-----------|-------------------|------------------|-----------------------|
| Kori      | GASDOS            | LIQDOS           | XOQDOQ                |
| Yonggwang | GASPAR            | LADTAP           | WINDIFF               |
| Wolsong   | WOLDOSE           |                  | WINDIFF               |
| Ulchin    | GASPAR            | LADTAP           | WINDIFF               |

한국인에 대한 피폭선량을 정확히 계산하기 위해서는 한국적 특성에 적합한 모델의 선정과 변수에 대한 정확한 자료가 필요하다.

현재는 대부분의 계산에 외국 의 자료만이 쓰이고 있는 실정이다.

1989년 고리 원자력발전소에 대한 종합환경평가가 이루어졌고, 관련 모델이 개발되었는데, 방사성 물질의 방출과 온배수에 의한 영향이 주로 다루어졌다.

국내 원자력발전소에서 현재 쓰고 있는 컴퓨터 코드들은 다음의 <표 1>과 같다.

위의 코드 중에서 WOLDOSE는 캐나다의 PATHWAY-II를 수정한 것이며, 고리에서 현재 쓰이고 있는 코드들은 1989년 한국 원자력연구소에서 개발한 것이다.

GASPAR는 1975년 Reg. Guide 1.109의 모델을 사용하여 불

활성 기체와 부유 입자 방출에 의한 조사선량을 계산하고 있다. 여기서 사용되는 대기분산인자는 Gaussian Plume 모델을 채택한 WINDIFF 코드로부터 얻을 수 있다. 이 코드는 안전성 규제와 현장에서의 ODCM에 광범위하게 쓰이는 데, 한정된 피폭 경로만을 다룰 수 있다는 단점이 있다.

LADTAP은 1976년 원자력규제위원회(NRC)에서 개발하였으며, 액체 방사성방출물로 인한 조사선량을 주로 계산할 수 있다.

### 외국현황

1940년대 초기 핵무기 실험을 하면서 농업지역에 침적되는 방사능에 의한 피폭을 평가하는 조사 및 연구가 수행되었으며, 이들 연구결과는 음식물 섭취경로를 통한 방사성핵종의 이동을 해석하는 전산코드 개발에 이용되었

표 2. 국가별 환경방사능 감시 및 평가 시스템

| 국가명       | 미 국                            |  | 일 본                   | 독일(유럽)                      |
|-----------|--------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------|
| 시스템명      | ARAC                           | NRCOC  | SPEEDI                | EMMA                        |
| 개발시기      | 1972~1988                      | 1983~  | 1980~1990             |                             |
| TUPE      | 집중감시형                          | 집중감시형  | 집중감시형                 | 현지설치형                       |
| 지원기관      | DOE, DOD                       | NRC  | 과학기술청                 | ~                           |
| 개발중심기관    | LLNL                           | NRC, ORNL<br>Battelle PNL                            | 일본원자력(연)              | Studsvik<br>Energiteknik AB |
| 온라인감시대상   | DOD, DOD의 50개 부지               | NRC 관할 96개 원자력 발전소                                   | 일본의 전 원자력발전소 (예정)     | 스웨덴의 전 원자력발전소, 상품으로 판매      |
| 관리체제      | 24시간체제                         | 24시간체제   | 검토 중                  | 부지의존                        |
| 기상데이터     | 부지주변 감시데이터                     | 부지주변 감시데이터   | 부지주변 감시데이터            | 부지내 기상탑 또는 원격 감시장치          |
|           | NOAA의 NWS, AFG-WC              | NOAA의 NWS  | 기상청 AMEDAS            |                             |
| 방출데이터     | 부지로부터 외부입력                     | Source~ Term Code로 계산                                | 부지로부터 통보              | 부지의존                        |
| 계산모델      | 상세계산모델, Fallout, 광역대응간이모델      | 간이모델   | 상세계산모델                | 간이모델                        |
| 구성코드      | MATHEW, ADPIC, E XTREM, DOSCON | IRDRAM<br>IDAS: TACT, MESOI, MESORAD, RADPUR, RASCAL | WINDO4, PRWDA, CI DE  | 상품명: AIRPAC~1(86)           |
| 중앙계산기     | 32비트 슈퍼미니컴                     | 32비트 슈퍼미니컴, PC                                       | 범용소형계산기(계산은 슈퍼미니컴 실행) | PC                          |
| 환경데이터 베이스 | 표고 및 지도데이터                     | 지도데이터  | 표고 및 지도데이터            | 지도데이터                       |

으며 원자력발전소 사고시 방사선 영향을 평가하는데 이용되었다.

1960년대에 들어서는 핵무기 실험에 의한 방사성물질의 대규모 확산 및 이동에 관한 연구(KDFOC 2, 2 BPUFF Code 등)가 수행되었으며, 1970년대 초

반부터 본격적으로 원전주변 주민들이 받는 방사선피폭량을 평가하는 방법들이 연구되었다.

1986년 옛 소련의 체르노빌 원전사고 이후 방사능 이동 및 확산모델의 정확도 향상을 위한 실증연구가 진행되고 있으며 미, 일, 유럽을 주축으로 하는 대규모

지역연계 환경방사선평가시스템 구축, 입력자료의 정확성 제고, 계산시간 단축, 전산운용의 편리성을 강화시키기 위해 PC용 전산코드가 개발되고 있다.

국가별 환경방사능 감시 및 평가시스템에 관한 자료는 <표 2>에 나타나 있다.

## 영광원전의 방사선 환경평가

현재 영광 원전에는 2기가 운전 중이고, 2기는 건설 중이며, 또한 2기의 발주가 곧 예상되므로 동일 부지 내 대규모 원전단지 가 되어 환경방사선영향에 대한 주민의 관심과 규제가 상당히 강화될 것으로 예상되는 바, 환경방사선문제가 곧 경영현안으로 대두될 전망이다.

현재 영광 원전의 환경방사선 평가방법은 미국에서 개발된 방법으로, 평탄지역에서 정확도가 높은 방법이며, 많은 가정이 내재되어 있어, 영광과 같은 특수한 지형 및 해양특성을 가진 지역에 직접 적용할 경우 평가 결과의 정확도 및 신뢰도에 문제가 있다.

환경방사선평가는 현지의 물리적인 조건(환경조건)에 좌우되므로 특정 부지에 적용할 수 있는 일반적인 평가방법은 있을 수 없으며, 특정 부지의 환경방사선영향을 정확하게 평가하기 위해서는 해당 원전이 위치한 주변지역의 지형, 기상 및 해양 특성과 사회환경 특성이 고려된 특정부지 고유의 환경방사선평가방법이 개발되어야 한다.

특히, 영광 부지는 다른 원전부지(외국, 고리 등)와는 달리 터널 효과 등 대기확산 현상이 상이하고 해양확산의 경우 서해안의 급격한 간만의 차에 의해 기존의 수치해석모델이 잘 맞지 않기 때

문에 영광 부지에 맞는 고유모델 정립이 필요하다.

또한 현재 운전 중인 2기의 원전이 주변환경에 미치는 영향을 체계적으로 평가하여 원전 운영의 안전성을 입증하고, 후속기 건설, 운영에 따른 환경영향을 예측함으로써 장기대책을 수립하여야 하며, 기존 환경감시계획을 검토, 보완하여 신뢰성 있는 환경관리 업무를 수행할 수 있는 체계를 수립할 필요가 있다.

따라서 영광 원전 가동으로 인한 환경방사선영향평가의 정확성 및 신뢰도를 높이기 위해 영광 원전이 위치한 주변지역의 지형, 기상 및 해양 특성과 주변의 인구분포, 식생활 습관, 농수산물 생산 및 소비 특성 등을 조사, 분석하여 영광 원전 주변지역에 적합한 환경방사선평가모델의 개발이 요구된다.

## 개발방안

지금까지의 환경방사능 평가요건은 미국에서 개발되어 국내 원전에서 주로 사용되고 있는 단순 모델(Straight-Line Plume Model)로서 평지에서 정확도가 높고 입력이 단순한 반면, 산악지형의 경우 주변환경을 충분히 고려치 못하는 단점이 있다.

특히, 피폭평가시 서양인을 기준으로 계산됨으로써 동양인의 차이점이 고려되지 않아 국내 적용은 여러가지 문제점을 안고 있

다.

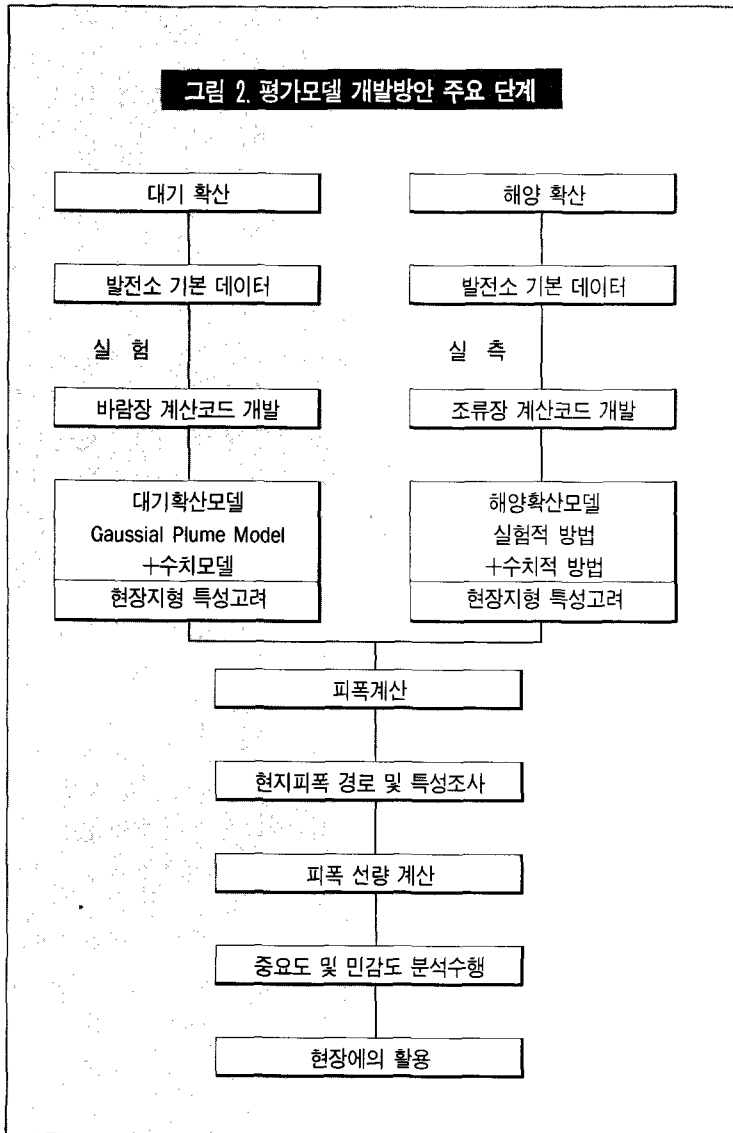
1989년 개발된 고리 원전의 환경방사선평가모델은 고리 주변지역의 환경특성조사를 통해 개발된 것으로 고리와 유사한 지형 및 해양특성을 가진 원전 부지에는 어느 정도 정확성을 확보할 수 있지만 전혀 다른 환경특성을 가진 원전 부지에는 적용이 불가능하며, 일부 모델(대기확산모델 및 피폭평가모델)의 접근방법은 타 원전 부지에도 적용 가능하지만 모델 자체를 직접 적용할 수 없다. 특히, 해양확산모델은 주변 해양특성이 지역에 따라 전혀 다르기 때문에 접근방법 자체도 이 용 불가능하다.

특정 원전의 방사선 환경영향 평가는 원전이 위치한 지역의 기상특성, 지형특성, 사회환경특성 등 현지의 물리적인 조건에 좌우되므로 특정 원전의 환경방사선영향을 평가할 수 있는 일반적인 방법은 있을 수 없다.

특히, 영광 원전 주변의 환경특성은 타 원전과는 아주 다르기 때문에 다른 원전 지역의 특성을 고려한 모델을 직접 적용할 수 없으며, 기 개발된 평가모델을 해당 부지에 맞게 수정, 보완하여야 하고 부지특성에 맞는 입력변수의 실측을 통해 모델 검증이 필요하므로 부분적인 기술도입은 가능하지만 전체적인 기술도입은 불가능하다.

따라서 영광원전의 환경특성자료가 매우 제한적이고 특수지형

그림 2. 평가모델 개발방안 주요 단계



임을 감안하여 주변지역의 특성을 고려한 현실적인 환경방사능 평가모델을 개발하여 원전 운전 에 따른 주민 피폭선량 평가의 정확도 및 신뢰도를 향상시키고 피폭선량 평가모델이 영광원전

주변지역 고유의 피폭경로를 수립하기 위하여 다음의 4단계로 추진한다.

- 1단계 : 기초자료 조사 및 환경 특성 조사방법의 확립
- 2단계 : 영광지역의 환경 조사

환경방사선평가모델의 확립

3단계 : 환경 특성 관련 Database 구축, 컴퓨터 코드의 개발

4단계 : 종합 환경영향평가 및 적용

< 그림 2 >에 전체 주요 단계를 나타내었다.

맺음말

환경에 대한 관심 고조에 따라 원전과 관련된 환경영향평가에 보다 정확도가 요구되고 있고, 후속기 건설 등과 관련하여 환경에 대한 규제도 점차 강화될 것으로 예상되는 이 때, 영광 원전 주변 지역의 특성을 고려한 현실적인 환경방사능평가모델을 개발하여 영광 1,2호기 운전 에 따른 주민 피폭선량평가의 정확도와 신뢰도 향상 및 후속기 건설 추진에 따른 향후 환경영향을 예측함으로써, 영광 1,2호기의 가동 후를 기점으로 한 생태계 및 해양에 대한 Baseline Data를 설정하여 영광원전 주변의 최적 환경방사능 모니터링 지점 선정 등 과학적인 환경감시체계 및 비상대피 계획 수립에 활용토록 하며, 또한 방사선 피해와 관련한 각종 민원 해결에 도움을 주어 앞으로 지속적인 전원개발계획의 차질없는 수행을 위하여 환경영향 평가기술의 정립과 더불어 중장기연구 개발계획에 포함된 방사선안전 연구분야 기술정립에도 기여할 것이다.