



放射線の照射利用

— 그 現況과 課題 —

1. 放射線工業利用의 成長

현재 세계에서 판매되고 있는 照射製品은 年商 1조7천억~2조4천억원 정도로 추측되고 있다. 지금은 세계의 어느 곳에서도 医療器具滅菌用 Co-60 10만Ci급의 照射裝置를 볼 수 있으며 日本에서는 容量 Co-60 600만Ci라는 세 대 최대의 조사장치가 최근 運轉을 시작하였다.

放射線の 照射利用은 의료기구의 멸균, 架橋電線에 그치지 않고 高分子工業을 중심으로 여러 분야에서 応用되고 있다. 発泡 폴리에틸렌이나 食品包装用에도 電子線架橋에 의해서 만들어진 熱収縮性 필름이 不可欠의 것으로 되어있으며 Grace社의 生産量은 해마다 증가하고 있다.

타이어의 生産工程에 고무의 방사선가교를 처음 채택한 것은 美国의 타이어회사인데 그후 여러社가 工程에 이것을 채택하고 있다. 表1은 工業化되고 있는 방사선조사이용의 예이나 企業秘密로 인해 발표되지 않은 것도 있어서 이 表에 빠진 工業例가 많을 것으로 생각된다.

현재 세계에서 얼마만큼 상업용 조사 플랜트가 존재하는지 정확한 통계는 없으나 82년도유고슬라비아의 國際會議에서 美国의 Snyder氏는 300대의 電子線加速器와 110유니트의 Co-60照射裝置가 세계에서 工業生産을 위해 이용되고 있다고 했다.

一例로 日本에서의 방사선 이용 증대를 電子線加速器의 대수증가로 보면 그림1과 같으며 1대당의 出力(照射容量)이 해마다 증가하고 있

는 것을 고려하면 그 성장율은 10~20%에 달한다고 볼 수 있어 다른 産業에 비해 크다고 할 수 있다.

Co-60에 대해서는 최대 공급 회사로서 세계 시장의 80%를 점유하고 있는 캐나다原子力公社의 予測을 그림2에 나타내었다. 의료기구의 방사선멸균은 앞으로도 상당한 伸長이 예상되고 있다.

서방측 최대의 放射線照射利用研究센터는 日原研高崎研究所인데 새로운 照射利用技術, 照射技術, 施設設計의 開發 등을 수행하고 있다. 이들의 研究를 기초로 하여 fine chemical, 환경보전, 原子力材料 등의 重要분야에서의 照射利用의 새로운 확대가 기대되고 있다.

2. 再檢討되는 放射線프로세스의 利点

방사선은 높은 에너지에 의해서 物質을 勵起시키고 이온化시킨다. 反應의 先驅체가 되는 活性種은 온도와는 관계없이 勵起分子의 분해에 의해서 生成된다. 初期過程에 이어서 일어나는 反應은 주로 이온 또는 래디칼機構이며 열이나 촉매에 의해서도 가능한 것이므로 放射線法の 특징은 反應의 開始法이라고 할 수 있다.

특히 넓은 온도 범위에서의 反應開始, 촉매의 첨가를 필요로 하지 않고 外部로부터의 反應開始가 가능하다는 것, Co-60의 경우는 투과력이 크고 固体狀態에서 균일한 반응이 가능하다는 점이 중요하다. 表2는 放射線法の 특징을 정리

(表 1) 工業化 되고 있는 放射線照射利用

利 用 例	實用化 되고 있는 나라	線 源
電線被覆材의 架橋	日本, 西独, 美国, 英国, 소련, 유고, 브라질	加速器
發泡 폴리에틸렌	日本, 美国, 호주	加速器
熱收縮性 튜브, 시트	日本, 美国, 헝가리, 英国	加速器
木材·플라스틱 複合材	美国	Co-60
아크릴 酸 그래프트 폴리에틸렌코팅劑	프랑스	加速器
電池用隔膜	日本	加速器
테프론의 分解	日本, 美国	Co-60, 加速器
高分子 凝集劑	美国	Co-60
水分吸收劑	美国	加速器
타이어用 고무架橋	日本, 美国	加速器
文化財의 保存	프랑스	Co-60
醫療器具의 滅菌	日本, 美国, 프랑스, 기타 多数	Co-60, 加速器
食品照射	日本, 헝가리, 네덜란드	Co-60

한 것이다.

방사선 프로세스는 常溫에서의 반응이 가능하며 특히 電子線法의 경우에는 에너지의 利用 効率が 높다는 점 등으로 종래의 熱法에 비해 에너지 소비율이 현저히 적어서 數分の 1로 절약될 때가 많다. 에너지코스트가 비싼 현재로서는 큰 利点이라 할 수 있다.

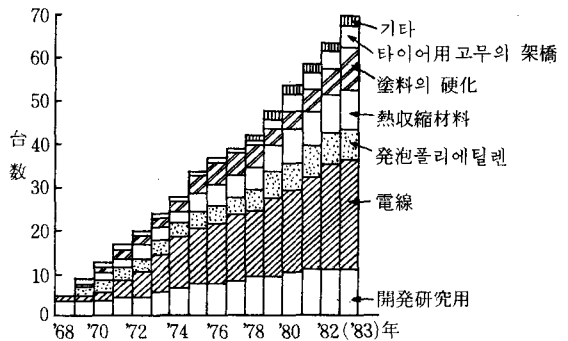
放射線法의 또 하나의 실제적인 利点은 有害한 첨가물이 필요없는 프로세스라는 점이다. 종래의 의료기구멸균법에서는 산화 에틸렌가스를 사용하는데 가스가 의료기구에 남아있을 가능성이 있어서 그 유해성이 문제가 된다.

식품보존기간의 연장, 防疫上의 處理등도 화학약품에 의해서 행하여지고 있으나 이것도 그 잔류가 문제시 되고 있다. 그러나 방사선법에 의하면 이와같은 문제들을 해결할 수 있다.

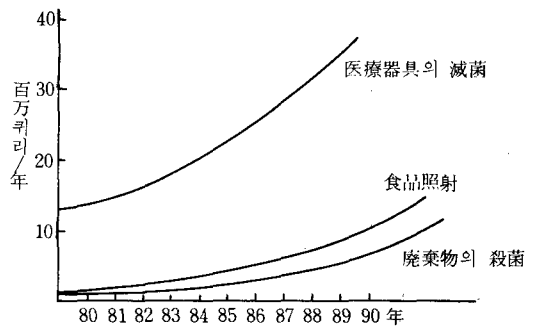
3. 進歩하는 照射裝置

放射線프로세스의 工業化를 크게 촉진시킨 것은 최근 10년동안의 照射裝置의 진보이다. 工業利用에 사용되고 있는 線源은 Co-60과 電子線 加速器이다. 前者는 투과력이 강한 감마선이고 後者는 飛程은 짧으나 선량을 큰 電子線을 발생한다.

(그림 1) 日本에서의 工業用 및 開發研究用 電子線加速器台數의 增加



(그림 2) 工業用 Co-60 線源의 需要予測



Co-60照射裝置의 대부분은 의료기구의 멸균에 사용되고 있으며 다른 工業利用에는 加速器를 사용하고 있는 것이 많다. Co-60線源의 경

우 에너지의 利用效率을 높이는 研究, 보다 均 일한 照射, 신뢰도가 높은 線源驅動裝置가 重要하여 多角적인 研究를 하고 있으며 最近에는 컴퓨터의 도입 등에 의한 加일층의 합理化가 進 行되고 있다, 또 裝置容量의 大型化가 進 行 되어 照射코스트의 低減化에 功헌하고 있다.

한편 電子線加速器는 상당히 복잡한 電氣裝置 이며 初期에는 故障이 頻번하여 신뢰성에 問題 가 있었으며 容量도 작았다. 그러나 最近에는 高에너지의 加속기에서도 신뢰성이 높아져서 필 라멘트 및 加速管의 수명 등이 개선되었으며 出 力の 대형화, 장치의 소형화, 단위 출력코스트의 低減이 달성되었다.

塗裝과 같은 表面加工에는 에너지 100~300 KeV정도의 저에너지가속기로 충분하며 소형으 로서 사용하기 쉬운 장치가 바람직하다. 數年前 부터 美國 Energy Science社의 electrocurtain 이라는 直線狀의 필라멘트를 電子發生源으로 하는 차폐형 저에너지가속기의 이용 대수가 증가 하고 있다.

電圧은 200 KeV까지이나 전류는 100A까지 가 능하며 전자선의 폭은 15cm에서 155cm까지이다. 차폐벽이 있는 照射室을 필요로 하지 않고 기존 공장내에 설치할 수 있는 편리함이 있다. 종이, 木材, 織布, 플라스틱 필름 등의 표면가공에 사 용되고 있다. 장치의 개요를 그림3에 나타내었 다.

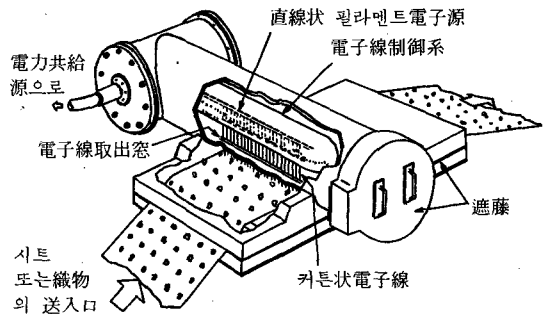
신뢰성이 높은 高에너지, 大容量加速器의 개 발도 순조롭게 進行되고 있어서 이미 1MeV 100 KW는 문제가 되지 않으며 4MeV 200KW도 사 용되고 있다.

Cs-137線源에 대해서는 美國에서는 核燃料 의 재처리공장에서는 분리된 Cs-137이 상당량 존재하고 있어서 그 유효이용이 검토되고 있다. Cs-137은 반감기가 30年이라서 Co-60의 5年 에 비해 길고 에너지는 0.7MeV로 낮아서 차폐 가 비교적 용이하하다는 利點이 있는데 利用되고

〈表 2〉 放射線 프로세스의 特徵

- (1) 대단히 낮은 溫度를 포함한 넓은 온도 범위에서 反 應을 開始 할 수 있다.
- (2) 反應系의 外部로 부터 反應을 開始시키므로 촉매를 첨 가할 필요가 없고 反應生成物에서 촉매를 제거하는 공 정이 不要하며 生成物은 촉매단면 등으로 오염되지 않음.
- (3) 反應速度 및 生成物의 품질제어성이 높다. 방사선의 강도 조절, on-off 등에 의해 반응제어가 가능하다.
- (4) 固体中에도 방사선이 투과하므로 촉매에서는 곤란한 固相에서도 均일한 反應開始를 할 수 있다.
- (5) 電子線加速器에 의해서 얻어지는 높은 선량의 방사선 을 利用하므로 극히 高速의 프로세스가 가능하다.
- (6) 電子線의 경우 에너지를 조절함으로써 반응영역을 필요 한 부분에 한정시킬 수 있음과 동시에 에너지의 손실을 억제 할 수 있다.

〈그림 3〉 直線狀 필라멘트型低에너지 加速器



있는 化学形이 塩化세슘으로서 水溶性이므로 2 중캄술로 되어 있기는 하나 水中물에서의 보관 이나 사용에는 충분한 대책이 필요하다. 美國에 서는 下水処理現場에서 발생하는 슬러지의 살균, 오렌지의 照射處理에 Cs-137을 사용할 계획을 DOE가 추진하고 있다.

4. 伸長하고 있는 照射製品

(1) 医療器機의 滅菌

1958年 美國의 에티콘社가 끓이는 소독으로 滅菌이 불가능한 수술용 吸取性縫合糸인 腸線縫 合糸의 멸균에 방사선조사를 처음으로 이용함 으로서 방사선멸균의 산업이용이 시작되었다.

高温殺菌이 불가능한 많은 플라스틱製 1회용 의리기구, 예를들면 주사통, 주사바늘, 人工腎 臟透析器, 혈액세트 등의 멸균에는 방사선이 없

어서는 안되게 되었다. 海外로 수출되는 의리기구에는 방사선에 의한 멸균을 조건으로 하고 있는 것도 많다.

세계에서의 멸균용 조사시설은 개발도상국을 포함해서 그림4에서와 같이 급속하게 증대되고 있다. IAEA도 이 분야에 중점을 두고 원조하고 있다.

(2) 電線絶緣体の 架橋에 의한 耐熱化

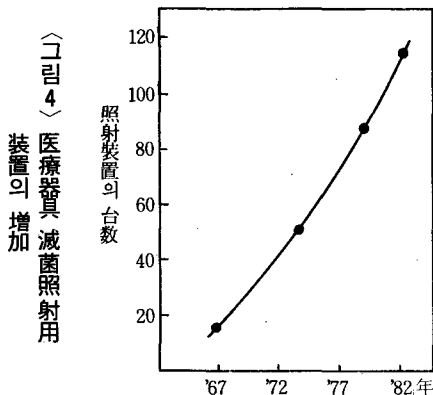
방사선에 의한 高分子材料의 架橋現象을 교묘히 이용한 최초의 工業化例가 폴리에틸렌으로 만들어진 電線被覆材의 電子線에 의한 架橋이며 이로서 耐極性의 電線이 값싸게 공급될 수 있게 되었다.

以前에는 폴리에틸렌만이 照射의 대상이었으나 多官能性모노머를 混入시켜서 架橋效率을 높인 폴리塩化비닐(PVC)絶緣材도 工業규모로 電子線에 의해 架橋되어 耐熱, 難燃性인 電線이 生産되고 있다.

이와같이 해서 生産된 高品質의 耐熱電線은 電子製品, 자동차, 전화중계기, 原子炉, 家庭電氣製品 등의 일부로서 여러가지 용도로 이용되고 있다. 電子線의 透過力이 적다는 것, 電荷蓄積에 의한 放電破壞 등의 문제 때문에 高压用 케이블의 전자선가교법은 實現되고 있지 않으나 앞으로의 연구과제가 될 것이다.

(3) 熱收縮性材料

방사선으로 架橋한 폴리에틸렌은 고무와 유사



한 구조를 하고 있으나 글래스 轉移點이 常溫보다 높으므로 고무탄성을 나타내지 않는다. 이것을 高溫으로 하여 融點以上으로 올려 늘린 후 온도를 내려서 이것을 固定시켜만든 材料를 사용할 때에 融點以上으로 再加熱하면 加교구조에 의한 고무와 같은 탄성을 나타내서 늘리기전의 크기로 되돌아간다. 이 原理(記憶效果)를 이용해서 여러가지 용도를 가진 熱收縮性材料가 開發되고 있다.

W. R. 그레이스社가 대규모로 생산하고 있는 열수축성 투명필름은 고기(肉)등의 식품포장에 널리 사용되고 있으며 열수축성 튜브나 테이프는 地下埋設配管溶接部의 보호, 전선접속부의 절연 등에 흔히 사용되고 있다.

(4) 発泡폴리에틸렌

폴리에틸렌에 発泡劑(高溫에서 가스를 발생시키는 藥劑)를 混練한 후 시트 또는 튜브모양으로 成形하여 電子線으로 照射架橋한다. 그다음 이것을 가열해서 폴리에틸렌을 용융시킴과 동시에 발포제를 분해시켜서 発泡시킨다. 폴리에틸렌을 적당한 온도에서 架橋시킴으로서 発泡時에 泡를 안정하게 유지시킬 수 있고 또한 発泡最適溫度範圍를 넓게 잡을 수가 있다. 発泡폴리에틸렌은 断熱材, 매트, 救命胴衣 등 여러가지 용도로 사용되고 있다.

(5) 타이어고무의 前架橋

타이어를 제조할 때는 구성부분을 輕度로 架橋해서 취급시에 變形이 일어나지 않게 하여 틀에 넣어서 熱에 의해 최종적으로 成形架橋한다. 이 前架橋가 시트狀의 고무를 電子線照射에 의해서 행해지고 있다.

이 方法은 각종의 合成고무가 쉽게 架橋되므로 넓은 폭의 配合를 선택할 수 있다. 架橋度의 조절이 용이하다는 등의 利點을 가지며 利用하는 타이어社가 늘어나고 있다.

(6) 表面加工

電子線에 의한 表面塗裝은 도료의 硬化速度

가 종래의 방법에 비해 현저하게 빠르다는 것, 塗膜의 성질이 우수하다는 것 등으로서 일찍 부터 주목되어 各社에서 研究가 추진되어 왔다.

Ford社는 제일 먼저 자동차의 플라스틱部品 塗裝에 電子線法을 사용하다가 중단하였다. 최근에는 木材보드의 塗裝이 美国, 프랑스 등에서, 鋼板塗裝과 기와 塗裝이 日本에서 工業化되고 있는데 모두 低에너지 加速器를 사용하고 있다. 그 외에 종이의 表面處理, 그래픽아트印刷의 表面코팅 등에 채택되고 있으며 최근에는 日本의 SONY社 등에서 磁氣테이프의 製造에도 利用을 시도하고 있다.

電子塗裝法の 利點은 다음과 같다.

① 高速處理: 100m/分 정도의 速度는 가능하며 가열오븐이 필요없으므로 塗裝라인이 콤팩트하게 된다.

② 溶媒不要: 모노머가 용매역할을 하고 있으므로 照射에 의해 이것이 固化하여 용매의 증발이 없다. 따라서 대기오염의 문제가 없는 크린 프로세스이다.

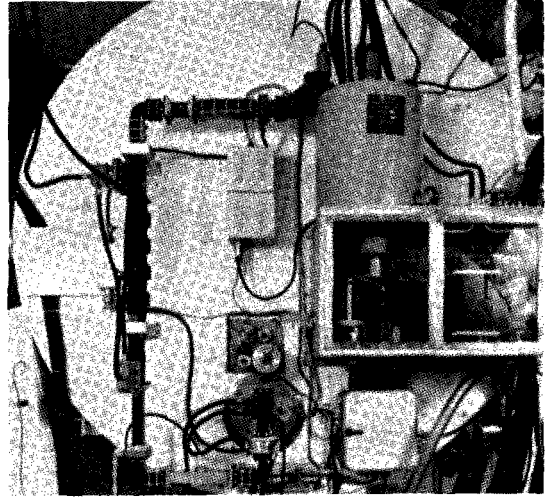
③ 우수한 表面硬度: 모노머가 100% 重和하여 固化하므로 塗膜의 硬度가 높다. 최근 日本에서는 鋼板塗裝에 특수조성의 도료를 사용해서 硬度가 극히 높은 塗膜을 開發하였다.

④ 省에너지: 常溫의 프로세스이며 또 용매의 증발이 必要없으므로 대폭적인 에너지절약이 된다.

⑤ 플라스틱 등 高溫에서 變形되는 것의 塗裝이 용이하다.

(7) 木材·플라스틱複合材와 벽돌·플라스틱複合材

木材속에 액체상태 모노머를 含浸시킨 후 방사선을 照射시켜 목재조직내에서 重合시키는 방법에 의해서 木材·플라스틱複合材를 만든다. 예쁜 나무무늬를 가지며 기계적 強度, 耐水性, 耐摩耗性を 개선할 수 있는 좋은 방법이다. 強床材로서 교회, 백화점, 호텔, 비행장 등의 로비



〈의료용 Cyclotron (MC 50)〉

에 사용되고 있다. 가격은 종래의 것에 비해 약 두배 가량비싸나 耐久性이 좋으며 보수유지가 쉽다는 등의 점에서 有利하다.

현재 美国에서는 3個社가 생산하고 있으며 Perma Grain社가 80%를 석권하고 있다. 照射에는 Co-60이 利用되고 있으며 水中에 反應器를 가라앉혀서 照射하는 독특한 方式을 취하고 있다.

5. 새로운 照射製品

美国의 존슨왁스社는 基材에 親水性 모노머를 방사선 그래프트 重合시킴으로서 새로운 타입의 吸水材를 開發하여 市販하고 있다. 또한 木材·플라스틱에서 성공한 Perma Grain社는 技術을 응용하여 벽돌·木材의 複合材를 開發, 市販하고 있다.

한편 日本에서는 鋼板, 기와의 電子線塗裝이 工業化되고 열수축성 필름제조에 대한 새로운 技術이 개발되었으며 아크릴酸을 폴리에틸렌에 그래프트시켜 만든 酸化銀1次電池의 隔膜도 실용화에 성공하였는데 이것은 電子線前照射法을 利用한 것이다.

프랑스에서는 오래전부터 샹크레이 原研에서

子宮內挿入避妊法에 사용되는 IUD링의 제조법을 방사선가공 및 그래프트법을 이용해서 研究하였었는데 5年間の 臨床試驗이 끝나 최근 實用化에 도달하였다.

6. 環境保全対策에 利用되는 放射線照射

(1) 汚泥處理

活性汚泥法에 의한 下水處理場에서 發生하는 剩餘汚泥(슬러지)는 消化處理를 한후 土地埋立, 조각, 海中投棄 compost化 등의 방법으로 処分되고 있는데 汚泥는 대장균, 살모넬라 등 有害로운 미생물에 의해 오염되어 있다.

방사선 조사에 의해서 이들 미생물의 汚染度를 低下시킨 후 農地로 환원하는 방법이 各國에서 研究되고 있으며 西獨에서는 이미 實用化되고 있다.

照射線源으로는 Co-60 10만Ci를 사용하고 있으며 照射線量은 300Krad이고 코스트면에서도 熱法과 경쟁이 가능하다. 美國에서는 加速器를 사용한 照射플랜트가 보스톤교외에 설치, 운전되고 있다. 電子線의 飛程은 짧으므로 되도록 均일한 照射가 되기위한 研究가 必要하다.

미국 뉴멕시코에 있는 산디아 研究所에서는 자연건조시킨 汚泥를 콘베어로 照射室로 보내 Cs-137로 조사처리한다. 건조시켜서 부피를 축소시킨 汚泥를 照射시키므로 固形物을 3%정도 밖에 포함하고 있지 않은 일반 汚泥의 照射에 비해 効率が 높다. *조사선량은 300~400Krad면 충분하다. 照射된 汚泥는 소 등의 사료, 農地의 비료로 유효하다는 것이 입증되고 있다.

이 研究는 DOE의 Cs-137의 유효이용 프로젝트의 일환으로서 實証되고 있는데 산디아 研究所의 성과에 따라 알바카키市の 下水處理 汚泥를 방사선처리하는 實用實証플랜트를 건설하기로 DOE와 결정되어 있다. 이 플랜트는 84년에 완성될 예정이다.

또한 日本原研에서도 汚泥의 compost化(堆

肥化) 速度를 높이겠다는 目的으로 연구를 추진하고 있다. 방사선조사에 의해 病原體 등의 유해미생물을 감소시키고 동시에 미생물학적으로 compost化가 촉진되는 상태를 만들어낸다는 것도 최적온도에서 compost化가 가능하여진다는 것은 명백하다.

(2) 廢가스에서 亜硫酸가스와 窒素化合物 除去

日本原研에서는 重油燃燒排ガスを 연속적으로 통과시키면서 電子線을 照射하면 그 유해성분인 아황산가스(SO₂)와 질소산화물(NOx)이 동시에 제거된다는 것을 알아냈다.

그후 세밀한 기초연구에 의해서 SO₂와 NOx가 방사선조사에 의해 산화제거되는 것이 명백해졌다. 이 발견은 그후 1,000m³/hr의 處理能力을 가진 파이로트장치에 의한 工學的인 研究로 진전했으며 이 결과에 주목한 日本鐵鋼聯盟은 이것을 철강업질소산화물방제기술연구조합의 기술개발 프로젝트로 받아들여 더욱 大型(10,000 m³/hr)의 시험장치를 만들어 약 200ppm의 SO₂와 NOx를 각각 함유하는 철광석소결로의 排ガス에서 SO₂와 NOx를 제거하는데 성공하였다.

또 이방법에서는 SO₂와 NOx와 거의 같은 몰의 암모니아를 첨가하고 있으며 副生하는 황산, 질산암모니아를 電氣集塵器로 회수하고 있다. 1Mrad의 조사에 의해 90%이상의 SO₂와 80%이상의 NOx의 제거가 600시간 연속운전에서 안정하게 달성되었다. 그러나 그후 鐵鋼플랜트의 操業率 低下 등도 있고하여 이 개발의 實用化는 동결되었으나 기초적인 개량 연구는 계속되고 있다.

한편 美國에서는 日本의 技術에 착안하여 석탄 연소배가스에서의 응용기술을 개발하였다. DOE와 民間의 협력프로젝트가 검토되고 있으며 日本側 참가도 타진하고 있다. 예정대로 계획이 진행된다면 日本의 시험장치보다 수배 크기의 파이로트플랜트가 제작될 것으로 기대 되어 앞으로의 진전이 주목되고 있다.