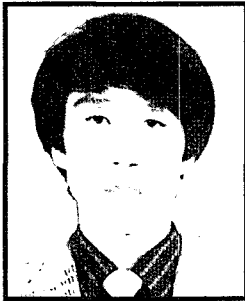




원자력은 원자력발전을 비롯하여 기초과학, 공업, 농업, 의료분야에 이르기까지 매우 다양한 분야에서 이용되고 있다. 이러한 원자력의 이용은 크게 두가지 형태로 이루어진다. 하나는 핵분열에 의한 열을 이용하는 것이고, 다른 하나는 방사성동위원소의 붕괴로 발생하는 붕괴열과 방사선을 이용하는 것이다.

원자력산업 현황과 전망 - 非發展 분야에의 다양한 이용

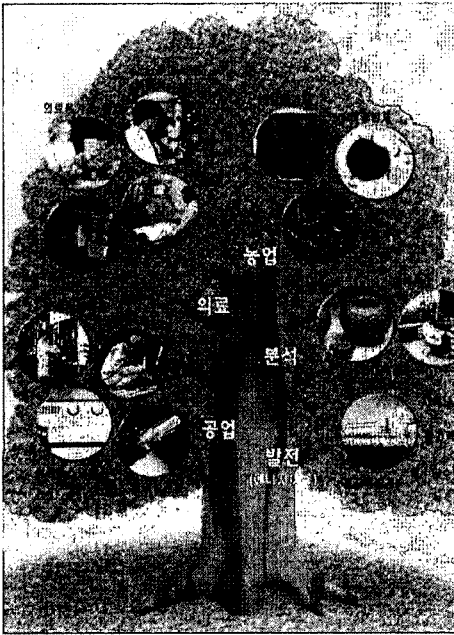


김 현 준
한국원자력연구소
책임연구원

원자력의 이용 그러면 보통 원자력발전을 생각하기 쉽다. 그러나 원자력 이용은 전력 생산뿐만 아니라 매우 다양하다. 방사성동위원소를 이용한 화재경보기와 X-선 진단과 같이 일상에서 쉽게 접할 수 있는 것부터 우주선의 동력원으로 사용되기도 한다. 이하에서는 원자력의 非發電분야 이용에 대하여 이용의 예를 중심으로 설명하고자 한다.

1. 원자력은 어떤 분야에 이용되고 있나

사진은 원자력을 이용하는 분야를 나무의 모양을 빌려 개괄적으로 설명하고 있다. 사진에서 보듯이 원자력은 원자력발전을 비롯하여 기초과학, 공업, 농업, 의료분야에 이르기까지 매우 다양한 분야에서 이용되고 있다. 이러한 원자력의 이용은 크게 두가지 형태로 이루어진다. 하나는 핵분열에 의한 열



을 이용하는 것이고, 다른 하나는 방사성 동위원소의 붕괴로 발생하는 붕괴열과 방사선을 이용하는 것이다.

핵분열 열을 이용하는 것은 전력생산이 대종을 이루고 있으며, 열원으로서 또 동력원으로서 이용하는 경우도 많다. 방사성 동위원소의 붕괴열은 핵분열 열에 비해 그 크기가 적어서 대규모 열원은 아니나 위성이나 우주선용의 소규모 장기 에너지원으로 활용되고 있고, 방사성 붕괴에서 발생하는 방사선은 잘 알려진바 대로 공업적, 농업적, 의학적 이용이 보편화되어 있다.

이와 같이 원자력은 에너지로서 이용되어 경제활동의 근간이 되기도 하고, 과학기술의 도구로서 과학기술발전에 기여하며, 정밀기기의 부품으로서 산업 생산성을 향상하기도 한다. 그리고 식품보존과 품종개량에 이용되면 식품의 고품질화와 위생화 그리고 식량자원 생산 증대를 이루기도 하며, 의료활동의 중요한 도구로서 난치성

질환의 치료에 활용됨으로써 국민의 복지증진에 크게 기여하고 있기도 하다.

2. 열에너지로 이용되는 원자력

열에너지로서 원자력은 핵분열 열을 이용하여 전기를 생산하며 또한, 지역난방과 산업공정열 및 담수의 생산 등 직접 열을 이용하기도 하고, 수소와 화석연료의 개질 등 에너지변환에, 어패류의 양식 등을 위한 상업용 열로도 사용되고 있다.

지역난방

원자력을 지역난방에 이용하는 것은 핵분열 열로 전기를 생산하기도 하고 이 때 발생하는 저온 증기로 대략 130℃ 이하의 온수를 만들어 난방용으로 공급하는 것이다. 원자력 지역난방은 한냉지역을 중심으로 유럽과 러시아, 구동독 등에서 실용화되고 있는데, 이 중에서 활발하게 이용하고 있는 국가는 러시아이다. 러시아는 넓은 국토와 혹독한 추위로 인하여 연료를 적시에 공급하기 어려운 격오지를 중심으로 장기적이며 안정적인 난방과 온수의 공급이 필요하기 때문이다.

산업공정열

원자력을 산업공정열로 이용하는 것은 저온 열과 고온 열로 크게 구분된다. 저온 열은 현재의 경수로 수준에서 130℃~250℃ 정도의 열을 이용하는 것이며, 고온 열은 고온가스로 등과 같이 고온 열을 생성할 수 있는 원자료를 이용하여 수백도의 열을 공급하는 것이다.

원자력에 의해 생산되는 열은 석유화학, 종이 및 펄프, 석유정제 등의 각종 산업 공정열로서 이용될 수 있으며, cascade적으

원자력에 의해 생산되는 열은

석유화학, 종이 및 펄프,

석유정제 등의 각종 산업

공정열로서 이용될 수 있으며,

cascade적으로 활용하게 되면

하단의 저온 열은 농업, 수산업,

해수담수화 등에 이용되기도

한다.

로 활용하게 되면 하단의 저온 열은 농업, 수산업, 해수담수화 등에 이용되기도 한다. 그리고 원자력 電熱병합 플랜트를 이용하여 고온 고압의 증기를 만들어 석유의 채굴이나 증질유의 회수 등에 활용될 수 있는 등 원자력을 이용한 공정열 이용 가능 분야는 매우 광범위하다.

저온 열을 이용하는 예로는 캐나다의 Bruce 原電에서 생산된 열로 에탄올의 제조, 폴리프로필렌 시트의 제조 등에 이용하는 것 등이 있다. 고온 열 이용은 미국, 독일, 러시아, 동남아시아 등에서 석유 채굴, 화학 플랜트 등에 이용하기 위한 검토가 있었으나 경제성 등의 문제로 아직 실용화가 되지 못하고 있는데, 이는 이들 열을 이용하고자 하는 산업의 규모가 적어서 현재로서는 값싼 천연가스 등을 이용하는 것으로도 충분하기 때문이다. 한편 원자력 발전소 주변에 위치한 기업이나 사업소가 대형 원자로에서 싼값으로 열을 공급받아

경제적 혜택을 받는 이른바 에너지센터는 여기저기에서 이미 운영되고 있기도 하다.

원자력이 산업공정열로서 활발히 이용되기 위해서는 열생산 원자료를 설계의 단순화 등으로 소형화를 이루어 경제적 경쟁력을 갖추도록 하고, 또한 自己調整 능력과 같은 고유안전성을 가지게 하는 등의 노력이 더해져야 할 것이다.

수소생산

수소는 열량가치가 높고 수송이 간편하며 연소생성물에 의한 오염이 없기 때문에 궁극적인 수송용 에너지로서 널리 평가받고 있다. 아직까지는 경제성이 없지만 초기단계에서는 고온가스로에서 천연가스를 전환하여 수소를 제조하고 다음 단계에서는 원자력발전소에서 발전한 전력으로 물을 분해하는 방법으로 수소를 제조함으로써 중요한 연료자원이 될 수소를 생산할 수 있다.

앞으로 50년 안에 경제성이 뛰어난 초대형 원자력발전소에서 일반용 전력을 생산 공급하고 한편 수송용 수소를 생산하여 오염이 없는 막대한 양의 에너지를 널리 사용하게 되는 날이 올 것으로 기대되고 있다.

담수생산

국제원자력기구(IAEA)에서는 북아프리카의 오아시스 고갈 문제에서 발단해 원자력을 이용해 해수를 담수화할 것을 검토해 왔다. 한편 오늘날에는 세계 곳곳에서 담수가 점차 고갈되어 가고 있는 등 담수 자원의 고갈이 중요한 현안이 되고 있어서, 대도시에서는 초대형 해수 담수화 사업에 기대를 걸고 있기도 하다.

해수담수화는 지역의 전력공급과 담수

생산 공급을 동시에 하는 이중 목적 형태의 플랜트 형태로 고려되고 있다. 일본에서는 전력중앙연구소를 중심으로 소형 고속로 형태의 4SPEN이 제창된 바 있으며, 러시아는 고속증식로 BN-350을 이용한 세프체코 플랜트에서 1973년부터 해수담수화를 실시하고 있다. 최근에 중동지역 국가들을 중심으로 해수담수화 프로젝트에 대한 관심이 증대되고 있으며, 베네수엘라에서는 인구가 급격히 증대하고 있는 카라카스 지역에 담수를 공급하기 위한 원자력 해수담수화 계획을 추진 중에 있고, 모로코는 중국과 협력하여 원자력 해수담수화 예비프로젝트를 1996년 9월부터 진행 중에 있다.

IAEA는 우리 나라에서 원자력발전 기술 자립 경험을 바탕으로 추진되고 있는 중소형로를 이용한 해수담수화 프로젝트에 큰 관심을 보여 이를 IAEA의 대표적인 국제공동 프로젝트로서 추진하고 있다.

화석연료 개질

천연가스나 나프타 등의 硬質 탄화수소 화합물을 改質하여 얻을 수 있는 합성가스들은 수소제조 이외에도 석유대체연료인 메탄올 합성원료로서 사용된다. 이 改質用 열원으로서 이산화탄소를 배출하지 않는 고온가스로가 유망하다.

또한 석탄은 매장량도 풍부하고 그 분포도 넓지만 화석연료중 이산화탄소의 배출정도가 가장 심한 연료이다. 이 석탄을 액화하는 등으로 改質하여 사용하면 이산화탄소 발생 정도를 크게 줄일 수 있게 된다. 석탄 액화에는 반응온도는 400℃~500℃ 정도로 낮으나 다량의 수소가 필요하므로, 고온가스를 이용하여 저렴한 수소를 공급하는 방안이 가능하다.

溫排水의 이용

원자력발전소에서 나오는 溫排水는 농업수산업에 이용된다. 이 溫排水는 태양열만으로는 부족한 열을 보충하는데 이용되는 것으로서, 온실재배, 어업양식 등이 가능하다. 이러한 溫排水의 이용은 프랑스와 캐나다 등에서는 이미 실용화되어 있고 일본에서도 일부 원자력발전소 주변에서 어업양식에 이용되고 있다.

3. 추진동력용 원자력

원자력이 이용되기 시작한 이후 원자력을 동력원으로 이용한 경우는 많다. 대표적인 예로서는 원자력잠수함과 원자력상선 및 쇄빙선 등이 있고, 특히 우주선의 동력으로서 고려되기도 한다.

선박 추진동력용

원자력은 연료 연소에 산소가 필요하지 않다는 것과 한번 장전으로 1년 이상의 장기간 운전이 가능한 등의 장점으로 심해탐사선, 잠수함, 항공모함 등 장기간 해상 활동을 요하거나 바다 속에서 활동하는 선박에 이용된다.

세계 여러 나라에서 현재 원자력잠수함과 항공모함이 운영되고 있고, 미국 해군은 원자력 해양조사선인 NR-1을 소유하고 있기도 하며, 일본은 몬주라는 원자력선박을 운영한 바 있다. 한편 러시아는 북극의 빙해를 장기간 항해할 수 있는 원자력쇄빙선을 운영하고 있고, 일본에서는 심해과학조사선용 원자로인 DRX에 대한 설계를 검토하고 있기도 하다.

우주동력용

우주동력은 소형 경량이고 장기간 운전

이 가능하여야 한다. 그리고 우주에서 조립작업이 거의 필요가 없고, 발사나 착륙시의 충격에 잘 견디어야 하는 등의 여러 가지 요건을 충족시켜야 한다. 우주 동력원으로서의 원자력은 이러한 요건들을 잘 충족시키고 있다.

우주 동력용 원자력의 하나로서 방사성 동위원소 전지를 들 수 있다. 주로 플루토늄을 연료로 사용하는 이 전지는 방사성붕괴에 의하여 발생하는 열을 熱電변환소자에 의해 전기로 변환하여 에너지로 사용하는 것이다. 1970년대 미국에서는 흑성 탐사기인 보이저 2호에 MHWRTG라는 방사성동위원소 전지를 탑재하여 토성에서 해왕성까지 12년간에 걸친 관측을 실시한 바 있다.

한편 로켓 추진 동력원으로서의 원자력은 열추진방식 로켓에 원자로를 탑재하여 원자로 冷却材를 겸한 推進材(수소)를 2,500K ~ 3,000K까지 가열하여 노즐 분사하는 방식으로 이용된다. 1960년대 미국에서는 Rover/NERVA 프로그램을 수행하여 이에 대한 연구개발을 실시하였고, 지상에서 실증시험에 성공한 바 있다. 한편 전기추진 방식의 우주선에는 소형의 원자로를 이용해 전기를 생산하여 사용할 수 있다. 이러한 원자력을 이용하여 과거 러시아는 로마슈카와 토파즈 등 위성발사에 활용한 바 있으며, 또한 플루토와 루비나클 등의 우주선에는 방사성동위원소 전지를 탑재하여 활용하였다.

4. 방사선의 폭넓은 이용

방사선은 우리가 잘 알고 있듯이 알파선, 베타선, 감마선과 X-선이 있고, 많이 알려져 있지는 않으나 중성자선, 중입자선

등 여러 종류가 있다. 방사선의 종류가 다양하듯 그 이용분야 또한 매우 다양하여 공업, 농업, 의학 및 과학분야에 걸쳐 폭넓게 이용되고 있다.

공업적 이용

방사선을 공업적으로 이용하는 분야는 너무나 많다. 방사선을 조사하여 신재료를 만들거나 재료의 성질을 개선하기도 하고, 방사선 비파괴검사를 통하여 제품의 품질과 성능을 제고하도록 하기도 한다. 그리고 방사선을 이용하여 환경오염물질을 감시하기도 하는 한편 수질 개선에 이용하기도 하고 오폐수를 처리하여 정화하기도 한다. 또한 적정 수준의 방사선을 조사하면 제품의 성능을 변하게 하지 않고 높은 살균효과가 있음에 따라 의료용 기기 등의 멸균에 이용되기도 한다.

방사선을 이용하면 초정밀 계측이 가능하여 석유화학 분야 등에서는 준위 측정에, 철강 제조산업 등에서는 두께 측정에 방사선을 이용하고 있고, 이외에도 수분 측정, 밀도 측정 등에도 이용하고 있다. 한편 방사선을 이용한 분석기술인 방사화분석기술은 환경시료, 해양시료, 범죄수사시료, 원자로시료, 우주항공시료, 전자 및 통신시료 등 다종 다양한 시료의 극미량 불순물 원소를 고감도로 신속 정확하게 반자동으로 분석해 내는 기술이다. 이외 원소중 일부를 방사성동위원소로 대체하여 물질의 이동과 대사활동 등을 파악할 수 있도록 하는 방사성동위원소 추적자 기술이 있다. 이 기술은 유속 측정, 체재시간 측정, 부피 측정, 혼합도 측정 등 많은 분야에 이용되어 산업기술을 한층 고도화하고 제품의 품질을 향상하는데 크게 기여하고 있다.

농업적 이용

방사선을 농업분야에 이용하는 것은 식량증산, 식품의 위생화와 보관성 증대에 중점이 두어져 왔다.

농업분야의 방사선이용에 있어서 대표적 분야인 식품조사의 경우는, 세계적으로 지난 50여년 동안 체계적으로 연구되어 왔고, 80년대 접어들어서 그 안전성에 대한 입증과 더불어 세계보건기구(WHO), 국제원자력기구(IAEA), 국제식량농업기구(FAO) 등의 국제기구와 선진국의 보건당국에서 실용화를 주도하고 있다. 방사선 조사가 허가된 식품의 수를 보면 남아공의 80여 식품을 필두로 미국 54, 영국 51, 프랑스 38 등 대부분의 선진국에서는 높은 허가 수치를 보이고 있고, 우리 나라의 경우는 13개 품목이 허가된 상태이다.

최근 언론매체를 장식하고 있는 식품공해 문제 해결의 대안으로 기능성 식품의 개발을 활발하게 추진하고 있는데, 방사선을 이용한 신가공/기능성 식품의 제조기술이 일본과 미국 등에서 활발히 추진되고 있다.

방사선을 이용하여 신품종을 개발하는 방사선 육종은 1927년 Müller가 초파리에 X-선을 처리하여 인위적으로 돌연변이를 일으킬 수 있다는 사실을 밝혀낸 이후 전 세계적으로 많은 연구가 수행되어 1992년까지 총 1,952개의 품종이 개발 보급되었다. 최근에는 방사선과 바이오 기술을 결합시킨 육종에 초점이 맞추어지고 있는데, 생명공학 기술의 하나인 조직배양을 방사선조사를 받은 식물에 적용해 영양번식성 작물에서 현저한 효과를 나타내고 있다.

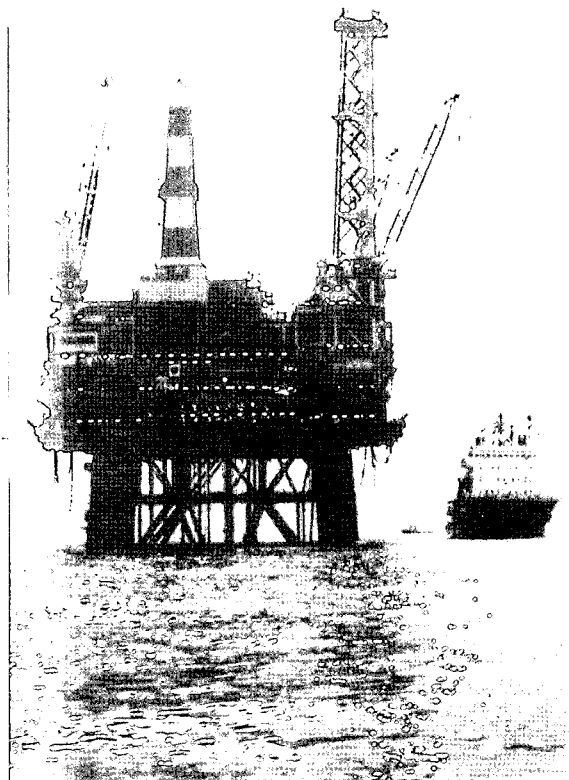
이외에 방사선을 이용하여 동식물의 생리활성을 증진시켜, 동식물의 생육을 촉진하거나 번식력을 증진시키기도 하고, 해충

의 응성불임기술이 개발되어 동 식물 자원에 해를 끼치는 해충을 퇴치하는데 기여하고 있다.

의학적 이용

방사선의 의학적 이용이라 하면 방사선을 암부위에 조사하여 치료하는 암치료를 먼저 떠올리게 된다. 그러나 방사선의 의학적 이용은 조사에 의한 암치료뿐만 아니라 각종 질병의 진단과 치료에 활용되고 있다. 이에 따라 많은 국내 의과대학과 종합병원에는 핵의학과가 있다.

의학적 이용의 대표적인 예는 치료가 곤



관한 국소 진행암이나 방사선 저항성 암에 사이클로트론을 이용한 속중성자나 양자선을 조사시켜 치료하는 것과 X-선을 이용하여 흉부를 촬영해 진단에 이용하는 것이다.

그러나 최근에는 방사선을 이용하는 진단 및 치료기술이 많이 발달하고 있다. 대표적인 예로서 BNCT(보론중성자포획치료법)를 이용하여 뇌종양을 치료하는 방법이 개발되어 미국과 일본, 호주와 유럽 등지에서 임상실험이 진행중에 있기도 하다. 그리고 한국원자력연구소에서는 피부암과 관절염의 치료를 위하여 패치 형태의 방사선치료제를 개발하는 등 방사성의약품의 개발이 활발하게 진행되고 있다.

방사선을 이용하는 핵의학의 발전은 심장질환, 뇌혈관 질환, 암질환 등의 진단의 발전에 기여하는 등 난치성 질환의 진단과 치료는 물론 모든 의료분야의 발전으로 이어질 것으로 기대되고 있다.

5. 무한한 원자력 이용의 잠재성

원자력을 비발전분야에 이용하고자 하는 연구가 활발해지면 새로운 원자력 이용 영역이 크게 진전될 수 있다. 예를 들면 광석이나 광물을 새로운 물질로 변환한다든지, 안전한 초소형 원자로의 개발로 우주를 비롯한 해상, 육상의 장거리 장시간 수송 수단으로 동력으로 원자력이 보편적으로 사용될 수 있다. 그리고 지금까지 장족의 발전을 거듭하여 온 방사선 이용은 앞으로도 계속 될 것이고 그 성장속도가 급격할 것으로 기대되고 있다.

우리 나라에서도 원자력진흥종합계획에서 원자력 이용의 다변화를 추구하고자 하여 해수담수화 등을 위한 중소형 원자로의

개발과 방사선과 방사성동위원소를 이용하는 기술과 산업의 활성화를 목표로 하고 있다. 특히 방사선을 생명과학 분야에 적극 이용하여 그 혜택이 곧바로 국민 복지에 기여할 수 있도록 기대하고 있다.

6. 결어

원자력의 비발전 분야에의 이용은 매우 다종다양하다. 특히 방사선의 이용은 현재 많은 분야에서 연구가 진행되고 있고 아직도 개척의 여지가 많으며, 많은 시설과 자본을 투입하지 않고도 아이디어로서 도전해 볼 수 있는 매우 흥미로운 분야이다. 그러나 지면관계로 이러한 분야들을 일일이 열거하여 설명할 수 없음이 안타깝다.

지구환경문제의 해결을 위한 규제가 세계적인 규범으로 전면 등장하게 되면 이산화탄소와 같은 환경오염물질을 배출하지 않는 원자력은 전력생산 뿐만 아니라, 열원으로서 동력원으로서 활용되는 등 그 역할이 증대될 수밖에 없을 것이다.

여기서 우리가 준비해야 할 것은 원자력이 무엇인가를 일반인들이 잘 이해할 수 있도록 하여야 하고, 좀더 안전한 원자력 이용을 위한 기술을 개발하도록 하여야 할 것이며, 또한 21세기 원자력을 짚어지고 나갈 젊은 인력들이 아이디어로서 승부를 걸 수 있는 원자력이 되도록 토양을 마련하는 것이다.