

原子力發電所의 環境評價



강희동
경북대 물리학과 교수

과학기술의 발달로 산업시설이 고도화되고 생활수준이 향상됨에 따라 에너지소비는 급격히 증가되고 있다. 현재 세계의 1차 에너지소비량은 약 80억PET(석유환산톤)에 이르며, 이 중 88%를 化石燃料가 담당하고 있다. 그러나 이 연료는 개발 및 事後處理過程에서 많은 生態系의 훼손을 초래하고 있다. 즉 溫室效果로 인한 기상 異常이 일어나고, 홍수와 가뭄이 빈발하고 있으며, 숲이 말라 들어가고, 사막이 넓어지는 변화가 곳곳에서 발생하고 있다.

序 論

따라서 地球環境의 변화를 방지하기 위한 강력한 規制案을 마련하려는 국제적 노력이 추진되고 있

며, 이에 대응하기 위해서는 에너지 생산수단의 多邊化가 시급한 실정이다. 특히 우리나라처럼 資源이 부족한 국가에서는 環境汚染을 최소화하면서 에너지생산을 증가시키는 경제성 있는 방법을 선택하는 것이 무엇보다 더 절실한 과제라 하겠다.

현재까지의 과학기술 수준으로서는 원자력발전이 다른 발전방식에 비해 가장 效率的이고 경제성이 있으며, 環境毀損을 최소화하는 에너지 중의 하나로 再評價되고 있다. 그러나 원자력의 이용은 그 시작부터가 2차대전을 종식시키는 엄청난 파괴력을 가진 武器로서 먼저 사용되었기 때문에 평화적으로 유익하게 이용되는 원자력발전에 대해서조차도 불안감을 갖게 되는 것이다.

원자력발전이 環境影響과 관련하여 논란의 대상이 되는 것은 대체로 원자로에서 발생하는 放射性廢棄物의 발생과 그 처리 문제, 이로써 야기되는 시설 인근주민들의 放射線被曝의 증가 우려, 溫排水 문제 등 3가지로 요약된다.

이들 중 온배수문제는 원자력발전 뿐만 아니라 다른 발전방식도 대부분 溫排水를 방출하고 있으며 제철이나 石油精製, 石油化學工業 등 일반 산업시설에서도 배출되고 있어 이에 대한 환경평가는 다른 산업시설에서와 큰 차이점이 없다고 볼 수 있다. 따라서 여기에서는 원자력발전에서만 야기되는 放射線環境을 중심으로 고찰하도록 한다.

本 論

1. 원자력발전소와 放射性廢棄物

원자력발전은 核分裂에 의해 생성되는 熱에너지를 발전에 이용하는 것으로, 원자력발전소의 가동에 의해 생성되는 방사성핵종은 원자로의 종류와 구조에 따라 다소 차이는 있으나 크게 核分裂生成物과 放射化生成物로 구분된다. 핵분열 생성물은 핵연료물질의 핵분열에 의해 생성되고, 방사화생성물은 원자로의 冷却系統과 熱交換器를 구성하는 材料의 일부나 냉각수 자체가 중성자조사로 放射化되어 생성된다. 핵연료에서 생성되는 핵분열 생성물은 통상 연료봉 내에서 생성되고 축적되지만, 극히 일부는 원자로 冷却材系統으로 유출되어 방사화생성물과 함께 원자로와 원자로건물, 補助建物 내의 각종 설비

와 접촉하게 됨으로써, 이들의 처리과정을 통해 방사성폐기물이 발생된다. 방사성폐기물은 상태에 따라 기체, 액체, 고체폐기물로 구분할 수 있다.

기체상태의 방사성폐기물은 냉각재의 淨化過程에서 발생하는 것과 액체폐기물을 수집, 처리하는 과정에서 발생하는 것이 대부분이다. 이들 기체방사성폐기물은 일반적으로 방사능이 현저히 줄어들 때까지 기체저장탱크에서 일정 기간 저장되었다가 방사성옥소나 微粒子濾過를 위한 특수설비를 거친 후 공기중으로 방출되거나, 방사능을 띤 물질을 活性炭에 흡착시켜 걸러내는 濾過塔을 거친 후 공기중으로 방출된다. 이 경우 원자력법 시행령 제110조에 따른 과학기술처 고시 제90-11호에 규정된 공기중 방사능물질 最大許容濃度를 초과할 수 없으며 아울러 발전소 인근주민의 연간 방사선影響 基準値를 넘지 못하게 되어 있다.

액체폐기물은 원자로 냉각수의 淨化過程, 펌프나 밸브와 같은 기기로부터의 漏泄液體, 放射線作業 服 같은 것들의 洗濯水 등을 말하며, 이들은 포함된 방사능의 양, 화학적 순도에 따라 發生源에서부터 구분하여 수집, 처리되고 있다. 냉각수의 정화과정에서 발생한 액체폐기물은 분산회수설비의 여과기, 이온교환수지, 硼酸증발기 등을 거쳐 깨끗한 증류수는 발전소에 다시 사용되거나 바다로 방출된다. 누설 액체폐기물은 저장탱크에 저장되었다가 여과기, 이온교환수지, 폐기물증발기 등에서 처리된 후 방사능



농도에 따라 방출여부가 결정된다. 일반적으로 방사능이 거의 없는 세탁수의 경우에도 이를 저장탱크에 저장하였다가 방사능농도를 측정 후 처리여부를 결정한다. 이 경우에도 원자력법 시행령 제110조에 따른 과학기술처 고시 제90-11호에 규정된 액체중 방사능물질 최대 허용농도를 초과할 수 없으며 아울러 발전소 인근주민의 연간 방사선 영향 기준치를 넘지 못하게 되어 있다.

고체폐기물은 원자로에서 사용이 끝난 使用後核燃料과 같은 高準位 廢棄物과 기체 및 액체폐기물 처리에 사용된 여과재, 이온교환수지, 폐액증발기의 농축찌꺼기, 雜固體(작업복, 제염지) 등과 같은 중저중위폐기물로 구분하여 관리된다. 중저중위폐기물 중 폐여과재, 이온교환수지, 농축찌꺼기 등은 시멘트와 혼합하여 드럼 속에서 고체화되고, 압축체는 압축기로 드럼 내에 壓縮 包裝되어 廢棄物貯藏庫에서 종류별로 저장되며, 영구처분시설이 완공되면 이곳으로 이송되어 영구보관

하게 된다. 고준위폐기물인 使用後核燃料은 발전소 내의 저장조에서 일정 기간 저장된 후 중간저장시설로 옮겨 저장된다. 사용후핵연료에는 우라늄이나 플루토늄과 같은 핵연료물질이 다량으로 포함되어 있기 때문에 再處理過程을 거쳐 핵연료물질을 추출하여 연료로 다시 사용하기 위하여 바로 永久處分하지 않고 중간저장을 하게 된다.

따라서 원자력발전소로부터 환경중에 방출되는 방사성물질은 주로 기체나 액체폐기물이 대부분이다. 이 경우 배기구나 배수구에 방사선 측정장비를 설치하여 배출되는 폐기물의 방사능농도가 법적 許容基準値를 초과하면 자동 閉鎖되도록 설계되어 있다. 이러한 안전장치에도 불구하고 폐기물의 방출시에는 각국에서 법으로 규제하고 있는 각종 방사성핵종의 공기중 및 수중 허용농도나 원자력사업자가 정한 설계목표나 관리목표를 초과하지 않는 것은 물론 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 폐기물방출을 하도록 하고 있다. 1991년도 한 해 동

〈표 1〉 1991년도 방사성폐기물 방출현황

(단위 : Bq/년)

상태	구분	고리	월성	영광	울진
기체	희유가스	1.84E+13	1.14E+14	7.30E+12	2.41E+11
	옥소	1.92E+08	1.15E+06	7.40E+06	8.51E+06
	미립자	1.52E+07	0	1.07E+06	0
액체	용존기체	1.07E+09	2.00E+06	4.44E+08	0
	옥소	6.66E+05	4.81E+07	0	0
	미립자	9.99E+08	1.52E+08	4.07E+08	1.67E+09

안에 방출된 방사성폐기물의 현황은 〈표 1〉에서 보는 바와 같으며, 여기서 삼중수소는 제외되었다. 1991년도에 원자력발전소로부터의 방사성기체 방출량은 설계목표치의 7% 이하이며, 방사성액체 방출량은 60% 이하의 수준이다. 이들 기체방사성방출물은 대부분은 반감기가 짧은 불활성기체이지만 外部被曝의 주된 원인이 될 수 있다. 放射性沃素는 불활성기체에 비하여 그 방출량은 적지만 기체 및 액체방출물에 함유되어 있어 農水産物을 통해 섭취됨으로써 갑상선 내부피폭의 주된 원인이 될 수 있다.

2. 環境放射能의 監視體系

원자력발전소의 환경방사능을 조사하고 감시하는 주된 목적은 발전소에 인접한 지역주민들의 건강과 안전을 위하여 인근주민들에 대한 방사선被曝線량을 추정, 평가하고 환경중에서의 방사성물질의 分布와 蓄積상황을 파악하며, 원자력발전소로부터의 예기치 않은 방사성물질의 漏出로 인한 주변환경의 영향을 판단하기 위한 기초자료를 확보하는 것이다.

원자력발전소의 환경방사능을 조

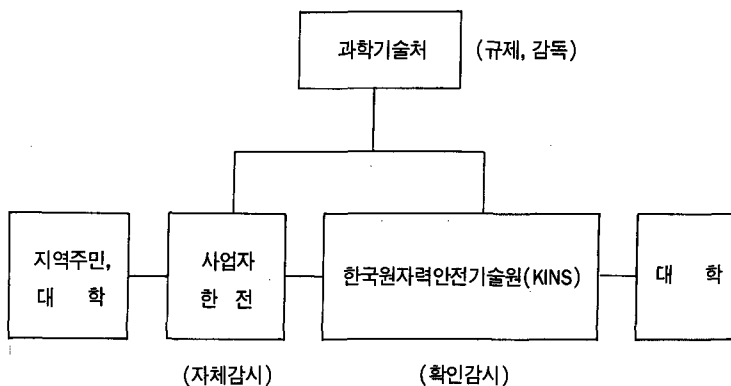
사, 감시하기 위해서는 환경방사능 측정계획을 수립하고, 그 계획에 따라 환경방사능을 측정하며, 측정 결과를 토대로 피폭선량을 평가한 후, 그 결과를 공식적으로 발표하는 체계를 구성하여야 한다. 평가 결과의 발표는 국민의 신뢰감 확보라는 관점에서 신속하고도 공정하게 이루어져야 한다.

우리나라에서는 발전용 원자로 및 관련시설을 운영할 때의 안전조치에 관한 사항이 원자력법 제29조로 제정되어 있으며, 이에 근거하여 運營者로 하여금 과학기술처 장관이 정하는 바에 따라 환경조사를 실시하도록 원자력법 시행령 제111

조에서 규정하고 있다. 그리고 과학기술처 장관이 정하는 원자력발전소 주변환경 調査指針은 과학기술처 고시 제85-5호에 명시되어 있다. 이 고시에는 발전용 원자로의 운영 전과 운영중의 방사능환경 조사와 함께 방사능 이외의 환경조사로 생물, 화학 및 물리학적 조사도 실시하도록 정하고 있으며, 조사대상 試料種類, 試料採取地點, 분석대상의 項目, 分析週期 등 상세한 조사요령이 제시되어 있다.

현재 국내 원자력발전소의 가동에 따른 환경감시체계는 〈그림 1〉과 같은 多重監視體制를 이루고 있다.

원자력발전소의 사업자는 발전소 시설의 건설허가 신청시에 관련법규에 따른 원자력발전소의 가동전 환경조사계획서를 과학기술처에 제출하여 승인을 얻어야 하며, 이 조사계획에 따라 실시한 조사결과를 과학기술처에 제출하여 평가를 받아야 한다. 또한 가동중에도 마찬가지로 과학기술처에 조사계획의 수립 및 이에 따른 결과보고를 하



〈그림 1〉 국내 원자력발전소의 환경방사능감시체계

여야 한다.

과학기술처는 원자력발전소의 운영에 관한 제반 법규를 제정하고 방사선의 안전관리를 지도, 감독한다. 그리고 한국원자력안전기술원은 과학기술처의 방사선감독기능을 수행함에 있어 기술적 지원을 제공한다. 즉, 원자력발전소의 환경방사능 조사기술의 기준을 개발하고, 사업자의 조사계획과 조사결과를 검토하며 사업소 등의 시설에 대한 정기검사 등을 수행하고 있다. 또한 원자력사업자와는 별도로 자체에서 환경방사능조사계획을 수립하여 환경방사능 감시를 실시하고 있다.

한편 환경방사능 감시에 대학들의 참여도 활발하게 이루어지고 있다. 정부차원의 감시계획에서 발전소 주변 海洋環境調査 및 評價나 지역주민들이 직접 참여하여 채취한 발전소 주변환경시료의 방사성핵종 분석 등이 발전소와 인접한 지역의 대학에서 이루어지고 있어 환경방사능조사의 객관성을 높이고 있다.

3. 環境放射能의 測定 및 結果

원자력발전소 주변의 환경조사는 발전소 주변의 空間線量率, 空間集積線量, 각종 환경시료의 放射能濃度 등을 측정하는 것이며 이들 측정결과로부터 인근주민에 대한 외부피폭과 內部被曝線量を 평가하게 된다. 1991년 한 해 동안 측정된 원자력발전소 주변의 환경방사능 조사결과는 <표 2>와 같다. 표에서 제시된 측정치들은 현재 가동 중인 국내 4개 원자력발전소 주변

<표 2> 1991년도 국내 원자력발전소 주변의 환경방사능 조사결과

시 료	검출핵종	측 정 범 위
공 간 선 량 률 공 간 집 적 선 량		5.1~19.3 μ R/h 0.12~0.60mSv/3개월
공 기	전 β 방사능	0.13~1.84mBq/m ³
해 육 수 수	H3	ND~57.32Bq/l ND~128.1Bq/l
토 양	Sr90 Cs137	0.53~4.26Bq/kg ND~55.9Bq/kg
우 유	Sr90	0.1~0.16Bq/l
어 해 조 류 류	Cs137	ND~0.1Bq/kg ND~0.06Bq/kg
솔 잎, 채 소 류, 패 류, 곡 류	인공방사성 핵종	ND

에 대해 한국전력공사와 한국원자력안전기술원이 각각 독립적으로 1년간 실시한 환경방사능 조사결과에서 나타난 最低의 값과 最高의 값을 표시한 것이다.

(1) 空間線量率 및 空間集積線量

공간선량률은 원자력발전소의 가동에 따른 외부피폭선량을 평가하기 위한 것으로서 각 모니터링 지점에서 특정 시각에서 주기적으로 측정되며 공간집적선량은 모니터링 지점에서 통상적으로 3개월간의 누적된 선량으로 측정된다. <표 2>에서 보는 바와 같이 4개 원자력발전소 주변에서 1년간 측정된 공간선량률은 5.1~19.3 μ R/h, 공간집적선량은 0.12~0.60mSv/3개월의 범위 내에 있다.

(2) 環境試料의 放射能

환경시료의 방사능측정은 발전소로부터 환경 중에 방출된 방사성핵종에 의한 내부피폭선량을 평가하고 방사성핵종의 분포와 축적상태 등을 파악하기 위하여 실시된다. 환경방사능측정용 시료는 원자력발

전소로부터 방출된 방사성물질이 인체에 흡수되어 내부피폭을 일으키게 하는 식수, 농산물, 축산물, 수산물 등과 방사성핵종의 분포나 축적경향 파악에 도움이 되는 토양, 해저토, 해수 등이 선택되고, 이 시료들에 대해 방사성핵종 분석 및 전 β 방사능을 측정한다.

<표 2>에서는 K40, U238 붕괴계열, Th232 붕괴계열 등의 자연 방사성핵종을 제외하고 인공방사성핵종 중 검출된 것만을 나타내었다. 토양과 어류, 해조류 등의 시료에서 미량의 Cs137과 Sr90이 검출되었고, 물시료에서는 삼중수소가 일부 검출되었다. 그러나 Cs137과 Sr90은 과거 미국, 소련, 中國 등에서 실시한 핵실험에 의해 북반구 중위도 전지역에서 검출되고 있는 핵종이고, 원자력발전소 이외의 모든 지역에서 위와 비슷한 수준으로 검출되고 있다.

한편 삼중수소는 천연적으로 대기 상층부의 질소 및 산소와 宇宙線의 상호작용으로 생성되며 또한

원자로에서 주로 방사화생성물로 생성되는 방사성핵종이다. 불행히도 천연에서의 삼중수소의 양은 그 값이 정량화되기 이전에 핵무기에 의해 인공으로 생성된 삼중수소가 환경으로 확산되어 천연적인 삼중수소와 혼합됨으로써 천연적인 삼중수소만의 준위는 정확하게 알려져 있지 않아 원자력시설로부터의 영향평가는 원거리에 위치한 지점에서의 삼중수소농도와 비교에 의해 이루어진다.

원자로에서 생성된 삼중수소의 대부분(99% 이상)은 系統 내에서 관리되며 적은 양이 환경으로 누출된다. 국내 발전소의 대부분을 차지하는 加壓輕水型 原子爐에서는 연간 $8 \times 10^{10} \text{Bq/GWe}$ 정도의 삼중수소가 환경으로 방출되며 重水爐型 發電所에서는 단위 전력당 그것의 10배에 해당하는 삼중수소가 방출되고 있다. 당연히 중수로 발전소인 월성발전소 주변에서 타 발전소에 비해 환경 중의 삼중수소 농도가 높게 검출되고 있다. 91년도에 월성 주변에서 측정된 삼중수소의 최대치인 128.1Bq/l 는 法的 許容濃度의 0.05% 이하인 낮은 수준이다.

(3) 피폭선량의 평가

被曝線량은 인체에 대한 外部被曝線량과 内部被曝線량으로 구분하여 평가된다. 외부피폭에 의한 實效線量當量은 공간집적선량으로부터, 내부피폭에 의한 실효선량당량은 환경시료의 방사성핵종 농도로부터 평가된다. 이 경우 음식물의 섭취와 호흡에 대해 평균치인 섭취량이나 호흡량, 연령, 市場에서의

회석, 料理에 의한 감소 등을 모두 보정할 수 있는 標準模型을 사용한 컴퓨터 프로그램에 의해 해석된다.

1991년도에 실시한 원자력발전소의 환경방사능측정결과에서 알 수 있듯이 환경시료에서는 원자력발전소로부터 방출된 인공방사성핵종이 검출되지 않았으므로 주변주민의 피폭선량을 직접 평가할 수 없다. 따라서 원자력발전소로부터의 1년간의 방사성기체 및 액체폐기물의 방출량을 이용하여 피폭선량을 해석적으로 추정하게 된다.

<표 3>은 1991년도에 각 원자력발전소로부터의 방사성기체 및 액체방출물에 의한 원자력발전소의 부지당 피폭선량의 推定值로서, 全身被曝線량은 $0.66 \sim 3.00 \mu\text{Sv/y}$, 甲状腺内部被曝線량은 $0.67 \sim 3.80 \mu\text{Sv/y}$ 의 범위로 나타났다. 이는 원자력발전소 設計目標值의 3% 이하, 敷地當規制值의 1.2% 이하의 수준이며, 국제방사선방호위원회(ICRP)에서 규정하고 있는 일반인에 대한 年間最大許容線量인 5mSv 보다도 훨씬 적은 양임을 알 수 있다.

結 論

현재 우리나라 원자력발전소의 환경조사는 事業者의 自體監視와 정부의 確認監視 등 二重監視體系로 수행되고 있고 유관기관의 유기적인 협조체제를 이루고 있다. 지난 1991년까지 실시한 환경조사 및 평가결과를 볼 때 시설로부터 방출된 방사능은 自然放射能 수준에 비해 상당히 낮은 수준이며, 미약하

<표 3> 1991년도 원자력발전소의 피폭선량 추정치

피폭부위	규 제 치	부 지	선량추정치 ($\mu\text{Sv/y}$)
전 신	부지당 $250 \mu\text{Sv/y}$	고 리	3.00
		월 성	1.52
		영 광	0.66
		울 진	0.94
갑 상 선	부지당 $750 \mu\text{Sv/y}$	고 리	3.80
		월 성	1.52
		영 광	0.67
		울 진	0.89

나 삼중수소가 검출되는 것을 제외하면 시설로부터 방출되는 인공 방사성핵종들은 검출하한치 이하였다. 한편 시설 주변주민들에 대한 피폭선량 추정치도 자연방사능에 의한 일반인들의 피폭선량치보다 훨씬 낮은 수준이다. 따라서 국내 원자력시설 주변에서도 방사선에 의한 환경피해는 없는 것으로 판단 된다.

에너지소비가 급격히 증가되고 있는 현 시점에서 환경오염을 최소화하면서 경제성 있고 안정적으로 공급할 수 있는 에너지源의 확보는 우리나라와 같이 자원이 부족한 나라에서는 국가안보의 次元에서 고려되어야 할 중대한 事案이다. 이러한 견지에서 볼 때 원자력발전은 인류와 생태계에 전혀 영향을 주지 않는다고 할 수는 없지만 현재까지의 과학기술수준으로서는 다른 발전방식에 비해 가장 효율적이고 경제성이 있으며 환경영향을 적게 주는 發電方式으로 평가되고 있다. 그러나 원자력은 안전성과 국민건강의 보호라는 관점에서 국민적 信賴感을 구축하여야 하는 난제가 놓여있다. 2차대전을 종료시킨 가공할 원자탄의 위력과 核實驗에 의한

지구의 방사능오염에 대한 두려움을 가지고 있던 많은 사람들에게 舊蘇련의 체르노빌원자력발전소의 대형사고는 西歐式 原子力發電 방식에 대해서까지도 안전성에 대한 회의와 부정적 시각을 갖도록 하였고, 이로써 원자력발전의 위험도에 대한 실제적인 평가보다 더 큰 불안감을 가지게 되었다. 여기에 관련 당사자 사이의 이해관계까지 겹쳐 원자력발전의 확대에 많은 어려움을 안고 있는 실정이다.

이를 극복하기 위해서는 여러 방면에서 끊임없는 노력을 기울여야 할 것이다. 우선 관련 전문가들은 원자력발전소의 설계 및 건설단계에서부터 운영, 폐로에 이르기까지 안전성확보를 최우선으로 하고 방사성폐기물의 양을 최소로 줄이는 연구노력과 가동중인 원자력발전소에 대해서는 체계적이고 조직적인 환경조사를 실시하여 환경에 미치는 영향 여부를 즉각적으로 알 수 있게 하고 적절한 規制措置를 통하여 원자력발전소의 안전성을 확보하고 국민들이 쾌적한 생활을 영위할 수 있도록 배전의 노력을 기울여야 할 것이다. 또한 정확하고 신뢰성 있는 환경조사를 위해서는 환경방사능측정장비의 현대화와 각 지역 및 중앙관리센터를 연결하는 온라인망의 구축 및 환경방사능 전문연구인력의 확충도 함께 이루어져야 할 것이다.

아울러 事故에 대비하는 완벽성도 보여 주어야 한다. 원전사고시 미치는 영향은 국경이 없기 때문에 북한, 日本, 中國 등 인접 국가들과 안전성 확보와 사고시 공동대처를



위한 국제협력이 이루어져야 할 것이며, 국내에서도 정부와 지방자치단체를 사이에 유기적인 협력체제를 이루어야 할 것이다.

또한 국민들이 원자력과 방사선에 대해 바르게 알도록 하는 노력도 매우 중요하다. 장기적으로는 모든 국민들이 이해할 수 있도록 초, 중, 고의 교육과정에서부터 원자력의 원리와 방사선의 이용에 관한 과학적 기초지식을 체계적으로 습득하게 함으로써 원자력에 관한 막연한 불안감을 해소하고 원자력의 이용과 위험도에 대한 올바른 이해를 증진시켜 나가야 할 것이다. 단기적으로는 바르게 이해하고 신뢰감을 구축할 수 있도록 하는 대국민홍보이다. 발전소의 고장이 나 사고, 환경조사의 결과 등에 대한 신속하고 공정한 공표야말로 국

민적 신뢰감을 얻는 첩경이 될 수 있을 것이며, 이를 위하여 신문, 방송, 관보, 반상회보 등 보다 폭넓은 媒體를 이용할 수 있을 것이다. 또한 사업자, 지역주민, 지역전문가 및 지방자치단체의 환경관련 공무원이 참여하는 환경방사능조사위원회나 기술위원회를 구성하여 공동으로 조사, 평가하는 방안도 바람직하다 하겠다.

이로써 원자력발전의 안전성을 확보하기 위한 꾸준한 기술개발과 함께 원자력발전소의 安全管理 및 효율적 規制와 쾌적한 생활환경의 확보에 대한 국민적 신뢰감이 구축된다면 원자력발전은 환경오염을 최소화할 수 있는 중요한 에너지원으로서 자리를 굳혀갈 수 있을 것이다. ▣