

月城原電의 運營現況

金 鍾 哲

〈韓電 月城原子力發電所 所長〉

I. 머리말

앞으로 이 나라를 이끌어갈 후진들의 교육을 일선현장에서 맡고 있는 과학교사 여러분!

본인도 분야만 다를 뿐 여러분과 똑같이 산업 일선에서 일하고 있는 사람으로서 여러분을 만나 뵈게 되어 대단히 기쁩니다.

오늘 발표할 내용은 월성원전의 운영현황에 대한 것으로서 국내 원전설비 현황, 월성원전의 건설배경 및 연혁, 주요 설비내용, 운전실적 그리고 앞으로의 전망 순으로 설명하고자 합니다.

우리나라에서 원전 도입이 본격적으로 추진된 것은 '70년대의 두 차례에 걸친 석유파동으로 국내 에너지다원화정책이 절박하게 요구됨에 따라 석유중심의 전원개발계획을 일대 수정하면서 부터였습니다.

이에 따라 원전건설이 활발히 추진되어 월성 1호기, 고리 2, 3, 4호기, 영광 1, 2호기 그리고 울진 1, 2호기 차례로 준공되어 운전을 개시함으로써 원전설비용량은 '89년 11월말 현재 9기 운전에 7,616MW로 국내 발전설비의 36.3%를 점유하고 있습니다.

2. 國內 原電設備 現況

우리나라는 1978년 국내 최초의 원전인 고리 1호기가 상업운전을 개시한 이래 10여년이 지난 오늘날 국가의 경제성장과 보조를 맞추어 세계적으로 제10위의 원전 보유국으로 성장하였으며, 전력수요의 절반을 원자력발전으로 공급함으로써 우리나라에서의 원자력은 발전원의 주종을 차지하는 위치에 서게 되었습니다.

〈표 1〉 국내 원자력발전설비 현황

발전소명	원자로형	용 량 (MWe)	상업운전일	비 고
고리1호기	PWR	587	'78.4.29	운전중
월성1호기	PHWR	679	'83.4.22	운전중
고리2호기	PWR	650	'83.7.25	운전중
고리3호기	PWR	950	'85.9.30	운전중
고리4호기	PWR	950	'86.4.29	운전중
영광1호기	PWR	950	'86.8.25	운전중
영광2호기	PWR	950	'87.6.10	운전중
울진1호기	PWR	950	'88.9.10	운전중
울진2호기	PWR	950	'89.9.30	운전중

3. 月城原電의 建設背景 및 沿革

'70년대초 첫번째 석유과동으로 국내 에너지 산업이 큰 위기를 맞으면서 국내 에너지의 석유의존도를 줄이고 에너지공급이 일부 극소수의 특정 국가에 편향되어 있는 비합리성을 시정하여 안정적인 에너지공급을 도모하기 위한 에너지다변화정책에 따라 캐나다가 개발한 가압중수로형 원전인 월성원전의 도입이 추진되었습니다.

1975년 1월 한국전력공사는 캐나다의 원자력공사인 AECL(Atomic Energy of Canada Ltd.)과 원전설비 공급계약을 체결하고, 1978년 12월 건설공사를 착수하였는데, 주요 건설공정은 표 2와 같습니다.

〈표 2〉 월성원전 주요 건설연혁

1975. 1	•월성 1호기 공급계약 체결
1976. 1	•계약발효
1978. 2	•건설허가 취득
1978. 3	•본공사 착공(원자로건물기초콘크리트 타설)
1978.11	•원자로 설치완료
1982. 8	•핵연료장전
1982.11	•원자로 최초임계
1982.12	•최초 계통병입
1983.4.22	•발전소 준공

4. 月城原電 施設現況

(1) 一般現況

월성원전은 신라의 고도인 경주에서 동쪽으로 똑바로 가다보면 바다와 접하는 곳을 만나는데, 이곳 수중에 위치한 신라 11대 문무왕릉 가까이에 있습니다. 발전소의 총 부지면적은 64만평으로 1호기와 같은 용량의 원전을 모두 4기 수용할 수 있는 크기입니다.

원자로 시설용량은 2,156MWth이고, 발전기의 시설용량은 678.583MWe입니다.

〈표 3〉 일반현황

구 분	내 용	비 고	
시설용량	원자로	2,156MWth	
	발전기	678.583MWe	
부지면적	64 만평	4기 수용면적	
공사비	내자	3,190 억원	
	외자	3,302 억원	핵연료, 중수포함
	계	6,492 억원	

총 공사비용은 내자 3,190억원, 외자 3,302억원을 합쳐 6,492억원이 소요되었습니다.

(2) 加壓重水爐와 輕水爐의 特性比較

현재 국내에 도입되어 있는 원자로는 가압중수로(CANDU-PHWR)와 가압경수로(PWR)의 두 종류입니다. 가압중수로는 캐나다의 AECL이, 가압경수로는 미국의 웨스팅하우스사(고리, 영광), 프랑스의 프라마트사(울진)가 공급하고 있습니다.

① 자연우라늄 핵연료 사용

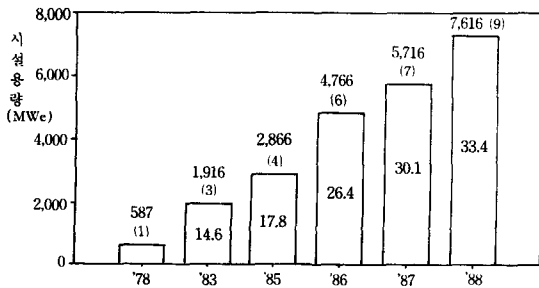
자연계에 존재하는 대표적인 우라늄 동위원소는 크게 U^{235} 와 U^{238} 의 두 가지로 구분할 수 있는데 대부분이 U^{238} 이고, 실제 핵분열에 이용할 수 있는 U^{235} 는 약 0.72%에 지나지 않습니다.

〈표 4〉 중수로/경수로의 주요 차이점

차이점	중수로 (월성 1호기)	경수로 (고리 2호기)
공급국가/ 회사	캐나다/ AECL	미국/ WH
준공일자	1983. 4. 22	1983. 7. 25
발전기용량	679MWe	650MWe
핵연료	천연우라늄 (0.7% U)	농축우라늄 (~3%U)
감속재와 냉각재	중수-분리	경수-혼합
핵연료교체시기	운전중 교체	정지후 교체
원자로모양	수평-압력관식	수직-압력용기식

〈표 5〉 핵연료 사용량 및 비용('88년 기준)

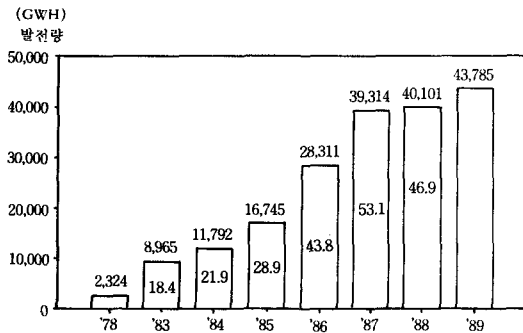
구 분	월성 1호기	고리 2호기
연간사용량(톤)	87.5	21.4
연료비용(원/KWH)	3.06	5.36



* () 안 숫자는 운전기수

* □ 안 숫자는 총발전시설용량 대비 원전시설 용량비 (%)

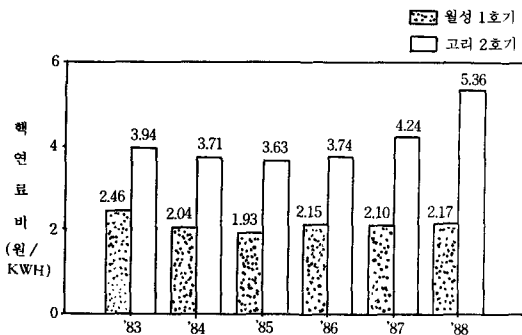
〈그림 1〉 연도별 원전시설 현황



* '89년도는 11월말 현재 통계임.

* □ 안 숫자는 원자력발전량 구성비 (%)

〈그림 2〉 연도별 원자력발전량



〈그림 3〉 연도별 핵연료비용

가압경수로에서는 약 3%의 농축우라늄을 사용하지만, 월성에서는 자연농도를 그대로 유지한 핵연료를 사용합니다. 자연우라늄을 사용함으로써 얻는 이점은 낮은 핵연료비용으로 발전단

가를 낮출 수 있을 뿐만 아니라, 농축설비 및 기술이 불필요하므로 국산화가 용이한데 있습니다.

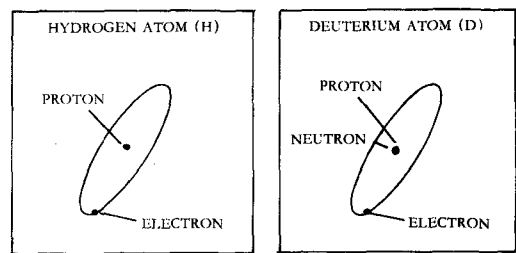
최근에는 가압경수로에서 사용된 핵연료를 중수로에서 사용하는 방안도 검토되고 있는데, 이는 먼 장래에 해당하는 문제지만 언젠가는 석유에 이어 지구상에서 고갈될 우라늄의 활용도를 높이는 효과를 가져올 것입니다.

② 감속재 / 냉각재의 중수 사용

중수, 경수라는 용어는 일반인에게는 매우 생소한 용어입니다. 여러분은 과학교사이므로 잘 아실 것이라 믿지만 경수와 중수가 무엇인지 간단히 설명하고자 합니다.

물은 화학기호로 H₂O로 표시됩니다. 즉, 물은 수소 2원자와 산소 1원자가 합쳐진 분자입니다.

그런데 수소동위원소에는 세 종류가 있습니다. 핵에 양자만 있는 것, 양자 외에 중성자가 하나 더 있는 것, 그리고 양자 외에 중성자가 둘 더 있는 것이 있습니다. 이들 동위원소를 차례로 수소, 영어로는 Hydrogen, 중수소 Deuterium, 삼중수소 Tritium이라고 부르고, 첫 글자를 따서 각각 H, D, T로 표기합니다.

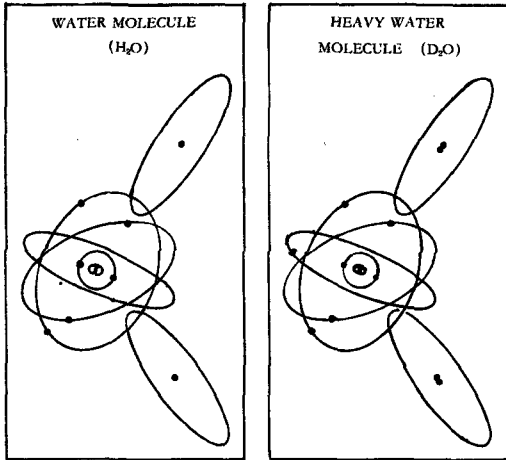


〈그림 4〉 수소동위원소

중수는 중수소 2원자와 산소 1원자로 구성된 물로써 D₂O로 표시하며, 보통 물 H₂O는 중수와 구분하기 위해 경수라 부릅니다.

중수는 자연수 중에 약 7천분의 1 정도 함유되어 있습니다.

월성원전에서 사용하는 감속재인 중수의 농도는 99.75% 이상으로서 냉각재를 합하여 총 500톤 정도를 사용하고 있는데, 그 값이 매우 비싼 것이 흠입니다.



〈그림 5〉 경수와 중수

월성원전에서 비싼 중수를 사용하는 이유를 설명하겠습니다.

U^{235} 의 핵분열시 생성되는 2~3개의 중성자는 평균 약 2MeV의 높은 에너지를 갖고 있습니다. 이 중성자를 속중성자라 부르는데, 속중성자는 U^{235} 의 핵을 분열시킬 수 없습니다.

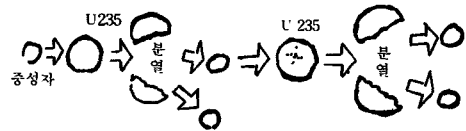
U^{235} 의 핵을 분열시킬 수 있는 중성자는 속중성자에 비해 약 8천만분의 1에 지나지 않는 0.025MeV 정도의 낮은 에너지를 가진 열중성자입니다.

속중성자를 열중성자화 시키려면 중성자와 충돌하면서 에너지를 효과적으로 빼앗을 수 있는 감속재가 필요합니다. 감속재가 좋지 않으면 열중성자가 되기 전에 중성자가 노심 밖으로 누설되거나, 타 물질에 흡수되어 버리므로 중성자 경제가 나빠져 연쇄적인 핵분열반응에 필요한 중성자수 보다 부족하게 됩니다.

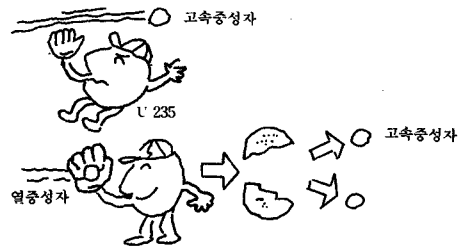
현재까지 알려진 감속재로는 중수가 가장

좋습니다.

가압중수로형인 월성원전에서는 가장 좋은 감속재인 중수를 사용하므로 자연우라늄 핵연료 사용이 가능합니다. 고리 등의 가압경수로에서는 감속재로 경수를 사용하고 있으나, 보완수단으로 농축우라늄을 핵연료로 사용합니다. 냉각재는 노심에서 발생한 열을 2차계통으로 전달하고 아울러 노심을 적절한 온도로 냉각시켜 주는 것이 주목적이지만, 다소간 감속재의 역할도 합니다. 월성원전에서는 중성자 경제를 높이기 위해 냉각재도 중수를 사용하고 있습니다.



〈그림 6〉 중성자와 핵분열



〈그림 7〉 연쇄반응

③ 운전중 핵연료 교체

월성원자력발전소는 운전중에 핵연료를 교체할 수 있게 되어 있습니다. 원자로 좌우 양편에 원격으로 조정되는 핵연료교환기가 있어 언제든지 원하는대로 핵연료를 교체할 수 있습니다.

운전중 핵연료를 교체할 때의 이점은 표현 그대로 가압경수로에서 처럼 핵연료를 교체하기 위해 구태어 발전소를 정지할 필요가 없다는데 있습니다. 그러나 현실적으로 국내의 원자력발전소는 매년 정기보수공사 및 정부 감독기관의

정기검사를 받기 위해 발전을 정지하도록 법에서 요구하고 있으므로 운전중 핵연료 교체이점은 반감되고 있으며, 월성원전에서는 정기보수공사기간을 단축하고 전력사정에 따라 보수공사시기를 신축성 있게 선택하는 등의 효과만 얻고 있습니다.

④ 압력관식 원자로

가압중수로의 원자로는 용량에 따라 수자가 다르지만, 380개의 수평압력관으로 구성되어 있습니다.

원자로가 압력관식으로 되어 있는 것은 운전중 핵연료를 쉽게 교체할 수 있도록 설계하였기 때문으로서 그 모양과 운전방식이 겨울밤 길거리에서 드럼형 고무마 굽는 통과 비슷하다 하여 이를 발견한 사람이 다시 한번 우리나라 국민 두뇌의 우수성과 과학성에 경탄해 마지 않았다는 일화가 있습니다.

5. 月城原電의 運轉實績

(1) 發 電 量

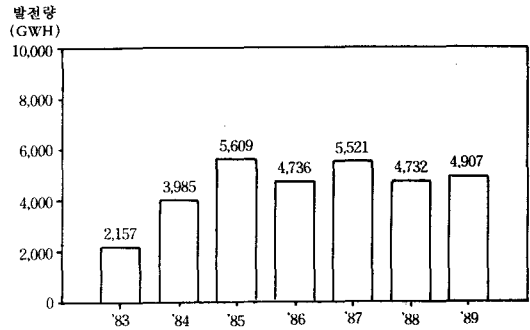
월성 1호기는 상업운전개시('83.4.22) 이후 1989년 11월말 현재까지 누계 320억KWH의 전력을 생산하였는데, 이는 동 기간중 국내에서 생산한 총 전력량의 약 10%에 해당하는 막대한 양입니다.

월성 1호기의 연간 발전량은 그림 8과 같습니다.

(2) 稼 動 率

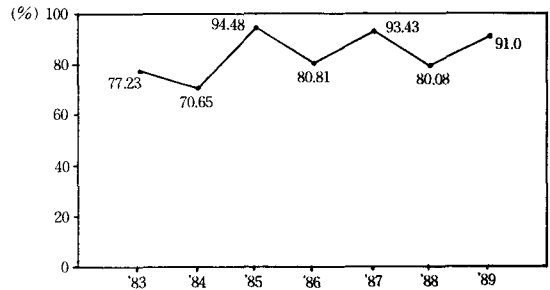
가동률은 발전소를 얼마나 정지시키지 않고 잘 운전하였느냐의 척도로서 아래와 같이 계산합니다.

$$\text{연간가동률}(\%) = \frac{\text{연간 발전시간}}{\text{역년시간}(8,760\text{Hr})} \times 100$$



*'89년은 11월말 현재의 통계임.

<그림 8> 연도별 발전량



*'89년도는 11월말 현재 통계임.

<그림 9> 연도별 가동률

월성원전의 수명기간 가동률은 84.1%로써 연도별 가동률은 그림 9와 같습니다.

(3) 利 用 率

이용률은 발전소를 얼마만큼 최대한도로 이용하여 운전하였느냐의 척도입니다. 가동률이 단순히 가동시간대 역년시간의 비인데 반해, 이용률은 설비용량의 활용도까지 반영한 것으로써 아래와 같이 계산됩니다.

$$\text{연간이용률}(\%) = \frac{\text{연평균전력}}{\text{시설용량}} \times 100$$

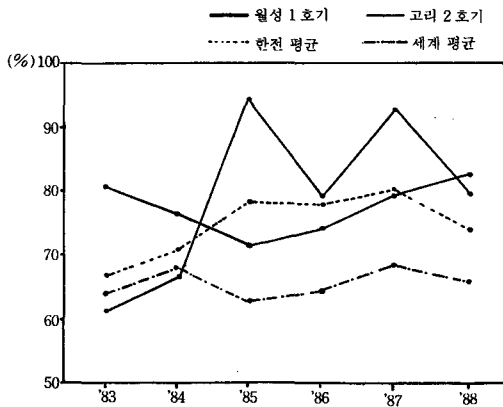
따라서 이용률은 원전의 운전실적을 상호비교하는 최적의 자료로써 활용되며, 관련기관 또는 언론에서는 세계의 원전을 대상으로 연간 이용

률이나 수명기간 이용률에 따른 순위를 발표하고 있습니다.

월성원전, 국내원전 평균, 세계원전 평균 이용률은 그림 10과 같습니다.

월성 1호기의 수명기간 이용률은 1989년 11월말 현재 81.5%로써 이는 국내원전중 가장 양호한 성적이며, 1988년말 현재 세계에서 가동 중인 총 420기의 원전중 20위권의 실적을 보이고 있습니다.

과거의 주요 운전실적으로는 1985년 4월 1일~1986년 3월 31(유럽 회계년도)까지의 1년간중 이용률 98.4%를 달성하여 세계 1위를 기록하였고, '85년의 한해 기준으로는 이용률 94.4%로 세계 5위를 기록하였으며, '87년도에는 이용률 92.9%로 세계 11위를 기록하는 등 세계의 우수한 발전소로서 명성을 날리고 있습니다.



〈그림 10〉 연도별 이용률

'89년에는 92% 정도의 이용률을 달성할 것으로 전망되고 있으며, 월성원전의 운전관리수준은 행운으로 얻어진 것이 아니라 꾸준한 교육훈련 및 종사원의 뛰어난 사명감과 기량의 굳건한 토대 위에서 이루어진 것임을 확인시켜 주고 있습니다.

한편 1989년 7월 24일~8월 11일까지 월성원전은 유엔 산하기구인 국제원자력기구의 원전안전운전평가팀(IAEA-OSART)을 초청하여 월성원전의 운영관리, 운전, 보수기술 등 8개 분야에 걸친 전반적인 운전 및 안전관리실태에 대한 진단을 실시한 바 있습니다. TMI원전사고를 계기로 각국의 원전을 순회하며 안전성을 진단하고 개선 필요사항을 권고 또는 제안함으로써 원전의 신뢰성을 높이기 위해 1982년에 설립된 이 평가팀은 매년 10여명의 원자력분야 전문가로 구성되는데, 이번 월성원전의 진단에 참가한 평가팀은 서독, 캐나다, 미국, 영국, 아르헨티나, 인도, 파키스탄, 유고 등 9개국에서 선발된 총 240년 경력을 가진 12명의 전문가로 구성되었습니다.

동 평가팀은 월성원전을 살살이 점검한 후 최종평가회의에서 월성원전의 운전 및 안전관리 능력 및 실태는 한마디로 선진국 수준에 있다고 발표하였습니다.

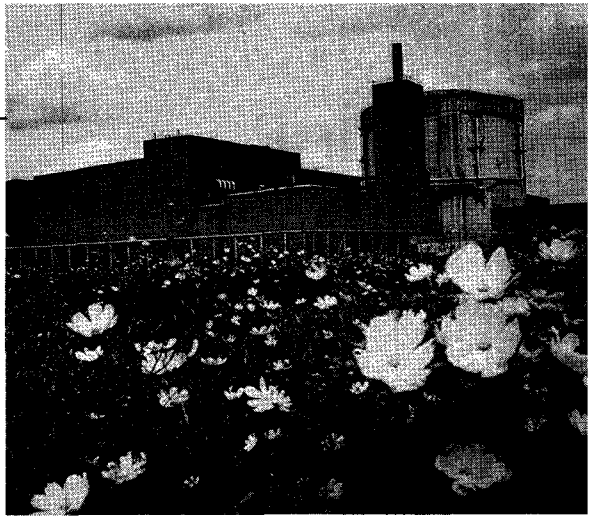
(4) 發電停止

발전정지는 계획정지와 불시정지로 나눌 수 있습니다.

계획정지란 발전소가 정상적으로 운전될 때에도 각종 검사를 수행하거나 기기의 보수 또는 설계개선을 위해 발전소를 계획적으로 수동정지시키는 것으로써 이는 발전소 운영상 불가피하다고 할 수 있으며, 불시정지는 기기의 고장 또는 전력계통의 영향 등에 의해 발전소가 갑자기 정지되는 것을 말합니다.

국내 원전의 발전정지추세는 운전경험의 축적에 따라 계속 감소되어 왔으며, 근래에는 발전정지건수가 크게 감소되어 발전설비의 안전운전 및 안정된 전력공급에 크게 기여하고 있습니다.

월성 1호기는 발전소가 상업운전에 들어간 '83년과 다음 해인 '84년에는 계획정지 및 불시



정지를 각각 서너차례씩 경험하다가 '87년도에는 단 한차례씩의 계획정지 및 불시정지를 겪게 되는 등 발전정지건수가 크게 감소하였습니다.

'87년도에 경험한 불시정지도 당시 우리나라 동남해안을 강타한 태풍 다이아나호의 영향으로 송전선이 상실되어 발전소가 정지된 것으로써 자체 요인으로 정지된 것이 아니었습니다.

'88년과 '89년도에는 '87년도에 비해 다소 정지건수가 늘어났으나 장기적으로 볼 때 감소추세에 있으며, 미국 등의 선진국에 비해 훨씬 양호한 실적을 보이고 있습니다.

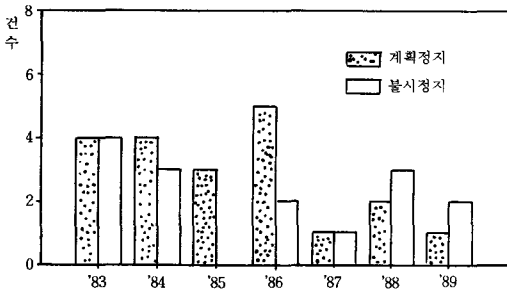
특히, '89년도에는 12월 23일 현재 과거 '85년도에 세운 연속무정지운전기록인 174일을 크게 상회한 221일 연속무정지운전기록을 달성하고 있기도 합니다.

'70년대에는 원전의 전성기를 구가하였습니다. 그러나 '79년에 발생한 TMI사고, '86년에 발생한 체르노빌원전사고 그리고 선진국들의 경기침체의 영향을 받아 '80년대에 들어와서 원전산업은 침체국면에 들어서게 되었습니다.

그러나 최근들어 온실효과와 산성비 등의 화석연료의 공해문제가 피부로 느낄 수 있는 현실문제로 대두됨에 따라 선진제국의 국민여론은 원자력 선호방향으로 전환되고 있는 중입니다.

국내의 경우 '88년 고리원전 주변의 폐기물매립사건 등을 계기로 반원전여론이 형성되었으나, 원자력발전이 근본적으로 안전성에 문제점이 있는 것이 아닐 뿐 아니라, 국내 부존자원이 빈약한 우리나라로서는 다른 마땅한 대체에너지가 없어 장기적으로 원전의 역할은 증대할 것으로 보입니다.

월성원전의 경우 국내에 유일한 가압중수로형 원자력발전소이지만 경수로에 없는 많은 장점을 가지고 있는 바, 국내 원전 최적화/표준화전략, 그리고 핵주기전략상 중요한 역할을 할 것으로 기대되며, 국가경제 발전과 국민복지 향상에 크게 공헌할 것으로 확신합니다.



〈그림 11〉 연도별 발전정지

6. 앞으로의 展望

원자력을 이용한 상업발전은 석유, 석탄 등 화석원료에 대한 대체에너지로 활용되고 있습니다. 특히, 과거 두차례 국제 석유파동을 계기로

공해없는 원자력은 미래의 에너지원