

電子線型 加速器的 製作과 國際的 利用現況 (II)

鄭 萬 永*

25 MeV 일 때는 $n=2.5$

4. 動作特性和 應用分野

가. 動作特性

(1) γ 線 發生特性

一般的으로 Linac 에서 2~30 MeV 의 energy level 로 加速된 電子群이 質量이 무거운 金屬物質로 된 Target 에 衝突하면 制動輻射(bremsstrahlung)가 일어나서 γ 線을 發生한다. 이 때의 電子 beam 은 集束이 容易하고 空氣中에서도 이러한 變換이 可能하므로 여기서부터 나오는 強한 γ 線을 쉽게 照射하는데 利用할 수가 있다. 이때 發生하는 γ 線 強度는 1 m點에서 1 分間의 線量 X(rad)로 表示하면

$$X = k i a V^n$$

여기서 n 은

$$V = 4 \text{ MeV 일 때는 } n = 3.0$$

$$10 \text{ MeV } // \quad n = 2.7$$

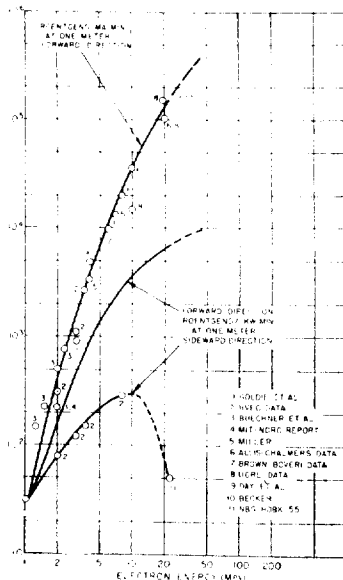


그림 12. 電子 energy 에 對한 X-ray 發生率

로 하고

$$k = 0.07$$

로 한다.

이러한 關係는 各種 實驗에서 얻은 data 에서 確認할 수 있으며 그것을 圖示한 것이 그림 12 이다.

한 例로서 12MeV 의 電子 energy 에서 200mA(peak) 의 電子流을 얻었다고 하면

$$X = 5 \times 10^4 \times 200 \\ = 1 \times 10^7 \text{ (rad)}$$

가 되어서 普通 2000 curie 의 Co^{60} 보다 2.2×10^5 배나 強하며 平均値로 해서도 duty ratio 가 0.001 이라면 220 배가 強한 것이 된다. Linac 의 負荷特性에서 最大 X-ray 를 낼 수 있는 動作點의 電子流 및 energy 는

$$i_{x \max} = \sqrt{\frac{2 \alpha P}{r} \frac{k}{1-k} \frac{1}{n+1}} = \frac{V}{rL(1-k)(1+n)}$$

$$V_{x \max} = LV \sqrt{2 \alpha r P} \left(\frac{n}{n+1} \right) k = V_0 \left(\frac{n}{n+1} \right)$$

가 되며 例로서 $n=3$ 일 때는

$$V_{x \max} = 72\% V_0$$

가 된다. 따라서 無負荷時의 最高 energy 點에서는 X-ray output 는 最大가 아니고 0 이 되나 그 無負荷時의 energy level 의 70% 附近에서 最大 X-ray output 를 얻을 수 있다. 또 그 安全度는

$$\frac{\Delta X_m}{X_m} = 1 - \left[1 - \left(\frac{n+1}{n} \right) \frac{\Delta V_0}{V_0} \right]^n$$

에서 $Jf=100 \text{ kc}$ 에서 $\alpha L=0.2$ 이면 1.7%, $\alpha L=0.6$ 이면 14.2%가 된다.

(2) 中性子의 發生特性

前述한 制動 輻射에 依한(γ, n), 또는 (γ, f)作用으로 中性子를 얻을 수 있는데 이때 target 로서는 20 MeV 以下에서 Be^7, Be^9 를 15 MeV 以上에서는 U 를 利用하여 그림 13 과 같은 中性子 發生特性을 얻고 있다.

여기서 12 MeV 에서 200 mA 의 Peak current 의 集束 電子流을 Be^7 target 에 inject 하면

$$1.5 \times 10^9 \times 200 \times 10^3 = 3 \times 10^{14} \text{ (n/sec)}$$

의 pulsed neutron 을 얻을 수 있다. 平均出力으로서는

* 原子力研究所 · 電子工學研究室 · 王博

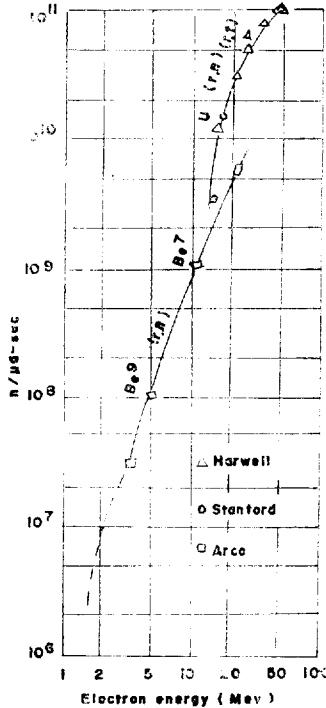


그림 13. 電子 energy 에 對한 中性子 發生率

3×10^{11} n/sec 로 된다. 한편 中性子의 飛行時間 等에 依한 中性子 物理研究에 必要한 中性子數를 얻으려면 U target 에 15MeV 以上이 必要하며 15MeV 에서 20MeV 사이에서는 急激한 增加率을 보여주고 있으며 20 MeV 에서 最高가 되고 더 以上 큰 energy 에서는 增加率이 차차 低下된다. γ 線의 energy 가 더 增大하여서 150 MeV 以上이 되면 π 中性子까지 만들 수 있어서 多段 加速管으로서 150 MeV 以上 45 GeV 까지의 것이 만들어 지고 있다.

나. 應用分野

Linac 은 그 電子流로 보나 X 線으로 보나 또 中性子發生率을 보나 直線의인 原理에서 高壓을 必要로 하지 않고 낮은 데서 부터 높은데는 制限이 없이 높은 energy 를 낼 수 있다. 그리고 그 電子流에 있어서도 Betatron 이나 Synchrotron 보다 큰 電子流를 容易하게 空氣中에 낼 수 있는 點에서 다른 加速器의 追從을 許容치 않는다. 이러한 것을 直流式 加速器와 比較한 것이 그림 14 이다. 여기서는 beam energy 가 1000 MeV 以上에서 中斷되어 있으나 45,000 MeV 까지 가 實現되려 하고 있고, 電子流에 있어서도 大電流型이 出現하고 있어서 1000 mA 를 超過해서 2000 mA 의 것이 얻어지고 있다.

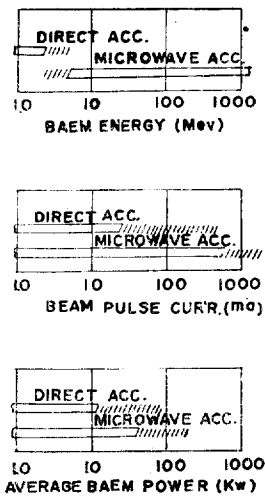


그림 14. 直流式 加速器와 Linac 와의 特性比較

以上과 같은 것이 1分間의 平均 Dose 로 圖示된 것이 그림 15 로서 50 MeV 의 Betatron, 180 MeV 의 Synchrotron 보다 Dose in rads 로 보아서 約 100萬倍 以上 간다는 것을 알 수 있으며 이로서 短時間에 作用할 수 있는 여러가지 效果가 나와 있다. 여기서 이러한 效果를 利用한 項別別 用途를 例示하면 다음과 같다.

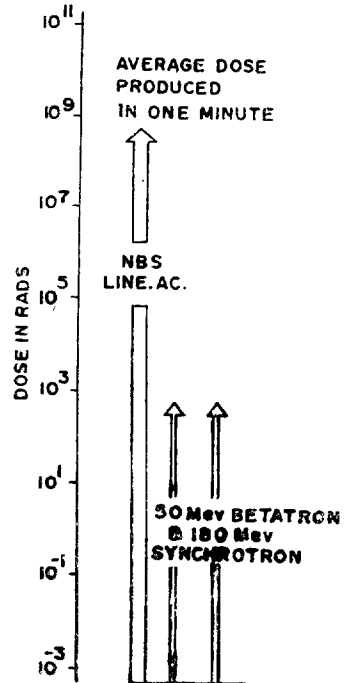


그림 15. 名種 加速器의 X 線發生率比較

(1) 放射化學

各種 高分子 化合物의 強度, 溫度特性, 電氣的인 絕緣性은 放射線 照射에 依하여 改善된다. 特히 polyethylene 架橋, 고무의 加硫絶緣 塗料등은 電線 製造에 直接 應用된다. 또 合成纖維의 染色性을 向上시키고 化學反應의 促進劑로서 BHC의 合成 Benzen의 合成등에 使用된다.

(2) 殺菌, 滅菌

顯한 Dose rate로 豚肉같은 것을 polyethylene 包裝에 封入한 채로 殺菌해서 空氣와 接觸하지만 얇게 하면 長期間 貯藏이 可能하며 藥品도 마찬가지로 殺菌하며 食物의 殺菌, 감자의 發芽防止 醫療器具의 消毒으로서 注射器등은 開封만 하면 沸騰水에 消毒을 하지 않고 即時로 使用할 수 있기 때문에 消毒을 할 수 없는 特殊한 境遇 未開 地方用으로 많이 輸出되고 있다.

(3) 非破壞檢査

Radiography에서 Co⁶⁰보다 短時間에 boiler, 原子爐 missile, crank shaft 등의 複雜한 型狀을 破壞 또는 分解하지 않은 채 透視 檢査할 수 있다.

(4) 醫療用

表面線量 및 骨組織에 吸收되는 線량이 적으면서 작은 焦點으로 많은 線량을 患部에만 照射할 수 있는 것은 6 MeV 以下の Linac가 가장 適合하며 X-ray, Co⁶⁰, Cs¹³⁷보다 큰 效果를 낸다. 例로서 癌, 腫瘍, 自律神經 疲患, 皮膚病의 治療 등에 過去의 X線 裝置를 取換하는 것과 마찬가지로 크기면서 Co⁶⁰이나 Cs¹³⁷의 效果를 兼하던서 더 길은데 까지 照射하는데 없어서는 안될 것으로 되어 있다.

(5) 物性研究

高分子, 金屬, 液體 등의 基礎實驗 研究등에 使用된다.

(6) 物理 研究用

固體物理研究, 原子核實驗 및 研究方面에 使用된다.

5. 國際的 利用現況

Linac은 二次大戰後 世界 各國에서 顯著한 發展을 보이고 있으나, 高出力의 代表的인 큰 例를 그 出力 energy level과 平均 beam 電流로서 圖示하면 그림 16과 같다. 여기서 1963年度의 狀態를 나타낸 것이 同圖의 點線이나 이와같은 大型加速器 以外에도 工業用, 醫療用, 低 energy 物理用에서도 約 30 MeV 以下の 것은 해야할 수 없을 만큼 많다.

가. 美 國

美國에서의 Linac은 radar 製作에 從事했던 技術者들

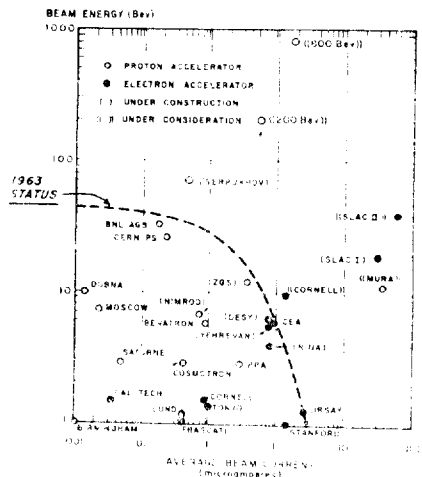


그림 16. 高出力加速器의 國際的 發展相

이 Stanford 大學의 Hansen 教授 밑에 모여 1947 年에는 이미 radar에서 使用했던 0.9 MW Magnetron을 使用하여 12'의 加速管으로서 6 MeV를 1 mA까지 얻은 것이 最初이다. 이것을 Mark I이라 稱하고 周波數는 여기서 2856 MC로 定해졌다. 그後 Magnetron의 周波數 變動과 出力을 改善하기 위해서 20 MW出力의 Klystron을 同大學의 Varian 教授가 開發하자 周波數도 安定되고 變調出力이 커져서 1950 年代에 Mark II라고 해서 40 MeV의 것이 完成되었다. 이러한 Klystron을 使用해서 多段加速하는 방식에 自信을 얻자 1955 年에는 Mark III라는 10'의 基本加速管을 使用해서 22段 加速으로 630 MeV의 것을 完成했으나 그 過程에는 커다란 困難이 많아서 이것의 完成을 보지 못한채 Hansen 教授는 別世하여 버렸다. 그러나 이 일을 풀은 科學者들이 繼承해서 連轉後 5年만인 1960 年에는 1000 MeV=1 BeV까지 올릴 수 있었다. 한편에서는 두 段만 使用한 小型 加速管으로 1957 年부터 Mark IV를 製作해서 75 MeV를 生物實驗用으로 完成하므로써 길게만 하면 더 큰 出力을 낼 수 있었다는 基礎가 되자 1965 年末까지 完成할 Project M는 그 길이가 2 mile이나 되는데다가 24 MW의 出力 Klystron 960 個를 驅動하여 Stage I에서 22.2 BeV, Stage II에서 다시 44.4 BeV를 낼 것을 目標로 하고 있다. 完成時에는 技術者나 管理事務의 사람만 해도 500 명이 保守에 從事하고 50 名의 研究職의 人員이 研究에 從事할 것이라 하며 이러한 것은 microwave laboratory와 physic laboratory에서 基礎가 이루어 지자 Hansen 教授의 이름을 따서 Hansen laboratory로 獨立하게 하였다. 그간의 中間成果는 SLAC(Stanford Linear Accelerator Center) report로서 나오고 있으며 AEC 補助金은 1 億 2 千萬弗에 達한다. 그림 16

과 같이 그 energy 에 있어서나 平均電流에서 世界最大의 것이 될 것이다. 커기의 주된 specification 이 表 3 이다. 이것은 在來의 것들과는 그 動作, 波動, 姿態에 있어서 $2\pi/3$ mode 를 採用한 點이 다르며 階段이 $10'$ 로서 이러한 것을 960個나 地下로 埋設하여 地1에서 變調하는 micro 波 電源部가 備置되는데 그 全景이 그림 17 이다.

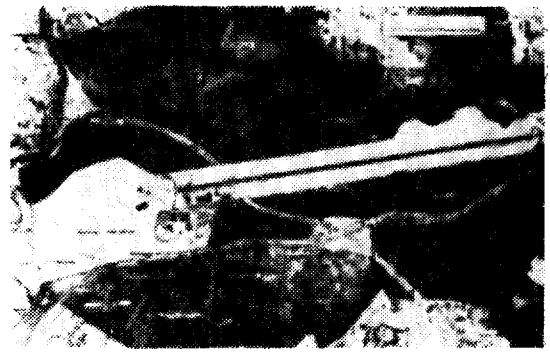


그림 17. Stanford two-mile Linac 配置圖

表 3. Principal Maccelerator specifications

	Stage I	Stage II
Accelerator length	10,000 feet	10,000 feet
Length between feeds	10 feet	10 feet
Number of accelerator sections	960	960
Number of klystrons	240	960
Peak power per klystron	6-24 MW	6-24 MW
Beam pulse repetition rate	1 360 pps	1 360 pps
RF pulse length	2.5 μ sec	2.5 μ sec
Electron energy, unloaded	11.1-22.2 BeV	22.2-44.4 BeV
Electron energy, loaded	10-20 BeV	20-40 BeV
Peak beam current	25-50 ma	50-100 ma
Average beam current	15-30 μ a	30-60 μ a
Average beam power	0.15-0.6 MW	0.6-2.4 MW
Filling time	0.83 μ sec	0.83 μ sec
Electron beam pulse length	0.01-2.1 μ sec	0.01-2.1 μ sec
Electron beam energy spread(max)	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$
No. of electron energy levels	up to 6	up to 6
Accelerator vacuum	$< 10^{-5}$ mm of Hg	10^{-5} mm of Hg
Operating frequency	2856 Mc/sec	2856 Mc/sec
Operating schedule	24 hrs/day	24 hrs/day

Klystron 部와 加速管部는 그림 18 과 같이 弱離되어서 設置되고 있다.

이상은 Stanford University 에서의 發展을 中心으로 記述하였다. 한편 이와는 달리 1952 년에 MIT 에서도 Slator 가 中心이 되어서 Magnetron 에다 加速管을 定在波型의 π mode 로 20 段이나 使用해서 16 MeV 의 energy 를 얻는데 成功했으나 그 後에 大出力 Klystron 의 出現으로 前記 Stanford Univ. 와 관련이 있는 下請

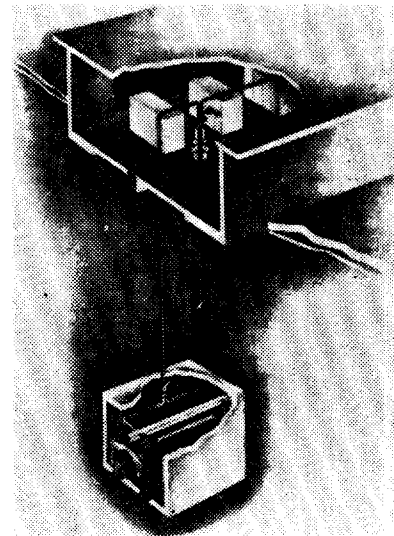


그림 18. 加速管部를 勵振하는 klystron 의 配置圖

maker HVEC 와 ARCO 가 合併하여 Varian 등 여러 各 工業用, 醫療用 또는 低 energy 核研究用으로 全世界에 生産輸出하고 있다. 특히 ARCO 에서는 L band(1300 Mc)에서 9 段으로 $\pi/2$ mode 로서도 4.6 μ sec 의 Pulse width 에 對하여 800 mA 에서 비로소 Pulse shortening effect 가 일어나며 0.1 μ sec 의 Pulse width 에서는 66 MeV 로 2 A 의 瞬間的인 電子流 密度가 L band 의 큰 cavity 面積에 蓄積되었다가 한꺼번에 나올 수 있다는 등의 特徵이 確認되었었다. 이 以外는 다 S band 로 HVEC Varian 等の 20 MeV 程度의 것이 工業用으로 6 MeV 程度의 것이 醫療用으로 許多하게 나오고 있으며 여기에 하나씩 들 수가 없을 만큼 많다.

이 가운데서도 醫療用的 Varian 製는 그림 19 와 같이 X-ray 裝置와 비슷하게 使用할 수 있으며 특히 ion pump 를 使用하고 있으며 beam 을 90° 굽혀서 胴體部에 加速

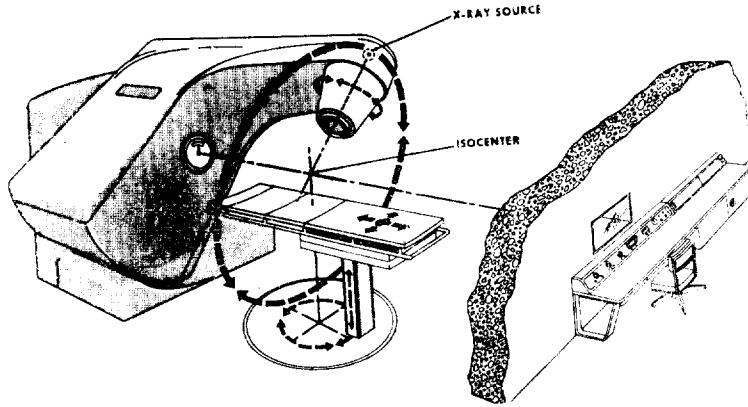


그림 19. 醫療用 Varian 製의 Linac

表 4. 美國의 代表的인 電子 線型 加速器 特性

設置場所	Stanford		MIT	NBS	RPI
	Mark III	M			
maker	自 體	"	自 體	HVEC	ARCO
mode	$\pi/2$	$2\pi/3$	π	$\pi/2$	$\pi/2$
最高 energy	1000 MeV	45 GeV	16 MeV	130 MeV	35 MeV
beam 電流	100 mA	50 mA	10 mA	242 mA	80 mA
局 波 數	2856 Mc	2856 Mc	2800 Mc	1300 Mc	1300 Mc
μ 波 管	klystron.	klystron	magnetron	klystron	klystron
μ 波 電 力	20 MW \times 22	24 MW \times 960 \times 2	0.8 MW \times 2.9	5 MW \times 12	5 MW \times 9
單 一 加 速 管 長	3.05 m	3.05 m	3 m	2.5 m	9 m
全 長	66 m	3 km \times 2	60 m	22.5 m	81 m
完 成 年	1954	1966	1952	1962	1962
備 考					

관을 두고 있는 점이 특이하다고 할 수 있다. 以上 主要한 것만을 綜合해서 項目別로 表示하면 表 4와 같다.

나. 英 · 佛

Linac의 起源은 Sloan과 Lawrentz에 依해서 始作되었던 것이 兩人이 Cyclotron, Synchrotron으로 究아 갔을 때 英國에서는 Cockcroft Walton에 依해 進行波 加速管의 可能性을 指摘받아 戰後 일찌기 D.W.Fry 및 W. Walkinshaw 등에 依하여 Magnetron type가 着手

되었었다. 이것이 美國과 다른 점은 歐羅巴에서 使用되었던 radar가 3000 Mc에 가까운 2.999 Mc 帶였으며 이것이 1947년에 540 KeV로 實驗되었다가 1952년에는 3.5 MeV, 1957년에는 15 MeV의 것이 각각 Harwell에서 完成을 보았던 것이다. 그 後는 醫療用으로 各 大學病院마다 設置되어서 看護婦가 運轉하고 또는 工業用으로 큰 工場의 職工손으로 運轉될 만큼 發達되었으나 特別히 高 energy의 것은 없었다. 여기에 比하여 德國의 CSF에서는 25 MW의 高電力 klystron과 micro 波

技術로서 高 energy 部門만을 開拓하여 結果的으로는 英, 佛이 相補의인 役割로서 歐羅巴의 Linac 는 다 차지하게 되었다. 例를 들면 Saclay 의 30 MeV 100 mA, Beljum 의 60 MeV 3 A, 10 ns 의 아주 짧은 時間의 電子流 또는 Germany 의 3000 MeV, 180 mA 등에서 Stanford Mark III 를 設計 model 로 한 Orsay 의 1 GeV, 20 mA 등은 佛의 CSF 에서, 한편 英國의 Vickers 는 6 MeV 의 것을 X band 에서 醫療用으로 compact 하게 내고 있는 것으로서는 唯一한 maker 이다. 其他 Mullard 의 S band 의 것은 가장 많이 나가 있으나, 最近은 같은 S band 에서도 回轉하는데 便宜하고 더 小형의 것들이 나오고 있다.

以上の 것들 가운데서 代表的인 것들 綜合하여 項目別로 表示한 것이 다음 表 5 이다.

表 5. 英·佛의 代表的인 電子線型 加速器 特性

設置場所	Harwell (Philips)		Orsay	世界各國
	No. 1	No. 2		
Maher	Philips		CSF	Vickers
型 式	$\pi/2$	$\pi/2$	$\pi/2$	$\pi/2$
最高 Energy	3.5 MeV	15 MeV	1.3 GeV	6 MeV
Beam 電流	20 mA	25 mA	20 mA	33 mA
周 波 數	2997.6	2997.6	2998 Mc	9250 Mc
μ 波 管	Magnetron	Magnetron	klystron	Magnetron
μ 波 電 力	1 MW	2 MW	20 MW \times 16	1 MW
單 一 加 速 管 長	2 m	3 m	6.1 m	0.6 m
全 長	2 m	6 m	130 m	0.6 m
完 成 年	1952	1953	1964	
備 考				acc. tube Seal Off type

다. 日 本

日本에 있어서의 加速器의 發達은 戰前은 손꼽을 만 한 것이 있었으나 戰後後 原子物理部門의 實驗까지도 禁止되자 1956 年에 原子力研究所가 될 때까지는 完全히 根絶當했다. 그러나 前記 研究所가 되자 1957 年에 原子線과 함께 Linac 가 美國에 發注되었으나 1960 年 4 月에 HVEC 의 20 MeV 것이 完成될 때까지 거의 없었다. 그러나 國內 maker 로서는 東芝와 新三菱가 각각 東京大學 核研究所와 共同으로 國産化에 着手하자 다른 富士電機, 日立製作所 및 各 大學에서도 앞을 다투어 가면서 製作에 着手했다. 이러한 가운데서도 東芝는 名古屋 工業試驗所에 1960 年 6 月 8.5 MeV 의 것을 日本國産 第 1 號機로서 納入했다. 그후 東大核研에서도 1961 年 2 月에 1 BeV 電子 Synchrotron 入射用으로서 加速器는 新三菱重工, micro 波電源은 東芝의 組立式 klystron

ron 으로서 完成을 보았다. 그 間 1960 年 12 月에 原研 것이 組立 完成되어서 翌년에는 各種 test 가 끝나자 國內 maker, 大學에서의 model 이 되었다. 그러한 點에서 비록 加速管部와 micro 波部는 輸入했으나 中性子飛行時間 測定用 drift tube, Q magnet, magnet analyzer 등등은 全部 國內에서 調達되었다. 이런 點에서 原研의 Linac 는 마치 美國에서의 Stanford university 의 役割을 했다고 해도 過言이 아니었다.

그림 20 은 日本原研에 設置되어 있는 HVEC 製 Linac 의 加速管部이다.

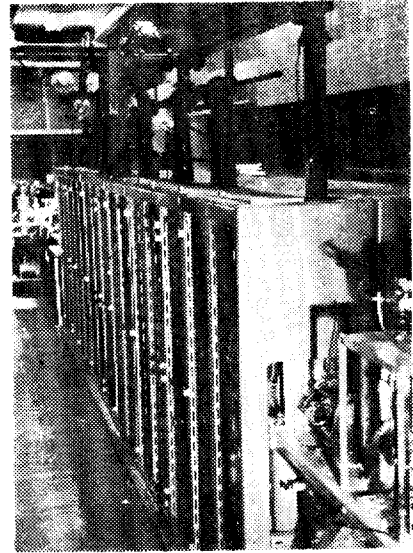


그림 20. 日本原研에 設置되어 있는 HVEC 製 20 MeV Linac.

表 6. 日本의 代表的인 電子線型 加速器 特性

設置場所	日本原研	電氣試驗所	東北大學
Maker	HVECO	東 芝	新 三 菱
型 式	$\pi/2$	$2\pi/3$	$2\pi/3$
最高 Energy	20 MeV	25 MeV	300 MeV
Beam 電流	200 mA	200 mA	200 mA
周 波 數	2856 Mc	2856 Mc	2856 Mc
μ 波 管	klystron	klystron	klystron
μ 波 電 力	3 MW \times 2	5 MW \times 2	5 MW \times 2
單 一 加 速 管 長	1 m	1.2 m	1.5 m 2 m
全 長	6 m	3.6 m	(12+24)m
完 成 年	1960	1964	1966
備 考			

이러한 原研 것에 刺戟을 받아 高 energy 側으로 次 次 發展되고 있는 그 代表的인 것이 電氣試驗所에 東芝에서 納品된 25 MeV 것으로 今年 4 月부터 稼動中이고

앞으로 3 年以内に 完成을 보게끔 今年부터 着手한 것이 東北大學의 300 MeV 의 것이며 이들은 日本國產으로서는 高 energy 의 代表인 것이다. 이 以外에도 京都大學에서 27 MeV 의 것을 今年부터 着手하게 되었는데 前述 二者가 가장 代表인 것이므로 그들의 性能을 綜合하여 寸目別로 表示해 보면 다음 表 6 과 같다.

7. 結 論

高 energy 領域의 素粒子 研究는 既存 先進諸國의 大 研究所에 依存할 수 밖에 없어도 低 energy 의 物性論 이나 工業的인 및 醫療的인 利用을 目標로 한 Linac 는 radar 의 micro 波 技術이 있는 우리나라에서도 製作이 쉽게 可能하다. 그것은 機械的으로 micron 範圍의 精度를 要하는 加速管 部分만 導入해서 15 MeV 의 Linac 를 첫 段階로 完成하면 原子爐와 아울러 研究 및 生産技術面에 있어서 커다란 武器로서 活用할 수 있는 機具가 될 것이다. 또 한걸음 나아가서는 우리나라의 軍事科學技術을 民間工業部門에 轉用할 수 있는 좋은 契機가 될 것이다.

參 考 文 獻

1. "Linear Accelerator Issues of The Review of Scientific Instruments" 26 PP. 134--203(mark III) PP. 205--209(mark II) Feb. 1955
2. "L'Accelérateur Lineaire U'orsay" L'onde Electrique 43 Juin 1963
3. D.W. Fry et al; "Traveming-Wave Ninear Accelerator For Electrons" Prpc. Phys. Soc. 61. Nature. Sep. 1947
4. W. Walkinshaw; "Theoretical Design of Linac for Electrons" Proc. Phys. Soc. 61, 1948

5. Ginzton. Hansen & Kennedy; "A Linear Electron Acc." RSI, 19. 1948
6. J.C. Slater; "The Desion of Linear Acc." Rev. Modern Phys. 10, 1948
7. E.L. Chu & W.W. Hansen; "The Theory of Disk-Loaded Wave Guides" J.A.P. 8. 1947
8. L.S. Livingston; "Particle Accglerators" MIT 1962
9. D.W. Fry; "The Linear Mectron Accelerator" Philips Tech, Rev. 14. Jul. 1952
10. W.J. Meredith; "The Linear Optimum Machine for Radiotherapy" Medicamundi. 4. 1. 1962
11. J. Haimson; "Some Aspects of Electron Beam Optics and X-ray Production With the Lirsar Accelerator" IEEE 1963
12. E.R. Grattner, et al; "Operating Experience With the R.P.I. Linac" IRE Trans. O, Nuclear Science Nov. 1962
13. J.H. Cusick & J. Haimson; "MeV Rotating Target Linear Acc. For Radiography of Large Hfcket Motors" "Missiles & Rockets Symposium. 1962
14. Type SL 75 Medical Linac "Mullard Equipment
15. "6 MeV Supervoltage X-ray Therephy Set" Vickers Armstrongs.
16. Stanford Linear Acceerator Center Reports 16 --25, 1963--1964
17. 日本電氣學會粒子加速專門委員會資料 "1962 年 5 月末日 現在 於日本國內線型原子加速器的運轉狀況 (1964 年 11 月 16 日 接受)

原 稿 募 集

第 14 卷 第 1 號의 原稿를 아래와 같이 募集하오니 會員께서는 많이 投稿하여 주시기를 바랍니다.

記

- (1) 內 容 : 論文, 技術解說, 報告
- (2) 200 字 原稿紙 50 面 內外로 하고 本會 投稿規定에 따를 것
- (3) 期 日 : 1965 年 2 月 15 日
- (4) 送付處 : 서울特別市 中區 小公洞 72 의 2 (TEL. ② 5813)

大 韓 電 氣 學 會