調査報告

原子力発電所における定期検査時の放射線被曝

今 堀 彰*

OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES DURING MAINTENANCE
ACTIVITIES AT NUCLEAR POWER PLANTS

Akira IMAHORI*

Occupational exposures at nuclear power plants occur mostly during maintenance activities rather than during routine reactor operation. In this paper, statistical summaries of occupational exposures during routine maintenance activities for the years 1982-84 at nuclear power plants in Japan are presented, including comparison of the exposure levels by reactor type and by plant age.

Average annual collective doses per reactor for BWRs and PWRs are 7.30 man-Sv and 2.84 man-Sv, respectively, and 78% and 89% of annual doses are incurred during maintenance activities. Average annual outage days of BWRs and PWRs for routine maintenance are 102 d and 97 d.

Annual collective doses per reactor, most of which occur during maintenance activities, usually increase with plant age. Higher collective doses are observed for routine maintenance performed on older reactors as compared to newer reactors, especially in BWRs.

Collective doses accrued during respective routine maintenance activities have a significant correlation with duration of maintenance and number of workers involved in maintenance.

Key words: radiation exposure; nuclear power plant; maintenance activity; collective dose; boiling-water reactor (BWR); pressurized-water reactor (PWR)

I. は じ め に

昭和 41 年, わが国最初の商業用原子力発電所が運転を開始して以来 21 年. その間, 原子力発電をめぐる内外の情勢はめまぐるしく変転し, 多くの問題をかかえながらも現在全国各地で 33 基の原子力発電炉が稼働している (Fig.1). 第 1 号炉である東海発電所は英国から導入されたガス冷却型原子炉 (GCR) で天然ウランを燃料として, 炭酸ガスを冷却材に用いている. その後, 昭和 45 年に運転を開始した敦賀発電所以降, すべての炉型は米国で開発された軽水炉で, 低濃縮ウランを燃料とし, 水を冷却材に用いている. 軽水炉はその熱交換の仕組みによって沸とう水型 (BWR) と加圧水型 (PWR) の二つのタイプがある. 最初の東海炉は電気出力 16 万 kW と小型であったが, 最近では 100 万 kW を超す大型炉が主流を占めている. 現在稼働中の 33 基の総発電容量は 2,570 万 kW, 米国, フランス, ソ連に次いで世界第 4

位, 全電力供給量の約 30% が原子力発電でまかなわれている.

原子力発電の発展とともに原子力発電所の現場で働く放射線作業者の数および集団線量も増加してきた^{1,2)}. 原子力発電所における放射線被曝の特徴は被曝の大部分が年に一度, 原子炉を停止して実施する定期検査時に集中していることである. ここでは各発電所が年度ごとに監督官庁に報告する従事者被曝統計をもとに, 昭和 57 年から 59 年の 3 年間について各発電所における定期検査時の被曝状況を炉型別に比較検討した.

II. 資料および方法

原子力発電所をはじめとする放射線使用施設においては, 施設内で働く作業者の健康保持と施設内外の環境保全のために厳重な放射線管理が義務づけられている. 放射線管理の一環として個人被曝線量の測定が実施されている. 原子力発電所における個人被曝線量の測定には通常, フィルムバッジ (FB) と熱発光線量計 (TLD) が併用されている. また, 高被曝をともなう作業に際しては, アラームメーターが携帯され過剰被曝を防止している. これらの線量計はいずれも外部被曝線量の測定を目

* 順天堂大学医学部公衆衛生学教室
昭和 62 年 5 月 13 日受付

* Department of Public Health, Juntendo University
School of Medicine

Received for publication, May 13, 1987

Fig.1. Nuclear power plants in Japan (1987).

的としたものである。原子力発電所においては、外部被曝の管理とならんで放射性物質の吸入摂取による内部被曝が問題となる。内部被曝線量の測定は技術的に大変むずかしく、現在は定期的に全身放射能量を全身カウンターで測定し、あるいは尿中放射能量を定量して内部被曝線量を推定している。

被曝線量の公式記録としては、従来FBの測定値が広く用いられてきた。最近ではFBに替ってTLDの値を公式の被曝記録として採用する発電所もでてきたが、大部分は従来どおりFBの値が用いられている。通常FBは1か月ごとに交換され、現像してその黒化度から外部被曝線量が読みとられる。原子炉規制法にもとづいて各原子力発電所は4半期ごと、年度ごとにこの放射線作業従事者の被曝データを集計して監督官庁に報告している。各発電所から報告された被曝データは全国的にとりまとめられて、通産省資源エネルギー庁より発表される³⁾。

原子力発電所において放射線下作業に従事する労働者はその雇用関係により発電所プロパーの社員従事者と請負などの社員外従事者に大別される。社員従事者は若干の転勤者を除いて通常、発電所に年間通じて勤務する。一方、社員外従事者の内訳は複雑多岐にわたっており、発電所に年間通じて常駐して一定の作業を請負うものと、発電所の定期検査に際して外部からきて一時的に放射線作業に従事するものとに大別される。この定期検査

というのは電気事業法にもとづき発電用原子炉は年に1回原子炉を止めて内部の総点検およびウラン燃料の交換を行うものである。原子炉停止の期間は平均3か月、大規模な補修工事が必要とする場合は6か月以上の長期にわたることもある。原子炉の運転状況、定期検査の期間、内容、定期検査にともなう被曝線量などは各発電所より監督官庁に報告され、全国的にとりまとめられて原子力発電所運転管理年報として公表されている⁴⁾。

III. 結果と考察

年間の集団線量(man-Sv)注)と放射線作業者総数の推移はFig.2に示すように、原子力発電の発展とともに年々急速に増加してきている。しかし、ここ数年は作業者数の増加にもかかわらず、総被曝線量は横ばいから漸減傾向にあり、1人当りの平均線量は減少している。ここで注目されるのは、集団線量、作業者数とも請負など社

注) 集団線量 (collective dose : man-Sv) は個人の被曝線量を集団について合計したもので、100人が0.1Svずつ被曝しても、1,000人が0.01Svずつ被曝しても集団線量はともに10man-Svとなる。この集団線量は放射線被曝の集団に対する影響を評価するさいに用いられ、職業上の被曝のみならず一般公衆の被曝にも適用される。ちなみにチェルノブイリ原発事故による周辺住民7,500万人の1年間に受ける集団線量は86,000man-Svと推定されている。

Sv (Sievert) は近年導入された被曝線量(線量当量)の新しい単位で、従来の単位remとの関係は1Sv=100rem。

Fig. 2. Summation of annual collective doses and number of radiation workers at nuclear power plants. 1) Plant personnel, 2) Outside personnel.

員外従事者の占める割合が大きいことである。昭和 60 年度について見ると、集団線量の 95%, 作業人数の 89% が外部作業員によって占められている。

定常運転時と定期検査時の被曝状況を某原子力発電所の昭和 56 年度の実績について Fig. 3 に示した。定常運転時には集団線量、放射線作業員数とも一定のレベルで推移しているが、9 月から 12 月にかけての定期検査時に被曝線量と作業員が集中しており、とくに請負作業員の占める割合が大きいことが注目される。これは定期検査時に運転中は通常立入れない原子炉まわりの高被曝をともなう作業が集中して行われ、その作業要員として外部よりいろいろな職種の作業員が大量に動員されることを示している。

最近 3 年間の原子力発電所における定期検査時の集団線量および年間の集団線量を発電所ごとに Fig. 4 に示した。原子炉のタイプにより年間の集団線量に大きな差があることが注目される。BWR 12 基の平均が 7.30 man-Sv, PWR 11 基の平均が 2.84 man-Sv と BWR は PWR の約 2.5 倍の被曝がある。年間集団線量のうち定期検査時の被曝が占める割合は、BWR 78%, PWR 89% となっている。定期検査により原子炉が停止している期間を 1 年 365 日に占める割合で Fig. 5 に示した。BWR 12 基の平均は 28% (102 日), PWR 11 基の平均は 27% (97 日) と約 3 か月が定期検査のため運転が停止されている。

昭和 57 年から 59 年の 3 年間に実施された定期検査、

Fig. 3. Monthly collective doses and number of workers at nuclear power reactor (BWR: 1, 100 MWe). 1) Plant personnel, 2) Outside personnel.

Fig. 4. Annual collective doses and doses accrued during routine maintenance at each plant (average for the years 1982-84).

BWR で延べ 27 回, PWR で延べ 23 回の集団線量と各原子炉の運転開始年度との関係を Fig. 6, 7 に示した。Fig. 6 は原子炉当り定期検査に要した線量を縦軸にとったもので、Fig. 7 は原子炉の単位電気出力 (10³MWe) 当りの線量をとっている。昭和 51 年以前に運転を開始した古い原子炉の定検時被曝が新しい原子炉に比べて著しく高いことが注目される。Fig. 7 の単位出力当りではこの傾向がよりはっきりしている。すなわち、古い原子炉は発電容量が小さく、新しいものは容量が大きくな

Fig.5. Annual outage ratio for routine maintenance at each plant (average for the years 1982-84).

Fig.6. Collective doses accrued during respective routine maintenance activities carried out for the years 1982-84 at each reactor versus the year when the reactor commenced operation.

っているからである。この原因として原子炉の運転とともに放射能汚染が原子炉の内外に蓄積し、作業環境の放射線レベルが高くなっていること¹⁾、古い原子炉は原子炉まわりのスペースがせまく作業性が悪く無駄な被曝が多いことがあげられる。

炉型別に見ると、昭和51年以前に運転を開始したBWR、PWRはともに高い定検時被曝を呈しているが、この傾向はBWRについてとくに顕著である。一方、昭

Fig.7. Collective doses per unit capacity accrued during respective routine maintenance activities carried out for the years 1982-84 at each reactor versus the year when the reactor commenced operation.

和52年以降に運転を開始した新しい原子炉についてはBWRとPWRの間に被曝線量の差は認められない。Fig.4に示した炉型による集団線量の相違は古いBWRの定検時被曝が主な原因となっていることがわかる。同一の原子炉でも定検のつど集団線量は大きく変動している。たとえば、昭和51年に運転を開始した1BWR(出力78万kW)は昭和57年の定検で21 man-Sv、昭和58年14 man-Sv、昭和59年10 man-Svと定検に要した集団線量が年度ごとに異なっている。ちなみに定検に要した日数はおおの198、159、120日とほぼ集団線量に比例している。定期検査における集団線量と定検に要した日数の関係をFig.8に示した。定検日数と集団線量の間にはBWR($r=0.76$)、PWR($r=0.77$)とも有意の相関が認められる。1定検当りの平均所要日数はBWRで125日、PWRで117日である。集団線量と定検に要した放射線作業人数の関係もFig.9に示すようにBWR($r=0.72$)、PWR($r=0.69$)とも有意の相関が認められる。1定検当りの平均作業人数はBWRで3,386人、PWRで1,696人である。この定検作業に従事する作業者の大部分は前述したように社員外の外部従事者によって占められている。

定期検査に要する日数および作業人数は、定検中に予定されている工事の内容によってあらかじめ設定され

Fig. 8. Collective doses accrued during respective routine maintenance activities carried out for the years 1982-84 at each reactor versus duration of maintenance.

る。また定検作業にともなう被曝線量も工事内容に応じてある程度予測される。高被曝をともなう大規模な改造工事には工事期間が長期にわたるとともに多数の作業員が必要とされることを Fig. 8, 9 は示している。

原子炉の運転実績を表す指標として設備利用率（原子炉の定格出力で1年間運転して生ずる発電量に対する実際の年間発電量の割合）が用いられる。年間の設備利用率と集団線量とは逆相関の関係にある^{1,2)}。すなわち定検による原子炉の停止期間が短く設備利用率が高いほど、集団線量は低くなる。わが国の原子力発電所は昭和49年から51年にかけて大きな故障が相次ぎ大規模な改造工事が各発電所で行われたため平均設備利用率が50%以下に低下したが、その後漸次運転成績が向上し、現在は75%以上と欧米諸国を上まわる実績を示している⁵⁾。設備利用率の向上とともに Fig. 2 に示したように原子炉数の増加にもかかわらず集団線量は減少している。

原子力発電所における職業性被曝は上述したように定期検査時の被曝が大きな割合を占めている。したがって原子力発電所における被曝管理を考える場合、定期検査時の被曝低減対策が重要課題となっている。被曝低減の具体的方策として次のようなものがある。

- 1) 原子炉自体の構造を改良し、故障がなく保守点検のやりやすいシステムを作る。
- 2) 定期検査時の高被曝をともなう作業には遠隔操作、ロボットの導入など作業の自動化をはかる。
- 3) 放射線作業員に対し、放射線防護の教育訓練を徹

Fig. 9. Collective doses accrued during respective routine maintenance activities carried out for the years 1982-84 at each reactor versus number of workers involved.

底し、作業員1人1人が積極的に被曝低減につとめる。

- 4) 被曝をともなう作業ごとに、計画の段階で個人および集団の被曝線量の目標値を定めて、目標値を超えないようきめのこまかい工夫をする。

以上のような被曝低減の諸方策はすでに各原子力発電所で一部実施されており、個人の被曝のみならず定期検査時の集団線量低減としてその成果があらわれている。

IV. ま と め

1982~84年の3年間にわたるわが国の原子力発電所における定期検査時の被曝データを検討し以下の結果を得た。

- 1) 年間の被曝線量に占める定期検査時の被曝の割合は BWR : 78%, PWR : 89% であった。
- 2) 古い原子炉の定期検査時の被曝は新しい原子炉のそれに比べて高く、この傾向はとくに BWR について顕著であった。
- 3) 定期検査時の集団線量とその定期検査に要した期間および従事した放射線作業員数との間には有意の相関が認められた。

文 献

- 1) Imahori A. Occupational radiation exposure at nuclear power plants in Japan. Health Phys 1981; 40 : 317-322.

- 2) 今堀 彰. 原子力発電所における職業性放射線被曝の日米比較. 日本公衛誌 1985; 32: 234-240.
- 3) 資源エネルギー庁(編). 昭和60年度実用発電用原子炉施設における放射性廃棄物管理の状況及び従事者の被ばく状況について, 1986年6月.
- 4) 資源エネルギー庁(編). 昭和59年度原子力発電所運転管理年報, 1985年9月.
- 5) 長谷好泰. わが国原子力発電所の設備利用率について. 原子力工業 1980; 26(8): 18-23.

著者への通信先: 今堀 彰, 〒113 東京都文京区本郷 2-1-1 順天堂大学医学部公衆衛生学教室
Reprint requests to Department of Public Health, Juntendo University School of Medicine,
2-1-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan (A. Imahori)