

## 電離放射線을 利用한 醫療製品 滅菌研究

閔鳳熙 · 千基貞 · 李康淳

(韓國原子力 研究所 放射線 生物學 研究室)

### Radiosterilization of Medical Products

MIN, Bong Hee, Ki Jung CHUN, and Kang Soon RHEE

(Radiation Biology Laboratory, Korea Atomic Energy Research Institute)

#### ABSTRACT

For the bulk sterilization, there are two traditional methods of autoclaving and exposure to ethylene oxide. However, autoclaving involves high temperatures and pressures and ethylene oxide is chemically highly reactive, so these methods are often not applicable. For the purpose of sterilization of medical products by gamma radiation, we have carried out sterility and safety tests on some medical products irradiated at varying radiation levels.

The results obtained were as follows:

- 1) The minimum dose of radiation for the sterilization of medical products was 2.5 Mrad.
- 2) The radiosterilization dose varied depending on the initial population of microorganisms.
- 3) In transfusion sets, a level of radiation of 2.5 Mrad at room temperature produced no pyrogen and they remained bacteriologically sterile.

#### 緒 論

醫療製品을 滅菌하는 方法을 크게 나누면 熱을 加하는 加熱滅菌法과 熱을 加하지 않는 冷滅菌法으로 나눌 수 있다.

産業적으로 大規模로 利用되는 滅菌法은 冷滅菌法으로 에틸렌옥사이드를 利用한 가스滅菌法과 近來 發達된  $^{60}\text{Co}$  감마線을 利用한 放射線滅菌法이 代表的인 方法이라 할 수 있다.

그러나 이러한 冷滅菌方法에도 長短點이 있다.

即 가스滅菌法은 大量의 製品을 滅菌할 수 있으나 에틸렌 옥사이드값이 高價이고 爆發 우려도 있고 특히 透過力이 弱한 短點을 갖고 있다.

反面 放射線 滅菌法은 大量의 製品을 滅菌하는 同時에 透過力이 强하고 특히 照射

하는 동안 溫度의 上昇이 적으므로 醫療製品중 易熱性 製品에 使用이 可能하다는 長點을 갖고 있다.

$^{60}\text{Co}$  감마線을 利用한 放射線滅菌法은 호주에서부터 시작되어 美國, 英國, 덴마크, 西獨 등 先進國에서는 大規模로 現在 實施하고 있다.

E.A. Christensen(1967)에 의하면 덴마크에서는 1961年度에는 1상자當 10파운드 되는 醫療製品 400상자를 放射線滅菌하였고, 1965年度에는 39,100상자를 實施하였다고 報告하였으며 W. van Winkle(1967)에 의하면 美國에서는 1957年度에 放射線滅菌을 처음 實施하여 現在에는 大部分 醫療製品에 適用하고 있다고 報告하고 있으며, J.H. Brewer(1967)은 經濟的인 面에서 分析報告한 것도 있다.

現在 우리나라에서의 醫療製品 滅菌方法은 大部分 加熱法을 主로 實施하고 있으나 加熱滅菌이 不可能한 高分子物質로 製造되는 醫療製品인 易熱性製品은 藥品處理法이나 低溫間歇法등 消極적인 滅菌法에 依存하고 있다.

우리나라에서도 해마다 高分子物質을 原料로 하는 易熱性 醫療製品의 開發을 試圖하고 있으나 이러한 製品을 產業적으로 滅菌할 수 있는 方法이 없어서 그 開發이 매우 後進성을 면치 못하는 實情을 감안할때 易熱性 내지 耐熱性 醫療製品을 共히 大量 滅菌할 수 있는 冷滅菌法의 必要性이 強調된다.

이러한 目的下에 韓國原子力研究所에서는 1975年度에 大單位 100,000Ci  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 線源을 完成시켜 產業的 滅菌에 功獻하기 위하여 現在 建設중에 있다.

著者들은 이 施設이 곧 產業에 適用될 수 있도록 하기 위하여 國內醫療製品의 放射線 滅菌 可能性 如否와 品質改良을 위한 여러 基礎資料를 얻기 위해 醫療製品 製造工場에서 滅菌前 製品을 random sampling하여 完全滅菌시키는데 必要한 放射線 線量을 구하고 放射線이 製品에 주는 安全性實驗을 實施하여 若干의 成績을 얻었기에 報告하는 바이다.

## 材料 및 方法

### 1. 醫療製品

市販되고 있는 醫療製品중 直接 製造工場에서 購入할 수 있는 수액셋트, 고무장갑, 비닐장갑, 탈지면, 꺼즈, 붕대, 주사기, 주사침, 배양접시 등을 random sampling하여 實驗材料로 使用하였다.

### 2. 菌株 및 培養

本 實驗에 使用한 菌株는 *Escherichia coli*, 113-3, *Salmonella typhi*, Ty2 및 *Clostridium tetani*, Harvard 등 3株는 國立保健院에서, *Staphylococcus aureus* 및 *Bacillus subtilis* 등 2株는 國立 서울大學에서, *Micrococcus radiophilus*, BhaBha株는 印度 BhaBha 原子力研究所에서 分讓받은 細菌을 實

驗에 使用하였고 其他 細菌 6株는 著者들 (Rhee *et al.*, 1973) 이 分離한 細菌을 使用하였다.

實驗菌株의 培養은 *Clostridium tetani*, Harvard와 *Micrococcus radiophilus*, BhaBha는 TGY broth에서 37°C, 3日間 培養하였으며 其他 菌種은 nutrient broth에서 37°C, 18時間 培養하였으나 *Bacillus subtilis*와 *Clostridium tetani*, Harvard는 培養후 다시 實溫에서 2日間 放置후 使用하였다.

### 3. 細菌測定

醫療製品을 適當한 크기로 切斷하여 生理食鹽水 10cc에 넣어 2時間 震盪후 寒天平板培地에서 37°C, 18時間 培養후 培地上에 나타나는 菌落數를 計測하였다.

### 4. 放射線 滅菌實驗

#### 1) 照射試料의 製造

醫療製品은 適當한 크기로 切斷하여 비닐 봉투로 包裝하였고 實驗菌株는 培養후 遠心沈澱(International Centrifuge, PR-2, 10,000×G, 10分, 4°C)하여 얻은 細菌 沈澱物을 Lechat *et al.*(1963)方法에 의하여 生理食鹽水로 10<sup>8</sup>cell/ml되도록 稀釋한 細菌溶液의 0.02ml를 滅菌된 filter paper disc (가로 1.5cm, 세로 1.5cm)에 접착 시킨후 55°C, 30分間 乾燥하여 實驗에 使用하였다.

#### 2) 放射線 照射

韓國 原子力 研究所 所在 BNL Shipboard Irradiator  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray (25,000Ci)를 利用하여 實溫 大氣壓下에서 280rad/sec의 dose rate의 線量을 各各 照射하였다.

#### 3) 滅菌判定 및 感受性實驗

醫療製品과 filter paper disc는 放射線 照射후 thioglycollate broth에서 37°C, 14日間 培養하여 細菌의 增殖有無에 따라 滅菌如否를 判定하였다.

또한 Lechat *et al.*(1963) 方法에 의하여 生理食鹽水로 10<sup>8</sup>cell/ml되도록 稀釋한 細菌溶液은 放射線 照射후 2倍稀釋法에 의하여 寒天平板 培地上에 細菌數를 計測하여 放射線 感受性을 實驗하였다.

5. 安全性 實驗

1) 純度實驗

醫療製品 중 꺼즈, 탈지면은 放射線 2.5 Mrad 照射 후 保健社會部 發行 大韓藥典 第2改正 第1部の 規定에 準하여 純度實驗을 實施하였다.

2) Pyrogen實驗

醫療製品 중 수액세트는 放射線 2.5Mrad 照射 후 大韓藥典 規定에 準하여 實驗動物인 토끼에 放射線을 照射한 수액세트를 使用하여 生理食鹽水를 耳靜脈에 서서히 注射한 후 토끼의 體溫變化를 觀察하였다.

結果 및 考察

1. 醫療製品 滅菌實驗

醫療製品 製造工場에서 수액세트, 탈지면, 꺼즈 및 주사기등 滅菌前 製品을 random

sampling하여 醫療製品에 주로 汚染되어 있는 細菌의 種類를 알기 위해서 細菌培養을 實施하였던 바 Table 1에서 보는 바와 같이 cocci, bacilli, fungi등 各種細菌이 汚染되어 있음을 알 수 있었다.

또한 이들 製品의 細菌汚染度를 알기 위해 각 製品으로 부터 分離 培養한 細菌數를 計測 후 實驗製品에 따라 百分率하여 菌數別로 表示한 成績은 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 각 製造會社에 따라 若干의 差異는 있으나 탈지면과 꺼즈등 綿製品에서 많은 細菌이 分離되었고 수액세트, 주사기 및 주사침에서는 綿製品에 비해서 分離되는 細菌數는 적으나 相當한 細菌을 分離할 수 있었다.

E.A. Christensen(1966)등에 의하면 訓練된 細菌學者가 管理하는 수액세트 製造業

Table I. Natural contaminants in unsterilized medical products

Medical product	Manufacturer	Size	No. of tested	Number of species		
				Cocci	Bacilli	Fungi
Gauze	B	45cm×45cm	10	2	6	—
	E	45cm×45cm	10	1	5	—
	S	45cm×45cm	6	2	2	—
Cotton	E	10gm	6	—	3	6
Transfusion set	D	set	8	1	6	—
Syringe	A	2cc	10	1	2	6
	A	5cc	10	2	5	5
	A	10cc	10	2	7	5
	A	20cc	10	—	2	7

Table 2. Distribution of bacteria on various medical products taken at random before sterilization

Medical product	Manufacturer	Size	cell number No. of tested	Percentage of colonies					
				10	10 <sup>1</sup> -10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>
Gauze	B	45cm×45cm	90	—	—	2.2	33.3	37.8	26.7
	E	45cm×45cm	90	—	2.2	24.4	20.0	26.7	26.7
	S	45cm×45cm	30	—	—	—	20.0	26.7	53.3

Cotton	E	10gm	48	—	—	—	33.4	20.9	45.7
Transfusion set	D	set	80	—	24.6	51.9	23.5	—	—
Syringe	A	10cc	40	5.0	75.0	10.0	10.0	—	—
Syringe needle	A	21G	48	8.3	50.0	37.5	4.2	—	—

體와 管理하지 않는 業體로 區分하여 各各의 製品에서 細菌을 分離후 細菌數를 測定한 結果 前者에서는 製品外面에서 大部分 1~10cells를 測定하였고 50cells以上 나오는 製品은 없었으며 製品內面에서는 大部分 細菌의 汚染이 없음에 비해서 後者에서는 製品外面에 11~50cells가 大部分으로 500 cells以上 나오는 製品도 相當數 있었고 製品內面에서는 1~10cells가 大部分으로 500 cells以上되는 製品도 있으므로 前者에서 훨씬 낮은 細菌汚染度를 밝히고 있다.

이러한 成績은 著者들의 成績과 比較하면 細菌汚染度가 比較의 낮다.

이것은 우리나라 醫療製品 製造業體에 訓練된 細菌學者가 없어 一般의으로 衛生狀態가 낮은 것으로 생각되며 이러한 傾向은 醫療製品 製造資料의 特性과도 有관성이 있는 것으로 생각된다.

各種 醫療製品에 汚染되어 있는 細菌이 <sup>60</sup>Co  $\gamma$ -ray 放射線源에서 放出되는 電離放射線에 의하여 滅菌되어지는 照射線量을 알기 위해서 0.25, 0.50, 0.75 및 1.0Mrad로 區分 照射하여 實驗한 結果는 Table 3와 같다.

Table 3에서 보는 바와 같이 0.5Mrad照射로서 滅菌되는 醫療製品도 있으나 8種 醫療製品을 完全滅菌 시키는데 必要한 照射線

Table 3. Sterility on medical products after exposure to radiation

Medical products	Radiation dose(Mrad)				
	0	0.25	0.50	0.75	1.00
Gauze	20/20	15/20	2/20	0/20	0/20
Cotton	20/20	18/20	4/20	0/20	0/20
Bandage	20/20	17/20	4/20	2/20	0/20
Syringe	20/20	18/20	5/20	1/20	0/20
Vinyl glove	20/20	6/20	4/20	2/20	0/20
Rubber glove	20/20	6/20	0/20	0/20	0/20
Petri dish	20/20	20/20	7/20	1/20	0/20
Transfusion set	20/20	2/20	0/20	0/20	0/20

Remark : No. of medical products showing growth/No. of medical products examined.

量은 1.0Mrad로 나타나 있다.

그러나 醫療製品에서 分離된 細菌을 同定한 結果 非病原性細菌(Rhee *et al.* 1973)임을 감안하여 病原性 및 非病原性 그리고 芽胞形成 및 非芽胞形成菌등 6種의 同定되어 있는 細菌을 人爲의으로 汚染시켜 1.0, 1.5, 2.0 및 2.5Mrad의 放射線을 照射하여 放射線 感受性을 實驗한 成績은 Table 4에서 보는 바와 같다.

Table 4에서 보는 바와 같이 非芽胞形成

Table 4. Sterility on inoculated paper discs after exposure to radiation

Microorganisms	Source*	No. of organisms per disc	Percentage sterile after 14 days incubation				
			0	1.0	1.5	2.0	2.5
<i>E. coli</i> , 113-3	NIH	$5.0 \times 10^6$	0	100	100	100	100
<i>S. typhi</i> , Ty 2	NIH	$1.5 \times 10^6$	0	100	100	100	100
<i>Staph. aureus</i> .	SNU	$3.8 \times 10^6$	0	100	100	100	100
<i>B. subtilis</i>	SNU	$3.8 \times 10^6$	0	100	100	100	100

<i>Cl. tetani</i> , Harvard	NIH	$1.0 \times 10^6$	0	80	90	96	100
M-7	MP	$1.0 \times 10^4$	0	70	100	100	100
<i>B. cereus</i> , R-J	R-II	$3.7 \times 10^3$	0	50	100	100	100

Remarks ; NIH : National Institute of Health. SNU : Dept. of Microbiology, College of Medicine, Seoul National University. MP : Medical Product. R-II : TRIGA MARK II Reactor.

菌인 *E. coli*, 113-3, *S. typhi*, Ty 2 및 *Staph. aureus*와芽胞形成菌인 *B. subtilis*는 1.0Mrad로서 完全滅菌되며 醫療製品으로부터 分離한 M-7 및 *B. cereus*는 非芽胞形成細菌보다는 放射線感受성이 낮아 1.5 Mrad 照射線量으로 滅菌되었으나 *Cl. tetani*, Harvard는 가장 放射線感受성이 낮아 完全滅菌에 2.5Mrad가 要求되었다.

E.M. Darmady(1961) 등에 의하면 *Cl. tetani*外 11種의 細菌에 對한 放射線感受性を 實驗한 結果 非芽胞形成細菌은 모두 1.0Mrad로서 滅菌되나 芽胞形成細菌은 放射線感受성이 낮아 著者들의 成績과 마찬가지로 完全滅菌시키는데 2.5Mrad가 要求되었다고 한다.

그러나 *Cl. tetani*의 滅菌에 著者들은 2.5 Mrad가 要求되었으나 Darmady는 1.0Mrad의 電離放射線을 必要로 하였다는 點은 같

Table 5. Lethal doses of radiation for microorganisms at various concentrations

Microorganisms	No. of cells per disc	Lethal dose (Mrad)
M-7 <sup>1)</sup>	$1 \times 10^2$	0.375
	$1 \times 10^5$	0.901
	$1 \times 10^8$	1.450
<i>B. brevis</i> , R-E <sup>2)</sup>	$1 \times 10^2$	0.450
	$1 \times 10^5$	1.150
	$1 \times 10^8$	1.802
<i>Cl. tetani</i> , Harvard	$1 \times 10^2$	0.625
	$1 \times 10^5$	1.512
	$1 \times 10^8$	2.425

Remarks : 1) Bacteria isolated from medical product.

2) Bacteria isolated from TRIGA MARK II reactor.

은 種屬의 細菌이라도 菌株를 달리 함으로써 放射線感受성에 差異가 있음에 原因하는 것으로 생각된다.

放射線感受성이 같은 同一細菌이 그 菌數를 달리하는 경우 滅菌에 要求되는 放射線線量の 差異有無를 觀察할 目的으로 3種의 細菌에 菌數를  $1 \times 10^2, 1 \times 10^5$  및  $1 \times 10^8$ 으로 各各 區分하여 致死線量を 觀察한 結果는 Table 5와 같다.

Table 5에서 보는 바와 같이 3種의 細菌이 다같이 細菌數를 增加시킴으로써 致死에 要求되는 放射線線量도 高線量을 必要로 하며 그 增加率은 菌數의 增加와 平行하게 直線的으로 增加하는 傾向임을 알 수 있었다.

醫藥品을 醫藥品 製造會社 別로 製品을 random sampling하여 放射線感受성을 實驗한 F.J. Ley(1967) 등에 의하면 同一品目에서도 製造會社의 衛生狀態에 따라 要求되는 放射線滅菌線量에 相當한 差異가 있음

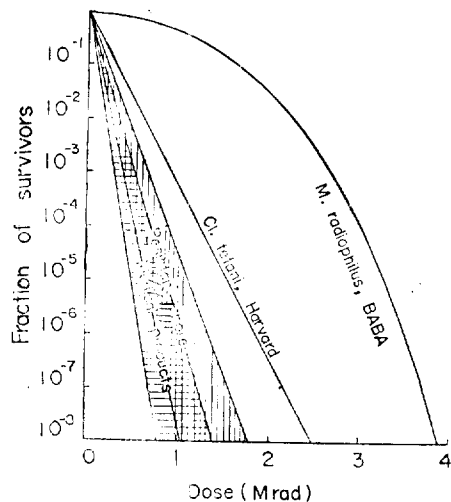


Fig. 1. Radiosterilization inactivation curves

을 報告하고 있는 點은 著者들의 實驗成績인 菌數가 增加할수록 放射線 高線量이 要求되는 成績과 一致한다고 생각된다.

上記 實驗成績들을 *M. radiophilus*, Bha-Bha의 放射線感受성과 比較하여 綜合적으로 放線線滅菌에 必要한 線량을 整理하여 본 成績은 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 醫療製品에 汚染되어 있는 細菌中에서도 一般的으로 芽胞形成菌은 非芽胞形成菌에 比하여 放射線感受성이 낮았으며 특히 病原性 芽胞形成菌인 *Cl. tetani*, Harvard는 더욱 낮았으나 非芽胞形成菌이라도 *M. radiophilus*, Bha-Bha의 滅菌에 3.8Mrad의 線량이 要求됨을 알 수 있었다.

實際로 產業的인 放射線照射施設을 가지고 放射線滅菌事業을 實施하고 있는 美國(W. van Winkle, 1967) 및 英國(F.J. Ley, 1967)에 있어서 醫療製品을 滅菌하는

데 2.5Mrad 放射線량을 規定하고 있다.

그러나 이 線량은 絕對的인 것은 아니고 製品의 原料 및 細菌汚染度에 따라 照射線量에 融通性을 갖고 있다.

즉 네탁(E.A. Christensen, 1966)에서는 플라스틱製品을 滅菌하는데 2.5~4.5Mrad를 照射하며 플리에틸렌 製品인 tygon tube는 2.5M~3.0Mrad(M.F. Alladine, 1967)의 放射線을 照射하고 있다.

이미 放射線을 利用하여 醫療製品에 產業的 滅菌法을 實施하는 나라에서 特殊한 경우를 除外하고 2.5Mrad 放射線 線량을 채택하고 있는 點은 著者들의 成績중 특별히 *Cl. tetani*등의 汚染을 除外한다면 一致되는 成績이라 하겠다.

2. 安全性 實驗

1) 純度實驗

탈지면, 꺼즈에 2.5Mrad 放射線 照射후 大韓藥典에 準하여 沈降速度등 7가지의 純

Table 6. Purities in nonirradiated and irradiated medical products

Medical product	Gauze			Cotton		
	Standard	Nonirradiated	2.5Mrad	Standard	Nonirradiated	2.5Mrad
Purity test						
Water-soluble material	less 20mg	12mg	34mg	less 14mg	11.6mg	12mg
Acid	—	—	—	—	—	—
Alkali	—	—	—	—	—	—
Dextrin or Starch	—	—	—			
Absorbing capacity				more 100g	218g	216g
Sedimentation velocity	less 10sec	7—8sec	8sec	less 8sec	7—8sec	16—130sec
Ash	less 0.3%	0.24%	0.36%	less 0.3%	0.04%	0.14%

Table 7. Pyrogen test on irradiated transfusion sets

Manufacturer	Animal group	Before injection(BI)				After injection(AI)			AI—BI	(AI—BI)—Control
		20 hrs	18 hrs	2 hrs	0 hrs	0 hrs	1 hrs	2 hrs		
D—H	A	102.9	102.7	102.7	102.4	103.3	103.5	103.5	0.9	+0.42
	B	102.7	102.4	103.3	102.8	103.9	104.0	103.8	1.1	
	C	102.9	103.2	103.3	102.3	103.1	103.8	104.2	0.8	
	D	103.1	102.6	102.6	103.1	105.3	104.0	103.7	1.4	

D-A	A	103.1	103.3	102.6	102.9	103.4	103.6	102.9	0.3	-0.01
	B	102.8	102.8	102.8	102.7	103.1	103.3	103.1	0.4	
	C	103.0	102.9	102.6	102.3	103.1	103.0	103.2	0.4	
	D	103.2	102.4	102.8	102.6	105.1	104.3	102.7	1.4	
Control	A	103.0	103.4	102.7	102.7	103.8	103.9	103.6	0.8	0
	B	102.4	102.8	101.7	101.8	103.0	102.8	102.7	0.6	
	C	102.8	102.5	102.4	102.1	103.0	103.0	102.9	0.5	

Remark : Temp.(°F)

度實驗을 實施한 結果는 Table 6와 같다.

Table 6에서 보는 바와 같이 純度實驗중 탈지면은 沈降速度에서 꺼르는 水溶性物質과 강열잔분에서 判定基準보다 增加하는 傾向을 나타내었다.

이런 結果로 볼때 製造原料에 따라 2.5 Mrad 照射線量은 滅菌은 되나 탈지면과 꺼르에는 若干의 損傷을 주는 수도 있어 그 以下の 線量이 要求됨을 알 수 있었다.

## 2) Pyrogen實驗

수액셋트에 2.5Mrad 放射線 照射후 大韓藥典 規定에 準하여 pyrogen實驗을 實施한 結果는 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 實驗도끼가 모두 大韓藥典 判定基準인 0.6°C 以下の 體温上昇을 보여주고 있다.

따라서 pyrogen-free함을 알 수 있었다.

## 摘 要

醫療製品 製造工場으로 부터 滅菌前 醫療製品을 購入하여 放射線 照射後 滅菌實驗과 安全性實驗을 實施한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 醫療製品이 2.5Mrad 照射로서 滅菌됨을 알 수 있었다.
- 2) 製品에 汚染되어 있는 細菌數가 增加할수록 滅菌에 必要한 放射線 線量도 增加함을 알 수 있었다.
- 3) 2.5Mrad 照射로서 수액셋트는 完全滅菌과 同時에 pyrogen-free함을 알 수 있었다.

## 引 用 文 獻

1. Alladine, M.F., and Gibbons, J.R.P., 1967. The use of tygon tubing sterilized by gamma radiation in heart lung by pass machine. I. A.E.A. Vienna, 285-288.
2. Christensen, E.A., Holm, N.W., and Juul, F.A., 1966. The basis of the Danish choice of dose for radiation sterilization of disposable equipment. Risø report No. 140, 1-17.
3. Christensen, E.A., Holm, N.W., and Juul, F.A., 1967. Radiosterilization of medical devices and supplies. I.A.E.A. Vienna, 265-276.
4. Christensen, E.A., and Holm, N.W., 1964. Inactivation of dried bacteria and bacterial spores by means of ionizing radiation. *Acta Path. Microbiol Scand.*, 6, 253.
5. Cook, A.M., and Roberts, T.A., 1963. Gamma irradiation of *Bacillus subtilis* spores. *J. Pharmacy pharmacol.*, 15, 345.
6. Cook, A.M., and Berry, R.J., 1967. Pre-sterilization bacterial contamination on disposable hypodermic syringes necessary information for the rational choice of dose for radiation sterilization(SM-92/25). I.A. E.A. Vienna, 295-305.
7. Darmady, E.M., Hughes, K.E.A., Burt, M.M., Freeman, B.M., and Powell, D.B., 1961. Radiation sterilization. *J. Clin. Path.*, 14, 55-58.
8. Erdman, I.E., Thatcher, F.S., and Eacqueen K.F., 1961. Studies on the irradiation of microorganisms in relation to food preservation, I. The comparative sensitivities of specific bacteria of public health significance. *Can. Microbiol.*, 7, 199-205.
9. Farkas J., Kiss, I., and Andrasay, E., 1967. The survival and recovery of irradiated bacterial spores and affected by population density and some external factors. I.A.E.A. Vienna, 343-354.
10. Frey, H.E., and Pollard, E.C., 1966. Ionizing radiation and bacteria; Nature of the effect of irradiated medium. *Rad. Res.*

- 28, 668—676.
11. Igali, S., 1967. Survival of the vegetative and spore forms of bacteria irradiated in pharmaceutical powders. I.A.E.A. Vienna, 339—341.
  12. Rhee, K.S., Min, B.H., and Kim, K.S., 1973. In press.
  13. Lawrence, C.A., Brownell, L.E., and Graikoski, 1953. Effect of  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation on microorganisms. *Nucleonics*, 11, 9.
  14. Ley, F.J., Ckawford, C.G., and Kelsey, J.C., 1967. Report from the United Kingdom. I.A.E.A. Vienna, Tech. Reports series no. 72, 40—57.
  15. Van Wrinkle, W., 1967. Report from the United States of America. I.A.E.A. Vienna, Tech. Reports series no. 72, 23—33.
  16. Fogarty, M., 1967. Destruction of radiation-resistant microorganisms on surgical sutures by  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -irradiation under manufacturing conditions (SM—92/39). I.A.E.A. Vienna, 169—178.