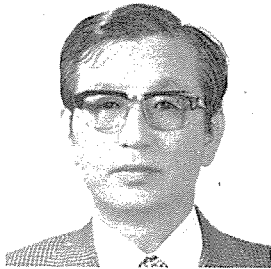


국제적 視角에서 綜合的 長期計劃수립돼야

— 우리나라 加速器과학 발전정책 수립에 관한 고찰



趙 炳 夏
〈한국과학기술원교수 · 物理學〉

이 글은 지난 7월 8일부터 10일까지 3일간 한국과학기술단체총연합회가 주최한 「86한국과학기술자학술회의하계심포지움」에서 발표된 내용의 요지이다. 〈편집자 註〉

◇ 가속기의 현황

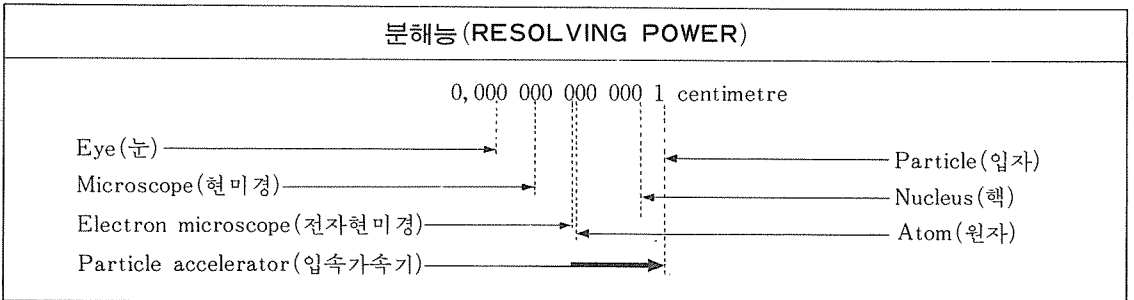
입자가속기(Particle Accelerator)란 하전 입자를 전자력으로 고속으로 가속시켜 높은 에너지의 입자로 만들어서 물질에다 충돌시킴으로써 그 물질의 미세구조등을 탐색하는 기계이다.

가속된 입자의 에너지가 높을수록 보다 미세한 심층구조를 볼 수 있게 된다. 즉 분해능이 높아진다.

로 분해능이 1 Å(온그스트롬, 10^{-8} cm)의 만분의 1인 10^{-14} cm= 10^{-6} Å에 도달하고 있으나, 우리는 KAIST에 있는 전자현미경(200KeV)으로서 분해능이 30Å~40Å 수준에 있을 뿐이다. 우리는 기초과학의 선진화와 공업기술의 현대화를 위해 최소한 1 Å에는 도전해야 할 것이다.

●가속기의 종류

100 : 직류가속기(Direct Current Machine)



단, 1 Å= 10^{-8} cm

선진 각국에서는 GeV~TeV의 고휘력 가속기

110 : Cockroft-Walton(Cascade Rectifier)

120 : Van de Graaff (Electrostatic Generator) 포함.

200 : 감응가속기 (Induction Machine)

210 : BETATRON

300 : 공명가속기 (Resonance Accelerator)

310 : 선형가속기 (Traveling and Standing Wave LINEAR ACCELERATOR)

320 : 자기형가속기 (Magnetic Accelerator)

321 : 싸이크로트론 (CYCLOTRON)

○CW (continuous wave) 가속기

○FM (frequency modulated) 가속기 포함.

322 : 싱크로트론 (SYNCHROTRON)

○양성자 (Proton) 와 전자 (Electron) 가속기

○FFAG (fixed field alternating gradient) 가속기 포함.

●가속기의 에너지(출력) 증가 추세

과학기술의 발전으로 가속기의 에너지는 6년마다 10배로 증가하고 있다.

MeV (10^6) → GeV (10^9) → TeV (10^{12}) 로 고도화 되어가고 있다.

●국내 가속기의 현황

0.5MeV 이하 Van de Graaff가 10대이고, 1.0MeV 이상 Van de Graaff가 5대, 5.0 MeV Betatron 1대, 18 MeV Electron Linear Accelerator 4대, 그리고 50 MeV Cycrotron 이 1대로 모두 21대에 달한다.

◇가속기 과학의 발전

물질의 궁극적 기본입자라고 생각되어 온 원자는 20세기 초기에 와서 원자핵과 전자로서 구성되어 있다는 것이 명확히 되어 물질의 물리적·화학적 특성이 원리적으로 이해할 수 있게 되었다. 즉 원자세계의 물리는 양자력학으로 정립되었다. 그 후 라듐움에서 방출되는 α 입자선에 의해서 일어나는 원자핵 반응의 발견으로 원

자핵의 본질과 실체에 대한 탐구는 이론과 실험 양면에서 급진전 되었다. 극미하고 초고밀도인 원자핵의 실험적 연구에는 충분히 높은 에너지를 갖는 입자나 이온 등을 원자핵에 충돌 시켜 그 변화상을 관측할 필요가 있고, 그 실험수단으로서 가속기가 등장했다.

가속기에 의한 원자력 실험에 의해서 원자핵 자신도 내부구조를 갖고 있어 양성자와 중성자로 구성되어 있다는 것이 확인되었다. 그 후 가속기의 발전과 더불어 1940년도에는 원자핵 물리학이라는 학문분야가 확립되고 이어 원자핵공학 분야도 새로 정립되었다. 1950년도에도 양성자나 전자를 고에너지로 가속시킬 수 있는 고출력의 실험 가속기가 개발되어 소입자를 인공적으로 제조할 수 있게 되자 많은 신소입자가 발견되었다. 이에 따라 고에너지 물리학 또는 입자물리학이라고 부르는 학문영역이 확립되었다.

그후 가속기의 출력은 보다 높아져 GeV (10억 전자볼트)급으로 발전됨에 따라 입자 물리학은 크게 발전하여 양성자와 중성자등의 입자도 소립자가 아니라 쿼크(Quark)라는 구성자의 복합 입자라는 것을 알 수 있게 되었다. 이같은 발전으로 1974년에는 J/Ψ 입자의 발견으로 쿼크의 존재는 확인되었고, 1984년에는 약력을 매개하는 입자인 약력자(Weakon W_{\pm}, Z^0)가 발견되어 약력과 전자력의 통일이론이 옳다는 것이 분명하게 되었다. 가속기는 용도에 따라 입자물리학, 광원용(Synchrotron) 및 다목적 물성연구(Heavy Ion Acc.) 등으로 분류되며, 특히 입자연구용으로는 TeV (1조 전자볼트)급의 초고출력 가속기 SSC(Superconduction Supercollider)의 건설이 미국에서는 계획되고 있다.

한편으로는 가속기는 물리학 뿐만 아니라 전기, 기계, 진공, 컴퓨터, 계측, 재료등 다른 광범한 공학분야의 과학기술의 종합적 소산이라는 면을 갖고 있기 때문에 개발 자체가 연구대상이 되고 있다.

또한 근년에 와서는 단지 원자핵이나 고에너지 물리학의 학술기초연구에만 한정되지 않고, 물성물리학, 재료과학, 화학, 생물학, 의학 및

농학등 넓은 분야에 응용되어 가고 있다.

이와 같이 가속기와 그 주변기기의 개발과 건설 및 가동에 관련되는 물리학 및 공학·기술과 가속기의 이용에 대한 확대·심화라는 두 측면을 갖는 가속기를 중심으로 한 거대 과학 또는 종합과학 즉 ‘가속기과학’이 새로 형성되어 발전을 보게 되었다.

각국 가속기 자력개발 년도와 1인당 GNP비교

나라이름	가속기 창설년도	1인당 GNP단위 \$
1. 미 국	1930년	1930→\$1,489 ('58년 불변가격)
2. 일 본	1937년	1937→\$ 400 ('65년 불변가격)
3. 인 도	1955년	1958→\$ 77 (경상가격)
4. 대 만	1982년	1982→\$2,596 (경상가격)
5. 브라질	1985년	1981→\$2,235 (경상가격)
6. 한 국	1985년 (발상)	1985→\$2,032 (경상, 잠정)
		1977→\$ 457 ('65년 불변가격)

가속기과학을 갖는 나라가 선진국이고 그렇지 못한 나라가 후진국이 되어가고 있을 뿐만 아니라 선진각국에서는 가속기과학의 발전에서 치열한 경쟁을 하고 있다. 그 까닭은 다음과 같다.

원래 가속기는 원자핵·소립자연구를 위한 것이라 앞으로는 가속기는 정밀화·고에너지화의 방향으로 진전하고, 이것에 의해 예기치 않는 신입자와 신현상을 발견하여 원자핵·소입자의 성질과 구조 그리고 그들 사이에 작용하는 힘의 법칙성에 관한 신전개가 기대되며 기초과학연구의 선도적 기능을 다할 것이다. 이 같은 원래의 의의 이외로 그 의용·공업 등에서의 실용화가 가능해 졌을뿐만 아니라 가속기 과학의 연구추진에 첨단 공학기술의 발전을 촉진하고 기술혁신의 원천으로서 그 파급효과가 풍부하기 때문이다.

가속기 자체도 많은 분야에 이용될 수 있는 범용성이 높은 것부터 특정분야의 이용에 최적한 특수가속기까지 가속입자의 종류와 가속성능이 다양하고 앞으로는 신이용법의 개발과 신형 가속기와 실험측정장치기술의 개발이 진전되어 가속기과학은 발전되어 간다고 생각된다.

가속기의 용도에 따라 가속기를 분류하면 다음과 같이 세가지로 정리된다.

입자용 가속기

물질의 최심층구조 즉 소립자 실험용으로 사용되며 그 출력은 GeV 수준에서 TeV수준으로 발전되어 가고있다. 미국의 Fermi-Lab, SLAC, 일본의 KEK, 독일의 DESY, 서서의 CERN 등이 대표적인 입자가속기연구소이다.

광원용 가속기 (SOR)

하전입자가 원궤도에 따라 가속되는 동안에 궤도의 접선방향으로 빛이 발출된다. 이것을 Synchrotron Orbital Radiation (SOR)이라고 부른다. 이 가속기를 갖추고 있는 연구소를 우리는 ‘빛공장’ 또는 ‘광자공장’ (Photon Factory)이라 한다. 이 복사선(빛)을 이용하면 물질구조를 원자·분자수준에서 실험적으로 볼 수 있어 근자에 와서 학술적 가치 뿐만 아니라 공업적 가치가 높아져 큰 관심을 모으고 있다.

중이온 가속기

원자로부터 몇개의 전자를 떼어 내어 전기를 띠고 있는 것을 이온이라 하고, 헬륨 보다 무거운 것을 중 이온(Heavy Ion)이라 한다. 이 가속기는 원자핵물리학, 물성연구 뿐만 아니라 의학, 공업적 응용에 넓게 활용 되고 있다. 즉 ‘중이온 과학’ (Heavy Ion Science)라는 학문 영역을 정립하고 있다.

개도국의 동향

가속기는 1930년대 초반 미국에서 발명됐다. 일본은 37년에 전자석 23톤, 자극직경 65cm의 Cyclotron을 자력으로 개발했다. 당시의 일본의 1인당 GNP는 4백\$수준(65년 불변가격, 구매력환율 적용)이었고, 우리나라의 1인당 GNP와 비교하면 70년도 중반에 상당한다.

대만에서 82년부터 SOR(1.5GeV)을 약 4천만\$을 투자해서 주로 자력개발에 착수하였는데, 89년에 완성될 것이다.

세 계 주 요 입 자 가 속 기

(1986. 6 현재)

국 명	기 계	가속기명칭	에너지GeV	빔 강 도 (입자수/초)	기 종	외형규모 (m)	완성년
프랑스	CEA-Saclay	Saturne II	3		싱크로트론	50	1979
일 본	KEK	KEK-PS	12	1×10^{12}			
"	KEK	TRISTAN	13		$\bar{e}p$	108	1976
			TeV 상당		충 돌 형	1000	1986
서 서	CERN	CPS	28	3×10^{12}	싱크로트론	200	1959
"		SPS	400	2×10^{12}	"	2200	1976
소 련	IHEP		76	3×10^{11}	"	472	1967
"	DUBUNA		10	1×10^9	"	72	1957
"	ITEP	ITEP-PS	7.2	1.5×10^{11}	"	80	1961
영 국	RL	NIMROD	8	1.1×10^{11}	"	53.3	1963
미 국	FNAL		500	3×10^{12}	"	2000	1971 (100GeV)
"	BNL	AGS	33	4.5×10^{12}	"	257	1960
"	ANL	ZGS	12	8×10^{11}	"	38.3	1963
"	LBL	Bevatron	6.2	1.5×10^{12}	"	54.7	1954

브라질에서는 85년에 SOR (3 GeV) 건설을 확정하고 현재 그 건설을 준비하고 있다. 대만보다 출력이 배나 된다. 현재 세계 각국에는 35기의 SOR이 가동중에 있고, 2~3기가 건설 중에 있다.

◇우리는 SOR을 택한다

입자용가속기는 선진국이 하는 추세에 위임해 두고, 우리는 향후 7년 이내에 원자·분자 수준에서의 실험연구가 가능해져야만 과학과 기술 및 공업에서 선진화가 성취될 수 있다고 본다. 이 목표에 알맞는 가속기는 바로 SOR이다.

경험없는 우리사정과 수요면을 고려하면, 먼저 중이온가속기를 개발한 후 SOR에 착수하는 길도 있고,

를 택하면, 과학적으로나 공업적으로나 그 전망이 가장 좋다고 한다.

일본 KEK의 “빛 공장”의 모습

① 파장 1~2 Å의 빛을 생산·공급

신소재와 전자공학분야에서 연구개발경쟁은 범세계적으로 진행되고 있다. 각 나라마다, 각 회사마다 첨단연구는 비밀리에 진행하고자 하고 있다.

그러나 한 장의 커튼을 사이에 쳐놓고 HITA CHI사와 NEC사가 서로 이웃에서 기업기밀에 속하는 실험을 해야만 하는 사태에 직면하고 있다. 이는 바로 TSUKUBA 연구학원도시에 있는 일본 고에너지물리학연구소(KEK)의 “빛 공장”(Photon Factory, 바로 SOR이다.)에서의 일이다.

현재 전자공학의 최첨단연구에서는 수십개 원자들의 집합 범위에서 일어나는 현상을 문제로 삼고 있다. 반도체결정속에 어떠한 상처가 있을지? 미지세계에서 어떠한 현상이 일어나는지를 보고자 하는 것이다.

(전자저장환)	(동보복사원)
Electron Storage Ring	1-3 GeV의 Synchrotron Radiation Source

이것을 하기 위해서는, 결정을 형성하고 있는 원자와 원자 사이의 길이(간격) $1 \sim 2 \text{ \AA}$ 과 같은 정도의 길이의 파장을 갖는 빛이 있으면 된다.

KEK의 빛 공장에서는 일본 국내에서 유일하게 이것을 2.5GeV의 Synchrotron으로 생산하여 자체연구용(40%) 뿐만 아니라 전국 공동이용(60%)을 위해 공급하고 있다.

② 처치곤란한 부산물로 빛공장을 건설

빛공장의 중심에 있는 장치는 입자물리학에 사용되는 입자가속기와 다를 바 없다. 초고속으로 달리는 전자를 자석으로 그 진로를 굽히면 진로의 접선방향으로 전자의 운동에너지의 일부가 빛으로 변신하여 방출하다. 이것이 Synchrotron Radiation이며 동복사라고 말하기도 하고, SOR이라고도 부른다. 입자물리학 실험에서는 이같은 에너지손실은 처치곤란한 것이다.

그러나 이것을 잘 살펴보면, 이 빛은 이때까지의 X선 진공관과는 달리 폭넓은 파장 영역을 갖고, 그 세기는 백~천배나 된다. 전자공학뿐만 아니라 초미량분석, 생체근육선유의 구조해석 등 넓은 분야의 연구자들이 바라고 있던 빛인 것이다. 처치 곤란한 것을 역으로 이용해서 첨단 과학기술의 개척에 활용하고 있다.

③ 민간 각 사가 실험에 참여

현재 일주 187m의 타원형환에는 9개의 빛을 뽑아내는 구멍이 마련되어 있다. 앞으로 15개로 증설할 예정이다. 대학의 연구자들뿐만 아니라 민간회사의 관심도 대단히 높다. 시간당 ₩4만 3천의 사용료를 지불하고 1984년도에는 광원운전 총시간 2천 47시간 중 천 3백 57시간(66.2%)을 103건의 연구과제에 대해서 외부 연구자가 사용했다.

다른 곳에서는 할 수 없는 실험을 이곳에서는 할 수 있으므로, 일본전신전화회사는 “전용 광 취출구”를 만들어 놓고 사용하고 있고, HITACHI사는 제 8 번 광 취출구를, NEC사는 제 9 번을, FUJITSU사는 제17번을 전용신청중이다.

서로 경쟁관계에 있는 회사가 바로 옆에서 실험을 해야 하므로 서로 기밀유지가 어렵다 해서

사이에 커튼을 치고 있다.

SOR의 과학적 이용

이 방사광은 레이저와 더불어 20세기 후반에 인류가 성취한 빛에 관한 최대의 기술혁신이다. 그 영향은 현대과학과 기술의 각 분야에 넓게 그리고 깊게 파고 들어가고 있다. 빛에 의해서 물질쪽에 생기는 변화도, 물질에 조사됨으로써 빛의 쪽에 생기는 변화도 다같이 물질의 구조나 성질을 지배하고 있는 물질속의 전자(electron)의 거동을 해명해 주는 좋은 단서이다. 이와 같이 빛과 물질과의 상호작용이 가장 돋보이는 파장영역은 자외선·X선의 영역이다. 이 파장영역의 빛을 연속적으로 공급할 수 있는 광원이 바로 SOR이다. 우리는 이 방사광으로서 마크로의 물체의 모양이나 색을 보는 것이 아니라 마이크로의, 즉 원자·분자 수준에서 물질의 모양, 색 또는 결합상태 등을 본다.

① 회절산란방법으로 전자밀도 분포와 원자의 배열을 연구하여, ● 결정 또는 비결정의 구조와 물성, 결정성장, 격자결함, 물체의 변형, 상전이, 생체물질(큰 단백질과 근육등)의 구조와 기능 등을 알 수 있다.

② 분광방법으로 전자상태와 화학결합을 연구하여, ● 원자·분자·응집상·생체물질의 전자에너지 준위와 화학결합, ● 여기·전리·해리와 완화과정, ● 표면·계면의 상태와 반응 등을 알 수 있다.

③ 방사선 효과를 통해서 화학결합과 구조의 변화를 연구하여, ● 분자의 광해리, 광화학 반응, 격자결합의 생성 및 방사선 손상, ● 생체 손상 및 돌연변이 등을 알 수 있다.

④ 관련학문분야는, ● 물리학●전자공학●화학●통신공학●생물학●전산공학●의학●기계공학●약학●금속공학●농학●핵공학●생명과학●재료과학●환경과학●에너지과학●우주과학●정보과학 등

⑤ 응용분야는, ● 반도체와 자성체의 물성과 결정구조 ● 큰 단백질의 구조 ● 효소의 활성과 그 구조 ● 근육의 구조와 그 기능 ● 인공결정성

성과정 ● 광물의 생성과정 ● 격자결합의 생성과 운동 ● 공해물질(유기연)의 구조 ● 광전 변환소자(태양전지 등) ● 금속의 산화와 부식 ● 촉매 반응의 기작 ● 극미량 분석 ● 초 LSI의 제작 ● 초미세가공 ● X선 현미경 ● 고체표면 · 계면의 물성과 구조 ● 광화학 반응 ● 핵 융합로의 냉각과정 ● 자유전자 레이저 ● 암 · 순환계 질환의 진단과 치료 등

SOR의 기술적 이용

기술혁신의 원천확보와 우리나라 공업기술의 수준제고에 크게 기여할 수 있을 것으로 보이는데 특히,

- ① 자석기술 ② 진공기술 ③ 제어기술 ④ 고주파기술 ⑤ 주입기술 ⑥ 전자빔 기술 ⑦ 광자 빔 기술 ⑧ 정보처리기술 등에 이용하게 된다.

중이온 가속기의 과학적 · 기술적 이용

중 이온 과학은 물리학, 공학, 화학, 생물학, 의약학 및 공업기술 등을 원자 · 원자핵 수준에서의 실험적 · 이론적 연구로 과학과 기술의 고도화에 기여하고 있다. 그 연구와 활용 영역을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 이온주입기술은, ● 초 LSI빔 가공, ● 신재료 설계와 개발, ● 재료의 특성 개선 등에 활용된다.
- ② 이온-물질 상호작용 조사는, ● 조사실험 - 우주용 기기 및 내방사선 재료 개발 및 화학적반응 ● DNA파손 - 마이크로 빔 수술, 치사효과, 암치료, 유전효과 및 방사선 손상과 재료배합에 이용된다.
- ③ 원자핵반응조사는, ● 방사선 화학분석 - 불순물조사 ● 고에너지 중이온 충돌-중간자 과학, 천체핵물리학, 고온 고밀도 핵물리 및 초중원소 ● 중이온 반응조사-핵분광학, R-빔, 대칭성연구 및 핵물성 연구에 활용된다.
- ④ 원자충돌조사는, ● 고에너지 원자 충돌-관성핵융합, 고이온화원자 및 에너지 주입기술 ● 전자분광-표면구조, 진공붕괴 및 QED 연구

● X선 분광-미량분석 및 화학상태 ● 분광계측 - 원자구조 등에 이용된다.

⑤ 중이온 계측은, ● 질량분석-연대측정, 동위체비(정질과 고고학), 의료진단 ● 후방산란-비파괴검사 ● 찬네링-격자결합 결정, 표면구조 및 불순물위치(물성 · 고체 · 물리학) 등에 이용된다.

◇가속기과학이 기술혁신에 기여한 파급효과

가속기과학의 실험시설과 장비에 사용된 기술이 단시간에 응용되어 좋은 성과를 올리고 있는 사례는 수없이 많으나 그 대표적인 것을 보면 다음과 같다.

미 국

대형컴퓨터의 개발은 가속기에서 얻어진 방대한 실험데이터의 해석을 위해서 시작되었다. 이 밖에도 초진공 기술, 극저온 기술, 초전도 기술, 가속기 제조기술, 가속기 운전기술, 빔 제어기술, 정보처리 기술 등에 응용하고 있는데 특히, SDI 계획에서는 우주공간에서 적 미사일을 격추시키는 병기로서 X선 레이저나 입자총(particle beam gun)이 구상되고 있다. 입자총은 양성자(Proton)나 중이온(Heavy ion)을 가속시켜서 발사하는 것으로, 가속기와 같은 원리이다. 현재까지 물체를 파괴할 정도의 에너지를 아직 얻지는 못하고 있다. 입자물리학이나 가속기과학은 군사하고는 관계없이 순수기초과학으로서 전후에 발전되어 왔으나, 가속기과학기술은 군사와 종이 한 장 차 밖에 안되는 관계로 변해가고 있다.

CERN

구주합동원자핵연구소(CERN:구주 12개국 합동연구기구, 52년 창설, 스위스 제네바 소재)가 73년~82년까지 10년간 구주 각국의 5백개 회사에 발주한 주요기계와 설비는 총액 6천5백억원에 달한다. 그 동안 5백개회사가 수주한 기술로 생긴 매상증가분과 자체개발을 하지 않

고 생긴 연구개발비의 삭감효과분을 합해서 금액으로 표시하면, 약 2조원이 된다. 이는 수주액의 3 배의 이익을 회사측에 안겨다 준 것이 된다.

분야별로는, ●전자기기·광학기기·컴퓨터 관계는 4.0배 ●진공·저온·초전도 기술관계는 2.6배 ●정밀기계관계는 1.4 배나 되는 이익을 주었다.

세계 각국

세계 각국이 가속기과학의 발전에 관심을 갖는 이유는 첫째, 첨단기초연구를 할 수 있다는 것과 둘째, 첨단기술의 원천을 확보할 수 있다고 보기 때문이다.

◇가속기과학의 종합적·계획적 추진의 필요성

원자핵·소립자연구의 새로운 발전과 가속기의 다른 학문분야와 공업기술에 대한 응용성이 확대 심화됨에 따라 가속기과학의 기반조성과 기술혁신의 원천 확보라는 차원에서 그 중요성과 필요성이 날로 증대해 가고 있다.

원자핵·소립자의 연구를 주목적으로 하는 가

속기 건설은 뒤로 미루고, 먼저 기초와 응용을 겸한 가속기(Electron Storage Ring ⊕ Synchrotron Radiation Source)를 주로 자력으로 개발하여 가속기 과학의 기반을 우리나라에 정착시키는 것이 바람직하다. 전국 공동이용이란 전지에서 위치를 선정하고 운영철학을 확립한 후 착수해야 할 것이다. 특히 가속기과학의 연구추진에 있어서는 가속기의 건설과 운용에 거액의 경비가 필요하고, 전문연구자와 기술자의 확보가 선결조건임을 감안하여 국제적·학제적 시야에서 종합적이고 장기적인 계획과 추진이 필요하며 이를 위한 타당성 조사연구가 선행되어야 한다.

구체적 추진을 위한 판단기준을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 자력개발을 목표로 핵심연구원과 기술자를 양성 확보할 것.
- ② 전국 공동이용과 국제협력을 중시할 것.
- ③ 가속기의 기종, 성능 및 이용에 있어서 “기초”와 “응용” 양면성을 충족할 것.
- ④ 기술적으로 새롭고 확실한 계획이며 객관적 평가를 받도록 할 것.
- ⑤ 기초적이고 선도적인 파급효과가 기대될 수 있는 것.

잠깐 생각해 봅시다.

[문제 2] - <제한시간 30초>

어떤 세균은 1분이 지나면 2개로 분열하고 다시 1분이 지나면 그 하나하나가 분열하여 모두 4개가 된다. 이렇게 해서 1개의 세균이 병을 그득 채우는데 1시간이 걸렸다고 하자. 그런데 같은 세균을 처음에 2개를 가지고 시작한다면 병을 그득 채우는데 몇분이 걸릴까?

<해답은 81페이지>

[문제 4] - <제한시간 5분>

“한쪽 귀가 먹었다”는 것을 확인하는 방법은 없을까?

<해답은 81페이지>

[문제 3의 해답]

5마리. (5마리가 5분이면 5마리를 잡는다. 다시 5분이면 10마리 잡는다. 곧 10분이면 10마리, 20분이면 20마리의 비율로 5마리의 고양이가 계속 일할 수 있는 것이다)

<문제는 73페이지>