

# 原電 安全運轉에서의 人間信賴度

原電의 安全運轉을 위해 人間의 信賴度는 매우 중요하다. 다음은 런던에서 개최된 「Human Reliability in Nuclear Power」會議의 주요사항을 英國原子力公社(UKAEA)가 발간하는 Atom誌 3月號에 게재한 내용과 IAEA주최 「맨·머신·인터페이스 국제회의」에서 逢坂国一 일본 통상성 자원에너지廳 심의관이 발표한 일본의 맨·머신·인터페이스의 현황과 전망의 개요이다.

## [런던會議의 概要]

人間信賴度工學은 1950년대 미국에서 우주 개발계획 수행과 더불어 탄생한 이래 현재 海上油田, 化工플랜트, 항공산업, 원자력산업 등에 응용되고 있으며, 체르노빌事故, 챌린저號慘事, TMI事故 등의 대형사고들은 여러 산업 분야에 있어서 인간신뢰도 증진의 필요성을 우리에게 강조하고 있다. 이번 學術會議는 미국과 유럽의 원자력산업계에서의 인간신뢰도 증진을 위한 활동에 초점을 맞추고 있다.

프랑스에서는 인간의 실수는 작업환경, 조직, 원전설계 등을 면밀히 분석하면 충분한 설명이 가능하다고 보고 있으나, 이제까지 인간신뢰도 증진을 위해 취해진 모든 조치들의 효과는 지속적으로 나타나지 못하고 길어야 1년이면 새로운 문제점이 발생하곤 했었다. 따라서 EdF는 인간신뢰도의 증진은 참여자들 사이에 인간적 신뢰관계(Human Dynamics)를 창출해야만 지속된다고 확신하게 되었는데 이는 품질관리와 비슷한 과정으로서 동기, 책임감, 정직성 등

을 부여하고 동시에 문제 해결책을 개발해 내는 것이다. 또한 EdF는 실수와 태만을 구분하여 실수관점에서의 순수 기술적인 인간신뢰도 분석을 하고 있다.

自動化와 人間能力의 최적균형을 기하기 위해서는 인간이 기계에 적응하기 보다는 인간 위주로 기계를 설계해야 할 필요성이 인식되고 있는데 TMI사고 이후 人間要素에 대한 프랑스의 연구들은 주로 인간/기계 인터페이스, 운전원 훈련, 팀 조직, 운전경험 분석, 비상계획 등에 집중되어 왔다.

제어반의 배치는 기능별 재분류와 색채와 현장감을 부여하는 등 개선되었다. 프랑스의 N4 PWR은 완전 컴퓨터화된 제어실을 갖추고 있으며, Bugey에는 同型의 시뮬레이터를 이미 설치했는데 주제어실은 세계의 그래픽 CRT를 포함하여 세계의 운전원 콘솔, 네개의 경보용 세미그래픽 CRT, 운전원 콘솔의 완전 기능상실시의 手動운전을 위한 보조제어반으로 구성되어 있으며, Bugey에 설치된 시뮬레이터를 통해 어떠한 조건하에서도 운전이 가능함을 입증할

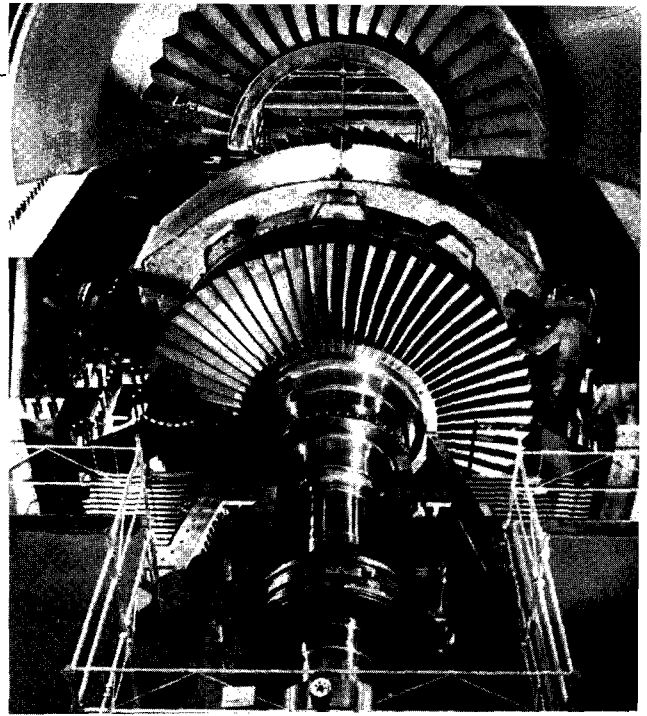
예정이다. 이를 위해 2~3인으로 구성된 運轉組들이 同 시뮬레이터를 연속적으로 조작하게끔 할 예정인데, 참여자들은 N4 PWR 운전예정자들과 가동중인 원전의 운전원들로 구성되며, 평가는 각 기술분야의 전문가들로 구성된 팀에 의해 수행될 예정이다.

IAEA가 인간신뢰도의 분야에서 최근 수행하고 있는 사업으로는 Asset(Assessment of Safety Significant Event Team)업무를 들 수 있다. Asset은 원전의 운전조직과 규제기관들이 제기한 특정의 안전성 문제를 분석함에 있어서 운전조직들과 전문가들 사이에 직접적인 교류를 가능하게 하고 있다. 원전의 스텝이 사고보고서(Event Report)를 작성하면 Asset의 업무는 개시되는데 Asset은 운전보수기록의 검토, 담당자 면담, 그리고 필요시에는 검사를 통해 동 보고서를 보완하며, 이러한 심층분석을 통해서 사고를 일으킨 직접적인 원인 규명 뿐만 아니라 근본적인 원인에 대한 고찰이 가능하다.

시뮬레이터를 통한 훈련 및 재훈련은 정상, 비정상시의 대처능력과 관련지식을 제공하고 원전운전의 안전성 제고를 위해 필수적이지만, 실제 원전에서 발생할 수 있는 중요사고들은 시뮬레이터를 통해 부딪혔던 경우와 매우 다를 수도 있다고 IAEA의 한 전문가는 경고했다.

또한 비상상태는 매우 희박한 발생 가능성 속에서도 발생하므로 이에 대처하기 위한 인간의 능력 예측이나 분석은 어려움을 안고 있으며 이러한 이유로 인해 시뮬레이터 교관을 주기적으로 기준되는 원전에 파견하는 것이 필요하며 또한 사고 시나리오도 여러 출력준위를 고려하여야 하고 시뮬레이션은 노심손상에 도달할 때까지 계속되어야 한다.

영국의 한 전문가는 현재의 원전 신뢰도 분석에 있어서 사고의 원인발생 혹은 원자로 트립후 30분 이내의 운전원의 조치를 고려하지 않고 있는데, 이를 근거로 안전규제 목표치가



설정되어 있음을 비판했다. 즉, 重大事故 관련 자료에 의하면 미국의 경우 52%, EdF의 경우 30%, 벨기에의 경우 70%가 인간의 실수에 의한 사고였으며 미국의 경우를 심층분석한 결과 각 사고가 모두 나름대로의 특성을 지니고 있으며 소위 정형화된 사고나 운전원의 실수는 존재하지 않는 것으로 결론을 짓고 있다.

그가 인용한 웨스팅하우스의 분석에 의하면 운전원들이 사고초기에는 정확한 진단을 하지만 상태회복을 시도하는 과정에서 초기상태가 어떻게 변했는가에 집착하는데 문제가 있었다고 하였다. 즉, 원전의 운전상태 변화를 감안하여 판단을 수정하기 보다는 사고 초기의 진단에만 얽매이는 경향을 지니고 있으며, 이러한 오류를 인식했을 때는 이미 종합적인 판단능력을 상실하여 한정된 인력들이 계속 발생하는 지엽적인 문제들의 해결에만 급급하게 되는 것이다. 또한 그는 초기사고 발생후의 실수확률이 증가한다는 가설을 주장했고 자동안전계통은 예상된 사고에 대해서만 기능을 발휘할 수 있는데, 원전이 너무나 복잡하고 계통들이 서로 긴밀하게 그러나 불투명한 연관관계를 지니므로 이제까지의 사고는 모두 예측불가였으며

따라서 놀라움도 컸었던 것이라고 비평했다.

복잡하고 거대한 시스템 내에서의 사고를 방지하기 위한 기술의 부족에 대해 기술자들은 더욱 많은 기술로써 대응해 왔다. 그러나 웨스팅하우스의 한 전문가는 과거의 사고들을 분석해보면 모두가 기술적으로나 인간요소적으로나 예상 못했던 연속적인 사소한 실수로 인하여 발생했으므로 自動化와 人間要素의 결합을 강조했다.

## 【日本에서의 人的要因對策】

### 信賴性面에서 重要

맨·머신·인터페이스란 일반적으로 인간과 기계의 특징이나 차이를 고려하여 인간과 기계의 역할을 분담하고, 이것을 인간이 다루는 여러 가지 장치, 예를 들면 表示裝置, 操作機器의 설계로 구체화하는 것으로 이해하고 있다.

이것은 항공기, 화학플랜트 등 소위 거대시스템에 관한 공통적인 문제라 할 수 있고, 최근 원자력발전의 안전성, 신뢰성을 보다 더 향상시키려는 관점에서 원자력발전에서 이 문제의 중요성에 관한 인식이 높아지고 있다.

#### ▼ 휴먼에러를 포함한 사고·고장 및 피폭저감의 現狀

일본에서 輕水爐가 상업운전을 개시한 1969년 이후 작년까지 원자로의 基數는 17년간에 34기로 증가하고 있으나, 사고·고장발생 頻度는 1971년의 4회/爐年을 피크로 감소경향에 있으며, 1984년 이후 0.6회/爐年이 되었다. 이것은 설비·기기의 고장에 대한 재발방지대책의 철저, 설비·기기의 신뢰성 향상 및 플랜트의 운전관리 충실을 도모해 온 정부, 전기사업자, 메이커 등이 노력한 성과이다.

이 중에서 휴먼에러에 의한 사고·고장발생률은 各炉年當 全事故·故障發生率이 착실히 감소되고 있는 가운데 대체로 보합상태 추이다.

휴먼에러에 관한 사고중 원자로의 자동정지가 54%, 출력감소가 15%로서, 출력에 영향을 준 비율이 전체에서 약 7할에 달해, 이것을 고려할 때 휴먼에러는 원자력발전소의 신뢰성 확보면에서 매우 중요한 인자이다.

또 일본의 원자력발전소 종사자의 방사선피폭 선량은 최근 10년간에 종사자수가 2.2배(원자로 基數는 1.8배, 발전전력량은 5.3배)로 늘어났음에도 불구하고 총피폭선량에서 0.6배로 극히 양호한 상태이다. 그 중에서 정기검사에서의 피폭선량이 전체의 80% 이상 달하기 때문에 정기검사 중에 피폭선량 저감이 매우 중요하다.

그러므로 정부·전기사업자 등에서는 정기검사에서의 자동화기기 도입을 적극 추진하고 있지만, 플랜트의 保守·檢査時의 고온·다습·좁은 작업환경에다 방사선하 노동조건에서의 휴먼에러 발생 가능성을 감안하면 맨·머신·인터페이스를 고려한 保守·點檢作業을 추진해 가는 것이 중요하다.

이런 관점에서 일본의 원자력발전소에서는 ① 중앙제어실의 성능향상, ② 교육·훈련의 충실, ③ 자동화·원격화의 추진 등의 시책을 강구하고 있다.

#### ▼ 中央制御室의 성능향상

원자력발전소에서는 종래부터 중앙집중감시조작방식이 채택되고 있으나, 巨大·複雜한 시스템이기 때문에 플랜트의 운전상태를 파악하기 위한 중요한 計器는 운전원이 정확히 확인할 수 있는 배치로 하여 각 계통의 정상상태로부터 이탈을 경보표시하도록 하였다. 또 계통의 단일고장을 가정하여 사고발생후 10분간은 사람이 인위적으로 조작을 하지 않더라도 사고의 수습을 도모할 수 있도록 안전보호동작의 자동화를 꾸준히 추진해 왔다.

이런 상황하에서 1979년의 미국 TMI-2플랜트의 사고는 운전원의 誤操作防止가 중요한 과제임을 再確認시켰다. 이 때문에 휴먼에러방지의

관점에서 既設 플랜트에서는 제어실 등에서의 플랜트 주요 파라미터의 표시의의와 制御盤의 레이아웃 등에 관해 인간공학적 관점에서 검토가 실시되었다. 그 결과 경보의 重要度分類 재평가에 의한 재배치·色別化, ECCS의 대기표시, ECCS 펌프의 起動·停止用 등 중요한 스위치의 형태와 色에 의한 識別化 등 誤操作防止對策이 실시되었다.

新設플랜트에서는 원자력발전소의 보다 나은 신뢰성 향상, 운전원의 負荷輕減과 작업의 省力化를 주목표로 하여 운전원이 보다 집중적으로 적절하고 용이하게 플랜트상황을 파악·판단하여 적절한 대책을 취할 수 있도록 최신 엘렉트로

닉스기술을 적극 도입한 신형 제어반을 채용해 왔다.

## 充實한 教育이 重要

### ▼ 教育·訓練의 充實

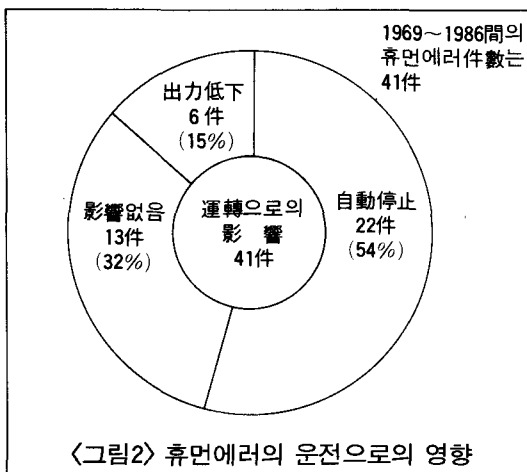
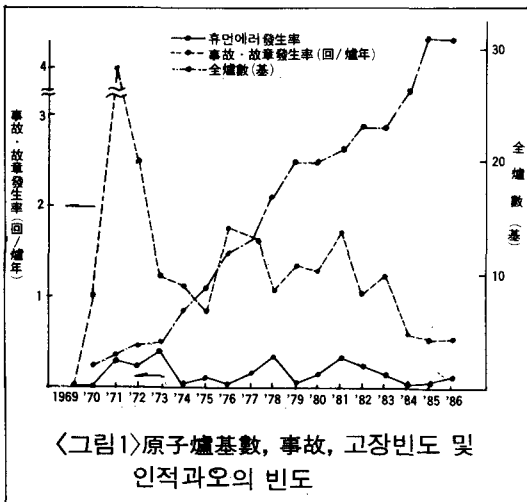
원자력발전소의 운전원에 대해서는 전기사업자가 「운전원의 장기양성계획」을 수립하여 신입사원단계에서부터 운전원·운전책임자에 이르기까지 20년 이상에 걸쳐 自社內教育 뿐만 아니라 운전훈련센터(BTC·NTC)에서 實機의 중앙 제어실을 模擬한 운전훈련시뮬레이터에 의해 재훈련을 포함한 반복훈련을 실시하여 양성해 왔다. 더욱 최근에 와서는 운전의 자동화, 사고·고장의 감소에 따라 운전원의 조작경험이 감소될 것이 우려되어 각 발전소에서 콤팩트 시뮬레이터를 설치하여 운전원이 플랜트의 상황에 대해 평소에 습득할 수 있도록 하고 있다.

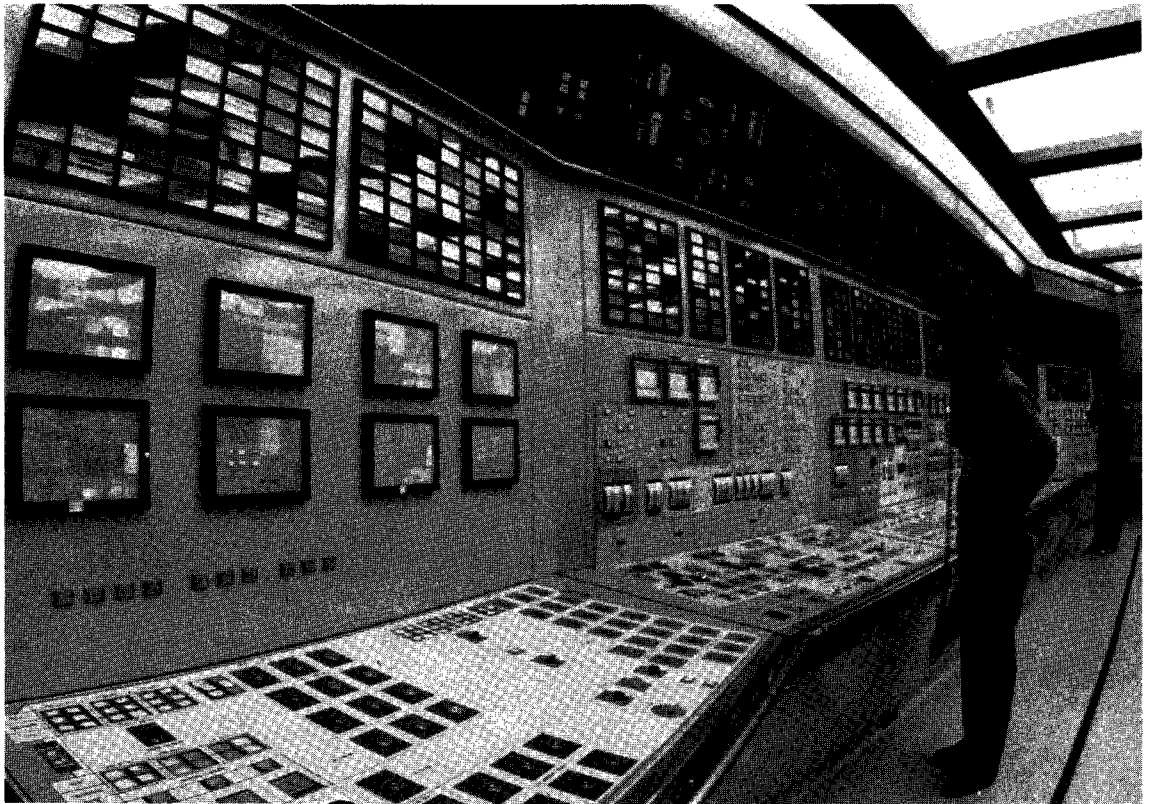
또 일본은 '80년 12월에 通商産業大臣의 지정기관에 의한 實用發電用原子爐의 운전책임자 자격인정제도를 발족시켰다. 1987년말 현재 인정자는 267명이다.

한편, 원자력발전소의 운전과 더불어 保守作業의 중요성이 높아지고 있다. 전기사업자로서는 保守員의 장기적인 양성계획을 작성, 실시함과 동시에 작업실수의 저감 및 작업순서 숙지를 위해 保守節次書를 재정리했다. 더욱 온·더·조브·트레이닝과 社內의 원자력保守훈련센터에서 實機와 동등한 原子爐模擬裝置, 爐內構造物模擬裝置, 펌프, 밸브, 전기·計裝 關係설비를 사용한 分解·點檢·組立作業을 실시하여 保守員의 기술향상을 도모하고 있다.

### ▼ 自動化·遠隔化의 推進

정기검사의 기기분해·점검의 자동화·원격화도 맨·머신·인터페이스의 성능향상 관점에서 중요하다. 종업원의 피로저감, 작업시간의 단축 등 작업의 효율화, 省力化, 더 精度가 높은 작





업 등에 의한 신뢰성 향상을 정부의 경수로개량 표준화 계획의 일환으로 실시해 왔다. 지금까지 ISI用自動超音波探傷裝置, 蒸氣發生器傳熱管 ECT 장치 등의 자동검사장치, 연료자동교환기, 제어봉구동기구 자동교환기 등의 자동교환장치를 실용화해 했다.

또 플랜트의 운전중 점검의 강화에 의한 신뢰성·안전성의 향상, 피폭저감 등의 관점에서 플랜트메이커를 중심으로 格納容器內를 자동점검하는 로봇, 최근의 知識工學, 컴퓨터기술을 도입하여 원자력플랜트의 보수작업을 수행하는 지능로봇 등도 개발되고 있어서 앞으로 도입이 기대되고 있다.

## 人間과 機械의 調和를

### ▼ 將來展望

일본의 원자력발전소에서는 그 신뢰성·안전

성을 확보하기 위해 맨·머신·인터페이스의 중요성을 충분히 인식하고, 그 향상을 목표로 여러 가지 노력을 거듭하여 그 결과, 일본의 원자력발전소는 맨·머신·인터페이스面에서 보아 충분히 양호한 상태에 있다.

그러나 원자력발전의 비중이 높아짐에 따라 현재 가동중인 원자력발전플랜트의 안전성, 신뢰성의 유지·향상을 도모함은 물론 앞으로는 장기사이클운전, 자동화 확대 등에 의한 운전의 한층 고도화가 필요해질 것으로 예상되며, 이에 대응한 새로운 플랜트운전관리의 기술이 요구되고 있는 것도 사실이다. 그러므로 먼저 원자로의 상태와 운전조작에 관한 적절한 정보를 운전원에게 제공하여 운전원의 認知·판단·조작활동을 지원하는 맨·머신·시스템을 앞으로 약 4년 간에 걸쳐 官民공동으로 개발하기로 했다.

이 사업은 지식공학, 최근의 컴퓨터기술 등을 도입하여 운전원에 의한 플랜트의 상태파악, 운

전조작 등의 운전관리에 있어서 운전원의 思考過程을 계산화함으로써 인간이 할 推論·判斷과정에서 기계가 인간을 지원하는 것을 가능하게 하는 시스템의 개발을 목표로 하는 것이며, 이에 따라 플랜트의 이상·사고의 早期檢知, 원인분석 및 적절한 조작안내 제공 등이 가능해진다.

또 맨·머신·인터페이스의 最適化를 도모해 가려면 도대체 인간의 역할을 어떻게 생각하는지, 자동화의 사상 등 근본적인 문제에 까지 좁혀갈 필요가 있고, 휴먼팩터에 관한 기초적·체계적인 조사연구를 추진해 갈 중요성이 높아지고 있다.

이 때문에 通産省은 작년 10월 인간의 행동분석, 인간의 신뢰성 평가 등 휴먼팩터에 관한 기초적 연구를 실시하는 휴먼팩터센터를 원자력공학시험센터에 설치했다. 한편 민간에게도 주로 실용화를 중심으로 한 연구를 추진하기 위해 전

력중앙연구소에 휴먼팩터연구센터를 설치했다.

앞으로 이 兩組織이 연휴하여 보다 깊은 인간의 이해에 서서 인간과 기계의 조화를 도모하고, 원자력발전소에서 맨·머신·인터페이스의 最適化를 도모하는 연구를 실시하여 그 확립을 목표로 하고 있다.

더욱 원자력개발이용이 인류의 복지향상에 기여할 수 있는 퍼텐셜의 크기에서 보면 원자력발전소를 안전하고 높은 신뢰성으로 운전해 가는 지식은 인류의 공유재산이라 할 수 있겠다. 일본의 원자력 개발이용이 오늘날 존재하는 것은 일본의 국민이 공동으로 노력한 성과이지만, 동시에 국제교류가 큰 역할을 한 것도 사실이다. 이 관점에서 일본으로서는 앞으로 맨·머신·인터페이스의 연구도 포함하여 폭넓고 적극적으로 국제사회에서 건전한 원자력 개발이용의 추진에 협력해 갈 필요가 있겠다.

## 토·막·상·식

# 國際空港에서의 放射線檢査

항공기 납치나 폭발과 같은 사건이 발생하면 언제나 공항에서 테러방지대책이 강화되어, 수하물의 검사와 신체검사가 매우 엄격해지는 것이 통례이다. 평소에도 국제선을 탄 경험이 있는 분은 각국 공항에서 하물투시검사를 받은 경험이 있을 것이다.

수하물을 움직이는 벨트에 얹어 놓으면 이동해 가면서 상자모양의 검사기가 X선을 照射하여 검사관이 스크린에 비친 내용물을 감시하는 것이다. 금속제의 칼, 권총 등 위험한 것을 발견하는 것이 목적이다. 당연히 화물의 내용물은 X선에 쬐여지며, 몇번 반복하면 사진의 필름이 조금 감광되는 일이 있다. 그러므로 외국여행용품의 전문점 등에서는 사진의 필름을 넣는 특별한 주머니를 팔고 있는데, 이는 X선에 의한 필름의 감광을 방지하기 위한 것이다.

공항에 있는 수하물검사기를 사용함으로써 소량이지만 X선이 나오기 때문에 수하물검사를 받으면서 옆을 지나가는 우리들도 여기에서 나오는 약간의 X선을 받는다. 측정결과에 의하면 1회의 검사에서 고작 1마이크로렌트겐 정도의 피폭에 불과하다. 일상생활에서 받고 있는 자연방사선의 변화폭 속에 충분히 들어가는 정도의 양이므로 걱정할 것은 없다.

수하물검사를 하고 있는 검사관은 우리들 승객과 달리 오랜 시간 이 장치를 사용하고 있는 것이지만, 그래도 X선에 의한 피폭선량은 충분히 낮게 유지되고 있다.

※렌트겐: 물질이 방사선에 쬐여진 양을 나타내는 단위. 마이크로렌트겐은 렌트겐의 100만분의 1이다.