内部被曝のモニタリング

Ⅲ 現場における問題点†

東 有 恒*

(1970年6月29日 受理)

Monitoring for Internal Exposure

Ⅲ. Problems Experienced at a Nuclear Power Utility †

Aritsune HIGASHI*

東海発電所は、今からおよそ5年前に初めて臨界に成功して以来、放射性汚染から作業者を防護する対策を講ずる一方、内部被曝の測定・評価の面においても、大学・研究所等の社外機関の指導を仰ぎながら、種々の努力を重ねて来た。この内部被曝管理のなかで、我々が経験した問題点と、それに対する我々なりの解答の一部をまとめ、ここに述べさせていただき、各位の御批判を仰ぎたい。

Ⅰ 東海発電所における内部被曝管理

東海発電所では、従業員の被曝管理に関し法定線量を下まわるところに検討線量なるものを定め、外部および内部の合計の被曝線量がこれを超えないように管理を行っているが、そのなかで内部被曝に対しては一般人の値から有意の差を生じないよう出来る限り低く保つことを管理目標にしている。このために、次のような防護モニタリング、および教育を実施している。

1 防 護

(1) 作業環境の整備

汚染のある区域またはそのおそれのある区域を特に区別して管理し、区域の除染、換気系の整備および作業方

法に関する放射線管理上の指示等で、環境汚染を低く保つ努力を払っている。なかでも除染は極めて有効でありこれに関連のある清掃と衣服洗濯も放射線管理の分掌業務としている。

(2) 個人防護

汚染区域立入者は下着から完全に更衣し、空気汚染のある場合にはフィルタ・マスクあるいはエア・マスクを着用する。ただし呼吸防護具の着用は作業能率を低下させることが多いので、高線量率場での過度の着用は、滞在時間延長による外部被曝増加を招く恐れがあることを十分留意する必要がある。

2 モニタリング

防護の効果を確認し、内部被曝線量を評価するため、環境と個人のモニタリングを次のように実施している。

(1) 環境モニタリング

作業場の表面および空気の汚染度測定のほか、作業者の使用した衣類、清掃道具、換気系機器等の汚染検査を実施し効果をあげている。これらの検査は汚染区域内のみでなく、その境界直外および一般区域にまで実施している。この際、一見独立している区域も実は換気や排水系等で他の区域と接続していることがあるのでそれを念頭に置いて検査することが重要である。

(2) 個人モニタリング

汚染区域に常時立入る者に対して3ヶ月に1回尿検査により体内摂取の有無を判定している。尿試料はガンマ核種分析にかけ、Co-60 および Cs-137 の検出を行なう。

† 1970年2月、日本保健物理協議会 第5回研究発表会（東海）にて発表

* 日本原子力発電（株）・東海発電所、安全管理課；茨城県那珂郡東海村（Safety Control Sec., Tokai Power Station, Japan Atomic Power Co.; Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken）

十と判定された者に対しては、尿を再採取し重ねて検出された場合には、本人の立入記録等から体内汚染が予想されるベータ核種についての推定を行ない、必要に応じて社外機関による精密測定等の値から、内部被曝線量を評価する。

尿検査は後述するように多数試料の処理に不向きである。当発電所においても汚染区域立入者が増加傾向にあり、尿検査の外にホールボディ・カウンタの併用も考慮している。

個人モニタリングは、定期測定の外に、作業者が体内摂取を自覚した際、あるいは周囲の条件からそのおそれのあるときにも、実施している。

3 教 育

内部被曝の低減には、汚染に関する十分な理解が必要である。この理解なくして汚染防護具の有効利用や安全な作業方法の立案は望めない。このため定期的に安全教育を実施するとともに、個々の作業を実施する際にも、放射線管理担当者は作業者に具体的な指示を通じて汚染防護に関する知識を広める努力を行なっている。

II 内部被曝管理上の問題点

内部被曝は外部被曝と同じレムという単位で表わされるのであるから、その意味では両者を区別して評価する必要はない。しかし、我々は前述のように、内部被曝に対し厳しい管理目標を定め、種々の努力を払って来ている。この実際の取扱における差は、内部摂取の防護が、外部照射の防護に比して、ある程度まで実用上容易であるということのほか、次のような理由によるものであると考えるからである。

- (i) 放射性物質を体内に摂取することに対する不安感
- (ii) 体内摂取量の測定の困難性
- (iii) 被曝線量の換算の困難性
- (iv) 内部被曝線量の個人管理への反映に際しての問題

以下順を追って取上げていく。

1. 体内摂取に対する本人の不安感

発電所従業員の間には、放射線に関する知識の十分でない者もあり、放射性物質が体内に取込まれることに對し、大きな不安をいだくことがある。それはあたかも病原体が体内に入ることに対し恐れを持つのと同様である。これに対して我々は生物一般には例外なく天然の放射性核種が含まれていることを説明し、人間の体とて自然内部被曝線量はゼロではないことを納得させて不安を

取除く努力を払っている。

高線量率場での作業時間は出来る限り短縮したいが、内部被曝の恐れが重なる場合には、多少の能率低下とそれによる外部被曝の増加の犠牲を払っても呼吸防護具の着用を考慮する。このことは内部摂取の測定等における技術的困難さによるものでもあるが、本人の不安感も大きな要素である。

2. 体内摂取量測定上の困難性

(1) 呼吸空気中の濃度から推定する方法

この方法は、

- (i) 環境測定であるため、対称人員の数に無関係である。
- (ii) 装置が簡単で、経費が低い。
- (iii) 摂取量を予測出来る。

という長所を有するが、次のような不確定要素が入るため、この方法で求めた体内量には変動幅が大きく、発電所のような現場では個人管理に反映させるのは困難である。不確定要素としては、

- i) 汚染測定空気の呼吸空気に対する代表性。これは作業者が呼吸防護具を着用している場合や、濃度測定と作業との時間的、空間的不一致によって問題となる。
- ii) 摂取物質の体内挙動。放射性物質の環境に存在する物理的状態がガス状か、粒子状か、その粒子の大きさや化学的状態、体液への溶解度等により、体内での沈着部位や体外排泄が変化する。環境測定でこれらの環境における存在状態を測定するのは、困難なことが多い。
- iii) 呼吸以外の経路による摂取。呼吸以外の経路、たとえば過失による経口摂取や傷口からの侵入による摂取はこの方法では知ることが出来ない。現場ではこのような種々の摂取経路が考えられるのでこのことはこの方法に対して大きな欠点となる。
- iv) その他、作業者の滞在時間や呼吸量、さらには環境でのサンプリングにおける不確定要素等がある。

(2) 排泄物中の濃度から推定する方法

この方法には次のような欠点がある。

- i) 排泄物の取扱いというわずらわしさが被検者および測定者の両方にあること。特に糞の場合には著しい。
- ii) K-40などの天然放射性核種の寄与の除去に必要な、試料前処理または試料の核種分析のため時間がかかること。
- iii) 排泄物中の量から体内量を算定する際の不確定

要素が多いこと。たとえば1日排泄量の算定、摂取物質の性状や沈着部位あるいは個体差等による有効半減期の算定等は特に対称者の人数が多いと困難になって来る。

iv) 試料の採取時における汚染伝播による過大評価しかし、このような欠点にもかかわらず、次のような長所も有しているため、当発電所においてもこの方法により内部被曝の評価を行なっている。

i) 本人の明らかに摂取した分を評価することが出来る。

ii) 測定装置が比較的簡単である。特に従来はホールボディ・カウンタが高価なものであったので、個人に着目する実用的な方法としてはこの方法しかなかった。

iii) 試料を十分採取すれば検出感度は高くなる。

iv) 被検者は試料を採取する時以外は拘束されない。

v) 採取した試料は保存することが出来る。このことは核種の物理的半減期を知ることが出来るし、また繰返し測定することも証拠を残すことも出来る。さらに外部の機関に送って検査を依頼することも可能である。

vi) アルファ核種やベータ核種を測定出来る。このことは内部被曝の寄与がアルファ核種や Sr-90 のようなベータ核種について特に大きいことを考えれば大きな長所となる。

当東海発電所においては、尿試料はまずグロス・ガンマ測定と同時にガンマ核種分析にかける。グロス・ガンマ計数が一般人と有意差を生じたケースについて、同時に得られた核種分析結果を調べ、そこに Co-60 と Cs-137 の存在を検査する。これは当所においては汚染は必ず混合核種から成り、この2つの核種のいずれかが必ず含まれるからである。もしこのいずれかの核種の存在が認められれば、環境データから見て共存すると考えられる他の核種を追跡する手段を講ずることになる。当発電所には現在有意なアルファ汚染はないので、アルファ核種の追跡は行っていない。

(3) 直接測定法（ホールボディ・カウンタ法）

ホールボディ・カウンタによれば、被検者をそのまま試料として体内量を測定することが出来る。従来は研究用が主であったが、最近は取り扱いの容易な多数試料の処理に適した簡易型が内外で製作されて来た。原子力発電所のように全身に沈着するガンマ核種を測定すれば、十分ファースト・スクリーンを果せるところでは強力な手段となろう。当所においてはこの方法を全く経験していないのでその得失について詳しく触れることは出来ない

が、現場としては、一般的にいわれている点の外に、次のようなことに着目しておく必要がある。

i) 測定のための本人の拘束時間の短縮

ii) 本人を測定台に載せることに対する不安感の解消

iii) その場で直ちに打出される数値に対する取扱い方法

iv) 身体表面の汚染と体内汚染との弁別

3. 被曝線量換算の困難性

体内の放射性物質の量から被曝線量を評価するには次のことが重要な因子になる。

(1) 測定困難な同伴核種の寄与

体内摂取量の算定にあたって、測定の困難な核種は、環境データ等から推定されることが多い。原子力発電所では汚染は例外なく多数の混合核種によるので、介在する測定の難しい核種の寄与をいかに見積るかということが重要な作業になる。核種組成はプラント内で装置毎に異なることもあるし、また運転履歴によって変ることもある。これはすなわち各個人の作業内容によっても変ることにもなり、十分な作業記録の保存が必要になる。

(2) 摂取過程と摂取日時

体内摂取の認められた者については、その摂取が一時的な原因によるものか、連続的な要素によるものか、そうしてその摂取はいつまたいつから行なわれたものかを知る必要がある。一時的摂取の原因は本人の個人的な原因たとえば傷からの摂取とか過失によるものとか、あるいは一時的な環境の変化や防護具の不備等が考えられる。連続的な要素ならば環境の変化等であろう。摂取の過程と日時を知ることは、本人の自覚のないケースでは一般に極めて困難であり、このときには本人の前回の検査の直後、あるいは前回の検査と今回の検査との間で1回摂取が行なわれたと仮定するのが平均的な考え方であろう。この仮定による誤差を出来る限り除くためにも、検査の頻度と対象者数を増やす努力が必要である。

(3) 有効半減期

摂取された直後から追跡される場合を除いては、摂取日にさかのぼって評価するため半減期を知る必要がある。文献によって知ることの出来る核種は限られておりまた摂取物の物理的、化学的狀態により幾種もの半減期が考えられることもあって、この評価の過程から生ずる誤差も小さくない。

4. 個人管理への反映に際しての問題

種々の手段を講じて評価された内部被曝線量を最後にいかにして個人管理面へ反映させるかについて、ここに

もいくつかの問題がある。

(1) 測定核種と推定核種

排泄物検査あるいは体内量測定等で本人に着目して測定された核種と、環境条件あるいは作業内容等から推定された核種とは、その持つ意味の重みが異なる。このことは外部被曝の際にすでに経験済みのことである。基礎資料にはその数値の意味や背景を詳細に記録しておく必要があるが、個人管理面へ反映させるときに、この2つの性質の異なる結果を単純にレムという単位に統一し加算して良いものか否か大いに疑問のあるところである。推定で出て来た値がかなり大きなものであれば、何らかの手段で本人に着目してそれを測定することも出来るであろう。この問題は低い数値のときに大きくなる。内部被曝に関して個人管理をどのあたりから始めるかの問題に関係が出て来る。

(2) 部分被曝の取扱

内部被曝の場合には、臓器毎の部分被曝の問題が外部被曝の場合に比較して、より大きくなる。ホールボディ・カウンタ等により臓器毎にある程度の沈着量が測定出来る場合以外は、摂取された放射性物質がどの部位にどの位寄与したかを測定することは困難である。もしすべてが決定臓器へ集ったと仮定すれば、全身が決定臓器でない場合には、外部被曝線量との加算の点で管理上過少評価に至る恐れがある。また、各臓器にそれぞれ摂取された全量が沈着するとすれば、著るしく過大評価されてしまう。

(3) 外部被曝線量との加算

測定にせよ推定にせよ、ともかく評価されたものがレム単位で表現出来れば、外部被曝線量は個人被曝測定器の開発と進歩により、精度と検出限界が向上しているが内部被曝線量の方はこれに比し劣っている。内部被曝で有意な線量が評価された際は当然加算されねばならないであろうが、いわゆる検出限界未満の際の取扱いには慎重な考慮を要するであろう。不用意な加算は統計上の遺伝線量などを無意味に引上げる恐れがある。

(4) 被曝期間

内部被曝は被曝雰囲気から離れても摂取された放射性核種が体外に排泄されまたは脱離するか、あるいは非放射性核種に崩壊してしまうまで継続する。この期間が短ければ、被曝雰囲気を離れる時期と被曝が無視出来る時

期とが著るしくずれることがなく、外部被曝とほぼ同じような感覚で取扱うことが出来る。しかし、体内沈着期間が長く、その残留する被曝線量が大きくなれば、本人が転職や離職をした場合には、その取扱いに問題が生ずる。従事者等の定義から外れる者が、職業上の被曝を重ねることにもなる。Dose Commitment による処理も、数値が大きくなれば検討を要するであろう。

(5) 本人への通知

被曝線量を本人に通知することが使用者の義務として法律に規定されているが、この際内部被曝線量を区別することは、本人の離職時を除いて義務づけられていない。しかし、外部被曝と内部被曝とは、その防護の仕方に著るしい差があり、しかもその防護を有効に達成するには本人の自覚を欠くことが出来ない。よって、本人に不用な不安を与える恐れがない限り、本人に内部被曝の寄与を通知することは有用なことである。

だが、現実には体内摂取に対する不安は小さくない。その摂取が過失等本人の責に帰すべきものでない限り、作業の実施が前提であれば不可避免的なものとなるので、その被曝を実用可能な限り低減したものととして許し、それを説明していく管理する側の自信ある態度が必要である。

Ⅲ 最 後 に

ここに述べさせていただいたことは、東海発電所における被曝管理上の経験が主であり、これは現在まで何回となく試行と批判と反省とが積み重ねられた結果出来上がったものである。そうして、この繰返しは今後ともたえず行なわれ、その時々に応じて我々は問題を洗い出してはそれに解答を見出す努力を重ねていきたい。我々が現在行っている手法は決して最善のものではないだろう。我国最初の商業原子力発電所として、あるいは conservative にすぎるかも知れない。今後、敦賀発電所での試みを加えて、我々は原子力発電所にふさわしい被曝管理の形を求めていきたい。

本稿をまとめるに当たって、種々御教示をいただいた東京大学吉沢康雄先生、放射線医学総合研究所伊沢正実先生、日本原子力研究所藤田稔先生、矢部明先生ほか諸先生方に厚く御礼申し上げます。