講 演

原子力의 安全性

林 珞 圭
(韓國科學技術院 監事)

■ 차 례 ■

1. 序 論
2. 우리나라의 原子力利用
3. 放射線障害의 歷史
4. 細胞나 生物에 미치는 放射線影響
5. 放射線의 人體에 대한 影響
6. 放射線의 許容線量
7. 放射線被曝에 대한 防護
8. 原子力安全의 特殊性
9. 結 論

1 序 論

第三의 불, 20世紀의 科學技術의 集大成 이라고 불리워지는 原子力과 그 利用은 1938年 독일의 化學者 Hahn 과 Strassmann이 Uranium에 中性子를 쪼이면 우라늄의 原子核이 分裂되는 것을 發見한 것이 契機가 되어 始作된 것이다. 그後 1942年에 Fermi가 核分裂의 連鎖反應에 成功했고 1945年에는 核武器로 둔갑하여 日本의 廣島에 投下되므로써 그 威力을 과시했고 人間의 腦裡에 恐怖의 映像을 심어주었다.

그후 1950年代初부터는 核分裂時에 發生되는 에너지를 動力에 이용하는 分野와 放射性同位元素生産으로 인한 放射性物質로부터 放出되는 放射線을 利用하는 分野가 原子力의 平化的利用으로써 새로운 科學技術의 章을 人類에게 열어주고 있다.

原子力의 利用에서 放射線이란 것이 必然的으로 따르게되며 放射線이 따르지 않은 原子力利用이란 想像할 수 없다.
이렇게 有用한 放射線은 逆說的으로 人間과 環境에 障害를 주며 五感에도 感知될 수 없는 存在다.

原子力安全이란 原子力利用에 隨伴된 放射線의 被曝으로부터 人間과 環境을 슬기롭게 保護해주는 技術이다.

原子力의 安全性은 그다루어야될 範圍가 너무 넓기 때문에 本論에서는 주로 放射線이 人體에 미치는 影響을 中心으로 다루었다.

2 우리나라의 原子力 利用

一般的으로 原子力利用이라함은 平和的利用 分野와 軍事的利用으로 大別하여 말할 수 있다. 平和的인 利用分野로서는 原子力의 熱에너지를 이용하는 分野로써 原子力發電과 原子力煖房等이 있고 原子力에 의하여 生成된 각종 放射性同位元素를 이용하는 分野로 大別하여 말할 수 있다.

우리나라에 原子力利用에 대한 意志가 태동된것도 1956年3 월 文教部에 原子力課를 設置 하므로써 시작되어 1959年에는 原子力院이 發足했고 1959年 原子力研究所가 設立됨에따라 原子力研究分野科學者의 海外養成과 研究用原子炉의 導入等의 두가지 큰 計劃이 동시에 推進되고 있었다. 原子力의 本格的利用의 시효가 되었던 것은 1962年 出力100 kW의 TRIGA-Ⅱ 연구용원자로가 原子力研究所에서 가동되어 放射性同位元素를 生産하면서 부터이며 이것은 시카고大學에서 Fermi교수가 1942年CP-1이라고 하는 原子核分裂裝置로써 連鎖核分裂이 成功된지 20年이 지난후가 된다.

1971年에는 58萬Kw의 發電量을 가진 原子力發電所가 古里에 起工되어 78年에는 商業發電을 開始하게 되었고 그후 계속하여 8個의 發電所가 建

設이 追加되었고 4個의 發電所가 建設中인 것을 除外하고는 이미 우리나라 總發電量의 30%를 原子力으로 充當하고 있다.

一面 放射性同位元素의 利用分野도 1962年 研究用原子炉가 가동되어 放射性同位元素를 生産하기 전까지는 거의 全無狀態에 있었다. 그후 國內에서 生産되는 同位元素와 外國에서 輸入된 同位元素가 醫學, 産業界等에 普及活用하게 되었고 74年度에 70餘個의 使用機關數가 현재는 400餘個所의 使用機關과 放射性同位元素로 安全取扱하는데 必要로하는 免許證所持者도 1700餘名으로 증가되었다.

3 放射線障害의 歷史

1895年 Roentgen이 陰極線을 研究中 우연히 X線을 發見하게 되었다. 이때 X線이 物質을 투과하는 性質이 있고 사진감판에 感光性이 있음을 알았고 Roentgen 自身도 自己의 손을 透視해 보았고 이것이 X線診斷의 最初가 된다. X線의 發見에 刺激되여 歐州와 美國等에서 X線管의 製造와 이를 사용한 實驗이 實施되던中 이를 取扱하던 實驗者들이 皮膚炎이 發生되었고 X線이 人體에 照射되면 障害를 發生시킨다는 것은 깨닫게 된 것은 發見後 1年도 못되서다.

1898年에는 Curie夫妻가 Radium을 發見하게 되므로써 X線과는 또다른 하나의 새로운 線源을 提供하게 되였지만 여기에서 放出되는 放射線이 X線과 동일한 障害를 發生시킨다는 事實이 3年後에 Radium을 取扱했던 사람에 의해 發見되었고 Curie夫人도 오랜 研究生活에서 過度한 被曝으로 인한 再生 不良性貧血로 死亡했다.

Radium의 障害는 2次大戰中과 1924年頃 당시 유행했던 夜光塗料를 時計의 文字板에 칠하는 作業에 從事했던 女工들이 Radium과 螢光物質을 섞은 塗料를 使用中 입을 통하여 人體內部로 侵入한 Radium에 의하여 被曝되었고 그후 障害가 發生 많은 사람이 희생되였다는 報告가 있다.

4 細胞나 生物에 미치는 放射線 影響

放射線만이 어는影響은 誘發시키고 放射線以外의 것은 誘發하지 않는 放射線固有의 障害란 存在치 않는다. 放射線이 일으키는 障害와 동일한 것이 物理的 또는 化學的인 많은 원인에 의해서도 發生된다.

그림 1에 放射線影響의 發現順序를 대충 表示하였지만 生物에 대한 放射線의 最初作用은 物理的이라 할 수 있다. 즉 放射線은 生物을 構成하는 原子나 分子에 物理的으로 작용하여 에너지를 준다. 細胞를 구성하고 있는 成分中 물이 70% 정도를 차지하고 있기 때문에 물은 放射線에 의하여 物理的 및 化學的 變化를 이르키며 이때 生成된 遊離基(H基, OH基)가 細胞의 중요한 構成分子(核酸과 蛋白質)에 작용하여 영향을 준다.

細胞의 죽음은 組織機能에 영향을 주게 되며 이것은 個體의 영향에 이어진다. 細胞의 죽음은 여러가지 機構에 의해서 일어날 수 있다. 어떤 경우에

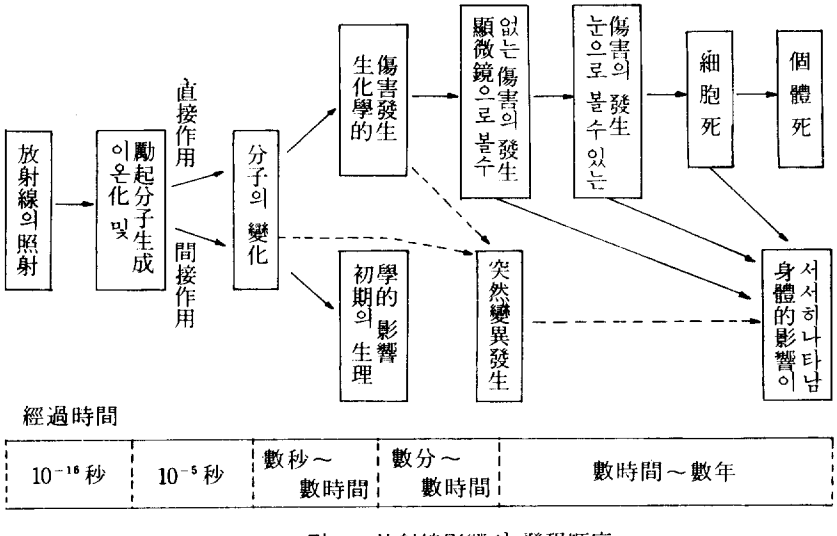

그림 1. 放射線影響의 發現順序

는 염색체가 切斷되는 모양으로 細胞核이 損傷을 받았기 때문에 細胞가 죽는 때도 있다.

染色體의 切斷은 때로는 回復된다. 染色體의 放射線에 의한 突然變異는 染色體切斷의 結果로 생긴다. 切斷된 染色體가 再結合할 때 配列順序가 바뀌게 되면 이런 상태로 子細胞에 傳達될 때도 있다. 이러한 現象을 유전적인 障害라고 한다.

5 放射線의 人體에 대한 影響

放射線의 影響은 放射線을 被曝한 個人에 限定되는 경우와 영향(병의 發生)이 子女나 孫子등 子孫에 나타나는 경우가 있다. 放射線을 쪼인 個人에 限定되는 영향은 身體的影響, 子孫에 나타나는 영향은 遺傳的 영향이라고 부른다.

또 身體영향에는 白血球의 減少와 같은 放射線被曝後 비교적 빨리 약 1週日內에 나타나는 早期影響과 白血病과 같이 때로는 10年, 20年이라는 긴 潛伏期後에 나타나는 영향(晩發性영향)도 있다.

全身이 放射線에 被曝되면 線量의 크기에 따라 영향이 나타나는 方式이나 症狀이 다르다. 예를 들면 표 1에서 보는 바와 같이 5~25rad 被曝時 血液中의 淋巴球에서 이상이 보이지만 臨床的으로 문제될 만한 영향은 나타나지 않는다. 그러나 100rad 前後에서는 吐氣나 명백한 血液變化가 나타난다.

표 1. 放射線의 全身照射에 對한 영향

線量Gy(rad)	症　　狀	備　　考
0.05(5)	거의 臨床的症狀 없음	0.05Gy(5rad)以下에서는 晩發性障害만이 對象됨
0.1(10)	거의 臨床的症狀 없음	0.1Gy(10rad)에서는放射線管理上의 處置가 必要
0.25(25)	거의 臨床的症狀 없음	0.25Gy(25rad)를 초과하면 醫師의 診斷이 必要
0.5(50)	임파球의 一時的減少	
1(100)	嘔吐, 全身倦怠, 임파球현저한 減少	
1.5(150)	放射線宿醉 50%	
2 (200)	長期白血球減少	死亡率 5%
4 (400)	死亡 30日間에 50%	半數致死線量 $LD_{50(30)}$
6 (600)	死亡 14日間에 90%	
7 (700)	死亡 100%	100% 致死線量

放射線量이 동일하여도 1回照射했을 때의 영향이 數回로 分割하여 照射했을때의 영향보다 크다. 예를 들면 人體에 300rad를 1回 短時間에 照射하면 50%의 사람이 죽지만 30rad를 每年 10年間 分割照射하면 한사람도 죽지 않는다. 時間이 경과하는 동안에 放射線의 효과가 損失되기 때문이다. 단 精子에 대한 遺傳子 突然變異誘發의 효과는 回復하지 않는다. 또 癌의 誘發에 대해서도 回復되지는 안되는지 不分明하다.

6 放射線의 許容線量

原子力이나 放射線이 人類에게 有用하게 이용되고 있지만 放射線을 身體에 전연 쪼이지 않고 放射線의 利點만을 利用할 수는 없다. 原子力을 이용하므로서 받는 利益에 비해 이것에서 오는 危險이 비교적 작고, 그것은 우리를 個人이나 社會에서 받아드릴 수 있는 것이면 좋다. 放射線의 危險을 받아드릴 수 있을 정도로 적게 하려면 危險과 直接關係가 있는 放射線의 量을 어떤 값 以下로 制限하지 않으면 안된다. 이 制限된 放射線의 量을 許容線量이라고 한다.

실제로 放射線에 대한 制限値를 정하기란 대단히 어렵다. 原子力의 이용에 따른 經濟的利益을 定量的으로 評價하는 것은 어느정도 가능하나 放射線의 害를 定量的으로 評價하는 것은 방사선 영향에 대한 知識의 不充分으로 어렵다.

또 放射線이나 原子力利用에 의한 利益과 人體의 障害는 동일한 尺度로 비교한다는 것도 質의 差異 때문에 곤란하다.

그러나 여기서 잊어서는 안될 것은 放射線의 害作用에 대한 知識은 完全하지 않더라도 우리 周邊의 여러가지 産業廢棄物에 包含된 毒性元素의 害에 비하면 훨씬 많이 가지고 있다는 事實이다. 許容線量은 原子力利用의 安全度評價에 대한 基準이 되며 현재까지 人間이나 他動物에 대한 放射線障害의 知識으로 미루워보아 人體에 傷害를 이르킬 확률이 작

표 2. 個人에 對한 最大許容線量

	器官 또는 組織	職業上의 被曝 (成人)	때때로管理區域에出入하는成人	集團의 構成員(아이들등)
正常時	生殖腺 造血器官	5(N-18)Rem N才까지 3Rem/3個月	1.5Rem/年	0.5Rem/年
	皮膚, 骨 甲狀腺	8Rem/3個月 30Rem/年	職業人의 1/10	職業人의 1/10
	手, 前腕 足,	20Rem/3個月 75Rem/年		
	其他單一器官	4Rem/3個月 15Rem/年		
緊急時	(全　身)	12Rem		

고 또 原子力의 이용을 부당하게 制限하고 있지 않다고 생각되어, 표 2와 같이 國際放射線防護委員會가 勸告한 것으로 우리나라도 原子力法에서 이를 採擇하고 있다.

7 放射線被曝에 대한 防護

우리가 原子力, 放射線, 放射性物質을 이용하면 다소간 放射線에 被曝되고 放射性汚染이 發生되며 放射線障害를 일으킬 可能性이 생긴다.

原子力의 事故나 放射線의 取扱不注意로 多量의 放射線이 人體에 被曝되면 障害가 發生하지만 人類가 생긴 以來 계속해서 自然放射線을 쪼이면서 生活하고 進化되여온 것을 生覺하면 放射線의 許容値를 잘지키고 原子力을 슬기롭게 利用하면 放射線被曝에 의한 障害를 防護할 수 있다.

放射線被曝에는 體外에 있는 線源으로 부터의 放射線被曝과 體內에 들어간 放射性物質에 의한 內部被曝이 있다.

體外로부터의 放射線被曝防護의 방법에는 세가지가 있다. 즉 放射線源으로부터 距離를 멀리하는 방법, 作業時間을 짧게하는 법, 遮蔽體를 이용하는 방법이다.

차폐방법은 β粒子 γ線, 中性子線에 따라 각각 다르다. β粒子는 투과력이 비교적 약하기 때문에 프라스틱板等이 사용되는 데 약 1cm 두께의 프라스틱板으로 2Mev의 β粒子가 차폐된다. γ線의 차폐체로도 鉛, 鐵, 重콩크리트 등이 사용된다.

Mev의 γ線을 $\frac{1}{10}$로 줄이려면 약 4 cm의 鉛板이 必要하다. α粒子는 透過力이 작아 종이 한장으로 막을 수 있고 우리 손의 피부를 투과못한다.

그림 2는 Gamma線 Beam이 物質에 의한 減衰를 나타낸 것으로 物質과의 作用에 의한 透過, 散亂, 吸收 等으로 그 Energy를 減衰시킨다.

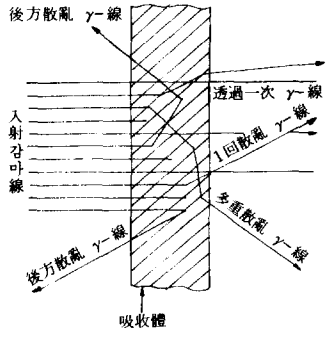

그림 2. 壁狀의 物質에 入射한 γ線의 擧動

放射性物質이 人體內로 侵入되면 身體의 新陳代謝에 의하여 外部로 排出되든가 放射能自體가 減衰되지 않는限 體內에서 放射線을 放出하여 障害를 준다. Radium이나 Strontium－90, Plutonium 等과 같은 放射線物質이 體內에 들어가면 뼈에 沈着되어 長期間 放射線을 放出하므로써 큰 障害를 誘發시킨다. 그러기 때문에 體外에서의 放射線被曝 보다 體內侵入된 방사성물질에 의한 피폭을 더 危險性있게 다루워야 한다.

內部被曝을 直接的으로 防護하는 方法은 어렵다. 放射性物質을 取扱하는 동안 발생되는 空氣汚染, 表面汚染, 身體汚染 등을 防止하므로써 體內에 侵入될 수 있는 放射性汚染을 줄이는 것이 最善의 방법이다. 이를 위해서는 여러가지 汚染防止를 위한 施設 裝備 등이 필요하며 汚染發生을 最少로 주리는 管理技術이 필요하다.

8 原子力安全의 特殊性

原子力施設에서 安全이란 一般公衆의 生命, 健康, 財産을 保護하는 것이 가장 重要하다고 본다. 오늘날처럼 原子力施設의 大型化와 施設의 增加는 萬一의 事故가 發生된다고 가정할 때 一般公衆과 環境에 미치는 影響等을 考慮한다면 一般産業界에서 다루는 安全과는 다른 角度로 取扱되여야 할 것이다.

原子力의 安全에는 人命이건 環境이건 放射線의 被曝에 관한 危險이 따른다. 安全과 危險은 表裏關係에 있으며 危險이 없으면 安全 問題는 發生하지 않는다. 그러나 危險은 절대로 Zero가 될 수 없다.

現在 地球上에는 250餘個의 原子力發電所가 運轉中에 있고 250餘個가 建設되고 있다고 본다. 이것은 軍事用核推進體는 除外된 數字이다.

原子力의 動力利用外에도 放射性同位元素의 利用分野를 考慮한다면 人間과 環境이 放射線被曝에 의하여 障害를 받을 危險度는 確率的으로 점점 높아간다고 봐야 할 것이다. 原子力을 이용하므로써 얻어지는 利益(plus)과 危險(minus)에 대한 價値判斷의 比較는 個人이나 公衆自身의 判斷에 의해서 決定지워져야 할 것이다. 여기서 危險(risk)이란 사람의 健康에 危險을 줄 可能性이 있는 것을 意味한다.

따라서 아무리 작은 risk의 증가라 할지라도 이에대한 價値의 判斷을 서뿔리 하지 못하는 것은 당연하다. 즉, Zero risk가 가장 바람직한 것이다. 그렇다면, 과연 價値判斷의 基準이 되는 Zero risk가 地球上에 實際로 存在할 수 있을 것인가. 生物學的

見地에서 보면 答은 명백히 No다. 그 理由는 人間은 自然界에서 오는 宇宙線에 의한 被曝과 地球上의 自然放射性物質에서 오는 放射線에 의한 被曝을 받고 있으므로 原子力利用 施設을 갖고 있지 않은 地域이라 하더라도 放射線의 作用으로부터 사람이 도피할 수는 없다. 따라서 Zero risk란 實際로 存在할 수 없고 불가피한 risk에 대한 相對的 安全을 意味하는 것이고 이것을 公衆이 받아들이고 있다. 原子力利用의 兩面性中 核武器에 의한 軍事的利用은 除外한다면 平和的인 利用分野에서 人類가 얻은 利益은 막대한 것이다. 물론 大容量의 原子力發電所의 大型事故로 인한 周邊 住民이나 環境에 미치는 影響 等은 假想할 수는 있지만 現在까지 原子力事故에 의하여 희생된 生命은 아주 작아 다른 産業에 비하면 原子力産業은 아주 安全하다고 할 수 있다.

이렇게 安全性을 確保할 수 있는 것은 事故에 對應하는 撤底한 對備와 이를 管理하는 人間의 努力이 있었기 때문이다.

1979年 美國의 TMI原子力發電所에서 發生된 冷却水 損失로 인한 爐心部의 大破損事故는 지금까지 겪었던 事故中 가장 큰 것이었고 이로 인한 原子力界의 충격 또한 큰 것이었다. 原子力發電所는 萬一의 重大事故에 對備하여 4重, 5重의 多重防護方法에 의한 安全性은 確保하고 있지만 TMI 事故로 인한 原子爐를 포함한 財産上의 被害는 數 10億불이었고 放射性物質이 外部로 漏出되어 隣近주민이 받은 個人被曝 最大値는 70mrem 程度였으나 被曝에 의한 死亡者는 全無했다.

그림 3은 美國의 原子力規制委員會가 發表한 研究報告書中 100基의 原子力發電所가 運轉中 事故에 의하여 死亡할 수 있는 危險度와 다른 事故에 의한 危險度를 比較한 것이다. 原子力發電所에서 作業者들은 放射線의 被曝量을 許容値以下로 유지한다면 現代의 科學的 知識으로는 그 職業上의 risk程度는 대체로 大學의 敎授 risk와 同等하다고 보고 있다.

그러나 大學敎授와 同等한 risk가 主觀的, 客觀的으로 認識되었다 하더라도 原電에서의 職業을 個人이 받아들일 수 있느냐, 없느냐는 그 個人 自身의 價値判斷에 달려있는 것이다.

9 結　論

지금으로부터 약 90年前 X線과 Radium이 發見되여 이를 이용하는 技術의 普及됨에 따라 放射線 障害者도 많이 發生되었다. 그후 1950年代 原子力利用이 本格化됨에 따라 過去의 쓰라린 經驗을 返復

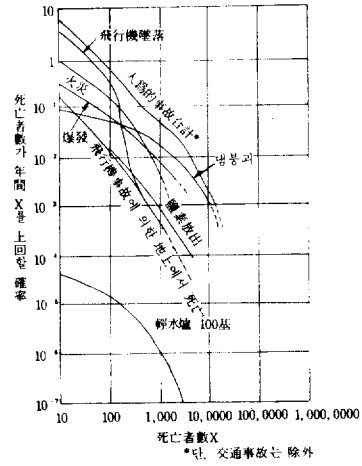

그림 3. WASH-1400에 의한 人爲的 事故에 依한 死亡確率

하지 않기 위해 放射線防護를 가장 重要視 하면서 進行되었다. 이 傳統은 現在에도 確固히 계승되고 있다.

一般産業에선 問題가 發生된 後에 對策을 세우는 일을 종종보지만 原子力産業에선 문제를 미리 豫測하여 安全確保를 圖謀한 후에 事業을 進行하는 것이 根本이 되어 있다. 또한 原子力施設에선 保健物理 또는 放射線管理라고 불리는 group이 있어 安全確保에 대한 必要한 指示 勸告, 助言을 하는 體制가 취해져 있고 나라의 安全規制도 철저하다. 이같은 점에서 原子力産業의 安全確保實績은 他産業에 비해 현저히 높다.

美國의 世界的 保健物理學者인 K. Z. Morgan 은 다음과 같이 記述하고 있다.

"Radiation need not be feared, but it must be respected."

"放射線을 두려워할 必要는 없다, 그러나 注意해서 다루워야 한다."

原子力利用施設의 增加와 大型化는 이에 따른 利益 못지않게 危險도 增加되고 있으며 放射性廢棄物의 處分 廢爐等 人間과 環境을 放射線으로 부터 保護되어야할 安全性 問題가 계속 남아 있다. 原子力의 利益과 危險에 대한 分界點을 슬기롭게 다루워 나가는 創造的 人間의 知惠가 續繼되는 限 原子力利用事業은 더욱 發展되여 나갈 것이다.

註) 本 稿는 當學會 1985年度 定期總會時 講演한 내용을 揭載한 것이다. (1985. 11. 20)