

# 放射線防禦의 基本哲學과 問題點

*The Basic Philosophy and It's Problems of Radiation Protection*

河 正 雨 (韓國에너지研·放射線安全管理室長)

## 1. 序 論

過去 數年동안 放射線의 生物學的 影響 評價를 다룬 많은 報告書가 發行되었다. 이들 가운데 그 學門的 및 國際的으로 가장 關心對象이 되는 것은 國際放射線防護委員會(ICRP)報告書,<sup>2,3)</sup> 原子放射線의 影響에 관한 UN科學委員會(UNSCEAR)報告書,<sup>4,5)</sup> 美國 國立科學院의 이온화放射線의 生物學的 影響에 관한 諮門委員會(NAS-BEIR)報告書<sup>6)</sup> 및 美國 國立放射線防禦 및 測定委員會(NCRP)의 報告書<sup>7)</sup>이다.

이들 報告書들은 放射線의 生物學的 影響에 대한 우리 人間의 現在 知識으로 부터, 個人이나 集團 또는 全 人口의 放射線 被曝 容認水準을 決定하는데 그 바탕을 이루고 있는 基本哲學에 問題點이 있음을 指摘하고 있다. 이 哲學的 問題點들이 國際 및 先進各國의 專門機關들에게 끊임없는 關心對象分野이지만 또한, 放射線량과 影響사이의 基本關係, 특히 低線량과 低線量率에서의 基本關係의 不確實性때문에 아직도 放射線防禦의 基本哲學을 定立못하고 있는 實情이다.

가장 最近에 發表한 報告書 모두가 本質的으로 는 同一한 데이터를 根據하고 있는 반면에 評價와 結論을 相異하게 導出하고 있을 뿐만아

니라 그 利用도 또한 다르게 하고 있다. 이들 相異한 評價·結論 및 利用中 一部는 重要的 것으로, 특히 問題가 되는 것은 低放射線單位에서 Risk評價에 線量-影響의 線型關係假說의 使用과 放射線防禦基準의 說定에 그와 같은 Risk評價를 使用한 것이다.

이 두 問題點에 대하여 美國의 國立放射線防禦測定委員會(NCRP)<sup>7)</sup>는 委員會報告書<sup>6)</sup>와 意見を 달리하고 있으며, UNSCEAR報告書와 더욱 一致된 意見を 갖고 있다. 따라서 筆者는 그 差異點과 重要性 그리고 公衆人에 대한 許容被曝線量 또는 線量限度에 관한 勸告와 어떠한 關係를 가지고 있는지를 檢討하여 우리나라 自體의 放射線防禦 基本哲學을 確固하게 定立하는데 그 主要한 目的을 두었으며, 들쭉는 政府의 原子力規制關係者 및 原子力事業管理責任者들이 放射線의 安全에 대한 基本概念을 理解하는데 조금이나마 도움이 될까하여 이 報告書를 썼다.

## 2. 放射線防禦의 基本哲學

産業衛生學者나 公衆保健學者들에 의한 環境의 工學的 管理는 普通 非確率의 影響(non-stochastic effect)의 경우에 發端線量(threshold

dose)의 개념에根據를 두고 있다. 만일 어떤 毒性物質의 發端線량이 超過되지 않으면, 正常的 機能을 發揮하고 있는 生理學的 機構作用이 그 毒性物質의 生物學的 毒害를 除去할 수 있다고 假定하는 것이다. 이 發端値는 一般的으로 動物實驗데이터와 人間의 臨床데이터를 結合하여 決定된다.

그런 다음 適切한 安全因子 만큼 減少시키어 그 物質에 대한 最大許容濃度(Maximum Allowable Concentration, MAC)를 決定한다. 이 MAC가 바로 環境管理의 安全基準으로 使用되는 것이다. 이 最大許容濃度는 國際職業健康協會(International Association on Occupational Health)에 의하여 1959년에 다음과 같이 定義되었다.

任意的 어느 物質에 대한 最大許容濃度라는 用語는 國際적으로 認定되고 있는 가장 敏感한 試驗方法으로 判斷하였을때 超敏感한 作業者를 除外한 모든 作業者가 連續된 作業期間동안 身體的 損傷 및 疾病의 徵候나 症狀를 檢出할 수 없는 空氣中 平均 濃度를 意味한다.

그러나 毒性物質이 惡性腫瘍(癌)이나 遺傳的 影響을 일으킬 確率을 增加시키는 이온化放射線(ionizing radiation)이거나, 放射性同位元素인 경우에는 다른 哲學에 管理의 바탕을 이루고 있다. 비록 分子生物學者들이 박테리아에서 傷害를 받은 DNA가 回復되는 細胞質內 機構作用(intra-cellular mechanism)의 存在를 確認하였고, 또한 遺傳學者들이 放射線에 의하여 發生된 突然變異 過程의 線量率依存性을 觀察-이 두 觀察은 確率的 影響의 發端線量을 暗示-하였으나, 우리는 放射線 뿐만 아니라 化學的 發癌因子 및 突然變異因子에 대한 安全基準設定目的을 위하여 確率的 影響에 대한 發端線量은 存在하지 않는다고 假定한다.

다시 말해서 癌發生過程과 突然變異發生過程에 대한 線量應答曲線(dose response curve)

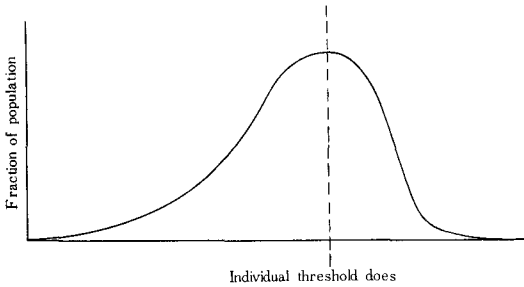
은 線량이 영(零)이 되는 곳 까지 線型 關係가 成立한다고 假定하는 것이다. 여러가지 確率的 影響에 대한 線量-應答曲線의 勾配는 高線量의 結果를 低線量과 zero線量까지 外插시켜서 얻는다.

더우기 이러한 影響들은 線量率에는 無關하고 오직 總線量만이 生物學的으로 重要하다고 假定하였다. 이러한 事實은 線量の 모든 하나 하나의 增加分量은 그 增加分量이 얼마만큼 적으나에는 관계없이 增加分量에 比例하여 惡性 影響의 Risk를 增加시키기 때문에 人間이 만듦은 放射線의 管理에 대한 基本哲學은 放射線의 利用으로 부터 社會와 人間에게 주는 利益과 兩立할 수 있는 水準까지 放射線量을 限定시키는 것이다.

非確率的 影響을 招來하는 그러한 因子(agent)와 確率的 影響의 確率을 增加시키는 그러한 因子를 劃一的으로 區分할 수는 없다. 어떤 發端値가 實在로 存在하고 있는 그러한 物質의 경우에는 그 發端値가 어느 個人에게만 適用되는 것이고, 다른 個人들은 또다른 發端値를 갖고 있을 것이다. 그래서 伽馬放射線으로 인한 血液變化에 대한 平均 發端値가 비록 0.25 Gy(25rad)라고 하더라도 어떤 사람에게서는 0.14Gy(14rad)의 낮은 線量에서도 그 變化가 觀察되었다. 반면에 또 다른 사람에서는 0.4Gy(40rad)라는 높은 線量에서도 血液變化가 나타나지 않았다. 만일 放射線 被曝을 받은 많은 사람이 血液變化檢査를 받았다고 하면, 심지어 0.14Gy(14rad)보다도 낮은 線量을 받은 사람 가운데에서도 變化를 볼 수 있을 것이다.

대부분의 有害한 物質에 대한 感度分布가 그림 1 처럼 오른 쪽으로 다소 기울어져 있는 分布를 가졌다고 豫測하는 것은 不合理하다. 이 曲線은 分布의 高線量 끝에서 橫座標를 實在的으로 絶斷하여야 할 것이다. 왜냐하면 우리는 그 어느 누구에게나 影響을 주는 그 어떤 線量

〈그림1〉 Distribution of individual thresholds among a population



이 존재한다는 것을 합리적으로 확신할 수 있기 때문이다. 또 다른 한편 모든 사람에게 아무런 영향을 주지 않는 극히 낮은 선량에도 응답하는 초민감한 사람이 있다는 것도 알고 있다. 이와 같은 사실을 근거로 하여 감도분포곡선의 왼쪽 끝은 座標軸의 原點을 通過한다고假定하는 것도 합리적인이다.

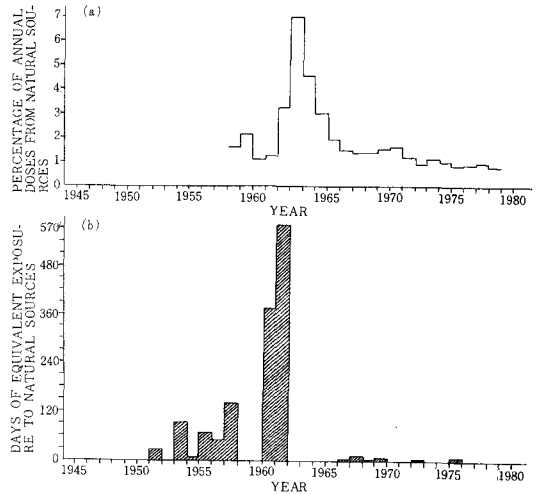
事實上 어느 人口集團의 構成個個人 가운데 이 感受性 分布는 發端線量의 概念이 어느 대단히 큰 人口集團에게 適用不可能하다는 것을意味한다.

이 價値判斷은 有害한 物質의 利用에 대한 報答으로 얻어 낼 수 있는 利益을 考慮하여 MAC를 說定하고 있는데, 이 MAC의 有害한 物質에 의하여 全 人口가 얼마나 不利한 影響을 받아도 괜찮은 것인지를 決定하지 않으면 안될 것이다. 이 MAC는 超敏感한 사람이 發見되기 전의 그러한 水準에서 극단적으로 많은 사람이 露出되는 것이 틀림없는 그러한 水準으로 保守的으로 設定하는 것이 普通이다.

이와 同一한 論理形式이 放射線量限度를 決定하는데 關心을 가진 專門家 사이에 支配的으로 通用되는 方式이다.

職業的 放射線被曝의 경우에 放射線防禦의 指針으로서 線量限度를 勸告하는 問題는 比較的 단순하다. 廣大한 人間經驗이 過去 20世紀의 처음 4半世紀동안 라듐 및 X線에 대한 無分別한 被曝과 日本 原子爆彈 生存者로 부터 얻어

〈그림2〉 Trends with time of collective doses from atmospheric nuclear explosions. (a) Average annual collective doses received by the world population between 1958-1979; (b) Collective doses committed for the future by explosions carried out between 1952-1976.

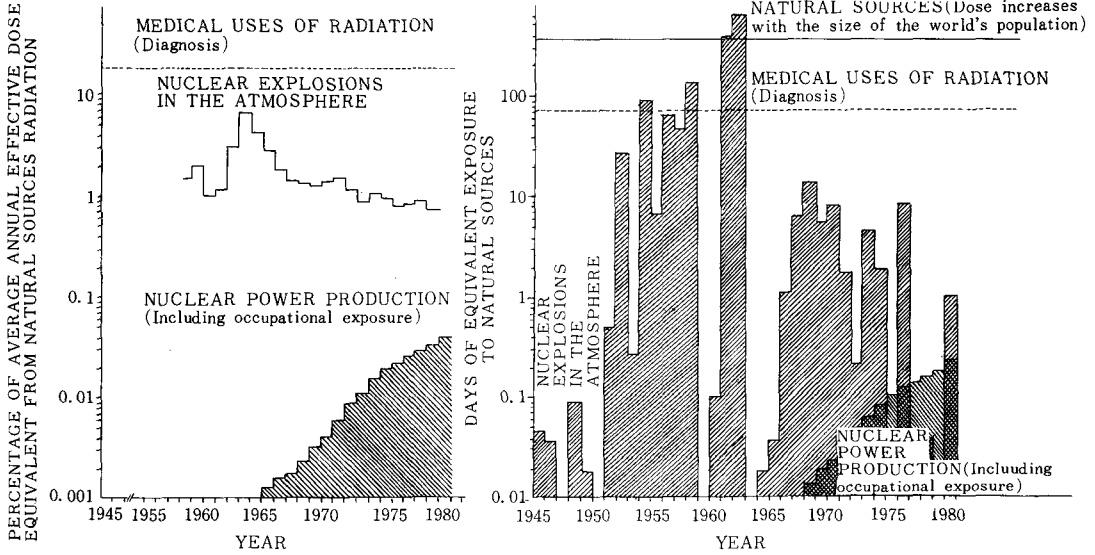


졌고, 또한 實驗室에서의 動物研究로 부터 더욱 많은 데이터가 얻어졌다. 이와 같은 情報를 바탕으로 그리고 放射線量의 모든 追加增加分量은 그 量과 同等한 Risk의 追加增加를 招來한다는 假定에 따라 線量限度를 設定할 수 있으며, 이 限度를 職業的 放射線被曝을 받는 放射線作業者에게 適用하였을때, 이 限度는 아주 높은 安全基準을 갖고 있다고 認定되어 安全하다고 생각하고 있는 다른 職業에서의 Risk 보다 크지 않은 Risk水準이 될 것이다.

一般 公衆人中 非職業的 放射線被曝을 받은 個個 構成人에 대한 線量限度는 被曝結果 招來될 것으로 보는 放射線 Risk가 放射線 Risk에 대한 報答으로 社會가 이미 技術的 利益을 위하여 容認한 Risk보다는 훨씬 낮은 水準에서 決定되어 진다. 이러한 線量限度로 부터, 우리는 앞에서 記述한 線量限度 以內의 放射線量을 주게 되는 各種 放射性同位元素의 年間攝取限度 (Annual Limit of Intake, ALI)와 環境放射能 限度를 誘導할 수 있게 된다.

國際放射線防禦委員會에서 勸告한 線量限度

〈그림3〉 Trends with time of doses from different sources of radiation. (a) Annual effective doses equivalents, expressed as percentage of the average exposure to natural sources; (b) Collective effective doses equivalent commitments per year of practice, expressed as days of equivalent exposure to natural sources.



體系는 다음과 같은 세가지의 基本放射線防禦哲學主義에 基盤을 두고 있다.

- (1) No practice shall be adopted unless it's introduction produces a net positive benefit ;
- (2) All exposures shall be kept as low as reasonably achievable, economics and social factors being taken into account; and
- (3) The dose equivalent to individuals shall not exceed the limits recommended for the appropriate circumstances by the Commission.

前記의 세가지중 두번째 必須要求條件이 促求하는 것은 放射線 取扱行爲에 대한 實質的 運營線量限度(Operational dose limit)는 勸告한 最大線量限度보다 더욱 制限的이어야만 한다는 것이다. 이것은 節次過程, 設備(遮蔽, 換氣設備等) 및 其他 運營因子들이 放射線 作業者들의 運營線量限度를 超過되지 않도록 設計되어야 함을 意味하는 것이다: 이러한 運營哲學(operating philosophy)을 ALARA(As Low As R-

easonably Achievable)概念이라고 한다.

이 ALARA概念을 適用하기 위하여는, 다른 더욱 낮은 運營線量限度에 대한 費用-利益(Cost-Benefit) 解析을 한 다음에 放射線 取扱業務로부터 誘導한 利益對 放射線에 의한 損害影響(detrimental effect)을 最適化한 放射線防禦基準을 選定하도록 ICRP는 勸告하고 있다.

ALARA를 實行하기 위하여는 經濟的 및 社會的 因子를 考慮하여야 하기 때문에 ALARA가 무엇인가에 대하여 關係專門機關사이에도 전혀 서로 다른 解析을 내릴 수가 있다.

### 3. 問題 點

放射線防禦 基本哲學과 相關한 問題點은 크게 두가지로 集約시킬 수 있다.

그 하나는 線量과 應答사이의 直接 比例關係 成立 假定이고, 다른 하나는 費用-利益 解析을 통한 放射線防禦의 最適化의 定量化이다.

線量-應答사이의 直線關係 成立은 低線量에서 人間에 關한 데이터가 없기 때문에 高線量

및 高線量率에서의 線量-應答曲線으로 부터 外挿하여 直線性을 假定하였다. 그러나 이러한 線型外挿에 根據하여 導出한 低線量과 低線量率에서 放射線에 의하여 發生하는 癌에 대한 Risk推算是 低準位の 낮은 線型에너지賦與(L-ET)放射線에 의한 實在 Risk의 事實 그대로의 算定을 줄 것이라고 豫測하기가 어렵고, 실사 있다고 하더라도 事實 그대로의 危害-利益(Risk-Benefit)評價 目的을 위하여 限界價値가 될 만큼 實存 Risk를 過大評價할 確率도 높다.

UNSCEAR<sup>9)</sup>에 따르면 地球上 人類가 現在 받고 있는 線量은 無視할 수 없는 數밀리시버트(mSv, ~100mrad)<sup>9)</sup>程度로서, 그림 2 및 3에서 보여주는 바와 같이 대부분이 自然放射線源에 起因된 被曝線量이다.

따라서 低線量の 放射線被曝에 起因하여 發生하는 遺傳的 Risk評價에서 가장 重要한 線量-應答曲線의 線型比例關係 成立 問題는 放射線防禦哲學關係에서 特別한 關心을 모으고 있으며, 先進各國은 이 分野에서 發癌 動因의 性質, 作用機構, 線量依存性 등을 探究하기 위한 많은 研究가 活潑히 進行中이어서, 一般的으로 1990年代에 가서는 糾明이 될 것으로 보는 見解가 支配的이다. 따라서 그 時點에 이르기까지는 가장 保守的인 放射線防禦哲學概念에 立脚한 線量-應答曲線의 線型比例關係가 成立한다고 判斷하는 수 밖에 없다.

두번째는 費用-利益을 통한 放射線防禦의 最適化를 定量的으로 價値判斷하는 問題이다. 가장 重要한 政策手段은 "As Low As Reasonably Achievable"概念과 放射線防禦의 最適化사이의 完全한 一致를 認定하는 것이다.

ICRP發行者 22, 26 및 37에 記述된 微分費用-利益解析이 最適解를 구하는 唯一한 方法이라는데는 대체적으로 同意하고 있으며, 其他方法, 即 非線型 効用函數에 根據를 둔 多重基準法(multicriteria methods)과 集合法(aggr-

egate methods)이 現在 開發中에 있다.

ICRP發行者 37은 客觀的 放射線保健損害(알파項)와 其他 成分의 損害(베타項)를 區分지워 놓았다. IAEA는 最近 "알파"에 대한 國際적으로 一致되는 最少値를 구하기 위한 努力을 기울이고 있으며, 베타項은 아직도 檢討段階에 있다.

一部 國家專門機關은 알파의 낮은 값을 補償하기 위하여 線量限度 程度의 個人被曝에 起因한 集合線量에 加重을 하는 方法을 提案하고 있다. 그러나 또 다른 專門機關은 主觀的 損害와 放射線量사이의 定量的 關係에 疑問을 나타내고 있으며, 오히려 알파項만으로 微分費用-利益解析으로 부터 最適結果를 誘導하는 것이 좋다고 主張하고 있다.

다른 한편, 單位 集合線量當 防禦費用의 合計를 割當하는 것은 人間 生命에 價値를 매기는 것과 같다는 倫理上의 問題도 있다. 그러나 最適化의 目的은 最少의 不利益으로 最大의 利益을 얻는데 있는 것이다. 最適化가 이루어지지 않으면 不必要한 全體的인 害를 招來하게 된다.

放射線防禦에 責任을 가지고 있는 사람들의 義務는 社會의 其他 必要와 相衝되지 않는 集合線量の 最大價値評價를 要請하는 것이다. 이 問題는 最近에 教皇廳 科學院(Pontifical Academy of Science)에서 委任한 研究그룹에서 檢討된 바 있으며, 報告書가 發行될 것으로 본다.

放射線防禦의 最適化를 위한 微分費用-利益解析은 概念的으로 서로 다른 費用-效果(Cost-Effectiveness)節次와 混同하여 使用하는 경우가 종종 있음을 보아 왔다.

#### 4. 1990年代 展望

國家關係機關이 ICRP勸告의 어떤 重大한 變化를 그 나라의 放射線防禦政策에 反映하는데는 數年이 걸린다. 따라서 委員會는 長期的이고 安定된 位置를 堅持하여야 한다. 그러나 國

家關係機關들은 科學情報 또는 社會的 態度에서의 變化를 無視하거나, 反映에 지체하는 일이 있어서도 안된다. 1990年代 初期에는 다음의 主要한 問題들이 完決될 것이 틀림없을 것으로 專門家들은 判斷하고 있다.

#### 가. ICRP 勸告

ICRP發行物 26이래 많은 努力이 ICRP線量 限度體系가 自然放射線에도 適用 可能하다는 것을 分明하게 하기 위하여 많은 努力이 傾注되어 왔다. 線量限度體系밖에 部分的으로 未解決 狀態로 남아있는 照射源은 醫療上 利用이다. 委員會는 모든 放射線源에 대한 被曝管理가 더욱 明確하게 統一되기 위한 方法을 충분히 考慮할 것이다.

#### 나. 科學的 情報

두가지 傾向이 豫測 可能하다. 高線量과 高線量率에서의 Risk評價는 既存 人間研究結果로부터 더욱 많은 데이터가 나오게 됨에 따라 더욱 向上될 것이다.

두번째 傾向은 放射線과 細胞와의 作用機構에 대한 知識이 蓄積되어 低LET放射線에 대한 線量-效果關係의 非線型性的 使用이 더욱 合理的이 되게 될 것이다. 實用的 理由때문에 廣域範圍의 線量에 대한 線量關係의 假定은 아직도 必要하다.

現在의 線量計量體系(Dosimetry System)는 近似的 方法에 依存하고 있다. 즉, 線質係數(Quality Factor, Q)는 被照射組織에 關係없이 여러 서로 다른 放射線質을 適切하게 反映하고 있으며, 또한 組織加重因子는 放射線の 種類와 線質에 關係없이 器官 敏感度의 差異를 適切히 反映하고 있다.

만일 이러한 假定들이 지킬 수 없을 만큼 不正確하다는 것이 나타나면, 이와 관련된 것들을 考慮하여야 할 것이다.

#### 다. 放射線 防禦의 最適化

가장 難題中的의 하나는 個人과 共同社會의 利

害關係의 均衡이다. 集合線量에 대한 現在의 重要性 強調가 一部에 의하여 그 優先順位의 變則으로 나타났다. 將次 ICRP發行物은 이러한 種類의 問題點들에 대한 더욱 자세한 說明이 必要하며 또한 獨善的이어야 할 必要가 있다. 또 하나의 問題로 아직까지 發生하지 않은 事件들에 대한 防禦의 最適化 方法에 관한 것이다.

#### 《參考文獻》

1. International Commission on Radiological Protection, the Evaluation of Risk Radiation, ICRP Publication 8, Pergamon Press, London, 1968.
2. International Commission on Radiological Protection, Radio Sensitivity and Distribution of Dose, ICRP Publication 14, Pergamon Press, London, 1969.
3. International Commission on Radiological Protection "News from the International Commission on Radiological Protection," Health Physics 24, 340(1973)
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations, Ionizing Radiation: Levels and Effects, United Nations New York 1972.
5. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, United Nations, New York, 1982.
6. National Academy of Sciences-National Research Council, the Effect on Populations of Exposures to Low Levels of Ionizing Radiation, Washing, 1972.
7. National Council on Radiation Protection and Measurements, Basic Radiation Protection Criteria, NCRP Report No. 39 Washington, 1971.