

加速器保健物理의 國際動向

1952년 미국 BNL에서 세계 최초의 GeV급 양子synchrotron, cosmotron (3 GeV)이 運轉되었다. 그러나 이 대형가속기의 control room에서 20mrem/h, 保健物理室에서도 15mrem/h의 放射線線量率이 기록되었기 때문에 가속기의 측면차폐를 두껍게 했으나 線量率은 기대했던것만큼 감소되지 않았다. 얼마후 이것은 가속기상부로부터 하늘을 향해 방출된 방사선이 공기에 의해 산란되어 지상으로 되돌아 오는 소위 sky-shine에 의한 것임을 알게 되었다. 이 사건을 계기로해서 1957년에 가속기보전물리의 국제회의가 뉴욕에서 개최되었다. 이것이 가속기보전물리의 탄생이다.

가속기의 現狀을 요약하면 다음과 같다.

1. 대형가속기는 高에너지化, 高強度化의 경향이 강화되고 있다. 이를 위해 衝突型의 가속기나 核破碎反應을 이용해서 끄집어내는 beam의 강도를 높인 가속기가 건설되고 있다.

2. 종래의 가속기기술은 의료용가속기의 형태로 널리 이용되어 왔으며 이것이 가속기보전물리의 기반을 형성하고 있다.

3. 가속기기술은 재료연구나 우주개발과도 관련되어 공학적으로 널리 응용되기 시작하고 있다.

이와같은 가속기규모의 擴大化, 복합적 이용화라는 상황속에서는 종래각각 독립해서 발달해 온 원자력을 중심으로 한 보전물리와 가속기를 중심으로 한 보전물리가 각각 별도의 길을 취할 수 없게 되었다. 이것은 최근 가속기보전물리속에 ALARA(as low as reasonably achieva-

ble, 合理的으로 달성가능한 限 낮게) 정신을 받아들인 被曝低減化 方案이 제기되고 있는것과 TMI 사고의 후속조치로 가속기시설에서도 방사성가스 방출기준이나 감시방식의 재검토가 필요하게 된 것에서 나타나고 있다.

이와같은 상황에 있는 가속기보전물리의 現狀을 검토하기 위해 미국보전물리학회는 1982년 2월에 Florida州에서 「加速器保健物理會議」를 개최했다. 세계각국에서 약 200명이 참가하였으며 36기관에서 67건의 발표가 있었다. 이를 분류하면 表 1 과 같은데, 차폐, 운전관리, 의료

表1 加速器保健物理會議에서 發表된 論文의 主題別分類

(1) 加速器遮蔽	12件
(2) 加速器運轉管理	12件
(3) 醫療用加速器 (中性子 contamination)	12件 (7件)
(4) 計 測 (spectrum測定)	12件 (6件)
(5) 線量管理, 기타 (ALARA) (解体, 環境閏聯)	14件 (7件) (7件)
* 講 義	3件
(i) 広島, 長崎線量の 再評價 W. Roesch	
(ii) 電子 beam에 의한 中性子發生 W.P. Swanson	
(iii) 高中 energy 加速器의 遮蔽 R. G. Alsmiller, Jr.	
* 기 타	2件
合 計	67件

용가속기, 계측, 선량관리등 5개의 분야가 매우 균형이 있게 발달하고 있음을 알 수 있다. 참가기관별 발표건수는 FNAL 8, ANL, BNL 각 5, ORNL, SLAC 각 4, LASL, Indiana 대학 각 3 등이었다. FNAL이 특히 많은데 내용은 현장관리에 관련된 것이 중심이었다. 이 회의에서는 의료용가속기에 관련된 중성자contamination 강연이 7건이나 되어 주목을 끌었다.

1. 主要加速器施設の 現狀

(1) 歐洲聯合原子核研究所 (CERN)

西유럽의 주요12개국이 공동출자하여 1955년에 창설한 高能物理學研究所이다. 所員數 약 3,500명, 外來研究者 약 2천명으로 항상 만여명가까운 사람이 일하고 있는 이 연구소는ジュ네브의 프랑스쪽 국경까지이에 프랑스, 스위스 두나라에 걸쳐 있으며, 연구소 자체가 마치 하

나의 市와 같은 양상을 띠고 있다. 이 연구소가 보유하고 있는 加速器는 언제나 세계 최대의 것이며 최고의 특성을 계속 유지하고 있다. 현재의 가속기시설은 그림1과 같은 배치를 하고 있으며 ISR은 陽子-陽子 충돌형으로 28×28GeV, SP S는 陽子-反陽子 충돌형으로 270×270GeV, 계획중인 LEP는 電子-陽子 충돌형으로 50×50GeV이다.

현재 가동하고 있는 최대 가속기는 SPS이며, 4주동안 운전하고 1주동안 정지하는 형태로 운전하고 있다. 가속기사이트의 출입관리는 computer로 control되는 출입문을 통해서 행해지고 있다. controlroom에서 TV 전화를 통해서 출입문을 열어주며, 엘리베이터로 내려가는 地下2層에 가속기터널이 있다. 가속기의 control room은 computer가 制御系統에 도입되어 있기 때문에 매우 compact하게 되어있다.

방사선방어그룹은 약 80명으로 그중 약 20명

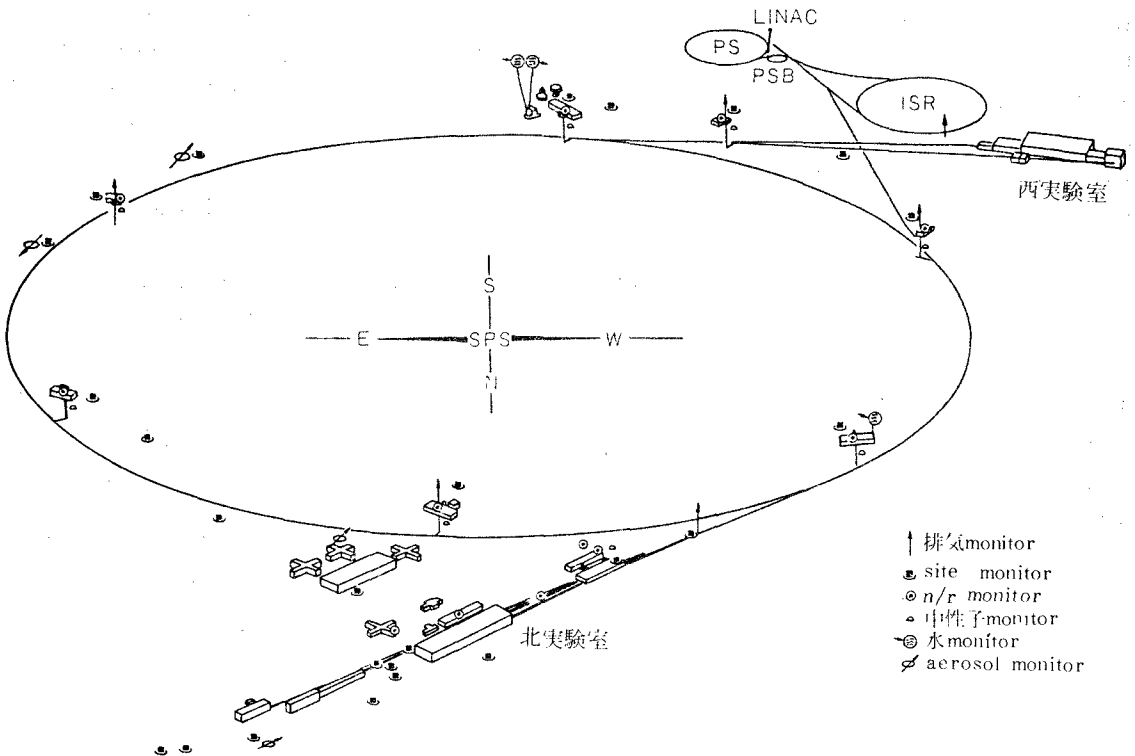


그림 1 CERN의 加速器施設과 放射線監視station

이 연구자이다. CERN 자체가 국제적인 연구기관이기 때문에 加盟諸國의 방사선안전에 관한 법령을 모두 충족시켜야 하므로 ICRP의 권고에 대해서는 항상 민첩한 대응을 하고 있다.

表 2 CERN에서의 個人被曝線量 (1979年度)

	CERN 職員	外來業者
集積被曝線量	γ 293, 970rem	89, 650rem
	n 21, 930 "	—
	$\gamma+n$ 315, 900 "	—
個人当 平均年間線量	γ 78mrem	69mrem
	n 9 "	—
	$\gamma+n$ 84 "	—
個人当 最大年間線量	γ 1, 820mrem	2, 000mrem
	n 800 "	—
	$\gamma+n$ 1, 820 "	—

CERN의 개인피폭관리는 개인 ID card가 붙은 film badge를 사용하고 있다. 年間發給數는 γ 線用이 約 6万枚, 중성자용이 約 3万枚이다. 1979년도의 통계를 表 2에 나타내었다. 현재의 방식대신 β , γ 線용으로 TLD, 중성자용으로 S STD (固体飛跡檢出器: U-235, Th-232와 plastic sheet를 組合시킨 것이나 CR-39)를 사용하는 것도 검토되고 있으나 SSTD에 대해서는 핵연료·원료물질은 다수의 개인에 배포하는 문제, 프랑스의 법령이 피폭선량측정은 film badge로 할것을 정하고 있는 점, 10~700MeV 영역에서의 感度依存性이 불확실한 점 등 여러가지 難點이 있어 실용화 될런지 여부는 현재 확실하지 않다.

area의 관리는 관리구역의 설정기준이 0.7~2.5mrem/hr에서 0.2~2.5mrem/h로 변경되었으며, 관리구역의 출입구에 각각 gate monitor를 설치하는 등 해마다 엄격해져가고 있다. 환경방사선에 대해서는 1975년도에 부지경계에서의 年間線量은 170mrem이하, 가속기운전에 起因하는 부지주변의 주민에 대한 선량 기여는 연간 40mrem이하, 부지내의 관리구역에서 일하는 직원의 연간피폭선량은 14mrem이다.

가속기내부의 유도방사능 레벨은 완성직후에

도 30cm위치에서 4 R/h의 선량율인 곳이 있었다. 공기의 放射化에 대해서는 synchro cyclotron을 10^{13} p/s에서 600MeV의 陽子를 空中 3~4m 달리게 했을 때 70시간에 18Ci, 농도로는 37pCi/cm^3 가 生成된다고 한다. CERN이 1979년도에 대기중에 방출한 방사성기체는 短壽命核種 (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}O)이 60.64 TBq (1.64kCi), 長壽命 β 線放出核種이 4.9 MBq (132 μ Ci), 그리고 ^{90}Be 이 122MBq (3.3mCi)였었다. 이들은以前 値의 약 3배이며 SPS 운전개시에 의한 것이라고 설명하고 있다. 또, 河川에 방출된 배수중의 방사능량은 短壽命의 γ 선방출체 (주로 ^{12}C)가 126GBq (3.4Ci), 長壽命의 γ 선방출체 (^{22}Be , ^{24}Na , ^{54}Mn)가 6 GBq (160mCi) 미만, 그리고 ^3H 가 30 GBq (800mCi) 미만이었다.

(2) 페르미國立加速器研究所 (FNAL)

Chicago 교외에 있으며 CERN에 필적할만한 세계최대의 가속기시설이다. 1969년에 설립되었으며 현재 所員數는 1300명으로 이중 연구자는 500명이다. 보건물리를 담당하는 방사선물리 그룹은 20여명이며 이중 연구자는 6~7명이다.

加速器는 직경 2km의 陽子 synchrotron으로 가속에너지는 200~500GeV, beam 強度 3×10^{13} p/s이다. 입자가속은 4 단으로 나누어져서 행해지며 제 1 단은 Cockcroft-Walton型의 前置加速器, 제 2 단은 線型가속기, 제 3 단은 booster (synchrotron), 제 4 단은 主ring (synchrotron)이다. 가속기는 지하에 설치되어 있으며 약 6m의 흙으로 덮혀있다. 현재 전자석을 超電導化시켜 가속에너지를 2배로 하는 계획이 진행되고 있다.

실험구역은 중간자, 양자, 뉴트리노등 3개 코오스로 나누어져 있다. 陽子beam의 出口는 10^{13} p/s에 가까운 beam強度가 있어 마치 소형 원자로정도의 방사선레벨이다. 이로 인해, beam 出口부근의 잔류방사선레벨은 매우 높아 각종 interlock 외에 안전시스템이 갖추어지고 있다. 일부구역에서는 tiebag (상하가 붙은 옷)등을 사용하는등 원자로에서와 유사한 관리가 행해지고

있다. 또, 방사선관리를 하는데도 ALARA정신을 받아들이는 것이 시도되고 있다. 高放射化物 취급에 TV monitor가 붙은 remote manipulator (Sargent Industries, INC., Redwing, Minnesota製)가 사용되고 있으며 纖維狀의 鉛sheet도 부분차폐에 널리 사용되고 있다. 방사선작업종사자의 외부피폭은 film badge로 측정하며 여러곳에 설치된 post에서 이를 회수하고 있다. 방사선모니터링機器로 잘 整備되고 있으며 실험실등에는 色으로 구분된 monitor가 배치되어 있으며 각 monitor의 상황은 computer를 통해

서 所内外를 不問하고 파악이 가능하다.

또 가속기시설에서 나오는 방사화물에 대해서는 30cm에서의 空間線量率을 측정하여, 그결과에 따라 1, 2, 3의 levelmark가 붙은 大型黃色tape를 사용하고 있으며 표면에서의 線量이 background의 倍($\sim 20\mu R/h$)이상이 되는 것은 일반폐기물로 취급하고 있다.

陽子beam의 beamdump 後方에는 투과성, 方向性이 강한 muon이 분포하고 있으며 (그림 2 참조), beamdump에서 연구소경계까지는 수km가 되나 그 선량평가도 고려하고 있다.

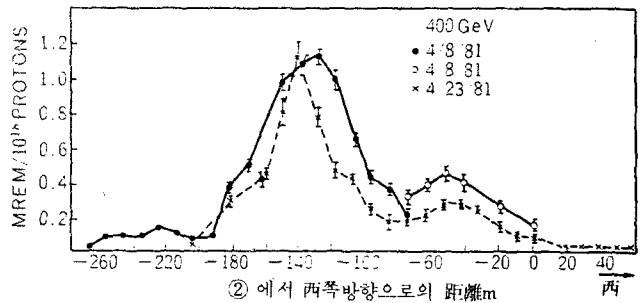
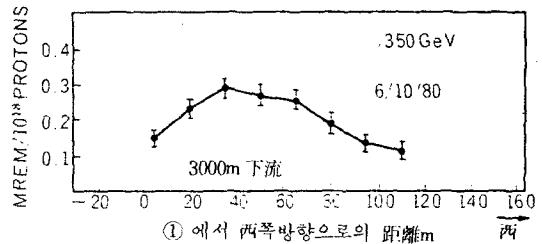
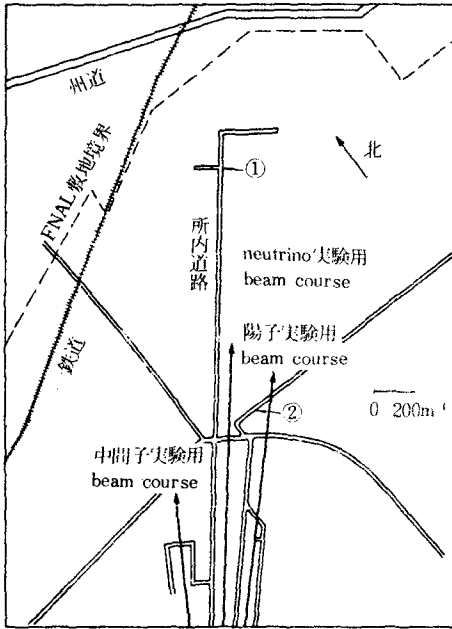


그림 2 陽子beam 下流에서의 muon fluence 測定例 (FNAL)

(3) Brookhaven 國立研究所 (BNL)

이 연구소의 가속기시설로는 cyclotron, Van de Graff, AGS, NSLS 등이 있으며 그 외에 重水減速의 HFBR도 소유하고 있다. 가속기보조물리그룹에는 약 40명의 人員이 있으며 이중 10여 명이 연구자이다.

최대의 가속기시설은 AGS로, 이것은 1960년에 만들어진 陽子synchrotron이다(그림 3(a)

참조). 최대에너지는 33GeV, 4.5×10^{13} p/s의 beam強度를 가지며 ring直徑은 257m이다. BNL의 다른 대형가속기시설은 NSLS로 電子storage ring을 사용한 synchrotron 軌道放射光裝置이다. 700MeV, 1A의 電子로 眞空紫外의 X선을 방출하는 것과 25MeV, 500mA의 4A 정도의 X선을 방출하는 것 2기가 있다(그림 3(b) 참조).

일반적으로 대형가속기시설은 사용개시시에 성

능시험을 행하는 것이 보통이다 (commissioning study). NSLS에서 電磁 cascade에 의해 생성된 光子는 남으로 局所遮蔽하고, 光中性子は 콘크리트로 국소차폐하는 것이 유효하다는 것이 이 commissioning study에서 얻은 지식이다.

또, 다음계획의 Isabelle 건설(그림 4 참조, $400 \times 400 \text{ GeV}$ 의 陽子충돌형가속기)을 되도록 적은 예산으로 할 수 있게 그 차폐 성능평가를 위한 연구가 시작되고 있다.

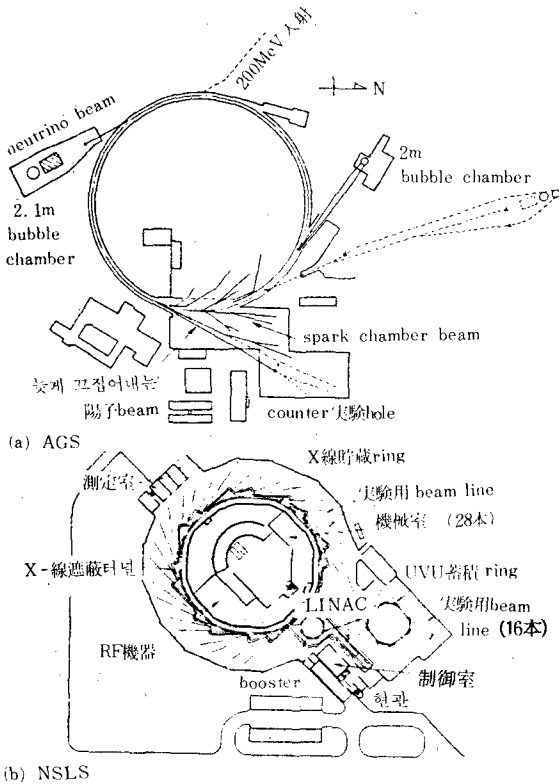


그림 3 BNL의 가속기(AGS와 NSLS)

BNL에서의 각종 interlock 整備는 실험실 안전대책의 일환으로 보건물리부문이 담당하고 있으며 beam duct line의 높이는 2m로 하고, duct가 잘리는 부분의 폭은 15cm 이상이 되지 않도록 하여 사람이 지나가지 못하게 하는 등 안전에 대한 고려가 배려되고 있다.

가속기환경에서의 高에너지中性子を 計測하

기 위해서 球形減速材가 붙은 中性子spectrometer의 開發整備가 행해지고 있다. 검출기의 応答函数는 R. S. Sanna의 것을 사용하며 BON 4라고 하는 code를 사용해서 spectrum分析을 하고 있다.

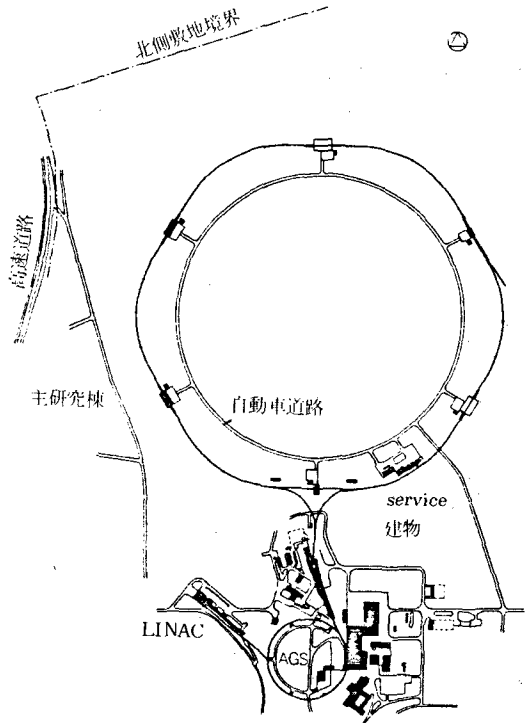


그림 4 BNL의 ISABELLE計劃

(4) Argonne 國立研究所 (ANL)

Illinois州 Chicago 교외 40km에 위치하고 있으며 연구자 1,800명을 포함해서 4,900명이 일하고 있다. 제 2차 세계대전중의 Manhattan 계획으로 건설된 최초의 原子炉 CP-1을 母体로 하고 있으며 그 후에도 原子炉工學部門이 高速增殖研究炉, EBR-1, 2등을 중심으로 발달되어 왔다. 현재는 핵융합 연구를 포함한 에너지 부문, 물리, 화학, 수학, 재료, 固体物理를 포함한 물리부문, 의학·생물부문 및 환경연구부문으로 구성되어 있다. DOE의 위탁을 받아 Chicago 大學과 기타 30대학의 연합조직이 운영을 맡고 있다.

ANL에는從來에 ZGS라고 불린 10.5GeV의 양자synchrotron이 있었는데 SLAC와 FNAL 설립에 따른 高能物理研究의 재편에 의해 해체되고, 현재는 광범위 가속기에 관련된 물리를 연구하는 시설로 IPNS가 설립되고 있다. (그림 5 참조)

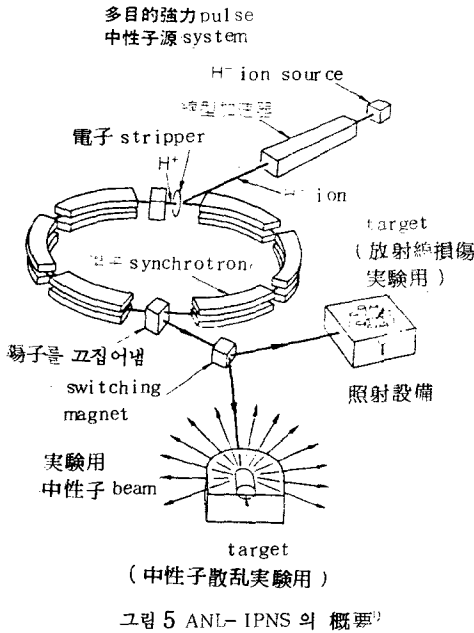


그림 5 ANL-IPNS의 概要

이 시설에는 600MeV의 양자synchrotron이 主体인데 beam 強度 3×10^{12} p/s ($10 \mu A$)의 양자beam을 우라늄표적에 맞추어서 核破碎反(spallation) 및 핵분열반응을 일으켜서 생기게한 강력한 중성자를 이용하여 고체물리나 재료손상연구에 사용하고 있다.

ANL에서의 보건물리그룹은 전체 80명이이고 이중 연구자는 약 20명이다. 보건물리의 주요 과제는 ZGS의 해체, IPNS의 운전관리, albedo型중성자선량계를 중심으로 한 중성자geometry 등이다. 그림 6은 IPNS의 area monitor 用으로 개발된 組織等価의 새로운 전리함 단면도이다.

중심부에 전극을 삽입하고 多重構造로 함으로서 有感部の 체적이 증가하여 再結合損失을 감

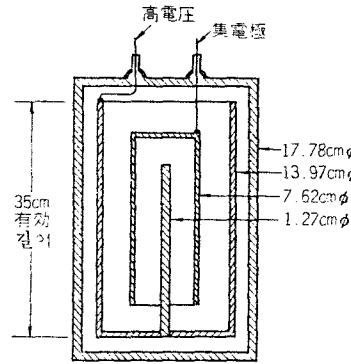


그림 6 ANL-IPNS의 area monitor 用으로 개발된 TE電離室

소할 수 있다.

(5) Lawrence Berkeley 研究所 (LBL)

대형 가속기시설은 重ion 가속을 위한 線型加速器(Super HILAC, 核子당 10MeV까지 가속이 可能), Beratron(重ion用 synchrotron, 양자는 6.2GeV, 1.5×10^{12} p/s까지 가속이 可能, 직경 38.8m), 184인치의 cyclotron(陽子を 910 MeV $1 \mu A$ 까지 가속) 등이 있다 (그림 7 참조).

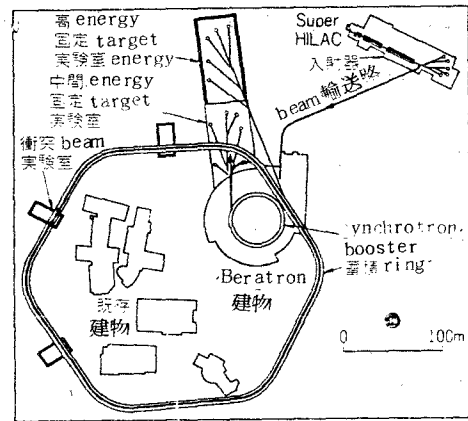


그림 7 LBL의 加速器施設 [Super HILAC, Beratron 과 計劃中인 VENUS]

LBL의 최대시설은 Beratron인데 反陽子存在의 實証등 빛나는 업적을 갖고 있는 가속기들이지만 현재는 낡은 느낌이 있다. 가속기본체는 현재 둘레 3m, 천정 2m인 콘크리트로 덮여있다. 실험용 beam course로는 重ion用 spectrometer를 장비한것 외에 2개 코오스가 核物理用이며 그 외에 의학·생물용 코오

스도 있으며 방사선의 생물효과나 환자의 진단 치료용에도 重ion beam이 사용되고 있다. 184인치의 cyclotron은 완전히 의학·생물용으로 사용되고 있는데 mouse를 사용한 기초데이터의 수집이나 환자의 치료등에 널리 사용되고 있다.

LBL은 여러가지 분야를 포함한 종합적연구소로 생화학, 지구과학, Computer 과학, 생물·의학, 핵융합연구, 에너지·환경등의 부문이 기존의 물리, 화학, 핵화학등의 부문과 함께 설치되어 있다. LBL에서의 가속기보전물리그룹은 전체 약 30명이며 연구자는 약 10명으로 Bevatron의 차폐증강을 포함해서 차폐에 관한 연구를 진행하고 있으며 우주선중성자의 연구, 차폐설계계산의 model化 (유명한 Moyer의 model이 여기서 완성되었다), 가속기 skyshine, bismuth의 핵分裂計數管등을 대상으로 한 연구활동이 행해지며 최근에는 SLAC와의 협력연구도 하고 있다.

(6) Stanford 線型加速器센터 (SLAC)

주요가속기는 세계최대의 電子加速器이다. 길이 약 2마일(3.2km)의 LINAC으로 電子를 22 GeV까지 가속시킬 수 있다. 1966년에 완성됐다.

附帶施設로는 高에너지物理實驗用인 蓄積ring, SPEAR, PEP 외에 放射實驗用인 SSR L이 있다.

보전물리그룹(所内에서는 방사선물리그룹이라고 함)에는 5명의 연구자가 있으며 電磁cascade shower의 Monte Carlo 계산코오드의 개발(W. R. Nelson이 만든 EGS code는 전세계에서 사용되고 있다)등이 행해지고 있다.

SLAC의 利用者는 실험중사에 있어서 안전관리에 관한 결정을 연구소측과 교환한다.

SLAC에서는 사업소부지경계의 연간선량인 3.4mrem정도이며 주성분은 중성자선이다. 개인피폭 감시는 신분증(ID card)에 부착된 TLD로 하고 있으나, 교환빈도나 외래자의 취급등 모든점이 만족스러운 상태는 아니다.

(7) Oak Ridge國立研究所 (ORNL)

원자력연구가 철저하기 때문에 시대의 첨단을 걷는 高에너지가속기는 가지고 있지 않으나 低에너지물리연구용으로는 세계에서 제1급의 것이 몇基있다. 25MeV의 tandem型 Van de Graaff (그림 8), 질량수 40까지의 이온을 가속시킬 수 있는 (양자는 65MeV, α 입자는 100MeV까지 加速이 可能)cyclotron, ORIC와 ORELA 라고 불리는 가속에너지 200MeV, pulse 幅 3ns, beam強度最大 15A인 電子LINAC 등이다. ORIC는“tandem”에 결합시켜 사용하며, 加速 重ion beam을 생성하고 있다.

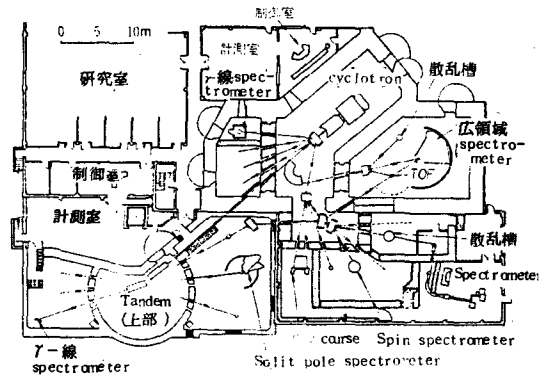


그림 8 ORNL의 tandem型加速器와 ORIC

ORNL에서는 보전물리의 기초에 관한 연구분야에서 大量的의 성과를 올렸으나 현재는 그活力이 다소 떨어지고 있는것 같다.

ORNL에는 Oak Ridge Associated Universities 라고 하는 조직이 있어, NRC의 위탁을 받아 민간의 산업용가속기시설의 환경조사를 연방정부(NRC)를 대행해서 하고 있다. 측정결과를 관리기준과 비교하고, 또 해당시설로부터 제출된 monitoring의 결과와 대조해서 측정방법이 적절한지 여부를 판정하고 있다.

(8) 中間子工場, 中性子工學, 光工場

中間子工場이란, pion이나 muon을 의식적으로 대량 만들어 주로 물질구조해명에 사용하

려는 것이다. 주요시설로는 LASL의 LA MPF, 스위스의 SIN, 캐나다의 TRIUMF 등 3 개소가 있고 일본에도 KEK의 booster 이용 시설의 일환으로 만들어진 중전자과학연구시설이 있다. 만들어지는 muon의 強度比較를 그림 9에 표시하였다.

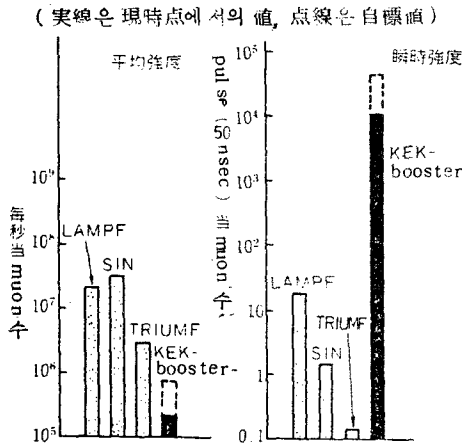
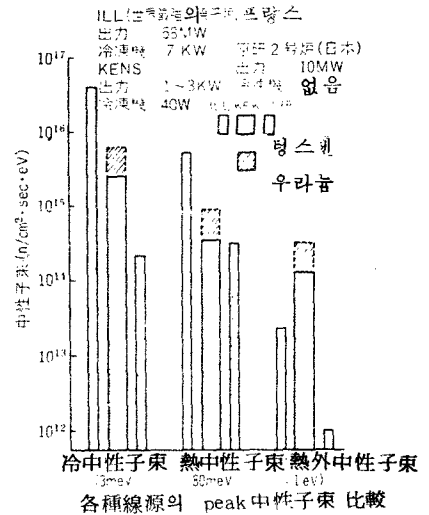


그림 9 中間子工場에서의 muon 強度比較

中性子工場으로 현재 가동하고 있는 것은 ANL의 IPNS, KEK의 KENS, LASL의 WNR, 스위스 SIN의 기초연구시설이 있으나 최대의 出力을 갖고 있는것은 KENS이다. 그 외에 영국의 SNS (Spallation Neutron Source) 계획, 서독의 공동연구계획등이立案되고 있어 強力한 中性子源을 구하는 치열한 국제경쟁이 시작되고 있다. 그림 10에 가속기를 사용한 冷中性子和 원자로와의 출력강도比較예를 나타내었다. 이들 強力中性子源에서는 中性子取量을 높이기 위해 target에 우라늄을 사용하려는 것이 일반적인 例인데 LASL과 ANL에서 이미 사용한 經驗이 있다. 이 경우는 핵연료물질을 연소시키는 것과 같으므로 방사선관리 업무는 한층더 복잡해질 것이다. 歐美各國은 다같이 이와같은 시설의 안전심사에는 원자로시설에 준해 대단히 엄격하게 취급하고 있는것 같다 (예를 들면 ANL의 IPNS의 안전분석보고서는 158 page 이다).

그림 10 中性子工場의 強度比較)



光工場이란, 高에너지電子를 蓄積ring에 저장하여 電子가 ring속에서 軌道를 급격하게 변할 때에 방출하는 빛 (synchrotron 放射光)을 사용하여 物性研究등을 행하는 실험시설이다. 방사선방어의 대상이 되는 光子의 에너지영역은 可視光에서부터 GeV 영역까지 대단히 넓으며, 高에너지光子가 媒質을 통과할 때 만드는 電磁cascade에 대한 차폐 (高에너지 중성자가 光核반응에서 생성된다)와 軟 X선의 dosimetry 등이 보전물리에서 課題가 될 것이다.

(9) 衝突型加速器

최첨단의 가속기는 素粒子나 원자핵등 micro 世界の 物理를 追求할 목적으로 만들어지는 것이 보통이며 보다 더 micro 世界를 볼 수 있도록 가속에너지를 증대시키는 것이 결정적으로 중요하다. 따라서 최첨단을 향한 경쟁은 항상 최고가속에너지에 대한 경쟁이었다.

그러나, 固定 target에 가속입자를 충돌시키는 일반적인 방식에서는 에너지가 높아짐에 따라 그 입자가 갖는 운동에너지가 系重心의 운동 에너지에 보다 많이 흡수 되기 때문에 충돌에 유효하게 이용되지 않게 된다. 실험에 활용되는 에너지 즉 重心系의 충돌에너지 (E*)는 가속된 입자의 全에너지 (mc² : m, γ는 각각 가속입자의 靜止質量과 가속된 입자를 實驗系에서 보았

을 때의 Lorentz 因子)의 平方根에 비례해서 증대하는데 불과하다.

가속된 입자의 에너지를 충돌에 유효하게 이용하려면 target가 되는 입자도 高에너지로 가속시켜 서로 정면충돌시키는 것이 좋다. 이 경우의 충돌에너지는 $E^* \approx (4m_1 m_2 v_1 v_2)^{1/2} c^2$ 이 된다. 添字 1, 2는 충돌시키는 2種의 입자를 나타낸다. 같은 종류의 입자를 같은 에너지로 가속시켜 충돌시킬 때는 $E^* \approx 2mrc^2$ 이 되어 兩쪽 입자의 에너지sum이 된다.

충돌형에서 100GeV 이상이 되면 일반적인 가속기로는 실현불가능한 높은 에너지의 실험이 가능해지며 또 충돌형에서는 陽電子와 電子의 충돌과 같이 정상적인 방법으로는 불가능한 組合의 실험도 가능하게 된다. 현재 陽子-陽子, 陽子-反陽子, 電子-陽電子 등의 충돌형가속기가 完成되었거나 더욱 높은 에너지의 것이 건설중 또는 계획중이며 陽子와 電子 組合으로 충돌시킬 계획도 있다.

그림 11에 도달시킨 가속에너지의 伸長을 나타내었다. 보전물리적으로 충돌형가속기는 가속중 beam 손실이 매우 적어서 殘留방사능의 생

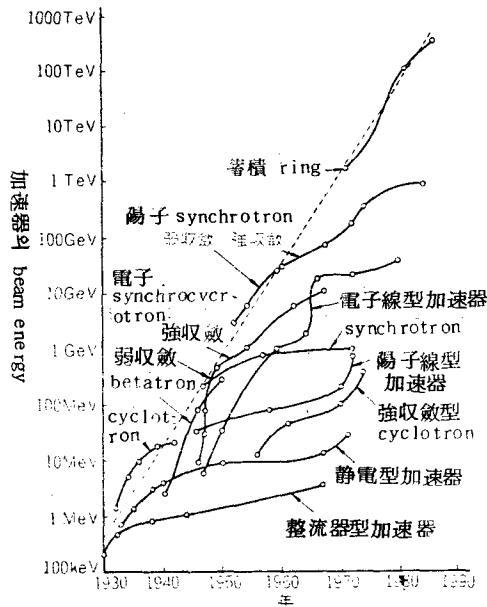


그림 11 加速器와 蓄積 ring energy의 伸長

성등이 적기때문에 방사선관리가 쉬우나 試驗時에 beam 손실이 많아 定常時와는 다른 対応이 요구된다.

(10) Los Alamos科學研究所 (LASL)

軍事研究를 중심으로 한 시설로 大型의 中間子工場(LAMPF)이 있으며 beam出力이 세계 최대인 陽子加速器(800MeV, 1mA의 線型加速器)를 보유하고 있다. 방사선관리는 3人×4組, 12人으로 24시간 교대근무를 하고 있다. target 부근에서의 空間線量率은 1000R/h에 달하고 있으며 보전물리그룹은 21명으로 이중 연구자는 3명이다.

(11) 스위스原子核研究所 (SIN)

590MeV의 陽子 cyclotron을 갖고 있으며 보전물리그룹의 人員은 12명으로 인접해있는 원자력연구소와 협력해서 방사선관리를 하고 있다.

개인피폭 감시에는 TLD (LiF)의 固体飛跡檢出器(SSTD)를 사용하고 있는데 SSTD에는 중성자선량추정을 위해 U-235 1%와 Al 합금 및 Th金屬片이 부착되어 있다. 콘크리트 차폐체(輕콘크리트는 가까운 공장에서 만들었고, 重콘크리트는 서독에서 구입)의 表面線量率은 5 merm/h 정도이고 출입을 금지시키고 있다. 중성자 skyshine에 의한 부지경계에서의 선량기여는 50mrem/y 정도이다. 사용한 target 등을 취급하는 곳의 차폐 관리목표치는 100mrem/h로 정해져 있다.

放射化器材의 加工室에는 3次元의 立体 TV를 비치한 원격조작방식의 공작기계를 개발해서 사용하고 있다.

(12) TRIUMF

캐나다에 있는 中間子工場으로 500MeV, 10μA의 陽子 cyclotron이 있다. 안전그룹의 人員은 6명이고, 이중 연구자는 3명이다.

中間子工場의 특징인 유도방사능이 보전물리의 중요한 과제로서 유도방사능의 생성율을 고

려해서 가속기의 beam強度를 500MeV 加速에 대해 100 μ A로 억제하고 있다. 施設에서부터 부지경계까지의 최단거리는 약 100m이며 환경으로의 방사선 영향은 skyshine 중성자에 의한 것 ~100mrem/y, 방사성기체에 의한 것 ~1 mrem/y이다.

空調filter에 부착되는 방사성핵종은 거의 Be-7 뿐이나 I-123도 認知되는데 이것은 의료용RI를 생산하고 있기 때문이라고 생각된다.

cyclotron의 유도방사능 survey는 로보트에 의한 원격조작으로 하고 있다. 운전정지후의 cyclotron 보수는 지하에서 원격조작하여 本体를 上·下部로 분리·해체하고 5cm두께의 납차폐로 開口部전체를 덮음으로서 작업자의 피폭저감화에 노력하고 있다.

중성자생산용 target로 한때 Pb-Bi를 사용한 적도 있으나 방사능 관리가 어려워 현재는 2.5cm두께의 不銹鋼製容器에 넣은 Pb(액체상에서 사용)만으로 하고 있다. 또한 Xe 등의 기체나 Hg의 발생이 문제가 되어 monitor에 주의하고 있다.

실험용 target로는 Cu와 Be를 사용할 경우가 많고 容器로는 Al을 사용하고 있다. U나 Th의 경우도 이 容器를 사용하고 있으며 canning은 하고 있지 않다. 실험target는 beam強度를 公称最大値(허가조건)의 1/10로 사용할 때, 사용정지직후 1m 지점에서 ~5 R/h가 되며 magic hand에 의해 원격조작으로 취급된다. 해체할 때는 glove box가 사용된다.

공작실에서는 表面線量率이 0.1mR/h 이하이면 가속기내에 있었던 것이라도 기계가공을 인정하고 있다. 차폐체로는 긴(2×5×100인치) prestressed concrete를 사용하고 있다.

2. 加速器保健物理의 最近 傾向

(1) 加速器保健物理의 組織

보건의 물리의 조직에 대해서는 연구부문과 관리부문으로 나눌 것인가 여부에 대한 의견이 오래전부터 있었다. ORNL, BNL, ANL 등에서는 이들을 분리한 형태로 보건의 물리가 시작되어

단기적으로는 성공을 거두었다. 그러나 가속기 보건의 물리는 가속기의 高에너지化, 高強度化, 신형가속기의 도입등으로 인해從來에는 없었던 새로운 문제에 직면할때가 많으며 또한 이들 문제는 항상 現場에서 先行되는 형태로 표면화될때가 많았다. 그러므로 연구와 관리가 잘 조화를 이루지 않으면 전체의 새로운 변화에 대응할 수 없게 되었다. 그래서 연구와 관리는 조직적으로 가까운곳에 있는 것이 바람직하게 되었다. 좋은 연구가 행해지고 있지 않은 곳에서는 좋은 관리가 행해지기 어려우며 좋은 연구는 현장과 밀착해서 비로소 가능하다는 것이 보건의 물리학, 방사선 방어학의 특징이다.

1970년 중반에 가속기보건의 물리부문조직의 명칭이 많이 변경되었다. 예를들면 영국 Harwell 연구소에서는 Health Physics and Medical Division이 Environmental and Medical Sciences Division으로, 미국 BNL에서는 Health Physics and Safety Division이 Safety and Environmental Protection Division으로, LBL에서는 Health Physics Department와 Health Chemistry Department가 통합되어 Environmental Health and Science Department로, ORNL에서는 Health Physics Division이 Health and Safety Research Division과 Environmental Sciences Division으로 변경되었다. 이것은 종래의 방사선작업 종사자중심의 방사선관리에서 환경보존에도 역점을 둔 방사선관리로 변한 것을 의미한다. 가속기시설에서 환경에 작용하는 요소로는 skyshine, 방사성가스의 방출등이 있고 지하수의 방사화에 대해서도 검토가 필요하다. 이들의 문제가 가속기의 대형화에 따라 강하게 인식되어 왔기 때문에 이와같은 명칭변경이 계속되었다고 생각된다.

(2) ALARA와 被曝低減化

ICRP의 1977년 권고에 있는 最適化의 원칙을 구체화하기 위한, 즉 ALARA(as low as reasonably achievable) 정신의 구체적방법을 제시

하기 위해 미국에서는 최근 DOE가 guide line 을 작성했다. 미국에서 대형가속기시설의 안전 심사는 DOE의 소관이며, DOE의 심사위원회에서 상당히 엄격한 심사를 하고 있다.

가속기시설설현장에서의 피폭저감화 방향은 다음과 같은 형태로 진행되고 있다. 먼저, 선량관리 기준을 내리는 노력이 시작되었다. 예를 들면, BNL에서는 1일 400 mrem의 선량한계를 1일 200mrem까지 내렸다. 그다음, 작업현장의 관리가 강화되고 있다. 이것은 가속기시설의 interlock system 강화와 가속기정지후의 출입금지강화(BNL의 AGS에서는 가속기 정지후 4시간은 출입금지로 되었다) 형태로 실행되고 있다. 또 피폭저감화를 위한 적극적인 방법으로 로보트나 manipulator를 도입시키는 곳도 많다. 예를 들면 LAMPF에서는 5m에 가까운 대형 manipulator가 도입되었고 SIN에서는 3차원 TV를 통해 보면서 조작이 가능한 원격제어를 개발하고 있다.

(3) 個人被曝管理

개인피폭관리에는 오래전부터 Film Badge가 많이 사용되어 왔다. 원자력시설에 부속되어 가속기가 설계된 경우에는 자체에서 FB 검사를 하는 곳이 많으나 직접 대형가속기의 설치부터 시작한 연구소에서는 FB의 外注方式을 채택하고 있는곳이 많다. ORNL은 자체검사, FNAL은 당초부터 外注하고 있는것이 그 예이다.

그러나 최근에 와서는 다소 사정이 달라지고 있다. 즉, BNL에서는 인원, 예산을 삭감시키기 위해 FB를 外注方向으로, LBL에서는 종래의 자체검사 대상인원을 대폭적으로 줄이고 대신에 검사의 질을 향상시킨다든가, 중성자의 monitor에도 유의하는 등의 방향으로 나가고 있다. 이와같은 움직임과 관련하여서 개인피폭평가를 행하는 主体가 민간, 연구소 등 개개의 사업소 또는 국가기관 어느 쪽이 좋을까라는 점에 대한 의견이 많아서 영국에서는 Harwell의 보건의물리부 일부를 National Radiological Protection Board로 독립시켜 국가에서 통일된 개인피폭관리를 행하도록 하고 있다. 이것은 소

련에서도 같으며 과학아카데미가통일해서 개인 피폭선량평가를 하고 있다. 서독에서는 중간형으로 민간 기관에 국가기관이 개입된 형태로 선량관리를 하고 있다.

일반적으로 가속기 시설에서는 γ 선이외에도 중성자 monitor를 할 필요가 있으며 열중성자용 FB이외에 固体飛跡檢出器나 albedo型 檢出器가 유망하다고 하나 현재로서는 아직 유효성이 모색되고 있는 단계이다.

(4) 기타

[TMI 事故] 1979년 3월에 발생한 TMI 사고는 가속기 보전물리에 대해서도 영향을 주었다. 전형적인 예는 방사성기체방출의 규제 강화인데, 예를 들면 ANL에서는 IPNS용 우라늄target의 핵분열생성물 누설을 검출하기 위해排氣系統의 gas monitor에 극소형 computer를 내장한 플라스틱 scintillator 系統으로 되었다. 또, BNL에서도 重水炉의 tritium monitor에 micro computer를 접속시켜 자동 monitoring시키고 있다.

[磁場] 가속기시설에서는 대형 magnet를 사용할 경우가 많은데 磁場에 대한 규제가 최근 대두되고 있다. 表3에 DOE와 소련에서의 자장에 대한 規制値를 나타내었다. 한편 BNL에서는 DOE의 규제치가 너무 엄격하다는 의견을 제기하고 있다.

表 3 定常磁場에 對한 安全管理基準

(1) 美國에너지省 (DOE)

	1日 8時間作業	1週間未滿	10分未滿
全身 또는 頭部	0.01 F*	0.1 T	0.5 T
손 발	0.1 T	1 T	2 T

* 1 T (Tesla) = 10,000 Gauss

(2) 소련 (A. M. Vyalov의 勸告値)

	磁 場	勾 配
全 身	0.03 T	0.05 ~ 0.2 T/m
손	0.07 T	0.1 ~ 0.2 T/m