

《특별기고》

日本 放射線機器産業의 現況과 그 企業展望\*

加 藤 正 夫

東京大學校 生産技術研究所  
(1972년 6월 5일 접수)

1. 序 論

1955年 UN은各國을 모아놓고 Geneva에서 “The 1st U. N. International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy”를 開催하고, 當時 各國에 있어서의 原子力平和利用의 研究 및 産業의 開發狀況을 처음으로 世界 사람들에게 公開한 것이다.

筆者는 日本代表團의 一員으로서 이 會議에 出席하여 2編의 論文을 放射線 및 放射性同位元素 分科委員會에서 發表하였는데 日本에 있어서 人工放射性同位元素의 工業의 利用과 醫學的 利用이 始作된것은 이 歷史的인 國際會議에 앞서 約 5年前 即 1950年이라 말해도 좋을 것이다. 그런데 이 分科委員會에서 參加國을 代表하여 P. C. Aebersold 博士(USAEC)와 H. Seligman 博士(UKAERE)가 行한 演說의 要旨을 여기서 想起하고 싶다.

即“放射線 및 放射性同位元素의 利用은 原子核 energy의 利用과 함께 原子核時代를 推進하는 車輛 양바퀴의 하나로서 自然科學의 모든 分野에 걸쳐 多樣하게 利用될 뿐만 아니라 産業에도 크게 寄與하는 潛在價値를 갖는 것이라고 말하지 않을수 없다. 더구나 지금 人類는 이 有用한 手段으로서 使用하기 始作했을 程度로 今後 世界의 科學者, 技術者, 醫師가 協力하여 큰 發展을 이룩하지 않으면 안된다”라고.

其後 1961~1963년에 걸쳐서 國際原子力機構(IAEA)가 加盟 26個國에 對하여 enquete 調査로서 1964년에 panel discussion을 開催했는데 其 報告書에서 볼수 있는 것과 같이 26個國의 工業의 利用에 依한 利益(工場內 生産에 限함)은 3~4億弗로 算出되고 있다.

其後 오늘날까지 約 10年間에 있어서 進歩發展에 따

Table 1. Radioisotope 利用에 있어서의 全世界의 節約高(100萬弗)(1961~1963)

	미 국 (1963)	소 련 (1961)	24 개 國 (1961~63)	總 計
Gauging	35.2~50.4	100	26.7~43.4	162~194
Radiography	4.0~7.6	22	12.1~28.9	38~58
Tracer	27~48	58	10~40	95~146
電離應用	—	—	1~2	1~2
總 計	66~106	180	49~104	296~400

른 應用의 量的 增加와 種類의 擴大를 考慮한다면 上記 數字는 거의 한자리數 높은 增加가 豫見된다.

특히 最近 3~4年間の 進歩發展은 世界的으로 보거나 日本의 例를 보더라도 大端히 顯著한 바가 있다. 이 技術은 各 工業現場에 定着하여 各各 固有의 問題에 對해서 새로운 應用을 찾아내기 始作하고 있다.

2. 放射線 및 放射性同位元素의 工業的利用의 現況

放射線 및 放射性同位元素의 利用增加推勢를 나타내는 指標는 使用 事業機關數이다. 그 年度別 推移를 民間企業, 醫療機關, 研究機關, 教育機關 및 其他로 나누어 나타낸 것이다.

總計로는 每年 10%程度의 順調로운 增加를 나타내고 있고, 1971年 3月 現在로는 2091件(1970年 3月 現在, 1835件)에 達하고 있다.

即 民間企業이 879件으로 全體의 39.2%(686件, 37.4%), 이어서 醫療機關 618件 29.6%, (588件, 32.0%), 以下 研究機關 425件, 20.3%(366件, 20.0%), 教育機關 159件 7.6%(152件, 8.3%), 其他 70件, 3.3%(43件 2.3%)의 順으로 되어있다. 더욱 研究機關에는 民間企

\* 原子力廳 助成課 許楠 翻譯. 1971年 12月 3日 原子力廳, 韓國原子力産業會議 共同主催로 原子力産業利用 特別招請 講演會 發表 內容임.

業의 研究所를 包含함으로 使用事業機關數의 半이 工業의 利用關係라고 생각해도 좋다.

더욱이 最近 數年間の 推移를보면 民間企業의 增加率은 顯著하고, 日本 工業界에 있어서 그 利用價値의 높이를 겨우 確實히 認定하게 되었다고 判斷해도 좋다.

放射線 및 放射性同位元素를 利用하는 경우에는, 放射性同位元素等에 의한 放射線障害 防止에 關한 法律(1958年 4月施行)에 依據하여 100mCi 以下の 密封된 isotope 만을 使用하는 事業機關은 科學技術廳長官에 届出하는것으로서 足하나(届出事業機關), 100mCi 以上の 密封 isotope, 密封되지 않은 isotope 및 放射線發生裝置를 使用하는 事業機關은 科學技術廳長官의 許可를 받지 않으면 안되게 되어있다(許可事業機關). 이 區分에 따라서 民間企業의 使用事業機關數의 內譯을 알아보면, 819件 가운데 700件이 密封線源만을 使用하고 있고, 95件이 非密封同位元素의 使用許可를 받고 있다.

이로부터 아사바와 같이 工業의 利用의 約 85%가 isotope 裝備機器가 radiography 裝置만을 使用하고 있고, 非密封同位元素를 使用하고 있는 事業機關은 約 15%에 不過하고, 더욱이 化學, 鐵鋼, 機械, 電機의 4業種에 치우치고 있다. 이것은 tracer 技術의 工場에의 導入에 있어서 많은 困難이 있음을 말하는 同時에, 今後의 利用開發의 進出如何에 따라서는 크게 增加 되는것도 期待된다.

또 High energy 放射線發生裝置를 使用하고 있는 民間企業은 31件으로, Betatron 26臺를 備有하여 直線加速器, C. W. 加速器等 50臺(1971年 3月 現在)이다. 前者는 非破壞檢査用이고, 後者는 中性子發生裝置의 工程管理에의 應用이다. 이같은 利用은 今後 急増할것으로 생각된다.

## 2. 1. 工業의 利用의 現況

科學技術廳 原子力局이 4年前에 行한 “放射線工業利用實態調査”에 依하면, 資本金 5,000萬圓以上の 製造・建設業 2,700社中, 放射線 및 放射性同位元素를 利用하고있는 企業은 280社로 겨우 10%를 넘을 程度였다. 美國의 40%, 佛蘭서, 英國의 30%에 比하여 월등히 낮았으나, 利用企業數가 當時의 2배가된 오늘에 있어서는 20%에 達한것으로 推定된다.

그러나 後述하는 바와같이 큰 利益을 期待할수 있는 이 技術을 더 導入하는 努力을 日本의 企業에 바람과 同時에, 人材의 養成・訓練의 強力한 施策을 日本政府에 바라고 있다.

民間企業의 利用事業機關數를 業種別로 보면 아래와 같다. 化學 193(23.5%), 鐵鋼 80(9.8%), 電機 70(8.5%), 機械 69(8.4%), 종이・펄프 65(7.9%), 窯業 35

(6.5%), 石油 43(5.3%), 纖維 36(4.4%), 非鐵金屬 36(4.4%), 電力・가스 35(4.3%), 食品 24(2.9%), 建設土木 22(2.7%), 鑛業 18(2.2%), 造船 17(2.1%) 其他 37(4.5%), 이들로부터, 裝置工業을 主體로한 資本集約的인 重化學工業을 中心으로 使用되고 있음을 알수 있다.

工業利用의 主體를 이루는 isotope 裝備機器 및 radiography 裝置의 種類別 使用臺數를 調査하여보면(1971年 3月 現在) 다음과 같다. Radiography 裝置 565, 測厚計 537, level 計 494, 密度計 238, 水分計 137, gas chromatography 裝置 99, 硫黃分析計 88, 眞空計 23, 雪量計 5, 含泥率計 4, 其他 79等.

이밖에 火災探知器가 高層빌딩等に 오늘날 多數 使用되고 있는데 그 數는 數萬에 達한다. 이 裝置에 使用하는 放射線源의 量이 적기때문에 放射線障害防止法의 對象이 되지않아 統計의 數字를 얻기 어렵다.

## 2. 3. 放射線 및 放射性同位元素 應用技術

放射性同位元素의 多樣하고 큰 効用性은 어떠한 性質에 基礎하는 것인가? 大別하여 다음에 말하는 4가지 特性에 依하는 것일것이다.

(1) 放射線은 物質을 透過하는 過程에 있어서, 物質은 放射線에 對하여 吸收・散亂等의 作用을 미친다.

(2) 放射線은 物質을 透過하고, 그 過程에 있어서 物質에 對하여 物理的・化學的 여러가지 作用을 賦與한다.

(3) 放射線이란 標識에 의하여 物質을 追跡할수 있다

(4) 放射線은 그 自體 energy로서, 放射性同位元素 比出力이 큰 energy 源이다.

이 4개의 性質은 放射線의 種類와 energy에 의하여 또 物質의 種類나 狀態에 따라서 吸收・散亂의 形態가 다르기때문에, 이 現象을 利用하여 두께, 密度, 其他의 物理的 量의 計測이 可能해진다.

또 計測量에 自動制御回路나 演算回路를 組合시켜 工程의 自動化를 하기가 容易하다.

둘째의 性質은 主로 放射線의 電離作用에 依하는 것으로, 物理的으로는 寫眞乳劑의 感光作用, 靜電氣의 除去, 發光塗料 其他의 應用을, 또 化學的으로는 化學反應의 促進, 高分子化合物의 改質等의 應用을 可能케 하고 있다. 또한 放射線의 物質에 對한 勵起作用을 利用하여 元素分析도 可能하게 된다.

셋째의 性質은, 放射性同位元素를 物理的 및 化學的 tracer로서의 應用을 可能케하고, 高感度로 迅速하게 그리고 遠隔의으로 物質을 定量할수 있다.

또 寫眞作用은, tracer의인 取扱과 組合으로 autoradiography의 應用으로되고, 透過性을 組合하여 radiography의 應用이 된다. 또한 中性子나 高 energy 荷電

粒子에 依한 原子核反應과 放射線特性의 計測을 組合함으로서 放射化分析이 可能하게 된다. 이것은 가장 高感度の 分析法일뿐만 아니라, 工業用 tracer의 調製, autoradiography 試料의 調製, 非破壞分析等의 應用이 있고, tracer 技術과 放射化分析法과의 組合에 依하여 activable tracer 法으로 된다. 또 High energy의  $\alpha$ 線이나  $\gamma$ 線을 放射하는 放射性同位元素 Be과 混合하면 ( $\alpha, n$ )反應이나 ( $\gamma, n$ )反應에 의하여 中性子를 放出하기 때문에 簡易한 中性子源이 되어, 中性子를 使用한 計測에의 應用, 즉 水分計, 檢層計, 重油의 熱量計等의 應用이 可能하게 된다.

넷째번 性質은, 大量的의 放射性同位元素를 金屬容器에 密封함으로서 放射線을 自己吸收하여 熱로 됨으로 이 密封容器自體가 長時間持續하는 熱源이 된다. 또 適當한 半導體를 使用하게되면 이 熱을 電氣로 變換할수가 있어, 長時間 使用可能한 發電器를 만들수 있다. 또 다른 適當한 半導體를 使用하게되면 放射線의 energy를 直接 電氣로 變換할수도 있어, 이 裝置를 原子電池라고 부른다.

## 2.3. Gauging

### (1) 測厚計

透過型和 散亂型이 있고, 또 두꺼운것에는  $\gamma$ 線을, 그리고 얇은것에는  $\beta$ 線을 쓴다. 金屬·고무·종이·plastic·纖維·도금·塗料等의 많이 工業에서 實用되고 있다. Maker는 富士(후지)電機·島津(시마즈)·日立(히다찌)·東芝(도시바)·理學電機(리가쿠)。

### (2) 液面計

$\gamma$ 線 放射性同位元素가 쓰이며, 透過型和 散亂型외에 線源·測定器의 固定型和 移動型, 其他 使用目的에 따라 여러가지 型式이 있다. 化學工業이 가장 많고, 鐵鋼·종이·펄프·纖維·窯業等의 工業에서 實用되고 있다. Maker는 富士電機, 三菱電機·日立·東芝·島津。

### (3) 密度計·濃度計

固體의 경우에는 密度計가 되고, 液體의 경우에는 濃度計가 된다.  $\gamma$ 線 放射性同位元素가 쓰이고, 透過型和 散亂型이 있으며, 用途에 따라 많은 種類가 있다. 化學·鑛業·纖維·종이·펄프·窯業에서 使用된다. Maker는 富士電機, 日立, 東芝, 島津, 橫河電機, 三菱電機, 日本無線醫理學研究所。

### (4) 水分計

Am-Be等의 中性子源과 BF<sub>3</sub> counter와의 組合으로 構成되어, coke, 鑛石, cement原料의 slurry, 土壤 concrete等의 水分測定에 使用한다. 鐵鋼·建設土木·

窯業에 使用한다. 速中性子の 緩速되는 比率이 水分에 比例한다는 原理에 基礎한다. Maker는 三菱電機, 日立, 富士電機, 東芝。

### (5) 重油熱量計

水分計와 같은 構成인데, 重油成分의 水素가 發熱量의 大部分에 寄與하고 또한 速中性子の 緩速效果의 大部分에도 寄與하고 있다는 原理에 基礎를 둔 것이다. 電力·鐵鋼을 비롯하여 重油를 多量으로 使用하는 工業에서 使用된다. Maker는 東芝, 三菱電機。

### (6) 硫黃分計

이경우는 기름에 含有되는 硫黃成分의 計測器로서, 低energy의 X線이나  $\gamma$ 線의 吸收는 吸收物質의 Z의 大略 5自乘에 比例하여, 기름을 構成하는 C나 H에 의해서는 그렇게 吸收되지않고, 주로 S에 의해서 强하게 吸收된다고하는 原理에 따른 것이다. 石油·電力·가스等의 工業에서 많이 쓰인다. Maker는 三菱電機, 東芝, 理學電機, 北辰電機。

## 2.4. 電離 勵起作用 應用機器

### (1) 眞空度計

$\alpha$ 線은 氣體에 對한 電離作用이 大端히 크며, 電離度는 그 氣壓에 比例한다. 이 性質을 利用하여 10<sup>-3</sup> mmHg까지의 眞空度の 計測이 可能하다.

### (2) 靜電除去器

$\alpha$  또는  $\beta$ 線源을 靜電氣의 帶電部分의 近處에 두면, 上記와 같이 空氣를 電離하여, 靜電除去에 效果가 있다. 日本에서는 아직 普及되지 않고 있으나 歐美諸國에서는 纖維·종이·印刷·製粉等의 工場에서 널리 使用되고 있다.

### (3) 冷陰極放電管

放電間隙附近에  $\beta$ 放射體를 놓아 電子나 ion을 間隙에 補給함으로서, 放電의 不整이나 遲滯를 현저히 改善한다. 數  $\mu$ Ci의 <sup>63</sup>Ni( $\beta$ 放射體)가 이 目的에 쓰이며, radar의 變換管이나 arrestor에 常用되고 있다.

### (4) 火災報知器

$\alpha$ 線源을 內藏하는 電離箱의 飽和電離電流가 煙霧粒子의 流入에 의하여 減少하는것을 利用하여 만들어져 있다. 小型輕量으로 動作이 安定하여 있음으로 차레로 다른 型보다도 많이 쓰이게끔 되었다.  $\alpha$ 線源으로서 241Am이 쓰인다. Maker는 東京報知器, 能實防災工業, 닛단, 日本信號。

### (5) 發光塗料

硫化亞鉛螢光體粒子和 <sup>147</sup>Pm를 塗料에 混合하여 쓰인다. 時計의 文字盤等에 常用되고 있다. 트리치움을 쓴 TLC發光塗料는 歐美에서 最近 널리 쓰이게 되었는데,

高價이기 때문에 日本에서는 많이 사용되고 있지 않다.

#### (6) 螢光燈

$^{85}\text{Kr}$  gas를 內面에 螢光體를 塗付한 유리管에 封入하여, 標示燈으로 사용되게 되었다. 10년간의 耐用命數가 있고, 電力이 不要하다는 등의 利點이 있다.

### 2.5. 元素分析機器

#### (1) Gas chromatography

放射性同位元素를 使用하는 이 分析器는, 本質의 으로는 電離作用應用機器의 一種으로서, 放射性同位元素로서는  $^{63}\text{Ni}$ 를 쓴다. 化學工業을 비롯하여 最近 많은 分野에 많이 普及되고 있다. Maker는 柳本製作所, 日本電子.

#### (2) 螢光 X線分析

低 energy의  $X\cdot\gamma\cdot\beta$ 線을 物質에 透射하면 元素에 固有한 波長을 갖는 特性 X線을 放射한다.

이 勵起效率는 그 物質의 吸收端 energy보다 조금 큰 energy의  $\gamma$ 線을 照射했을때에 最大가 된다. 이같이하여, ppm前後의 感度를 갖는 元素分析이 可能하게 되고 그 操作의 簡易에 따라서 環境汚染調査에까지 쓰이게 되었다. 또 이 方法은 被膜두께의 計測, 例를들면 亞鉛도금鋼板의 亞鉛被膜 두께의 計測에도 利用할수가 있다. 日本에서는 金屬工業에 있어서 合金의 判別, 鑛業에 있어서 鑛石의 探査, 金屬製鍊에 있어서 分析에 쓰이는 외에, cement工業에서 cement slurry中の Fe, Ca, Al, Si 등의 分析을 on-line으로 行하여 成果를 올리고 있다. Maker는 理學電機.

#### (3) 硫黃分析計

前節에서 言及한 바와 같음.

#### (4) 放射化分析

物質은 素粒子의 衝擊을 받아 放射化한다. 그 放射線의 spectrum에 의하여 元素의 種類를 固定하고, 그 放射能의 強度에 의하여 定量할수가 있다. 原子爐中の 熱 中性子를 使用하는 方法이 가장 一般的인데, 近年에 C. W. 型加速器를 使用한 中性子發生裝置에 의한 14MeV 速中性子放射化分析이 生産工場에서 化學分析用으로 使用되게 되었다. 約 50種類의 元素分析이 可能한데, on-line 使用은 鋼과 aluminum의 酸素含有量의 分析으로, 4分以內에 結果를 얻을 수 있음으로 品質管理上 큰 偉力を 發揮하고 있다. Maker는 東芝로 商品名은 "Activac"이라고 한다.

放射化分析은 最高의 感度를 갖고 있으며, 半導體檢出器와 組合하면 約 40種類의 元素를 同時에 分析하는 것이 可能함으로, 環境汚染調査에 큰 偉力を 發揮하고 있다.

### 2.6. 非破壞檢査

從來 Radiography 非破壞檢査는 거의 X線裝置를 써서 行하여졌다. 近年 人工放射性同位元素가 量産되어, 더구나 比放射能이 높은 線源이 供給되게됨에 따라,  $\gamma$ 線 radiography가 急速히 普及되었다.

$\gamma$ 線 radiography의 長點은, 裝置가 簡單하기 때문에 現場에서 檢査된다는것, energy가 큰  $\gamma$ 線을 利用하기 때문에 大型金屬部品の 檢査가 可能하다는것, 同時에 多數의 部品檢査를 行할수 있다는 點이다.

$\gamma$ 線 radiography 用 裝置로서는, 1970年度末에 있어,  $^{192}\text{Ir}$  293臺,  $^{60}\text{Co}$  236臺,  $^{137}\text{Cs}$  33臺,  $^{170}\text{Tm}$  3臺로 되어 있고,  $^{226}\text{Ra}$ 는 이미 全혀 使用되지 않고 있다.  $^{192}\text{Ir}$ 의 國産化가 軌道에 올라, 1969年度以後  $^{60}\text{Co}$ 의 使用臺數를 上廻하고 있다.  $^{170}\text{Tm}$ 도 試驗的으로 國産化되고 있어, 前者는 航空機 engine에 後者는 輕合金製機體構造의 檢査에 常用되어, 航空機安全管理에 크게 寄與하고 있다.

$^{60}\text{Co}$ 과  $^{137}\text{Cs}$ 는 比較의 大型의 金屬製品 및 構造物, 鑄造品, 溶接 등의 欠陷檢査에 쓰이고 있는데,  $^{192}\text{Ir}$ 는 小型의 製品이나, 內部溶接鋼板의 檢査用으로서 常用되고 있다.  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{192}\text{Ir}$  모두 10Ci 程度의 것이 쓰이고 있다.

放射性同位元素를 利用하는 radiography는, 두께 20cm 정도까지의 鐵製品이 限度이고, 이 以上の 두꺼운 것에 對해서는, high energy의  $\gamma$ 線을 發生하는 加速器가 利用되고 있다.

Betatron이 그 代表的인것으로 이미 20臺以上이 쓰이고 있다. 이밖에 直線加速器도 實用化되고있는 중이다.

그밖의 線源을 利用하는 radiography로서 中性子 radiography가 있으나, 現在 아직도 研究段階로서 實用化는 되고있지 않다.

### 2.7. 放射性 Tracer

特定物質의 物理的인 移動이나, 化學的인 運動을 調査하는데, 이들을 放射性同位元素로 標識한 放射性 tracer를 써서, 그 放射能에 着眼하여 그 物質의 運動을 追跡하는 方法은 많은 利點을 갖고 있다.

즉 이 放射性 tracer技術은, 被追跡物質의 量이 僅少하고, 共存하는 物質과 分離하기 어려울때, 迅速分析의 必要가 있을 때, 同一物質中에서의 物質의 移動(自己擴散, Ion交換反應等)을 調査할때, 試料를 非破壞的으로 分析하고 싶을때, 試料中の 着眼物質의 存在位置를 알고 싶을때 등에 適用된다.

Tracer實驗에서는 使用한 放射性同位元素가 追跡하려고하는 物質과 똑같은 運動을 한다는것이 必要한것으

로, 결국 참된 tracer가 아니면 않된다. 따라서 어떠한 物質을 tracer로選擇하느냐가 極히 重要하다.

그러면 Tracer의 工業의利用에는, 工學的인 諸研究를 目的으로하여 放射性同位元素 實驗室內에서 利用하는 경우와, 生産現場이나 野外에서 利用하는 경우의 두가지 이다.

어떤경우에 있어서도 그 應用例는 數없이 많으나, 前者의 경우, 金屬의 自己擴散測定은, 放射性同位元素의 利用없이는 거의 不可能하다해도 좋다. 이같은 研究를 비롯하여, 放射化學的研究가 前者에 屬하는것이라 말할 수 있을 것이다. 그러나 여기에서는 後者の 경우에 限定하여 利用狀況을 말하기로 한다. 이가운데는, 氣體, 液體, 固體의 흐름, 또는 이에 隨伴하는 物質移動의 研究, 物質의 漏洩·混合·吸收·擴散의 研究, 諸反應機構의 解析, 摩耗, 潤滑의 研究等이 있다.

이가운데, 現在 日本에 있어서 거의 日常 使用되고 있는것에는, 電氣産業에 있어서의 transistor 등의 密封 小部分의 leak 試驗, soda 工業에 있어서의 陰極水銀量의 測定, 自動車 Engine 部品の 摩耗量의 測定, 流底漂流砂의 移動追跡, 溶鑄爐壁벽돌의 浸蝕度의 測定, 溶鑄爐底面의 殘留하는 溶銑量의 測定等이 있다.

諸外國에서는, 이밖에 液體나 氣體의 流量測定, 油井의 開發, 物質의 混合이나 滯留時間의 測定, flow-pattern이나 汚染水의 運動研究에도 日常 使用되고 있다.

또 最近, 非放射性核種을 tracer로하여, 採取한 試料를 放射化分析하여 追跡結果를 求하는 즉 activable tracer法이, 著者等을 비롯하여 많은 專門家에 依하여 實用化되었다. 이 方法은 放射性物質을 工場內나 野外에 갖고들어갈 必要가 없어, 따라서 法의手續도 不必要하고, 더구나 極히 高感度라는 利點을 갖기 때문에, 結果의 解析에 時間이 걸리고, 大量의 試料를 分析한다는 缺點을 電子計算機와 結合한 自動放射化分析裝置의 開發에 따라 補完되어, 各種의 調査研究에 利用되어지고 있다.

即 河川水의 흐름의 研究, 工場으로부터의 廢氣의 行方追跡, 農藥散布區域의 判別, 河口에 있어서의 鹽水侵入의 調査等の 野外利用뿐만아니라, 工場內에서는 鋼塊의 凝固와 偏折, 鋼中의 介在物의 運動, 工程內의 流動狀況이나 電解槽의 効率調査等に 應用되고 있다.

## 2.8. 放射線化學

放射線化學의 工業의利用에 關한 研究開發은, 日本原子力研究所 高崎研究所를 中心으로 進行되어 ethylene의  $\gamma$ 線 重合에 의한 polyethylene의 合成, trioxone이나 tetraoxane의 放射線 固相重合에 의한 polyoxy-

methylene의 合成, polyvinylchloride와 butadiene의 graft 重合에 의한 polyvinylchloride의 改質等, 將來 工業化의 有望한것이나 工業化段階에 가까운것等, 顯著한 成果가 漸次 얻어지고 있다.

그러나 이미 工業化되고 있는것은 架橋 polyethylene, 放射線 curing의 셋에 不過하다. 여기에서는 앞二者에 對한 現狀을 말하기로 한다.

### (1) 架橋 Polyethylene

Polyethylene에 粒子加速器의 電子線을 照射하여 分子間에 架橋反應(cross linking)을 이르게, 分子間의 結合력을 強化하여 耐熱性이나 引張強度等の 物理的特性이나 耐藥品性을 改善한다. polyethylene의 照射技術은 住友電工이 가장 빨리 企業化했고, 이어서 積水化學, 日立化成의 兩社가 뒤따랐고, 今年에 들어와 藤倉電線이 새로히 參加했다.

住友電工은 獨自의 設計에 의한, Cockcroft-Walton型 加速器에 의한 照射裝置를 開發, 商品名 “IRRAX-Irradiation Cross-Linking”로서 市販되고 있다. 이것은 包裝用보다도, 電線, cable 등의 被覆(電氣絕緣用 tape)에 使用되고 있다. 日立化成에서는, 같이 Cockcroft-Walton型 加速器로 polyethylene을 照射하고, 商品名 “HiRay(tape 狀)”로 市販하고 있다. 藤倉電線은 日新電機製의 큐어트론(curetron, 300KV, 33.5mA)을 쓰고, 主로 直徑 3mm 以下の 細物電線(機器內配線用)의 照射를 行하고, 商品名 “Raythene”으로서 市販하고 있다. 이들은 어느것이나 電線, cable 類의 被覆 polyethylene의 耐熱性和 難燃性을 높이는 것으로, 美國에서는 現在 Raychem, W.R. Grace 등 6個社가 企業化하여 年間 6,000萬弗을 賣上하고 있는데, 潛在市場은 現在 生産量의 20배나 된다고 말하고 있어, 日本에서도 今後 市場의 擴大가 期待되는 分野의 하나이다.

積水化學에서는 polyethylene에 ICT(Insulating Core Transformer, 絕緣鐵心型變壓器)型 加速器(美國의 High Voltage Engineering 製)의 電子線을 照射한後, 100°C 前後로 加熱하여, 거의 縱橫 均等하게 잡아늘인 Film을 “에스트론-S”의 商品名으로 市販하고 있다. 이것은 耐藥品性, 防水性, 耐熱性이 強하고, 加熱하면 收縮하기 때문에, 包裝用, 特히 生鮮食料品, 구운고기, 연어等の 密着包裝用에 好適이다.

### (2) 發泡 Polyethylene Foam

發泡 polyethylene foam은 最近, 陶器 glass 器具等の 包裝緩衝材로서 널리 쓰이며, 商店에서 흔히 볼수있게 되었는데, 그 밖에 cushion材, 斷熱材, 防音材等, 自動車나 各種車輛의 內裝材로서 椅子 밑의 cushion材等 그 用途는 擴大되는 方向에 있다.

發泡 polyethylene을 生産하는 方法에는, DCP 등의

化學架橋材를 쓰는 방법과, 電子源을 照射하는 방법의 두가지가 있다.

電子線을 照射하는 방법에서는, 粉末 polyethylene에 發泡材로서의 어떤 種類의 Diazo 化合物을 混合하고, 이어서 押出하여 sheet 狀으로 成型한후, 電子線을 照封하여 架橋시켜, 最後에 加熱하면 Diazo 化合物의 窒素가 解放되어, 그 힘으로 polyethylene이 膨脹하여 發泡 polyethylene foam으로 된다. 化學架橋材를 쓰는 방법에서는, 加熱 press의 경우에는 badge 式으로되어 連續生産이 되지않는 不利點이 있다.

現在 日本에는 發泡 polyethylene의 maker로서 積水化學(商品名, 소푸트론, 에푸트론), 東레이(東レ), 日立化成(하이에칠렌), 旭다우(엣사포르), 古河電工(포오모·에스)等 7個社가 있는데 이 가운데 放射線을 使用하고 있는것은 積水化學, 東레이의 2個社뿐이다.

積水化學은 ICT 加速器, 東레이는 松下電器産業製의 Hypertron, GE의 EBG(Electron Beam Generator), 東芝의 Van de Graaft 型加速器 各 1臺를 使用하고 있다.

積水化學은 1970 美國의 High Voltage Engineering 社와 共同으로, 美國法人 Voltek 社(資本金 82,000\$)을 設立, Boston 近處의 로렌스에 年間 1,200ton의 放射線照射에 依한 發泡 polyethylene(商品名, Volara, Volasta)의 plant를 建設하여, 1971年 6月부터 營業生産에 들어갔다. 自動車用 cushion 材로서의 用途가 크다고 보아진다. 이것은 積水化學이 開發한 技術을 使用하는것으로 日本의 原子力技術의 本格的인 海外輸出 第1號로서 높이 評價되고 있다.

## 2.9. 大量放射性同位元素의 利用

前述한바와 같은 放射性同位元素를 energy 源으로서 使用한다는 생각은, 化學燃料에 比하여 單位重量當의 比出力이  $10^4 \sim 10^6$ 배나 크고, 또한 半減期에 相當하는 耐用命數를 갖는다는 特性에 있다. 한편 放射能의 強度와 出力과의 特性은  $1\text{Ci} \cdot \text{MeV} = 5.9 \times 10^{-3}\text{W}$  이니까, 예를 들면  $^{90}\text{Sr}$ 를 써서 1W의 熱出力을 얻기 위해서는 150Ci를 必要로 한다.  $^{90}\text{Sr}$ 를  $\text{SrTiO}_3$ 의 形態로 使用한다고 하면 그 比熱出力은  $0.95\text{w/g}$ 이고, 半減期는 28年이다. 여하튼 이같은 利用에는 極히 큰 放射能을 取扱하는것이 된다.

$^{238}\text{U}$ 과 같은  $\alpha$  放射體를 使用하면, 放射能의 遮蔽는 極히 容易하기 때문에, 大端히 가벼운 熱源으로 된다. 이때문에 美國의 Apollo 計劃에서는 宇宙船內的 熱源이나 宇宙服의 暖房에는 isotope 熱源이 使用되고 있다.

이熱을 電氣로 變換함에는 熱電素子를 써서 Seebeck 效果를 利用한다. 熱電素子에는 Bi-Te 合金, Pb-Te 合金

또는 Ge-Si 合金이 쓰인다. 그 變換效率는 4~8%이다. 이 Isotope 發電器는 人工衛星이나 宇宙 station 用으로 쓰이는 외에, 地上에서는 自動氣象觀測所·航空機用 beacon 地震計·時計·페—스메—카·電食防止·通信케블 등의 電源, 海上이나 海中에서는 音響 beacon·航路標示·暗礁標識 등의 電源에 쓰인다.

現在에는 아직 放射性同位元素의 값이 비싸기 때문에 特殊한 用途에 限定되고 있는데, 將次는 原子燃料中에 생기는 大量의 核分裂生成物이나 超우란元素를 有効하게 消費하기 爲해서는 좋은 用途라 생각되고 있다. 現在 日本에서는 단 1臺의  $^{90}\text{Sr}$ 를 熱源으로한 電氣出力 2.6W isotope의 發電器가 만들어지고 있다.

말할必要도 없이, 放射線化學用的 照射線源이라 하여도 核分裂生成物中 가장 多量으로 생기는  $^{137}\text{Cs}$ 는 好適한것으로, 美國은 勿論 佛蘭서에서는 이미 實用化計劃의 實施에 들어가 있다.

한편 發電用原子爐의 剩餘中性子の 有効利用이라는 意味에서 isotope를 生産하는 計劃도 있으나, 이같은 경우에는  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ 等 放射線化學이나 Radio-graphy 用線源의 生産을 우선 첫째로 생각하여야 할것이다.

## 2.10. 安全性과 利用上的 問題點

放射線 및 放射性同位元素의 工業的利用을 推進하여 가는 경우, 一般大衆을 放射線으로부터 防護하고, 放射線取扱者의 安全을 企圖하지않으면 안된다. 이같은 觀點에서 日本에서는 原子力基本法과 ICRP의 勸告를 基礎로 한 放射線障害防止法에 의하여, 放射性同位元素의 使用運搬, 廢棄의 全般에 걸쳐 상당히 엄한 規制가 行해지고 있다.

届出事業機關 또는 許可事業機關等이 放射性同位元素의 利用을 始作하기 前에, 國家試驗에 合格하여 放射性同位元素의 取扱과 安全管理에 熟練된 第1種 또는 第2種의 放射線取扱主任者를 미리 選任하여 届出하지 않으면 안된다.

또 放射性同位元素 利用의 全過程, 즉 購入부터 廢棄 또는 貯藏까지의 記帳, 使用時의 外部放射線量 및 作業者의 被曝線量の 記錄, 放射能汚染 有無의 檢査, 作業者의 健康管理을 爲한 定期檢診等이 義務로 되어있다.

届出 또는 許可를 받고있는 事業機關外의 場所, 즉 現場이나 野外에서 一時的으로 使用하는 경우도, 届出 또는 變更許可가 必要하다.

이같은 許可에 必要한 法的手續은 最低 3個月程度 걸리기 때문에, 이같은 일이 逆으로 工業的利用의 普及을 妨害하고 있음은 否定할수 없다.

또 日本國民에게는 우연이도 放射能에 對하여 異常한

拒否感情을 갖는 者가 많아 이때문에 準備가 끝난 放射性同位元素利用實驗을 中止시키지 않을수 없는 경우도 있다. 그러나 放射性同位元素에 對한 올바른 科學的인 知識을 우리들 專門家가 普及시킴으로서 漸次 解消되어 갈 것으로 確信하고 있다.

### 3. 放射線 및 放射性同位元素의 工業利用에 의 經濟性

放射線 및 放射性同位元素의 工業的 利用은 世界的으로 이미 約 30年의 歷史를 가지고, 해를 거듭하여 進歩發展하여 가고있는데, 이같은 일 自體가 그 經濟的 效果가 얼마나 큰가를 말해주고 있다. 그러나 그 效果가 얼마나 있는가를 正確히 見積하는 方法에 對하여는 아직 國際적으로 確立된 方法은 없다고 말해도 좋다. 여기에서는 1963年에 國際原子力機構가 加盟諸國을 對象으로 行한 工業的 利用의 經濟性에 關한 enquête의 취합에 의하여 그 概要를 말한다.

前述한 Table 1에 나타낸것과 같이, 1962年頃의 放射性同位元素의 工業的利用에 의한 節約額은, 全世界에서 3~4億弗이고, 이가운데 放射線應用機器에 의한것이 그 半을 차지하고, 上限과 下限의 數字 幅이 가장적고, 信賴性이 높다. 이것은 이같은 種類의 利用에 따른 經濟性의 算出이 가장 正確하게 할수 있음을 말하고 있다.

放射線應用機器가 工業利用의 過半數를 차지하고 있는 理由는, 첫째로 被測定物質과 非接觸狀態로 利用할수 있는것, 例컨데 高溫高速으로 움직이는 鋼板, plastic, 表面處理한 金屬 및 종이같이 連續적으로 製造되는 物質의 두께의 制御에 쓰이는데 있다. 둘째로 放射線, 특히  $\gamma$  線의 透過能이 큰데 있다.

被測定物質의 外部에 放射線源과 檢出器를 놓아, pipe, tank 나 密閉容器內의 液體・固體・slurry 등의 密度나 level을 測定할수 있고, 被測定物質이 化學的으로 腐食性인 것이라도 無關하다.

셋째로 放射線源이 小型이고, 電力을 供給할 必要도 없고 그 energy가 一定하여 放射能強度도 半減期에 따라 變하는것 뿐이다. 또 可動部品이 不要하고 容易하게 feedback 하여 自動制御에 適應되는데 있다.

以上の 理由에서 測厚計, 密度計, level gauge 등에 利用되고 있다. 그러나 各國에 있어서 産業의 構成이나 어느 業種을 차지하는 重要도가 다르기 때문에, 同一業種을 들어보아도 나라에 따라서 放射線應用機器의 利用臺數에 큰차가 있다.

例컨데 Finland에서는 放射線應用機器의 72%가 製紙工業에서 使用되고 있는데, 英國에서는 18%에 不過하다. 또 英國에서는 測厚計의 大部分이 鎔冶製造工業

에 쓰이고 있는데, 佛蘭서, 西獨, 日本에서는 한대도 쓰이고 있지않다. 그 理由는 鎔冶의 原料가 싸기때문이라고 생각되는데, 日本의 경우는 放射線 allergie에 의한 勞動者의 反撥이 크기때문이다.

여하튼 어떤나라의 어떤 業種에서 特定한 放射線應用機器가 널리 利用되고 있는 것은 그 나름대로의 經濟的 效果가 크기 때문이다.

그러면 여기서 問題로 하고있는 經濟性은 工場에 있어서, 放射線 및 放射性同位元素를 利用함으로써 얻어지는 節約額이고, 消費者가 받는 利益이나 資源을 有效하게 分配함으로써 얻어지는 나라全體의 利益에 關해서는 除外하고 있다. 더욱 工業的利用은 人體에 有害하고 危險을 隨伴하는 勞動環境으로부터 勞動者를 解放한다고 하는 效果도 크다는것을 付記해둔다.

#### 3.1. 經濟效果의 要素와 投資項目

放射線 및 放射性同位元素를 工業적으로 利用했을 경우 어떠한 效果가 있을까? Table 2는 1963年의 英國統計인데 이에 의하여 大體의 傾向을 알수 있다. 이 Table에 있는바와 같이 原料의 節約, scrap의 減少, 人件費의 節約, 生産性의 向上, 維持費의 節約, 投下資本의 節約,

Table 2. 利用技術別 節約項目(%) (英國 1963)

	原料	scrap	人件費	生産性의 向上	維持費의 節約	投下資本의 節約	研究費의 節約	其他
Gauge	17	20	6	29	0	27	1	0
Radiography	9	21	12	39	12	4	0	3
Tracer	15	3	3	—	7	—	70	2
電離應用	50	12	2	8	—	—	28	0
平 均	14	20	8	32	7	13	4	2

Table 3. 利用技術投資項目(%) (英國 1963年)

	放射線源	機器	防護用品	建物補修	新營實 驗室貯藏室等	其他
Gauge	3	91	1	4	1	0
Radiography	11	31	3	12	42	1
Tracer	6	45	3	7	36	3
電離應用	5	77	3	7	8	—
大量 RI 利用	30	27	0	36	7	—
其 他	1	6	4	35	54	0
平 均	6	58	2	12	21	1

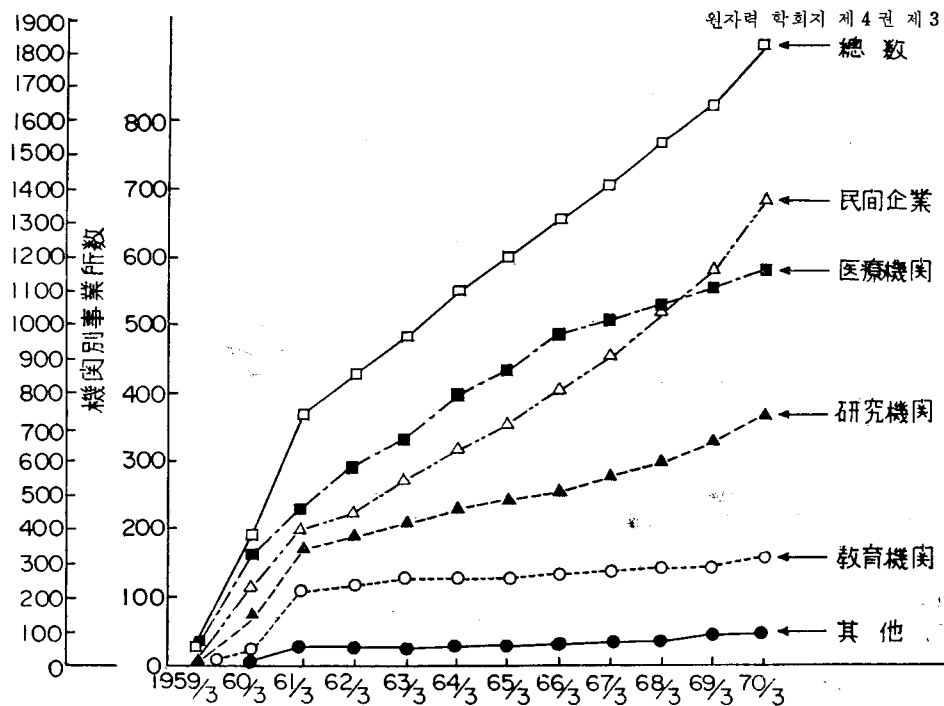


Fig. 1. 日本의 放射線 利用統計의 年度別推移

研究費의節約 및 其他를 들수 있다. 其他에는 勞動者를 나쁜 勞動條件으로부터 解放했다든가, 그 工場에서는 直接效果가 없더라도 그다음 工程의 工場에 效果를 미치게되는 경우도 포함시키고 있다.

그러면 이 Table의 數字는 %로 表示되어 있어, 예컨대 gauge로서의 isotope應用機器, level gauge라든가 測厚計를 利用하고 있는 경우는, 가장 效果가 큰것은 生産性의 向上으로, 다음에 投下資本의節約을 들고 있고 scrap의 減少와 原料의節約이 大體로 같다는것을 나타내고 있다. 또 Radiography, tracer利用의 경우는節約項目의 順序가 相當히 바뀌어진다. Tracer利用에서는 研究費의節約이 70%를 占하는것에 注目할 必要가 있다.

Table 3은 放射線 및 放射性同位元素를 工業적으로 利用하는경우 어떤 項目에 投資할 必要가 있는가를 要約한 것이다. Gauge와 電離作用의 利用은 大體로 같은 傾向을 나타내고 있는데, tracer 및 大單位放射線의 利用에서는 相當히 달라진다. 어떻든간에 放射線源 및 放射線防護用品에 要하는 費用은, 다같이 크지 않음을 알수 있다.

### 3.2. 經濟性的의 評價方法

一般的으로 쓰이고있는 方法은 Fig. 2와 같아, 첫째는 投下資本의 回收期間에 따라 比較하는 方法이다. 勿論 回收期間이 짧을수록 經濟效果가 크다. 둘째는 純節約額을 算出하여 比較하는 方法으로, Fig. 2의 各項目

Fig. 2. Isotope, 放射線工業利用의 經濟性評價法

#### 1. 投下資本의 回收期間에 의한 方法

$$\text{回收期間(年)} T = \frac{I_2 - I_1}{P_1 - P_2}$$

$I_1$ : 從來方式에의 投資額

$I_2$ : Isotope方式에의 投資額

$P_1$ : 從來方式의 年間生産額

$P_2$ : Isotope方式의 年間生産額

#### 2. 正味節約高에 의한 方法

$$\text{年間正味節約高 } D = B - (C - C')$$

$C$ : Isotope方式의 年間所要經費

$C'$ : 從來方式의 年間所要經費

$B$ : 總節約高

#### 3. C/B比에 의한 方法

$$C = M + I \left( \frac{1}{T_1} + \frac{r}{200} \right) \text{로써 구한다.}$$

$M$ : 年間保守費  $I$ : 投資額

$T_1$ : 減價償却年數(3~5年)

$r$ : 借入金의 利率(%)

마다節約額을 計算하여 그 總計를 내지않으면 안된다.

셋째는 年間所要經費  $C$ 와 年間節約額  $B$ 의比  $C/B$ 比를 求하는 方法이다. 이  $C/B$ 比는 國際原子力機構가 推獎하는 方法으로 1보다 적을수록 經濟效果가 크다는것을 나타내고 있다. 이 경우의  $C$ 는

$$C = M + I \left( \frac{1}{t} + \frac{r}{200} \right)$$

에 의하여 計算되는데,  $\frac{r}{200}$ 로 한것은 每月 借入金을 返済하는 것으로 생각하면, 달마다 返済金이 줄어들어 감으로 그 年間總返済金을 나타내기 때문이다.



**Table 4. 日本에 있어서의 Thickness, Levelgauge 臺當의 經濟性(1961年, 萬圓)**

	Thick- ness gauge	Level gauge
Isotope 方式의 年間所要經費	108~540	25~36
從來方式의 年間所要經費	36~360	25~72
Isotope 方式에 의한 總節約額	470~720	110~150
Isotope 方式에 의한 年間正味節約額	400~600	130~200

**Table 5. Thickness Gauge 의 C/B 比**

	製 紙 工 業	纖維・化學・ 고 무 工 業
Argentina	1 : 10	—
Australia	1 : 5	1 : 15
Austria	1 : 10	1 : 4
Belgium	—	1 : 10
Canada	—	1 : 28
Finland	1 : 1.2	1 : 20
France	1/2~1/40	1 : 4
Holland	1/6~1/16	1 : 6.2
Norway	1 : 5	1 : 10
Spain	1 : 50	—
Sweden	1/4~1/16	1 : 5
U. K	1/2~1/9	1 : 4
U. S. A	1/6~1/20	1 : 8.8

둘째번 方法에 의한 評價의 一例로서 日本에 있어서의 測厚計와 Level計 1臺當의 經濟性을 試算한것이 Table 4이다. 이것은 1961년에 日本이 國際原子力機構에 提出한 報告書에서 引用한 것으로, 그 當時 測厚計 1臺當 年間の 純節約額이 500萬圓 前後인것을 나타내고 있다.

셋째의 C/B 比에 의하여 測厚計의 經濟效果를 試算한 것은 國家別로 要約한 結果가 Table 5이다. 測厚計가 主로 쓰이고 있는 製紙工業과 纖維・化學・ 고무工業의 二業種의 C/B 比를 나타냈는데, 나라에 따라서 그 값이 바뀌고 있다.

어떠한 業種의 경우도 大體로 1/5~1/10 程度로 생각 됨으로 相當한 經濟效果를 들고있음을 말하고 있다.

또 美英兩國의 應用機器利用에 의한 C/B 比는 平均하여 어느것이냐 1/14이고, radiography 의 1/4~1/15, tracer 利用의 1/3~1/4과 比較하여 보아도 經濟效果가 더욱 크다.

### 3.3. X線裝置와 γ線源利用에 의한 Radiography 의 經濟性

Table 6은 1962年頃 出版된 미리-에프씨의 著書에서 발췌한 것으로, 처음의 3項目에 關해서는 大差 없는 데, 裝置의 補修費, 電氣料金等 아래쪽의 項目을 보면 γ線源을 使用한쪽이 X線裝置에 의한것 보다도 大端히 적은 經費로 된것을 알수 있다.

이같이하여 全體로서 年間 900루블의 節約이 可能하다.

**Table 6. Radiography 의 年間經費의 比較(Ruble)**

	γ 線	X 線
勞 賃	43191.0	46061.2
Film 代	2146.0	2146.5
化學藥品代	116.5	116.5
裝置의 補修費	424.5	2243.0
所要電氣量	218.0	1640.0
運 搬 經 費	478.0	1354.0
原價償却費	771.8	2080.0
其 他	820.0	1520.0
合 計	48166.3	57161.2

### 3.4. Tracer 利用의 經濟性的의 一例

一例로서 Table 7에 小型 engine의 摩耗試驗의 경우를 나타냈다. 이 Table 은 1967年의 “Radioisotope Tracer in Industry and Geophysics”에 關한 IAEA 심포지움에서 파스테니코프氏가 發表한 論文가운데서 引用한 것이다.

上段에는 1회의 試驗을 行하는데 必要한 時間數, 中段에는 所要經費를 들고, 아래의 二段에 그 總計와 Isotope 利用法(RI 法)을 1로 했을때의 比較値를 넣었다

이 Table에서 spectrum 分析法과 比較했을 경우, 試驗時間數가 거의 1/7, 所要經費가 1/4인것을 알수 있다.

以上 工業的利用의 경우 經濟性에 關하여 몇가지 例를 引用하면서 記述했다. 위의 二例는 Radiography 나 tracer 利用에 있어서는, 그 經濟效果의 算出이 困難하기 때문에,從來 쓰이고있는 方法과의 比較로 나타낸 것이다. 放射性同位元素 利用以外에 方法이 없는 경우에 있어서는 經濟效果라기 보다는 오히려 工學上의 必要性, 社會에의 貢獻度等에서 判斷하여 利用토록 할 必要가 있다.

Table 7. 小型 Engine 의 摩耗試驗法의 比較

	RI Tracer		Spectrum 分析		微 量 秤 量 法	
	時間 (h)	經費(ruble)	時間 (h)	經費(ruble)	時間 (h)	經費(ruble)
試 驗 準 備	5		12		7	
試 驗 繼 續 時 間	18		120		400	
分 解 及 組 立 時 間	必要없음		必要없음		20	
分 析 測 定 時 間	自 動 的		36		10	
結 果 的 處 理	2		3		3	
基 本 及 附 屬 裝 置		4		35.8		11.1
燃 料 潤 滑 油		1.7		10.8		35
質 金		25.6		91.9		289
其 他		16.0		55.5		164.0
一 回 的 試 驗 費 用	25	47.3	171	194.0	440	499.1
RI 法 과 的 比 較	1	1	68	4.1	17.6	10.5

## 4. 放射線 및 放射性同位元素의 産業現況

放射性同位元素 放射線發生裝置 및 그 關聯機器裝置의 生産·販賣를 業으로하는 것에 限定키로 한다. 日本의 경우는 放射性同位元素의 製造販賣業·放射性同位元素의 加工·分配業, 裝置·機械의 製造·販賣業, 輸出入業을 行할때, 法律에 의하여 販賣事業機關으로서의 許可를 얻지않으면 안되게 되어있다.

1971年 3月末의 許可를 얻은 販賣事業機關數는 77개고, 그 內譯은 製造販賣業者 3, 加工·分配業者 21, 裝置·機械製造販賣業者 35, 輸出入業者 18이다. 이들이 所謂 關聯産業의 主體를 이루는 것이라고 말할수 있다.

이 가운데, 放射性同位元素를 輸入하여 分配, 販賣를 行하고 있는것은 日本放射性同位元素協會뿐이고, 原子爐等에 의하여 放射性同位元素를 製造하여 販賣하고 있는것은 日本原子力研究所(特殊法人)가  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$  등 26核種, 東京原子力産業研究所가  $^{198}\text{Au}$  등 15核種, 日本原子力事業株式會社가  $^{24}\text{Na}$  등 14核種의 3個機關이다. 原研에서 生産되는 放射性同位元素는 精製된 것인데, 民間 2個社는 主로 未精製의것을 生産하고 있고 그 生産量도 極히 적다.

1969年의 實績에서는  $^{24}\text{Na}$ 의 530mCi,  $^{42}\text{K}$ 의 180mCi는 모두 國産化되어,  $^{32}\text{P}$ 의 13.6Ci中 10.3Ci가  $^{35}\text{S}$ 의 3.48Ci中의 1.6Ci가  $^{198}\text{Au}$ 의 61.3Ci中의 33.9Ci가  $^{51}\text{Cr}$ 의 710mCi中의 130mCi가 各各 國産化되고 있다.

또 密封線源은 Radiography 用의  $^{192}\text{Ir}$ 를 除外하고 모두 輸入되고 있어, 1969年度의 輸入額은 13億圓이었다.

어느 化合物中의 特定한 元素를 一定한 比率로 放射性同位元素로 代置한 所謂 標識化合物은 醫學·農學 및 生物學의 分野에 있어서 널리 Tracer 利用에 쓰이고 있

다. 이들의 標識化合物은 10개 事業機關에 있어서 製造되어 販賣되고 있다. 이 가운데 2개 事業機關은 醫療用의 1~2種類의 放射性同位元素만을 販賣하고, 나머지 8개 事業機關은 各種 標識化合物을 取扱하고 있다. 이 8개 事業機關가운데 3개 事業機關은 外資系의 企業으로 外資가 이 分野의 將來性을 내다보고 있는것으로 생각된다.

放射線 및 放射性同位元素의 應用機器나 裝置, 非破壞檢査裝置, Gas chromatography 裝置, 螢光 X線分析裝置等을 製造하여, 그 機器에 放射性同位元素를 裝備하여 販賣하는 事業機關은 18개로, 日本電氣計測器工業會의 調査에 依하면, 1969年의 放射線關係機器의 總賣上高가 約 28億圓으로 되어 있다.

또 이들의 機器의 販賣만을 行하고 있는 商事會社가 10개, 輸入業務를 行하고 있는것이 18개이다.

發光塗料 또는 그것을 塗裝한 時計部品, 標識等을 製造하고 있는것은 12개 事業機關으로  $^3\text{H}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ 의 3核種이 取扱되고 있다. 이밖에 放射線測定器나 放射性同位元素 取扱機具나 設備, 放射性廢棄物處理關係裝置等の 製造販賣業者는 相當한 數에 達한다고 생각된다. 또 醫療器具의 殺菌이나 水晶의 着色에  $^{60}\text{Co}$ 線源을 利用하고 있는 企業이 1個所, 電子照射 polyethylene의 製造販賣를 行하고 있는 會社가 4개社, 發泡 polyethylene foam을 電子線照射로 製造하고 있는 會社가 2개社이다.

## 5. 放射線關聯機器産業의 現狀

日本原子力産業會議가 每年 行하고 있는 原子力産業의 實態調査, 및 日本電氣計測器工業會의 1967~1969年의 3개年을 對象으로한 放射線關聯機器를 包含한 電氣

計測器等の 基礎調査에 따라서, 放射線關聯機器産業의 現狀을 말한다. 但 後者の 調査에는 GM 計數器, GM survey meter, ratemeter, scintillation 計數器, scintillator 等の 放射線測定器, monitor 等外에 放射性同位元素 應用機器가 包含되어있으나, cyclotron, betatron, van de graaff 型加速器等の 放射線發生裝置 및 hot lab., manipulator, hood 等の radioisotope 取扱設備는 包含되지 않았다. 이것에 對하여 前者의 調査에는 上記의 것이 모두 包含되어 있음으로, 以下の 說明에 있어서 必要에 따라서 어느쪽 調査結果를 그때마다 밝히하기로 한다.

### (1) 放射線關聯機器産業의 特徵

電氣計測器工業會의 基礎調査에서는 放射線計測器를 Table 8같이 5개로 分類하고 있다. 따라서 例를들면, unit 機器에서는 波高分析器, ratemeter 等이 一括하여 年産臺數에 計上되어있어 機種마다의 生産臺數는 不明이다. 그러나 어떤 機種을 보아도 生産臺數가 極히 적고, 많은것이라도 2400臺程度에 不過하다. 이에 對하여 醫療用電子計測器만도 800~8000臺로 되어 있다. 이같이 少量多品種인것이 이 産業의 特徵이라고 말

할수 있다.

그 理由는 電氣計測器等과 달라서 放射線計測器의 需要가 아직 적고, 또한 精密工業이기 때문에 mass production 이 되지 않기 때문이라고 생각된다.

이 産業의 第二의 特徵은 研究投資率이 높은데 있다. 1969年度의 研究開發費는 放射線計測器全體로 2.29億圓이고, 賣上高에 對한 比率로 表示하면 6.4%로 되어, 電氣計測器全體의 4.2%를 相當히 上廻하고 있다. 이것은 放射線計測器가 새로운 技術開發에 依하는 곳이 크고, 또한 技術革新의 tempo도 빠르고, 새로운 製品의 life cycle이 相當히 짧기 때문이라고 생각된다. 따라서 量産化가 되지 못하고, 價格이 높게되어, 이것이 逆으로 利用促進을 妨害하는 結果로 되고있다.

다시 構造的인 特徵으로서, 兼業이 많고, 더구나 間接費의인 經費가 싸기 때문에 直間比가 電氣計測器全體의 平均 60%의 2倍以上인 126%로 되어있음을 들수 있다. 따라서 製造用設備에의 投資額은 1969年末로 1.45億圓에 不過하고, 製造諸經費는 31.5億圓으로, 生産額 36.16億圓의 87.2%로 相當히 높은 比率로 되어 있다.

外資와의 協力關係에서는 1968년에 島津製作所가 G.

Table 8.

放射線計測器의 1968, '69年度의 生産內譯

(單位: 1000圓)

品 目	項 目	1968 年		1969 年	
		數 量	金 額	數 量	金 額
放射線測定器	檢 出 器	2,022	447,016	2,423	559,864
	Unit 機 器 (波高分析器, Ratemeter 等)	1,852	310,813	2,471	322,312
	微量放射線測定器 (Lowback, Liquid Scint 等)	695	258,326	739	260,680
	原子爐核計裝 Energy 分 析 (各種放射線 Spectrometer)	—	—	1	11,500
醫療用放射線 測定器	攝 取 率 測 定 器	153	52,794	97	33,614
	動態機能測定器	22	41,212	20	44,071
	Scintillation 走査診斷裝置	121	394,290	92	382,823
Monitor	個 人 monitor	33	20,927	28	19,713
	Area, monitor	1,946	176,986	2,147	290,312
	Survey meter	790	79,405	1,016	136,642
	照 射 線 量 計	77	14,000	97	17,900
放射線工業計器	Thickness gauge	206	516,474	205	621,789
	密 度 計	40	52,031	73	94,137
	液 面 計	35	21,000	53	31,723
	水 分 計	29	27,000	37	37,500
産業用放射線 機 器	檢 查 裝 置	313	304,302	389	665,364
	照 射 裝 置	5	13,000	2	30,000

D. Searle 社와 51:49의 比率로 島津—Searle 社를 設立하여, 核醫學關係機器의 導入을 企圖한것이 第1號로서 그후는 合併企業은 發足하고 있지 않다.

技術提携에서는 日立製作所가 picker corporation 과 1968년에 核醫學關係機器에 關한 10年間の 제휴를 하고 있다. 이와같이 外資와의 關係는 核醫學部門에 限하고 있으나, 日本에 있어서의 이 分野의 技術水準의 向上을 考慮하면, 今後 當분간 資本・技術提携는 不可缺할 것으로 생각된다.

## (2) 放射線關聯機器産業의 生産과 賣上狀況

原子力産業會議의 調査에 依하면, 1969年の 放射線機器, 放射性同位元素 및 關聯機器의 賣上高는 47.8億圓이 原子力産業全體의 大略 10%에 該當한다. 한편 計測器工業會의 調査에서는 1960年以後의 機種別 生産狀況이 Table 9와 같으며 1969年の 1960년에 對한 過去 10年間の 放射線計測器의 伸張率도 3.7倍로 그렇게 크지는 않으나, 1967~69年の 3個年을 잡아보면, 約 2倍로 되어 있다. 이것은 最近 겨우 放射線計測器의 經濟效果가 認定되어 工業의 利用이 急速히 늘어나고 있음을 말

해주고 있다. 1968, '69年度의 放射線計測器의 生産內譯은 Table 8에 나타났다.

그러면 1969年度의 放射線計測器의 全生産額은 36.14億圓이며, 이에 粒子加速器와 같은 放射線發生裝置(X線裝置를 除外)에 關한 電子機械工業會의 調査結果(1970年度 25臺, 5.3億圓)를 考慮하여, 廣義의 放射線關聯機器産業의 生産額을 見積하면, 40億圓臺가 된다.

原子力産業會議의 調査에 의하면, 放射性同位元素및 放射線關聯機器의 販賣對象別 賣上高는 1969年度에 있어서 Table 10과 같으며, 原子爐 등을 포함시킨 原子力産業全體의 約 12%이다. 販賣對象別에서는 公私立大學病院, 地方公共團體를 포함하는 其他의 分野에 總計 24.15億圓으로 가장 많고, 이어서 原子力研究所, 國立大學, 國立試驗所, 研究機關 등의 政府機關, 民間企業(maker), 電氣事業, 輸出의 順으로 되어 있다.

輸出의 內容은 Table 10에 의하면, 大部分이 放射線計測器로서 차지하고 있는데, 그 額은 0.96億圓에 不過하다. 그러나 電氣計測器工業會의 調査에서는 그 二倍인 2億圓으로 되어 있다. 어느쪽이거나 電氣計測器會社 가운데 放射線計測器는 가장 輸出이 적고, 2億圓으로

Table 9.

機種別 生産額 推移

(單位: 100萬圓)

機種別 年度別	電氣計器	電力量計	電 測 定 器	工業計器	分析計器	醫療用電 子測定器	放 射 線 計 測 器	合 計
1960	5,382	4,273	10,018	25,441	4,815	1,670	938	52,552
1961	6,768	4,389	11,740	33,248	4,924	2,106	1,275	64,468
1962	5,950	4,254	12,938	25,463	5,019	1,873	867	56,364
1963	6,342	5,098	14,513	27,704	5,490	2,096	885	62,128
1964	7,587	6,328	17,896	39,859	7,607	2,627	1,009	82,913
1967	8,436	7,006	26,598	59,841	22,663	4,283	1,777	130,604
1968	10,180	9,084	32,933	71,593	25,518	5,171	2,806	157,285
1969	12,879	10,440	43,889	88,153	33,338	6,177	3,614	198,490

Table 10.

Isotope 및 放射線機器의 販賣對象別 賣上高(1969年度)

(單位: 100萬圓)

		政 府	電氣事業	maker	其 他	輸 出	合 計
放射線機器	放射線發生裝置	387	—	109	193	—	689
	放射線測定器	482	86	153	637	96	1,454
	小 計	869	86	262	831	96	2,148
Isotope 및 關係機器	Isotope	31	119	6	1,113	19	1,288
	Isotope利用機器	38	26	605	343	11	1,028
	Isotope取扱設備	201	—	2	128	—	331
	小 計	270	145	613	1,584	30	2,642
合 計		1,139	231	875	2,415	126	4,785
(參考) 原子爐機器 등을 包含한 總計		7,459	21,217	6,560	3,157	372	38,765

Table 11. 放射線関連機器賣上高의 推移

(單位：千圓)

年度	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
機器의 種類							
總 額	1,172,153	1,571,008	1,327,443	1,627,014	2,536,134	2,813,331	3,854,258
檢 出 器	112,953	136,263	142,382	156,030	241,159	257,979	278,027
Unit 機 器	66,260	106,991	87,007	125,796	238,378	243,329	211,044
總 合 機 器	368,004	414,345	466,440	490,141	628,151	741,304	1,214,655
monitor	209,469	253,398	139,726	203,262	195,110	342,722	368,575
放 射 線 應 用 計 測 器	264,845	428,098	346,609	484,129	967,157	977,842	1,498,646
測 定 用 器 具	13,320	16,358	14,133	10,262	15,215	44,482	34,026
放射性物質取扱器具	63,817	122,995	25,230	17,689	105,355	36,158	118,014
部 品	73,490	92,560	105,916	139,705	145,609	165,518	131,271

했을 경우에도全體의 0.9%에 不過하다.

Table 11은 電氣計測器工業會가 綜合한 1964年以後의 機器別 賣上高의 推移를 나타내는 것으로, 最近 總合機器와 放射線應用機器의 伸張이 特히 顯著함을 알수 있다.

## 6. 將來의 展望(맺는말)

(1) 日本에 있어서의 放射性同位元素의 工業의 利用은 前述한바와 같이 15%前後의 높은 伸張率을 維持하여 成長하고, 數年以內에 今日의 二倍에 達할것으로 期待되고 있다.

(2) 放射性同位元素의 工業의 利用은, 利用한 企業이 얻는 利益이 問題인 것으로, 放射線機器의 增産에 의한

利益을 問題로 할것은 아니다. 日本에 있어서는 이 機器産業만을 들어보면, 現在 100億圓을 조금 上廻하는 額에 不過하고 數年後로 보아도 높아야 이 2倍에 不過할 것이다.

(3) 放射線 및 放射性同位元素 利用에 關한 教育 訓練을 推進하고, 社會一般에 對한 啓蒙・普及活動을 活發히 行하는것이 必須條件이다.

(4) 日本에 있어서의 가까운 將來의 새로운 目標은 使用한 原子燃料에서 생기는 大量 isotope의 利用・公害調査에의 應用, 放射線加工에의 應用等이다.

(5) 原子力開發利用과 放射性同位元素利用과 放射線 障害防止와는 廣義의 原子力平和利用의 3大要素로서, 이들 3者의 調和있는 發達을 遂行하지 않으면 안된다.