

《解 說》

放射線 및 放射性同位元素의 工業利用 現況과 展望\*

金 裕 善

韓國原子力研究所

(접수 1978. 6.16)

1. 序 言

1960年以來 韓國原子力研究所에서는 放射線 및 放射線同位元素의 産業的 利用에 關하여 研究開發, 技術訓練, 各生産工場에서의 利用可能性調査<sup>1,4)</sup> 등을 꾸준히 推進하여 왔으며 1970年度 中半에는 UNDP의 支援下에 「大單位 放射線加工示範施設」을 設置하고 放射線加工에 關한 示範事業을 活潑이 進行시켜 왔다.

그러나 國內工業技術水準이 아직 初期段階에 있던 關係로 그 實用化普及의 成果가 크지 못하였다. 1970年代에 들어서서 國內工業은 初期段階를 脫皮하여 劃期的인 發展을 거듭하여 왔으며 國際市場에서 先進國製品과의 熾烈한 市場占有競爭에 直面하고 있다. 이에 따라서 精密하고 低廉한 工程管理 및 品質管理技術이 切實이 要望되고 있고 이를 解決할 수 있는 効率的이고 經濟的인 方法으로서 放射線利用, NDT, Nuclear Gauge, 追跡子技術 等の 放射性同位元素利用技術이 國內 各生産工場의 關心을 크게 모으게 되었다.

工業化가 活潑하여져 가는 東南亞 各開發途上國家에서도 韓國의 境遇와 同一한 傾向을 보여 주고 있으며 IAEA 等の 國際協力機構에서도 至大한 關心을 갖이고 그 發展과 技術移植을 爲한 技術協力 및 支援을 計劃하고 있다. 先進國家에 있어서도 工程管理의 自動化, 製品品質管理의 自動効率化을 爲한 技術開發이 活潑하다. 今日에 있어서는 高度의 精密한 技術로서 放射性同位元素 및 放射線의 利用技術을 活用하지 않는 先進國生産業體는 거의 없게 되었고 이러한 高度精密技術에 依하여 生産되는 低廉 高品質의 製品과 對立하기 爲하여서는 開發途上國家의 工業技術은 그 水準을 向上

시켜 先進技術인 放射線 또는 放射性同位元素의 利用技術을 活潑이 導入 또는 開發實用化 하여야 할 立場에 노이게 되고 있다.

1976年 12月 IAEA에서 主管開催한 「産業用放射性同位元素 利用技術」에 關한 諮問會議 決議事項에 따라 1978年度 4월에 來韓한 IAEA Mission과 科技處原子力局 및 韓國原子力研究所가 協調하여 國內 各生産業體의 RI 利用現況 및 利用展望을 調査한 結果를 살펴 보면 國內 各工場에서의 利用도가 刮目할만큼 向上되고 있으며 各現地 技術陣의 關心과 意慾도 活潑하였다.

그러나 施設投資, 技術要員確保, 放射線取扱上의 諸隘路點 等 生産業體 自體로서는 解決하기 困難한 問題들이 散在하고 있었다. 이들 問題點解決을 經營陣 또는 國家技術機關에서 積極 支援한다면 그 實用普及은 無限이 發展되어 갈 展望이 뚜렷하였다.

이러한 技術支援이 將次 活潑이 進行되어 간다면 國內工業水準은 先進國技術을 凌駕할 수 있고 製品市場競爭에서도 勝利하여 輸出增大에 至大한 貢獻을 할 수 있을 것으로 期待되고 있다.

本稿에서는 放射線 및 放射性同位元素의 利用技術의 原理, 國內外 利用現況, 그 活用으로 얻을 수 있는 經濟的 利點, 國內에서의 實用普及化 展望 等に 關하여 論述하고자 한다.

2. 放射線 및 放射線同位元素의 工業利用技術의 諸原理<sup>5)</sup>

工業利用技術의 原理는 放射性同位元素가 지나고 있는 放射能特性을 利用하는 分野와 放射線이 지나고 있는 物質透過性 및 Energy를 利用하는 分野로 大別된다.

前者의 例로서 微量의 放射能을 計測하여 그 移動狀況

\* 「第10回 韓國原子力學會 年會 特別講演」(1978. 5. 21 韓國科學院講堂)

및 함유량을 살피는 「追跡子利用技術, 放射化分析」 등이 있으며 後者の 例로서는 原子力計測(Nuclear Gauge), 放射線透過檢査(Radiography), 放射線加工(Radiation Processings), 이온化 放射線利用(Ionizing radiation) 등이 있다.

이들 各分野는 工業의 品質管理 및 工程管理에 多方面으로 利用되고 있으나 가장 잘 알려져 있고 그 利用 頻도가 큰 것으로 부터 그 原理를 順位別로 說明하여 보고자 한다.

가. 放射線透過檢査(Radiography)

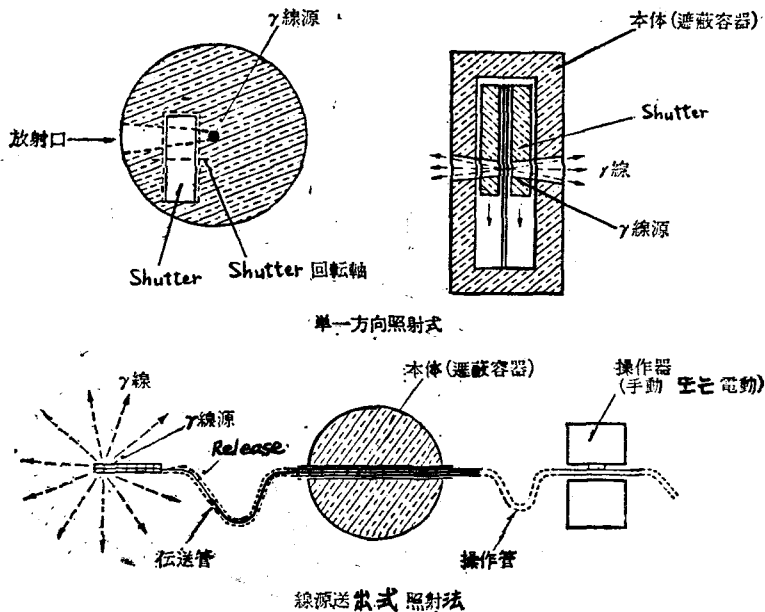
非破壞檢査法(Non destructive testing)이라함은 金屬의 鑄物 및 熔接部에 存在하는 缺陷, 金屬構造物의 內部構造, 其他 各種材質의 內部構造上의 缺陷 등을 그 檢査對象物을 損傷시키지 않고 外部에서 檢査할 수 있는 方法을 뜻하며 放射線을 利用하는 透過檢査法(Radiography), 超音波探傷法(UT), 磁氣探傷法, 浸透探傷法, Stress 測定法 등이 있다. 各方法에 各各 特徵이 있으나 X線,  $\gamma$ 線 또는 中性子線 등의 放射線을 透過시켜 寫眞撮影으로 檢査部位를 精密하게 探傷할 수 있는 放射線透過檢査法이 가장 넓이 普及되어 있고 裝置가 簡便하며 檢査結果도 正確하다.

第1表에 檢査方式에 關하여 綜合하였으며 第2表에  $\gamma$ 線源으로 使用되는 放射線同位元素名과 그 測定限界를 明示하여 두었다.

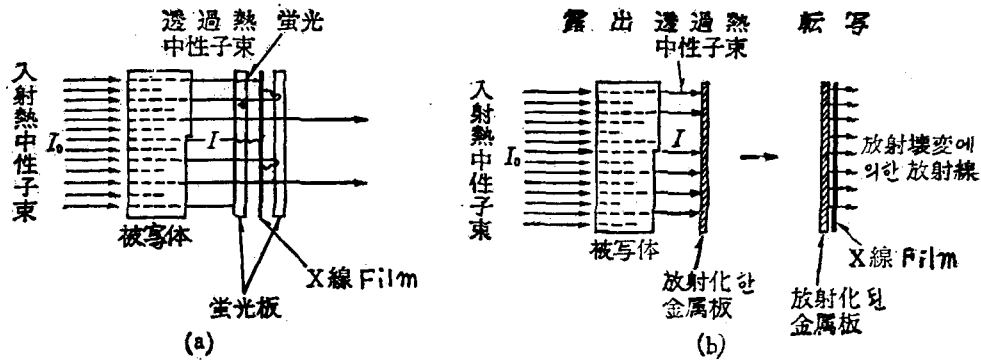
얇은 材質, 密度가 크지 않은 金屬物의 檢査에서는

工業用 X-線裝置가 使用되고 있으나 檢査範圍가 넓지 못하고 高電壓의 電源이 必要하고 Cable의 絕緣性이 問題가 되고 높은 位置 또는 高溫高壓器의 內部檢査에는 特別한 裝置가 必要하고 등의 不便한 點이 있어 이 보다 簡便한  $\gamma$ 線檢査法이 많이 利用되고 있다. X-線裝置로서는 400kV 以下의 것이 主로 利用되고 있으며 X-線源으로서 放射性 同位元素로 부터 放出되는 特性 X-線을 使用하기도 하나 그 Energy가 弱하여 얇은 材質에서만 有效하다.

$\gamma$ 線檢査에 利用되는 放射線源은 第2表에 表示되어 있다. 檢査裝置는(第1圖 參照) 線源格納容器(납 또는 Depleted Uranium), 撮影時  $\gamma$ 線을 放出시키기爲한 放射口 및 Shutter, 遠隔操作(Remote Control)을爲한 傳送管, 操作裝置(電動 또는 油壓式)으로 構成되어 있고 그 取扱이 簡便하게 꾸며져 있다. 照射方式에 따라서 單一方向照射式, 線源送式이 있으며 前者의 方式으로서는 圓錐狀의 限定된 角度範圍內에서 照射되는 것과 水平의  $2\pi$  方向으로 圓形狀의 Shutter를 利用한 것이 있고 後者の 方式에서는 傳送管內을 線源의 移動할 수 있는 Release 方式이 利用되고 있고 遠隔操作이 可能하다. 어느 方式에서나  $\gamma$ 線의 線源의 Size, Energy 의 세기 등을 檢査對象에 따라서 調節하던 檢査對象이 鐵鋼인 境遇 0.4~10cm 까지의 두께를 檢査할 수 있으나 10cm 以上の 것은 高線 Energy X線을 發生하는  $\beta$ -tron, (15MeV) Linear Accerelator (1~10 MeV), Vande Graff (1~2MeV) 등을 使用하여야 한다



第1圖 Radiography用 照射裝置의 方式



(a) 直接露出法에 의한 撮影의 原理 (b) 像轉寫法에 의한 撮影의 原理  
第2圖 中性子 Radiography 露出方法

第1表 放射線透過檢査

裝置名	檢査對象
工業用 X-線裝置 (X-線: 100~400Kv)	얇은 鐵鋼 其他 金屬物
γ-線透過檢査裝置 線源: <sup>60</sup> Co(1~10Ci)	Fe(cm) 2~20
<sup>192</sup> Ir	0.6~7.0
<sup>137</sup> Cs	1.2~9.0
<sup>170</sup> Tm	0.4~2.5
高에너지 X-線發生裝置 β-tron(15KeV)	30~40
Linear accrelator (10MeV)	
中性子線 透過檢査 裝置	密度가 큰 것 (Pb, Uranium) 密度가 작은 것 (水, 合成樹脂)

다. X-線, γ-線은 그 透過力이 材質의 密度에 따라 左右됨으로 Pb, Uranium와 같이 密度가 큰것 또는 물, 重合物과 같이 密度가 아주 작은 材質의 檢査에서는 中性子線을 利用한 中性子線透過檢査法(Neutron Radiography)이 있다. 現在 核燃料의 非破壞檢査에 實用化되고 있으며 航空機 또는 兵器의 部品檢査에도 試用되고 있다. 第2圖에 裝置內容을 圖示하였으나 中性子線 特別히 熱中性子線은 電荷를 지니지 않은 粒子로서 電離作用이 없으므로 寫眞乾板에 感光시킬 수 없다. 따라서 熱中性子和 다른 物質사이에 일어나는 核反應으로 放出되는 二次의 荷電粒子 또는 核反應과 함께 새로이 生成된 放射性核種으로부터 放出되는 荷電粒子 등의 感光作用을 利用하여 寫眞攝影을 行할 수 있다. 前

第2表 Radiography에 使用되는 γ線源의 性質

	<sup>60</sup> Co	<sup>137</sup> Cs	<sup>192</sup> Ir	<sup>170</sup> Tm
半減期	5.263y	30.0y	74.2d	134d
化學的 狀態	Co	CsCl	Ir	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
γ線 에너지 (MeV)	1.33 1.17	0.662 —	0.310 0.47 0.65	0.084 0.052
Rhm/Ci	1.35	0.37	0.55	0.00030
半價層의 厚 (cm)	{ Al 4.6 Fe 1.6 Pb 1.0	{ 3.6 1.2 0.56	{ 2.4 0.85 0.12	{ 1.3 0.15 0.04
適用範圍 Fe(cm)	2~20	1.2~9.0	0.6~7.0	0.4~2.5

者의 方式을 直接露出法, 後者의 方式을 像轉寫法이라고 한다.

나. 原子力 計測器(Nuclear Gauge)<sup>7,8)</sup>

α, β, γ線을 放出하는 放射性同位元素를 密封하고 여기에서 나오는 放射線을 檢査試料에 吸收 또는 散亂시켜 그 放射線量을 計測器로 測定하여 試料의 두께, 層의 높이, 密度, 水分含量 등을 計測하는 方法이다. 이 方法의 特色은 試料에 損傷을 주지 않고 測定을 連續적으로 行할 수 있고 그 結果를 on line에 直結함으로써 工程管理 및 品質管理를 自動化시킬 수 있는 點에 있다. 따라서 均一한 品質維持, 原材料의 節減, 工程의 效率化 등에 特別히 有效하며 모든 工業分野에서나 다 利用되고 있다. 特別히 板材를 取扱하는 製鋼, 鐵板, 合板, Glass, 製紙, 重合物 등의 分野에서 넓이 使用되고 있고 이러한 機器使用에 따르는 經濟的利得도 매우 큰 것으로 알려져 있다.<sup>8,9)</sup> 第3表에 原子力計測器의 種類를 表示하여 두었다. 한편 放射線의 電離作用을 利用하여 極微量의 氣體를 探知 또는 計測하는 利用分野

第3表 Nuclear Gauge (原子力計測器)

1) 密封線源中の放射線 ( $\alpha, \beta, \gamma, n$ 等)의 吸收 또는 散亂을 利用.
○ 測厚計( $\beta, \gamma$ 線)
○ 密度計( $\gamma$ 線)
○ 測位計( " )
○ 水分計(中性子線)
○ 地下檢層計
○ 硫黃分析計等(X-線 또는 $\gamma$ -線)
2) 放射線의 電離作用을 利用
○ 眞空計( $\alpha$ 線 電離電流)
○ 煙探知計( $\alpha$ 線 電離電流)
○ EC 型 微量氣體成分 測定計(低에너지 $\beta$ -線)
○ 靜電氣除去裝置( $\alpha, \beta$ 線)
3) X-線螢光을 利用
RI 螢光 X線 分析裝置
(X, $\gamma$ 線에 의한 勵起螢光)

가 있다. (第3表 參照) 原子力計測器中에서 現在 가장 많이 利用되고 있는 測厚計(Thickness Gauge), 및 測位計의 原理를 說明하면 다음과 같다.

(1) 測厚計(Thickness Gauge)

物體中에서의 放射線의 吸收 및 散亂을 利用하여 物體의 두께를 測定하는 裝置을 放射線測厚計라 한다. 第3圖에 圖示한 原理圖에서 보여주시 放射線의 透

過을 利用하는 透過型測厚計와 後方散亂을 利用하는 散亂型測厚計가 있으며 測定하는 對象物의 材質에 따라서  $\beta$  線 또는  $\gamma$  線 線源을 使用하고 있다. 金屬表面의 鍍金層 두께를 測定하는데 螢光 X線式의 測厚計, 密封線源이 아닌 X-線을 直接 使用하는 X-線測厚計가 있다.

第3表에 測厚計에 應用되고 있는 放射性核種 및 그 適用範圍을 表示하여 두었다.

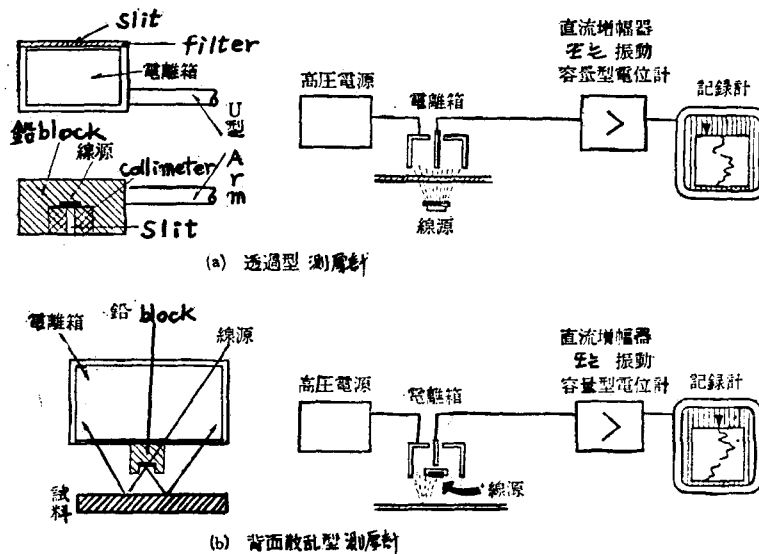
얇은 Polyethylene 시트, 조의, PVC 시트 等엔 低에너지源인  $^{14}C$ ,  $^{137}Pm$ ,  $^{85}Kr$ ,  $^{204}Tl$  等の 線源이 利用되며 얇은 鋼板에서는 에너지가 큰  $\beta$ -線源  $^{90}Sr$ ,  $^{106}Ru$ , 低에너지  $\gamma$ -線源  $^{241}Am$  이 利用되고 있다. 두꺼운 鋼板에서는  $^{137}Cs$ ,  $^{60}Co$  等の  $\gamma$ -線源이 使用된다. 亞鉛鍍鋼板의 鍍金層의 두께 測定에서는  $^{90}Sr$ ,  $^{85}Kr$  의  $\beta$ -線散亂을 利用하며 放射性同位元素로 放出되는 螢光 X-線을 利用하기도 한다.

이 裝置은 工程에 on line 으로 設置될 수 있고 測厚結果를 生産過程에 自動連結시킬 수 있음으로 品質의 均一性維持, 原資材의 節減, 工程의 效率化에 큰 效果를 거둘 수 있는 것이다.

(2) 測位計(Level Gauge)

測位計는 放射線의 透過나 亂散을 利用하여 密閉된 容器內의 液面의 높이나 粉末 또는 固體의 높이를 測定하는 裝置이다. 이 裝置을 工程에 on line 으로 連結하면 生産過程을 自動制御할 수 있다.

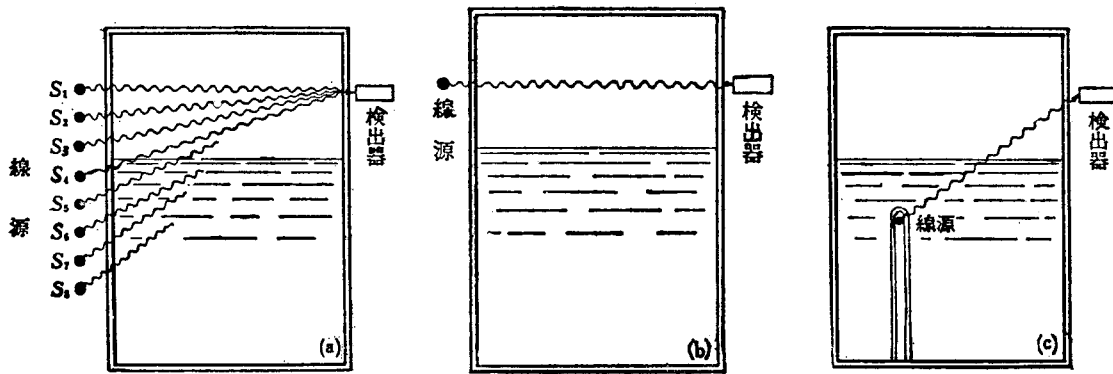
가장 흔히 利用되는 것이  $\gamma$ -線測位計이며 그 測位方



第3圖 測厚計의 原理圖

表 3. 測厚計에 利用되는 放射性核種의 性質과 適用範圍

放射性核種	半減期	利用되는 放射線의 種類와 에너지 (MeV)	適用範圍 (mg/cm <sup>2</sup> )
<sup>14</sup> C	5730y	$\beta^-$ 0.156	1~10
<sup>147</sup> Tm	2.62y	$\beta^-$ 0.22	1~15
<sup>85</sup> Kr	10.76y	$\beta^-$ 0.15, 0.67	10~130
<sup>204</sup> Tl	3.9y	$\beta^-$ 0.77	10~150
<sup>90</sup> Sr	28y	$\beta^-$ 0.54 ( <sup>90</sup> Y $\beta^-$ 2.25)	50~600
<sup>108</sup> Ru	1.0y	$\beta^-$ 0.039 ( <sup>109</sup> Rh $\beta^-$ 3.55)	100~1,200
<sup>241</sup> Am	458y	$\gamma$ 0.027, 0.033, 0.060	400~3,500
<sup>137</sup> Cs	30.0y	$\gamma$ 0.662	2~40g/cm <sup>2</sup>
<sup>60</sup> Co	5.27y	$\gamma$ 1.17, 1.33	2.7~55g/cm <sup>2</sup>



第4圖 Level Gauge 의 方式

式을 第4圖에 圖示 하였다. 第4圖에서 (a)方式은 level의 높이와 放射線強度의 關係을 直線의으로 하기 爲하여 適當한 放射能을 갖인 線源 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>...을 等間隙으로 配列시킨 것이고 (b)方式은 一定한 level에 對한 높이와 變化的 比較의 正確히 測定할 수 있음으로 一定한 Level을 維持하고자 할때 自動制御에 利用되고 있다.  $\gamma$ -線源으로서는 <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs 등이 흔히 使用되고 있으나 特殊한 小型容器的 液面測定에는 <sup>241</sup>Am가 使用된다.

容器的 容量이나 必要한 測定精密度에 따라서 線源의 核種과 放射能量을 適當히 選擇한다면 거의 모든 分野의 生産工程에서 活用될 수 있다.

다. 放射線 加工(Radiation Processing)

放射線의 에너지를 利用하여 生物物質, 農產品, 微生物의 化學分解을 일으켜 滅菌, 殺菌, 消毒, 長期貯藏 等の 加工을 大量으로 行하는 利用分野는 最近 各國에서 實用化段階에 들어서 企業化되고 있다. 特別히 從來의 加熱消毒, 加熱滅菌, 개스(ETO)殺菌 等으로 行

하던 醫療製品的 滅菌은 放射線滅菌으로 代置되어가고 있다. 農產品의 長期貯藏에는 從來 化學藥劑를 主로 使用하여 왔으나 公害問題(特別히 發癌性藥物)가 있어 放射線貯藏으로 缺點을 補完하여 가고 있다.

그 原理는 放射線의 에너지 및 放射線의 化學作用을 利用하여 微生物, 細菌, 곰팡이 等の 體內細胞를 分解시켜(特別히 RNA, DNA) 滅菌 또는 消毒效果를 얻는 것으로 알려져 있다. 한편 放射線의 化學作用( $\alpha$ -線,  $\beta$ -線,  $\gamma$ -線, 中性子線, 電子線(高壓加速))을 利用하여 重合物의 特性 改良, 特殊重合物製造, 強化 plastic 製造, 硬質塗膜形成 等 材質이 優秀한 工業製품을 製造하는 分野가 있다. 이들 加工技術은 觸媒, 加熱, 化學試藥 等の 方法으로도 成就될 수 있으나 大量의 製품을 가장 效率的으로 (即 加工時間, 經費, 公害問題 等) 處理하는데 있어서는 放射線加工法이 優秀한것으로 되어 있다.

그 原理는 物質分子內原子間의 化學結合을 放射線로 切斷 또는 再結合시켜 複雜한 放射線化學反應을 誘發하여 材質이 優秀한 새로운 分子 또는 高分子物을 만

第 4 表 放射線加工(Radiation Processing)

○ 放射線 에너지 利用	
線 源	利 用 例
γ-線 및 電子線	醫療品 滅菌 醫藥品 滅菌 食品消毒, 滅菌 農產品貯藏 海產品貯藏
β-線	靜電氣除去 (纖 維)
○ 放射線에 의한 化學反應 利用	
線 源	利 用 例
γ-線 및 電子線	○ WPC(硬化木材) ○ 特殊重合物 硬質資材 ○ 特殊重合物(Cross linking, graft polymerization) ○ 纖維改質 ○ 硬質塗裝處理

되는 것이다.

單只 初期에 施設投資資金이 多額 所要되고 放射線 取扱에 여러 特殊한 配慮가 必要한 關係로 中小企業 規模로서는 施行하기 困難한 點이 있으나 製品의 材質이 優秀함으로 大企業規模로서는 各國에서 實用化되고 있다. 放射線線源으로서는 密封線源이 使用되며 γ-線이 主이지만 目的에 따라서는 β線, 中性子線이 利用되며 最近에는 高電壓電子加速器(Electron Accerelator)가 開發되어 加速電子線에 依한 加工技術이 活潑하게 實用化되어 가고 있다. 第 4 表에 放射線加工 分野를 表示하여 두었다.

다. 追跡子利用 技術

物體의 移動이나 化學的反應機構를 追跡하는데 追跡子(tracer)가 利用되고 있다. 追跡子로서는 一般化學物質, 安定同位元素, 放射性同位元素 等이 利用되며 特別 同位元素를 利用하는 分野가 工業적으로 넓이 普及實用化 되고 있다. 液體나 氣體의 흐름을 測定하는 것과 같은 物理的 移動現象 追跡에서는 그 物質과 粘性, 比重等의 物理的性質이 같은 物質을 放射線核種으로 標識한 放射性 tracer 로 追跡한다. (物理的 tracer) 化學反應의 反應機構를 究明하고자 하는 境遇에는 特定한 元素의 放射性核種의 化學的性質이 그 元素에 固有한 것이라는 事實을 利用하여 그 元素의 放射性核種을 追跡子로서 利用한다. 이러한 追跡者를 化學的追跡子

第 5 表 追跡子 利用技術

應 用 例
○ 化學工業에서의 反應裝置內 化學反應機構 究明 ○ Piston Ring, 工具等의 磨耗를 測定 ○ 漂砂移動追跡 ○ 送油管, 上水道管等의 漏洩檢査 ○ 河川이나 工場의 工程에서의 流速 또는 流量測定 ○ 各種 工程에서의 混合度 測定 ○ 煤煙擴散 測定 ○ 製品中の 不純物 含量 測定 ○ 其他 廣範圍한 例가 있음

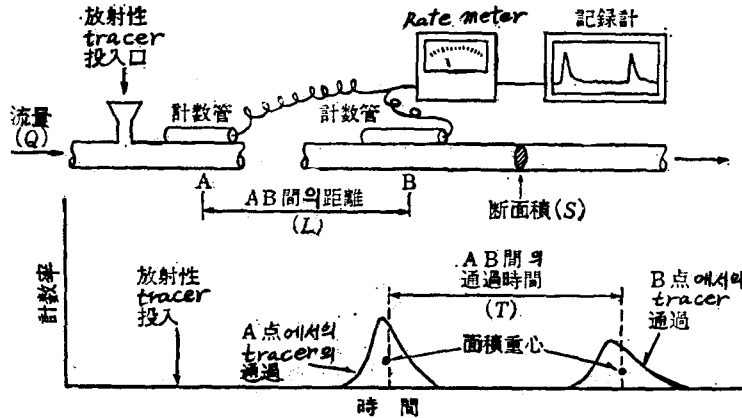
(chemical tracer)라고 한다. 以上の 두 追跡子를 利用하는 分野는 1960年代 以前에는 醫學用(診斷用), 農學研究(主로 施肥效果研究) 等의 研究目的이 主된 것이었으나 1960年代 以後 工業用으로도 널리 利用되고 있다. 이 技術의 特徵은 微量의 追跡子를 投入하여서 多量物質의 移動을 外部에서 追跡할 수 있다는 點, 다른 方法으로는 測定이 거이 不可能한 微量成分의 移動磨損, 含量 等의 測定이 可能한點 高溫高壓의 反應器, 熔鑄爐, 混合槽 等의 內部 生産過程을 外部에서 精密, 簡便 및 連續的으로 追跡할 수 있다는 點 等이다. 第 5 表에 重要한 利用分野가 表示되어 있다.

工場이나 土木工事의 現場에서 多量의 放射性追跡子를 使用하는 境遇에는 放射線障害를 防止하기 爲한 放射線安全管理가 容易하지 못함으로 測定與件에 따라서는 放射性追跡子 代身 放射能이 없는 一般化學元素나 또는 安定同位元素(Stable isotope)을 利用하는 것이 보다 効率인 境遇가 있다. 이러한 應用例에서는 一般化學元素를 使用한 例에서는 測定過程에서 試料를 여러개 採取하고 이들 試料를 原子爐의 熱中子線으로 放射化시켜 그 放射能을 計測할 수 있고 安定同位元素를 投入應用한 例에서는 採取한 試料中の 同位元素의 含量을 質量分析器(Mass spectroscopy)로 分析評價할 수 있다. 前者의 例를 Activable Tracer 法 이라하고 後者의 例를 Stable isotope 法이라고 한다.

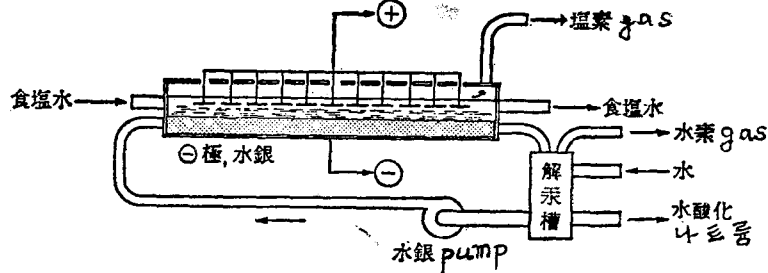
放射線追跡子의 利用例는 許多하며 다른 方法으로서는 不可能한 測定을 簡便迅速하게 成就할 수 있는 利點이 있다. 그 中에서 代表的인 例를 다음에 紹介하여 보고자 한다.

(1) 滯留時間의 測定

石油製品의 輸送에서는 같은 輸送管을 使用하여 A品質의 液體를 輸送한 다음 繼續하여 B品質의 液體品을 輸送하는 것이 常例이다. 이 境遇에 二種類의 製品의



第 5 圖 Peak-timing 法에 의한 流量測定의 原理



第 6 圖 水銀陰極食鹽電解法의 原理(食鹽電解槽의 電極水銀量의 測定)

境界部分을 放射性追跡子로 標識하여 두면 數百 km 의 遠距離를 輸送한 다음 貯藏 tank 에 注入할 때 放射線計測器로 그 境界面을 檢知하고 Pulp 을 操作하면 손쉽게 A, B 兩製品을 區分할 수 있다.

生産工場에서는 高溫高壓의 各種反應塔, 熔鑄爐, 混合容器를 運轉하는 例가 許多하며 이러한 裝置의 磨損檢査 및 裝置內의 化學反應 또는 混合特性의 究明에 放射性同位元素追跡子가 널리 利用되고 있다.

第 5 圖에 이러한 反應器內의 原料流量을 測定하는 例가 圖示되어 있다. 原料의 一部分의 流量이 平均値보다 크면 다른 部分의 流量이 遲延되고 그 結果로서 反應時間이 反應器內에 各部分에 따라서 相異하게 되고 製品의 品質이 不均一하게 됨으로 流量調節 與否를 檢査하여야 한다. 磨損檢査에서는 放射性同位元素追跡子를 器壁에 埋沒시켜 두었다가 磨損에 따라 洩出되어 나오는 放射線을 計測하면 그 損傷程度를 簡便하게 檢査할 수 있다.

(2) 食鹽電解槽의 電極水銀量의 測定

化學工業에 利用되는 一例로서 食鹽電解工業에서의 水銀量 測定法을 說明하고자 한다. 여기에 應用되는 原

則은 다른 工業分野에서도 利用될 수 있다.

食鹽電解工業에서는 經濟性, 安全性, 公害防止 等의 目的으로 水銀의 放射性追跡子를 使用한 同位體希釋析法의 原理에 依한 測定이 施行되고 있다.

第 6 圖에 그 原理를 圖示하였다.

이 方法에서는 重量  $m$ : 放射能濃度  $a_0$  의 既知인 放射性水銀을 電解槽內의 水銀에 添加시켜 完全히 銀의 擴散이 이루어진 다음 少量의 水銀試料를 採取하여 試料中의 放射能濃度  $a$  을 測定한다. 電解槽內에는 水銀의 未知量  $M$  의 값은  $M = m_0 \left( \frac{a_0}{a} - 1 \right)$  로 求된다.

水銀의 放射性同位元素로서는  $^{197}\text{Hg}$  (半減期 65시) 또는  $^{203}\text{Hg}$  (半減期 46.9日) 을 使用한다. 電解槽一, 3~4屯의 水銀量에 對하여 2~3mc 의 放射性水銀의 入으로 그 濃度의 測定이 可能하다.

다. 其他利用 分野

放射線 및 放射性同位元素의 工業利用分野는 既 것이 主된 것이지만 이 밖에도 測定對象 또는 加工件에 따라서 여러 應用分野를 開發할 수 있을 것

展望되고 있다.

3. 世界各國에서의 工業利用 現況과 經濟的 利得<sup>8, 2, 3)</sup>

既述한바와 같이 放射線 및 放射性同位元素의 工業利用技術은 1950年代 後半부터 實用化되어 왔던 것으로서 歐美 各先進國家에서는 第10表에 보여주듯이 1963年

現在 임이 莫大한 經濟的利得을 건우고 있다. 特히 美蘇 兩國에서는 殘餘 24國家에서의 總使用量을 各各 超過達成하고 있다. 特히 Gauge, Radiography, Tracer application 分野에서 莫大한 利得을 얻고 있다. 東南亞細亞地域에서는 日本이 計測器 分野에서 特出한 使用實績을 보여주고 있으며 印度에서 다음가는 實績을 보여주고 있다(第11表 參照)

IAEA 의 委託用役事業으로 1976年 英國 HARWELL

第 6 表 Principal Radioisotope and Radiation Techniques in Current Industrial use

Gauging	Thickness, density and level measurements.
Analysis	Single or multi-element analysis systems using X-ray fluorescence.
Natural gamma measurement	Exploration and control in uranium mining.
Neutron interaction	Process control in basic industries such as fertiliser, coal, iron and steel.
Tracer studies	Flow measurement, mass-transfer studies, leak detection.
Gas ionisation	Smoke detection systems.

第 7 表 Major Industrial Areas Benefiting from Radioisotope and Radiation Applications

Agriculture, forestry, fishing	
Mining and quarrying	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Coal mining</li> <li>  Metal mining</li> <li>  Crude petroleum and natural gas</li> <li>  Stone quarrying, clay and sand pits</li> <li>  Other non-metallic mining and quarrying</li> </ul>
Manufacturing industries	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Food</li> <li>  Beverages</li> <li>  Tobacco</li> <li>  Textiles</li> <li>  Footwear</li> <li>  Furniture</li> <li>  Paper and paper products</li> <li>  Printing and publishing</li> <li>  Manufacture of rubber products</li> <li>  Chemicals and chemical products</li> <li>  Products of petroleum and coal</li> <li>  Basic metal industries</li> <li>  Machinery manufacture</li> </ul>
Civil engineering constructions	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Roads</li> <li>  Bridges</li> <li>  Dams</li> </ul>
Electricity, gas, water and sanitary services	
Research, services, transport and communications	



第 8 表 Selection of Typical Radioisotope Applications Showing Economic Benefit

Paper Industry,	— Large fully automated computerised equipment; USA company will guarantee savings of at least twice the monthly hire charge of \$ 150K. — Semi automatic equipment; savings of at least 2% of paper cost. — Installation of nucleonic belt weighers costing approximately \$ 7.5K will show total cost recovery within 12 months.
Plastics Industry	— Fully automatic thickness gauging system costing approximately \$ 32K can show annual savings of \$ 80K.
Iron and Steel Industry	— Computerised coke weighing and moisture control system can show savings of \$ 0.6m—0.9m per year for an investment of \$ 55K. Tinplate coating thickness gauge can show savings of \$ 80K per 1000 tonne of tin used. (1000 tonne is low for a modern tinplate mill.)

第 9 表 Economics of Thickness Gauging in the Kraft Paper Plant (1975, JAPAN)

		Cash purchase (10 <sup>6</sup> yen/year)	Lease (10 <sup>6</sup> yen/year)	
1. Investment	A	46.02		Inclusive of furnishings cost
2. Gross profit	B	106.9	106.9	Production rate 250t/day
Saving of raw material	B <sub>1</sub>	(1.4%)	(1.4%)	350days operation per year
Profit by B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	45.7	45.7	Unit cost of raw material~37yen/kg
Increased production	B <sub>3</sub>	(2.0%)	(2.0%)	
Profit by B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	61.2	61.2	Unit cost of product~72yen/kg
B <sub>2</sub> +B <sub>4</sub> =B	B	106.9	106.9	
3. Loss	C	6.71	14.73	
Repair	C <sub>1</sub>	1.38	1.38	C <sub>1</sub> =0.03A
municipal property tax	C <sub>2</sub>	0.64	—	C <sub>2</sub> =0.014A
Insurance	C <sub>3</sub>	0.09	—	C <sub>3</sub> =0.002A
Lease	C <sub>4</sub>	—	13.35	C <sub>4</sub> =1.45A/5 per year
Interest	C <sub>5</sub>	4.60	—	C <sub>5</sub> =0.1A
C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub> +C <sub>4</sub> +C <sub>5</sub>	C	6.71	14.73	
4. Depreciation	D	8.01	—	D=0.175A
5. Tax take	E	49.91	47.93	E=(B-(C+D))×0.52
6. Net profit	F	52.58	44.24	F=B-(C+E)
7. Amortization period	G	0.88	4.31	G=A/ForG=(F/C <sup>2</sup> )+1

연구소에서 施行한 調査結果<sup>8)</sup>에 따르면 1970年代 後半에 東南亞細亞 各國에서의 現況은 第6~8表에 보여 주는 바와 같다. 即 各國에서의 利用分野는 先進國에서의 先例를 따르고 있으나(第6表) 經濟的 利得을 얻고 있는 分野는 開發途上國인 關係上 鑛山業, 土木, 水理 등이 두드러지고 製造業(工業)의 境遇에는 計測器와 放射線透過檢査 등이 널리 利用되고 있으며 放射線加工과 같은 新技術의 實用化는 比較的 低調이다.(第7表) 이 調査報告書에 따르면 開發途上國의 工業技術發展에

특히 製紙工業, 重合物加工業, 鐵鋼業 등에서 放射性同位元素의 工業利用技術에 依하여 많은 經濟的利得을 얻을 수 있을 것으로 展望하고 있다.(第8表) 同報告書에서 韓國의 境遇 經濟發展이 1960年 後半으로부터 1970年代에 걸쳐 高度로 成長되어 가고 있음을 勘案하여 工業利用技術의 實用分野가 擴大되어 갈 可憐한 展望이 있는 것으로 調査되고 있다.

日本의 境遇 工業水準이 先進化되어 감에 따라서 效率的인 工程管理 및 均一한 品質維持를 爲한 原子力計

第10表 Global Savings from the Use of Radioisotopes (\$ millions U.S.)

	Total from 24 countries (1961-63)	USA (1963)	USSR (1961)	Total
Gauging	26.7-43.4	35.2-50.4	100 <sup>+</sup>	162-194
Radiography	12.1-28.9	4.0-7.6	22	38-58
Ionisation	1-2	*	*	1-2
Tracing	10-40	27-48 $\phi$	58 <sup>+</sup>	95-146
Total	50-114	66-106	180	296-400

\* Included in other groups.

$\phi$  Also includes certain gauging and ionisation applications.

<sup>+</sup> The exact distribution of savings between gauging and tracing is not known.

第11表 Nucleonic gauges in Indian Industry (1976)

S.No. Industry	Applications			
	Thickness gauges	Level gauges	Density gauges	Miscellaneous gauges
1. Food	—	—	2	—
2. Textiles & rubber.	—	—	—	—
3. Wood & Paper	13	14	—	—
4. Chemicals & Plastics	7	42	4	—
5. Cement	—	2	—	—
6. Petroleum & Coal	1	6	—	—
7. Basic metals	25	638	3	4
8. Machinery	—	192	—	—
9. Services	3	27	2	—
10. Miscellaneous	—	—	11	—
Total no. of Gauges.	49	921	22	4

測器의 實用化가 1970年代에 顯著하게 擴大되어 가고 있다. 第9表에 보여주듯이 測厚計의 設置에 따르는 原價計算面에서의 純利益이 施設後 1년에 投資額을 超過하고 있다. 이 結果를 본다면 日本의 境遇에는 第8表에 보여주는 바와 같은 先進國에서의 實例에 肉迫하고 있음을 示唆하여 주고 있는 것으로서 그들의 工業技術水準이 先進化되고 있음을 보여주고도 남음이 있다. 印度의 境遇에는 工業水準이 先進化되어 있다고 認定되지는 않고 있으나 第11表에 보여주듯이 計測器面에서는 相當한 水準의 實用化 實績을 짓고 있다.

IAEA 當局에서는 東南亞細亞各國의 工業水準이 向上되어 先進化되어 감에 따라서 放射線 및 放射性同位元素의 工業利用이 必須의으로 附隨되어 發展되어 갈 것으로 展望하고 있다. 換言한다면 放射線 및 放射性同位元素의 工業利用技術은 先進技術로서 工程管理에나 品質管理에 있어서 先進國의 水準을 維持하자면 반

드시 實用되어야 할 分野인 同時에 이 技術의 實用化與否는 該當國家의 工業技術水準의 先進性을 左右하고 있음을 뜻하고 있는 것이다.

#### 4. 國內에서의 工業利用 實績 및 現況

韓國의 工業은 1960年代~1970年代 初는 그 基盤造成段階에 있었고 1970年代 後半에는 100億弗輸出이 達成되었을 程度로 高度成長한 工業國이며 이 成長趨勢는 1980年代에 500億 \$ 輸出 GNP 2000餘 \$에까지 繼續發展되어갈 展望에 있다. 工業水準과 密接한 聯關性을 지니고 있는 放射性同位元素 工業利用技術의 實用化傾向도 全般的인 工業成長傾向과 步調를 같이하고 있다. 1967年, 1970年 兩회에 걸쳐서 科技處支援으로 各生産業體에서의 實用化實態를 調査한 結果<sup>14)</sup> 第12, 13表에 보여주듯이 件數에 있어서 微微한 狀態에 있었고 거 이

第 12 表 방사성 동위원소의 공업이용 현황  
1967.12. 현재

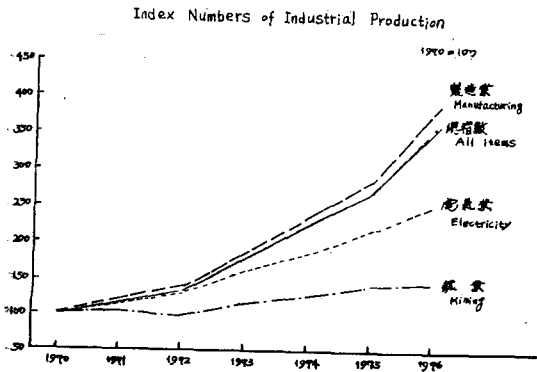
종 별	업 체 수	Thacer	Gauging	Radio-graphy	기타
원자력연구소 *1		11건	3건	4건	
생 산 업 체	6	—	6 (X-ray)	10	
용 역 회 사	2	—	—	**4	
대 학***	2	1	1	1	
계	11	12	10	9	

\* 자체 또는 외부에 의하여 개발한 것  
\*\* 보유하고 있는 선원수  
\*\*\* 기업체에서 실제 이용할 수 있는 자료를 제공한것

第 13 表 우리나라 업체의 원자력 이용 현황  
1970.12.

구 분	업 체 수
Level Gauge 이용 기관	5
Thickness Gauge " " " "	2
Radiography " " " "	10
Large Source " " " "	1
계	18

第 14 表 産業生産指數



韓國統計年報 (1977年, 第24号 經企魂)

第 15 表 Industrial Compositin of GNP

FY	Gross National Product	Agriculture & Forestry & Marine Products Industry	Mining & Manufacturing	Social Over-Head Capital & Other Services
				Total
1970	100(%)	28.0(%)	22.8	49.2
1971	100	26.5	24.4	49.1
1972	100	25.2	26.2	48.6
1973	100	22.8	29.4	47.8
1974	100	22.5	31.5	46.0
1975	100	21.6	33.1	45.3
1976	100	20.4	36.0	43.6

第 16 表 放射性同位元素 使用機關 現況

分野	年度					
	73	74	75	76	77	
產 業	非破壞檢査	7(3)	7	8(1)	9(1)	9
	追 跡 子	0	0	0	4(4)	4
	계 이 지	8(2)	8	9(1)	10(0)	15(5)
機 關	水晶着色	2(1)	2	2	2	2
	文字版塗料	2	2	2	2	3(1)
	煙氣探知	0	0	3(3)	3	4(1)
其 他	5	5	5	5	8(3)	
小 計	24(6)	24	29(5)	35(6)	45(10)	
醫 療 機 關	21(3)	23(2)	25(2)	25	28(3)	
教 育 機 關	7	7	7	8(1)	8	
研 究 機 關	1	1	2(1)	2	4(2)	
計	53(9)	55(2)	63(8)	70(7)	85(15)	

第 17 表 RI取扱業體數

(1977年度 科技處 原子力局)

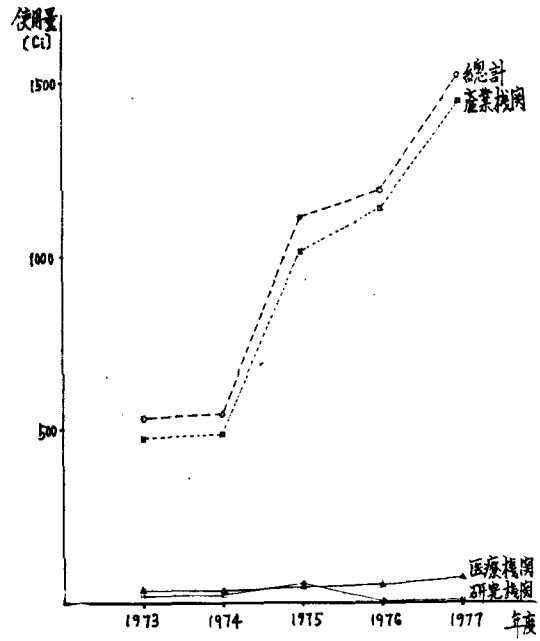
利 用 分 野	業 體 數		
N	D	T	39
核 研 究	醫 學	學 發	29
核 計 測	器		12
寶 石 加 工			18
螢 光 塗 料			2
追 跡 子 利 用			3
이 은 化 利 用			4
其 他			4
計			6
計			117

第 18 表 RI 取扱免許認可

區 分	1970年	1977年
一 般 免 許	234	522
特 殊 免 許	150	290
監 督 者 免 許	103	190
合 計	437	1,002

RI 生産 및 使用実績 (1976)

用 途	單 位	國內生産	輸 入
研究開發	mc	468	2.28
	Kit	—	—
	Vial	—	2
醫 療	mc	49,451	2,447
	Kit	—	1,104
	Vial	—	117
工 業	mc	490,000	646,802



\* 教育機關은 圖表에 表示할 수 없음

第 7 圖 放射性同位元素의 分野別 使用現況

第 19 表 放射性同位元素의 分野別 使用現況

分野	年度	73	74	75	76	77	計
	產 業 機 關		476.4Ci	489.1 <sup>4</sup> Ci	1,011.1 <sup>4</sup> Ci	1,136.8Ci	1,441.7Ci
醫 療 機 關		39.0Ci	34.4 <sup>2</sup> Ci	44.7Ci	50.2Ci	69.1Ci	237.4Ci
		453kit	354kit	113kit	784kit	1,917kit	3,621kit
教 育 機 關		.007Ci	.006Ci	0.0Ci	.001Ci	.027Ci	.041Ci
研 究 機 關		20.4Ci	21.8 <sup>4</sup> Ci	55.1Ci	2.8Ci	6.6Ci	106.7Ci
		6kit	29kit	95kit	320kit	10kit	460kit
計		535.8Ci	545.4Ci	1,110.9Ci	1,189.8Ci	1,517.4Ci	4,899.3Ci
		459kit	383kit	208kit	1,104kit	1,927kit	4,081kit

\*<sup>125</sup>I kit RIA

가 다 韓國原子力研究所가 主體가 되어 行한 技術開發 段階의 小規模의 것이었다.

그러나 國內産業生産指數(第14表) 및 GNP의 産業別構成比(第15表)에서 보여주듯이 1970年代 後半에는 産業構造가 一次産業으로부터 二次産業 特別 鑛工製造業으로 轉換發展되어 감에 따라서 工業水準 및 그 規模가 高度成長化 되어가고 있다. 이에 따라서 放射性同位元素의 産業利用機關數가 年次加로 增加되었고(第16表) 取扱業體數(第17表) RI 取扱免許認可者數(第18表)가 增加되고 있다. 이 傾向은 韓國工業의 水準이 向上一路에 있었고 따라서 그 水準向上에 不可缺한 分野

인 放射性同位元素 工業利用技術이 漸次 國內에서 擴大 實用化 段階에 들어서 갔음을 보여주고 있는 것이다. 1960年代에는 醫療用 또는 研究實驗用으로 主로 使用되어온 放射性同位元素의 分野도 第19表 및 第7圖에 보여주듯이 1977年度에는 産業機關 即 工業用으로 使用되는 量이 年間消費量의 大部分을 占有하고 있다. 第20表에 보여주고 있는 放射性同位元素의 國內生産実績도 年次別로 産業用爲主로 擴大發展되어 가고 있다. 이러한 傾向은 國內工業의 高度成長에 隨伴하여 放射性同位元素의 需要가 增加되어 갔음을 證明하여 주는 것으로서 그 工業利用技術도 國內에 擴大되어 가오.

第 20 表 Production of Radioisotopes at KAERI

FY	Field of application	General application	Radiation source	Labelled compounds
	Classification	Amount (mCi)	Amount (mCi)	Amount (mCi)
1973		34,899.15	13,400	46
1974		32,958.40	184,800	100
1975		38,619.45	296,200	104
1976		50,425.10	618,500	180
1977		62,258.00	151,100	206
Total		219,160.10	1,264,000	636

第 21 表 IAEA 共同調査 結果에 따르는 現況과 問題點 (1978. 4. 9~22)

1. 調査對象 業體數: 18業體
2. 調査擔當者: IAEA V. K. Iya 의 3名  
KAERI 金裕善의 7名  
MOST 原子力局 放射線安全課長의 1名
3. 現況(概要)
  - 가. 施設補修 및 品質管理을 爲한 NDT 檢査活潑
  - 나. 製品品質의 國際規格化 促進  
(例: Nuclear gauge 의 大幅利用)
  - 다. 放射線을 利用한 新製品 開發意慾  
(例: 耐濕, 耐熱 絶緣材, 特殊纖維, 塗裝合板 等)
  - 라. 工程 品質管理의 連續, 自動 및 精密化  
(例: 追跡子利用)
  - 마. 原子力發電所建設 機資材 國産化  
(例: 耐放射線絶緣材, Nuclear grade 資材等)
4. 問題點
  - 가. RI 利用에 隨伴되는 施設投資要員確保 및 技術蓄積에 對한 現地技術者 및 經營陣의 認識不足
  - 나. 工程 및 品質管理에서 RI 利用으로 얻을 수 있는 利得에 關한 認識不足
  - 다. 自體 R&D 는 全無
  - 라. NDT 를 用役會社에만 依存, 自體 NDT group 의 養成確保 重要性을 認識하지 못함
  - 마. 既存施設의 補修, 部品交替 및 線源交替上의 諸般 問題點
  - 바. 生産業體에 RI 利用을 積極勸奨 및 技術技援한 中央行政機構 및 研究機關이 活動이 必要함

示唆하여 주고 있다.

그러나 1978年 4月 IAEA 主管으로 韓國原子力研究所에서 關聯外國專門家와 共同調査한 結果에 依하면 國內에서의 需要가 擴大增加 되어 있음은 確實한 것으로 나타났으나 利用技術의 質的인 水準이 아직 低水準에 있었고 需要增加을 充足시킬 施設, 技術要員, R&D (研究開發) 등이 未治한 狀況에 있음이 判明되고 있다 (第21表 參照)

韓國工業은 繼續發展 成長하여가고 있음으로 이러한 現象은 甚히 憂慮되는 바 크다할 것이다. 即 工業發展은 必須的으로 國際市場占有競爭을 誘發하게 되며 이러한 競爭에 勝利하고자 한다면 工業技術 水準을 國際規格으로 向上시켜 나가야 하고 이를 爲하여서 先進技術인 放射線 및 放射性同位元素의 工業利用技術이 하루 바빠 國內에 定着化 되어가야 하기 때문이다.

1976年 12月 IAEA 主管으로 印度原子力研究所에서 開催된 「放射線同位元素의 工業利用」에 關한 諮問會議에서도 東南亞細亞의 各工業國家에서 모다 비슷한 傾向이 나타나고 있음을 確認한 바 있다. IAEA 에서는 이 問題點을 解決하기 爲하여서 1980~1985年에 UNDP 을 거쳐 積極的인 技術協力事業을 展開하여 各會員國 相互間의 協力으로 同技術의 亞細亞地域內 定着化에 努力할 豫定에 있는 것이다.

### 5. 將來展望

韓國經濟는 1970年代 後半에 高度成長을 거듭하고 있으나 經濟成長의 主軸은 工産品의 國際規格化에 따르는 輸出增大에 있다. 이를 成就하여 나가기 爲하여서는 다음과 같은 將來를 展望하여야 한다.

#### 國際市場에서의 韓國工産品의 將來座標

- 國際水準의 品質管理(均一한 高品質製品)
- 工程의 効率的인 運營管理에 依한 原價節減(低價高品質製品)
- 工程運營上의 資材節減(經營合理化)
- 先進國 新製品에 對應할 수 있는 加工製品의 開發

既述한 바와 같이 放射線 및 放射線同位元素 利用技術은 위의 諸問題點을 解決할 수 있는 先進된 手段이 될 수 있으며 世界各國에서는 1960年度 初半에 있어 그 實用化가 成就되고 있는 것이다.

따라서 韓國經濟의 持續的인 高度成長을 維持하여 나가기 爲하여서는 關聯된 國家機關인 科技處 및 韓國原子力研究所가 主體가 되어서 從來의 開發基盤을 土台로 하여 先進技術의 導入消化에 全力을 다하여 生産業



課題이다. 그러나 위에 記述한 各 方向의 努力을 國家 研究機關과 全産業體가 協同團結하여 積極推進하여 간다면 短期日內의 成就도 不可能하지는 않을 것이다.

先進技術인 放射線 및 放射性同位元素 利用技術分野는 그 重要性에 비추어서 汎國家的인 努力下에 迅速한 時日內에 國內에 定着化되어 가려 한다.

따라서 原子力研究機關의 義務와 責任은 將次莫重하다고 思料된다.

## 6. 結 論

1978年~79년에 걸쳐서 各生産業體를 對象으로 爲先 施行되어야 할 事項을 要約하면 다음과 같다. 放射線 또는 放射性同位元素의 工業利用技術을 實用普及化시켜 나감으로서 各生産業體의 經營과 技術水準을 先進化시켜 나간다.

- 經營陣을 위한 定期的 Seminar
- 現地技術者를 위한 定期的인 基礎訓練 및 OJT
- 原子力産業會議, 原子力學會 등을 中心으로 한 發表會, 巡迴講演 및 展示, 示範事業 等の 積極推進

1980年代에는 위의 努力이 結實되어 보다 活潑한 技術定着事業이 研究機關과 各 生産業體에서 各各 持續적으로 展開되어 나가야 할 것이다.

## 參 考 文 獻

- 1) 金裕善 外 18名 : 「國內生産工場에 있어서 放射性同位元素 利用可能性調査」(科技處刊 E67-G12-F26(1967年), 이 報告書에 引用된 參考文獻)
- 2) IAEA; 「Radioisotope's Application in Industry」(1967. Vienna, Austria)
- 3) IAEA; 「Industrial Radioisotope Economics」(1965, Vienna, Austria)
- 4) 朴鳳烈 外 18名 : 「원자력의 산업적이용에 대한 기술조사연구」科技處 R-71-117(1971)
- 5) 小林昌敏 : 「放射線の 工業利用」(幸書房, 1977)(日文)
- 6) E. Anthoy Evans and M. Murumatsu; "Radio-tracer Techniques and Applications" Vol.1 & Vol.2. (Marcel Dekker Inc. New York and Brasel, 1977)
- 7) J. F. Cameron and C. G. Clayton; "Radioisotope Instruments, Part 1" Perganon Press (1971)
- 8) C. G. Clayton and M. A. J. Aston; "An Assessment of the economical value from a programme of Industrial Radioisotope Applications in selected countries in South East Asia" G. 678. HARWELL REPORT (1976)
- 9) 日本 Isotope 協會編 : 「密封線源의 取扱法」(丸善, 1977年)(日文)