# 高出力 粒子 加速裝置의 응용

김 호 길
〈연암공업전문대학장〉

## ◇ 머 리 말

荷電粒子加速器는 電子를 구성하고 있는 原子核과 電子를 光速度에 가까운 속도로 가속시키는 기계이다. 粒子加速裝置가 1920년대말에 原子核研究를 위하여 발명된 역사적 이유로 粒子加速器를 단순히 값비싼 物理學研究裝置로만 생각하는 경향이 있지만 현재 세계에 존재하는 加速裝置의 응용을 보면 原子核物理研究보다는 다른 분야에 훨씬 더 많은 응용이 이루어지고 있다.

우리나라에도 物理學研究를 위한 加速裝置는 없지만 서울대학병원을 비롯한 수개의 병원에 방사선치료를 위하여 電子 線型 加速裝置가 도입되어 사용되고 있으며, 原子力病院에서 구입하여 동위원소생산에 사용할 예정이다.

최근 신문지상의 보도에 의하면 일본에서 씽크로트론광선을 이용하여 초고밀집적회로(VLSI)제작에 성공하였다. 이것은 數年前부터 예견되어오던 것으로 아무런 관련이 없는듯한 두개의 상이한 과학분야가 사실은 相補的관계에 놓여있는 例로서 과학기술의 저변확대의 중요성을 보여주는 한 예가 될 것이다.

加速器의 응용은 물리학, 화학, 생물, 암치료 공학등 핵물리학 이외에 응용이 다양함에 따라서 가속기의 종류와 특성이 다양하기 마련이다. 값을 얘기하면 수십만불에서 수억불의 범위에 걸치고, 크기를 얘기하면 1m정도의 길이에서 수km의 것도 존재하며, 가속되는 입자의 수를 입자가 가지는 電荷로 재었을때 $10^{-9}$ 암페아에서 키로암페아에 달하는 다양한 장치가 존재한다.

다양한 가속장치가운데서 原子核物理研究 이외의 분야에 가속장치가 어떻게 응용되고 있는가를 여기서 개괄적으로 보고자한다. 가속기는 荷電粒子를 가속시키는데 목적이 있으므로 사용자의 입장에서는 加速原理는 不問에 붙이고 입자의 종류, 가속된 입자의 에너지, 그리고 초당 가속시키는 입자의 수로서 가속기를 특정짓는다. 예를 들면, 전자라는 입자를 100MeV ($10^6$eV)의 에너지로 초당 $6\times10^{18}$개(1암페아)를 가속시킨다는 사실로서 사용자의 입장에서 가속장치를 특성화할 수 있다. 素粒子物理學研究에서는 가속기의 특성중에서 질을 제일 중시하는 경향이 있고 核物理를 제외한 용응에서는 에너지도 중요하지만 出力 즉, 에너지와 입자 전류의 크기를 곱한 量(Watt)에 중요성을 두는 경우가 많다. 따라서 高出力 粒子加速器는 대부분 核物理研究 이외의 응용을 위하여 건조된 것이라 보면 큰 틀림은 없을 것이다. 아래에 高出力 加速器의 응용에 관하여 예를 들어서 설명

하고자 한다.

## ◇ 반도체 제작

高出力 加速裝置중 低에너지영역에서의 응용에는 반도체제작과 핵융합로의 프라스마 가열장치가 있다. 荷電粒子 加速裝置의 구성을 보면, 첫째로 中性의 物質(原子)에서 荷電粒子( 原子核이나 電子)를 만드는 이온源(Ion source)이 있고 발생된 이온을 가속시키는 가속부분 그리고 가속된 이온을 목적지까지 운송하는 운송부분으로 대변할 수 있다.

순수반도체를 p형이나 n형으로 만들기 위해서 불순물을 주입시키는데 그 방법으로 불순물의 확산에 의한 방법이 있으며 다른 방법으로는 주입시키려는 원소를 이온화 시켜서 적당한 에너지로 가속하여 순수반도체에 주입시키는 방법이 있다. 이온 주입법이 확산법과 비교했을때 이온의 에너지를 조절함으로써(30KeV~100KeV) 이온주입층의 깊이를 조정할 수 있고 이온전류 조정함으로써 주입량을 정확히 조정할 수 있는 잇점을 가지고 있다.

이온주입장치의 가격은 수십만불이며 국내의 반도체 제조공장에서 사용하고 있다. 이것이 고출력인 이유는 이온전류 1암페어를 70KeV로 가속시킨다면 70KW의 전력이 가속기의 출력으로 되는 점에서 고출력임을 알 수 있다.

## ◇ 씽크로트론 광선

위에서 설명한 이온주입기를 가속장치라고 부르기보다는 가속장치의 일부인 이온源에 해당된다. 왜냐하면 고에너지 가속장치에서 발생되는 이온의 에너지가 대개 1MeV 이상에서 1TeV ($10^{12}$eV)에 걸쳐있고 이들 고에너지의 가속기에 주입시키는 이온源의 에너지가 5KeV에서 수십KeV에 해당하기 때문이다.

다음 가속장치의 다른 예로서 현재 응용이 급격히 늘어나고 있는 씽크로트론 광선 발생장치를 들어보겠다. 이 장치는 전자를 가속시킨 것으로 에너지는 높지만 비교적 값싸고 크기가 비교적 작은 가속기이다.

전자가 운동시 속력이 변하든지 운동 방향을 바꾸게 되면 전자파를 발생한다. 모든 전자파 발생장치가 이 기본원리에 입각하고 있다. 전자를 磁場가운데서 원운동을 시키면 전자파를 발생하는데 전자파의 진동수는 원운동의 진동수를 기본으로 하고 고에너지(1MeV이상)에서는 기본 진동수에서 부터 기본 진동수의 천배(5MeV) 또는 $10^{10}$배(500MeV)의 진동수를 가진 전자파를 발생한다. 씽크로트론광선이란 이름이 붙은 것은 1950년대에 전자씽크로트론이란 원형가속기에서 전자의 원운동으로 인한 가시광선이 발생된데 연유하고 있다.

씽크로트론 광선의 특성은 전자의 에너지와 자장의 크기를 바꾸어 줌으로써 可視光線에서 紫外線 및 X線에 이르는 다양한 光線을 임의로 발생시킬 수 있으며 光線의 강도가 다른 光線에 비하여 십만배 이상이고 간섭원리를 이용하여 주파수대가 좁은 광선을 만들 수 있는데 있다.

고에너지 씽크로트론 광선의 응용은 재료, 화학, 금속, 생물등 광범위한 분야에 응용되며 현재 미국, 서구, 소련, 일본등에서 수십기의 장치가 작동 또는 건조중에 있다.

저에너지 씽크로트론에서는 可視光線 및 紫外線이 주로 나오는데, 이것을 집적회로 제작에 사용하는 연구가 미국, 독일, 일본에서 수년전부터 경쟁적으로 연구되고 있다. VLSI의 제작에서 집적의 한계는 光化學作用을 일으키는 광선의 파장의 크기로 정해진다. 집적도를 높이기 위하여 紫外線에서 X線에 걸치는 씽크로트론 光線을 使用한다면 파장을 임의로 조정할수 있을 뿐더러 光原의 강도가 높은 점에 利點을 쉽게 짐작할 수 있다. 초전도 磁場을 도입함으로써 가속장치의 크기를 數 m의 범위에 국한시키는 동시에 X線에 이르는 단파장의 光原을 만드는 연구가 각국에서 시작되었었다. 앞서 얘기한 신문보도를 보면 어느 정도의 성공을 거둔 모양이며 연내에 실용화 될것으로 짐작된다.

## ◇ 핵융합로에의 응용

21세기의 에너지源으로 原子核融合反應을 이용한 원자핵 융합로 연구에 선진 각국이 노력을 경주하고 있다. 원자핵 융합반응을 수소폭단과는 달리 발전을 위해서는 원자핵과 전자와 분리되는 고온의 물질상태 즉, 프라스마상태를 유지하여야 하며 프라스마상태 중에서도 이온의 에너지가 30KeV 이상의 고온의 프라스마 상태를 장기간 유지하여야 한다. 이 고온의 프라스마는 토카막(TOKAMAC)이란 도나스 또는 문고리모양의 밀폐된 자장안에 담겨있다. 토카막의 프라스마를 고온으로 가열시키는 방법으로서 가장 유력한 것이 고에너지의 中性原子를 토카막속으로 주입하여 토카막안에서 프라스마와 충돌하여 이온화되어 자장속에 갇히게 하는 방법이다. 이 프라스마 가열을 위한 가속장치는 1000암페아 이상의 重水素 原子核을 200KeV로 가속한 후 전자를 붙여서 중성의 원자로 만드는 장치이다. 200KeV에서 1000암페아의 빔을 출력이 20만KW로서 전기출력 백만KW의 원자로에 입력시켜서 사용될 예정이다. 이러한 高出力 加速裝置에 사용하는 기술은 수KW의 고에너지 가속장치기술과는 질적인 면에서 달리하고 있다.

프라스마를 가열하는데 필요한 高出力加速裝置技術은 대륙간 유도탄을 요격하기 위한 粒子武器로 사용될 수 있다고 한다. 유도탄은 총알의 속도로 날아오기 때문에 유도탄을 요격하려면 광속도에 가까운 가속장치를 이용한 高出力粒子빔이나 光線의 하나인 高出力 레이저 빔을 사용할 수 밖에 없다. 여기에 관한 연구는 비밀에 싸여서 어느 정도로 발전된지는 짐작하기 힘든 일이다.

## ◇ 동위원소 제작

가속장치를 사용한 방사성 동위원소 제조는 이미 1930년대 로렌스의 싸이클로트론 건조시에 제안된 것으로 그후 많은 가속장치가 동위원소제조에 이용되고 있다.

최근에 고에너지($10^9$eV)의 선형가속기로 1암페아 정도의 陽性子를 가속시킨다면 $U^{238}$을 프로토늄으로 바꾸어 원자로(분열로)의 연료로 사용할 가능성에 대한 연구가 진행되었으나 원자핵기술 확산을 우려하여 비밀에 붙여져 있다. 원리는 1GeV($10^9$eV)의 陽性子를 $U^{238}$에 조사시키면, 陽性子 한개당 약 50개의 중성자가 핵분열 반응에 의하여 발생되며 $U^{238}$이 이 중성자를 흡수하여 연료로 사용할 수 있는 프로토니움이 되는데 바탕을 두고 있다. 이 方法이 아직은 경제성에서 $U^{235}$의 농축방법 보다 뒤지고 있지만, 언젠가는 실용성이 입증될 것으로 기대되고 있다.

## ◇ 맺는 말

紙面관계로 加速裝置의 보다 더 많은 응용을 생략하였다. 高出力 加速裝置는 아니지만 重核(네온 또는 알곤의 核)씽크로트론을 암치료에 이용하는 연구는 버클리에서 십여년 수행해 왔으며 카나다의 알버타 주정부에서 암치료 전용의 重核씽크로트론병원을 건설하고 있다.

머리말에서 말한바와 같이 加速裝置가 원자핵 또는 素粒子研究를 위하여 발전되어온 역사적 이유와 실험장치로서 규모가 크고 高價라는 점에서 우리 사회에 잘 받아들여지지 않고 있다. 그러나 암치료용으로 병원에 전자 線型加速裝置 동위원소제작용 싸이클로트론이 도입되고 있으며 멀지않아 씽크로트론 光線源이 반도체 제작을 위해서 도입되지 않을 수 없을 것으로 생각된다. 하나 유감스러운 것은 이 분야에 관한 국내에서의 연구가 거의 없는 상태여서 高價의 裝置 건조 수리 운영에 장기적으로외국에 의존하고 있는데서 오는 경제적 손실 및 기술의 후진을 들지 않을 수 없다.

加速裝置는 상아탑 안에서의 물리학자의 장난감이 아니고 現代 尖端科學을 주로하고 있는 없어서는 안될 한 科學 및 産業器機임이 그의 응용을 통해서 인식되었으면 한다.