

Technical Review of the IAEA Regulations for Transportation of Radioactive Materials and Major Revision in the 1996 IAEA Safety Standard Series No. ST-1

Jeong-Hyoun Yoon, Chang-Lak Kim, Gyu-Seong Cho*,
Heui-Joo Choi and Joo-Wan Park

Korea Electric Power Corporation/Nuclear Environment Technology Institute
*Korea Advanced Institute of Science and Technology

IAEA 방사성물질 안전운송규정에 대한 요약과 1996년도판 개정의 요점

윤정현 · 김창락 · 조규성* · 최희주 · 박주완

한전 원자력환경기술원, *한국과학기술원
(1998년 8월 13일 접수, 1998년 10월 23일 채택)

Abstract - Regulations for the safe transport of radioactive material published by IAEA Safety Standard Series ST-1 is reviewed and summarized. Safety Series No.115(International standard of radiation protection and safety for ionizing radiation and radiation sources), which reflected the new recommendation of ICRP60 published in 1991, has been a important encouragement for IAEA to revise their safety series related to the transportation of radioactive materials. IAEA Safety Standard Series No. ST-1 is summarized by comparing IAEA Safety Series No. 6 regarding radiation protection system and its implementation, technical standards of packages, concept of Q system and exemption of regulation. The IAEA regulations of transportation of radioactive materials is summarized from the viewpoint of radiation protection and safety assessment. Research on transportation system of radioactive waste is suggested as a further study.

Key words : Radioactive materials, Transportation, Package, IAEA Safety Series No. 6, IAEA Safety Standard Series ST-1, Radiation protection, MOST notice 96-38 and Q system

요약 - IAEA는 1996년 방사성물질 안전 운송규정을 개정하였다. 이 규정은 방사성물질의 운송이나 포장에 관하여 우리나라를 비롯한 각국의 운송관련 규정의 기준이 되는 것으로 전반부에서는 IAEA가 1991년에 출간된 국제방사선방호위원회(ICRP)의 신권고(Publication 60)를 받아들여 개정한 Safety Series No.115(전리방사선에 대한 방호 또는 방사선원의 안전을 위한 기본 안전기준)의 내용 등을 개정의 배경으로 하여 요약하였다. 후반부에서는 이들 개정된 기본 안전 기준들에 기초하여 IAEA의 새로운 운송규정에서 방사선방호의 목적으로 고찰된 요건들에 관한 주요 검토.개정사항을 방사선방어체계, 운송물등의 방사선준위, 방사선방호계획의 규정화, Q 시스템의 개념, 규제면제 등의 측면에서 Safety Series No.6 1985년판과 비교 검토하였다.

중심어 : 방사성물질, 운송, 포장, IAEA 운송규정 No. 6, IAEA 운송규정 ST-1, 방사선방어, 과기부고시 제96-38호, Q 시스템

서론

현재 국내에서는 14기의 원전이 운영되고 있으며 1,300여개의 동위원소 이용기관에서 방사성물질을

사용하고 있다. 이들 기관에서 취급되는 방사성폐기물을 포함한 방사성물질은 이동거리의 길고 짧음에 차이는 있지만 발생 장소에서 일정거리를 이동하여 운송 보관이 이루어지게 된다. 방사성물질

표 1. 1996년도 개정판에 추가된 용어의 정의 및 내용.

용어명	용어의 정의와 내용
1. 임계 안전 지수 (Criticality Safety Index)	임계안전지수는 핵분열성물질을 포함하는 한 개 이상의 운송물을 운송할 때 운송물의 적재에 대한 지수로서 임계안전지수 50이상의 운송물은 반드시 전용적재로 운송할 것을 명시.
2. 중간크기 컨테이너 (Intermediate Bulk Container)	3m ³ 이하의 부피에 기계적인 취급이 가능하고, 운송이나 취급 시 초래되는 응력에 대한건전성이 성능시험을 통하여 입증되고, 위험물에 대한 국제연합의 권고안들 중에서 IBC에 해당하는 기준을 만족하는 것.
3. 저비산성 방사성물질 (Low dispersible radioactive material)	캡슐 내에 봉해진 고체방사성물질이나 고체방사성물질로서 분산성이 작고 분말형태가 아닌 것.
4. LSA-I 형 방사성물질에 대한 추가사항	평균 비방사능이 면제 방사능 농도의 30배를 초과하지 않을 것.
5. 저독성 알파 방출 핵종 (Low toxicity alpha emitters)	천연우라늄, 감손우라늄이 원광이나 물리화학적으로 농축되어 있거나 반감기 10일 이하의 알파 방출 핵종들.

의 운송은 방사선이라는 특수성 때문에 안전한 운송을 위하여는 별도의 기술기준과 이에 따른 관리가 필요하다는 점이 일찍부터 인식되어 국제 연합 (UN)에서는 국제원자력기구(IAEA)에 운송에 관련된 국제통일 기준을 제정하여 줄 것을 위탁하였다. 이에 IAEA는 1961년 IAEA Safety Series(SS)를 통하여 방사성물질의 운송에 관한 여러 가지 기술기준과 규정체계를 수립한 바 있다. 이후 약 10년을 주기로 개정하여 왔으며, 현재 각국의 방사성물질의 운송이나 운송을 위한 용기 등의 설계 제작에 지침으로 활용되고 있다. 과학기술처 고시 "방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정"[1]은 1973년판 IAEA 운송규정을 근거로 마련되었고 1985년판 IAEA SS No.6[2]의 개정 사항이 포함되었다. IAEA는 1991년에 출간된 국제방사선방호 위원회(ICRP)의 권고(Publication 60)[3]를 받아들여 SS No.115(전리방사선에 대한 방호 또는 방사선원의 안전을 위한 기본 안전기준)[4]등을 개정하였고, 이는 다른 보완사항과 함께 운송규정 개정 사유가 되었다. 이에 따라 1996년에 개정된 국내의 과학기술부고시 "방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정"[5]도 IAEA에서 발간된 1985년판 SS No. 6[5]를 참고하였다. 이후 IAEA에서는 1996년도에 1985년판으로부터 개정된 Safety Standard Series ST-1[6]을 발간하였고 이는 국내의 운송 및 포장에 관한 규정에도 조만간 반영될 것으로 판단된다. 이에 1996년 IAEA의 방사성물질 운송관련 규정의 중요한 개정 내용 등을 요약 정리하고 운송규정 전반에 걸친 핵심사항을 요약하였다. 아울러 향후 국내의 운송 관련 연구분야

등에 대하여도 간략히 언급하였다.

IAEA 운송규정 1996년 개정의 요점

1. 새로운 용어의 추가

방사성물질의 운송과 관련되어 주로 방사선방어와 관련된 용어 정의가 추가되었다. 우선 운송규정을 적용하지 않는 범위에 대한 구체적인 언급이 기술되었다. 그 내용은 1) 원자력선과 같이 방사성물질이 운송 수단인 경우, 2) 일반도로를 이용하지 않는 사업소내의 운송, 3) 진단이나 치료를 목적으로 하는 방사성물질을 투여한 자의 이동, 4) 소비 용재로서 인허가를 받고 사용하는 방사성물질, 5) 그의 본 규정에서 규제 면제개념으로 분류되는 물질 등에 한정된다. 1996년 개정판에서 추가된 중요한 용어 정의에 대한 내용은 표 1에 나타내었다.

2. Q시스템에 대한 재평가

Q시스템에 있어서의 사고시 참조선량 50 mSv/y는 1976년 ICRP26[7]에서는 방사선 직업종사자의 선량한도로 정하여져 있다. 1990년 개정된 ICRP60이 발표된 이후 IAEA에서는 ICRP60의 권고를 받아들여 참조선량을 20 mSv/y로 할 것인가 50 mSv/y로 유지할 것인가를 검토하였다. 그 결과 ICRP60 권고의 선량한도는 평상시 기본한도로 사고시의 참조선량과는 반드시 연관 될 필요는 없다는 이유로 참조선량에 관한 현행기준을 유지하도록 하였다. 제 III 절 안전운송과 관련된 규정의 표 III-1에서 설명될 QB(베타선에 의한 피부피폭)과 QD(베타선에 의한 내부피폭과 피부오염)계산에 대

하여는 흡수선량 계산의 정확도 향상을 위하여 최대 베타에너지 대신에 평균 베타에너지를 사용하도록 하였다. 우라늄의 A_1/A_2 계산에 관하여는 현실적인 선택성을 높이기 위하여 제거속도 Class(화학형상)을 표시하도록 하였고 A_2 값 제한이 없는 우라늄의 농축도를 5% 에서 20%로 상향 조정하였다. 종류나 핵종이 불분명한 방사성 핵종 또는 혼합물의 기초적인 수치로 추가로서 ^{254}Cf 등과 같은 불분명한 핵종을 포함하는 경우와 같이 자료가 불충분한 경우는 A_1 치를 0.001, TBg A_2 치를 9×10^5 TBq이라고 명시하였다. IP형 운송물 LSA/SCO분류에도 Q시스템을 적용하였고, 대규모 오염 또는 장기간 오염과 같은 사고조건에서 Q시스템을 적용하도록 사고시의 새로운 시스템을 상정하여 LSA의 Q시스템과 유사한 식 (LSAQSA)를 개발하였다.

3. 방사선방호에 대한 사항

3.1 방사선방호 체계

방사선방호체계에서 사용되는 중요한 용어에 대한 ICRP60 규정으로부터 운송규정에 대한 적용은

- 1) 선량한도(Dose limits) : 기본적인 선량한도로서 ICRP60의 권고치(직업상 피폭은 5년간의 평균으로 20mSv/y(5년간 100mSv/y, 일반대중 피폭은 1mSv/y)을 적용하도록 되었다.
- 2) 선량제한치(Dose constraints) : ICRP60에 새로 정의된 선량제한치는 운송에서는 구체적인 이격거리의 계산이나 선량한도로서 사용하는 것이 아니고, 운송작업종사자에게 제약치에 대한 적용을 채택하더라도 여러 국가에서 동일한 기준치를 시행하도록 하기 위해 최적화나 방사선방호 계획에 대하여 고려된 것으로서, 운송규정에서는 규정화 하지 않았다.
- 3) 최적화(Optimization) : 현행 규칙에서는 방사선방호의 실무적인 면만을 고려하여 선량한도를 준수하는 것에 중점을 두어왔다. 이번 개정에서는 방사선방호의 최적화가 종래에 비하여 강조되고 있고, 구체적인 개인선량의 크기, 피폭된 사람의 수 또는 받을 지도 모르는 피폭의 위험을 경제적 사회적 요인을 고려하면서, 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게 유지하며 최대피폭선량이 선량한도 이하가 되도록 최적화하여야 한다고 규정하였다.
- 4) 이격거리(Segregation distances): 현행 규칙에 규정되어 있는 방사성물질과 운송종사자, 대중의 이격거리의 결정에 사용되는 제한치(운송종사자 5 mSv/y, 대중 결정집단 1 mSv/y)는 운

송에 대한 방사선방호를 위하여 결정된 참고치 이다. 선량한도도 선량제약치로 구분되지 않고, 피폭계산의 대상이 되는 대중 구성원을 운송에 의하여 가장 높은 피폭의 우려가 있는 집단을 의미하는 대중 결정집단(Public Critical Group)으로 바꾸었으며 선량을 제한치는 현행과 같게 하였다.

- 5) 운송종사자의 피폭구분 : 현재까지의 규칙에서는 운송작업자의 직업적 피폭을 (a) 5mSv 이하, (b) 5 ~ 15 mSv/y 또는 (c) 15 ~ 50 mSv/y 라고 규정하고 각각의 피폭관리 방법을 규정하였다. ICRP60의 방사선방호에 관한 선량한도가 낮추어진 것을 고려하여, 피폭범위를 (a) 1 mSv/y 이하, (b) 1 ~ 6 mSv/y, (c) 6 ~ 50mSv/y로 재구분하여 피폭관리 방법을 다시 규정하였다. IAEA Safety Series No.115에서는 대중 또는 작업종사자에 대한 선량한도를 각각 1 mSv/y 와 20 mSv/y 로 규정하고 있다. 위에서 언급한 6 mSv/y는 작업종사자에 대한 연간 선량한도의 약 3/10에 해당하는 수치이다. 이들 운송 작업자들에 대한 구분은 개인의 운송작업자 피폭선량의 예측평가에 기초하여 이루어진다. 그에 대한 평가의 실무적인 방법의 예로서 3 man-Sv/TI (Transport Index : 운송지수)를 지표치로 이용하는 경우가 있다.

3.2 운송에 있어서의 방사선준위

현행 규정의 정의 중에 사용되고 있는 방사선준위(Radiation Level)라고 하는 용어는 단위와 관련된 용어로서는 부적절하지만, 운송에 대한 규제에 있어서 장시간 사용되어 왔다. 이번 규정에서도 계속 사용되게 되었다. 그러나 선량당량율(dose equivalent rate) 등도 ICRP60에서 개정된 용어인 등가선량율(Equivalent dose rate)등으로 변경하고자 하는 제안이 있었으나, ICRP60의 도입 시기가 각 국가별로 다르기 때문에 용어의 변경으로부터 오는 혼란을 피하기 위하여 단순히 선량율(Dose rate)라는 일반적인 용어를 사용하였다. 그러나 이 선량율이라는 용어는 ICRP 에서 정의한 등가선량율의 의미를 가지고 있다.

운송물 또는 운송수단의 표면선량율은 현재까지의 운송작업자 또는 대중의 피폭실적이 다른 분야의 선량한도에 비하여 낮고 이들 선량한도의 기준을 변경하여야 하는 필요성이 꼭 있다고 볼 수는 없다. 운송물의 표면선량율 등은 운송작업자 또는 대중의 피폭선량을 결정하는 여러 가지 인자 중

하나에 지나지 않고, 운송물의 수, 취급수단, 취급 지침(Operational guides) 등도 모두 중요한 인자들로서 이들은 새로워진 규정화 된 방사선방호계획의 단계에 충분히 평가 되어야 한다. 현행의 운송물의 구분(제1종, White, 제2종 및 제3종 Yellow), 운송물의 표면등에 대한 선량을 기준, 운송 지수 등의 기준은 현행 그대로이다. 차량 승무장소의 선량을 한도치에 대한 현행 규정은, 직업인에 대한 종래의 선량한도 50mSv/y와 연간 2,500시간의 승무를 가정하여, 승무원에 대한 방호교육과 개인 모니터링(Whole Body Counting 등)을 하지 않은 경우의 통상승무장소에 있어서의 방사선준위의 제한치를 0.02mSv/hr로 설정하고 있다. 이 방사선준위의 제한치에 관해서는, 이와 같은 특정한 상황(방사성물질의 운송)만을 위하여 운송작업자를 선택하는 것이 현실적으로 어려우며 또한 개인의 모니터링의 필요성은 단순히 장소에 대한 선량의 관계로만 볼 수 없고 방사선방호계획의 단계에서 취해지는 사항이기 때문에 개정된 규정에는 제한치를 삭제하였다,

3.3 방사선방호계획 설정의 규정화

금번 개정에서는 현행의 운송물의 구분, 운송물 표면등에 관한 선량율기준, 운송지수등의 기준은 현행과 같지만, 이들을 정당화하기 위하여 새로운 방사선방호계획(Radiation Protection Programme : RPP)의 설정을 규정하였다. 방사선방호계획의 이 계획에 포함되는 조치의 내용은 방사선피폭의 크기와 연관되어야 한다고 기술되어 있다. 이 계획의 수립은 규제기관으로부터 방사성물질의 운송에 대한 인허가를 받고자 하는 기관에서 인허가에 필요한 자료로서 작성 된다. 이 계획 내에는 1) 계획의 범위, 2) 계획실시의 임무 및 책임, 3) 피폭평가와 운송작업자의 구분, 4) 선량한도, 선량 제약치 또는 최적화, 5) 선량평가 또는 측정, 6) 격리거리, 7) 긴급대응, 8) 작업종사자의 훈련, 그리고 9) 방사선원의 안전보호 및 보증등에 대한 사항이 포함되어야 한다. 방사선방호 계획의 설정은 행위의 정당화를 실현하기 위하여 집약적인 규정을 만들고, 그 규정 중에 적합한 보증의 대상에 대한 의무사항을 제출하는 것도 포함되어 있다.

3.4 규제면제

개정된 IAEA ST-1 에서는 규제면제준위는 IAEA나 ICRP등에서 이미 그 수치가 일찍부터 제시되었던 $10 \mu\text{Sv/y}$ 또는 $1 \text{ man} \cdot \text{Sv/y}$ 의 피폭

한도기준이 설정되고 이 기준치에 의해 피폭시나리오/모델에 의해 유도된 여러 가지 핵종의 방사능농도(Bq/g)와 방사능량을 규제 면제치로써 표시하였다. 여기에 방사물 운송에 의한 피폭조건을 고려한 시나리오를 추가하고, 규제면제치의 운송에의 적합성을 평가한 결과 모두 타당한 경우로 확인되었다. 규제면제치의 도입과 관련하여 현행 규칙대로 단일 방사능의 농도가 70 Bq/g, 전 핵종의 BSS에 근거한 규제면제치 등의 선택에 관한 검토를 한 결과 70 Bq/g의 방사능농도는 $10 \mu\text{Sv/y}$ 의 피폭한도기준치를 유지하기 어려운 핵종이 과반수에 이르는 등의 이유로 A_1/A_2 치의 표에 BSS No.115 에 근거한 핵종의 방사능농도와 방사능량의 규제 면제치를 함께 표기하도록 하였다. 또 천연에 존재하는 방사능 핵종을 포함하거나, 핵종을 처리하여 사용할 의도가 없는 천연의 물질과 원광석에 대하여는 상기의 규제면제농도의 10 배를 초과하지 않는 범위 내에서 규제대상에서 제외된다.

3.5 운송물의 비교작성 표면오염도 한도

현행규칙에서는 적용제의 운송물의 비교정성 표면오염도의 한도가 베타,감마선, 저독성 알파: 0.4 Bq/cm^2 ; 그 외: 0.04 Bq/cm^2 이라고 표현되어 있으나, 그 제한치에 대한 측정이 곤란한 핵종(저에너지 베타 핵종 등)이 존재하면 제한치를 유도한 모델의 타당성에 대한 문제가 제기되어 적용제의 운송물 이외의 운송물의 오염 한도를 베타·감마선, 저독성 알파: 4.0 Bq/cm^2 , 그외; 0.4 Bq/cm^2 로 단일화하였다.

4. C형 운송물

1996년 개정판에 새롭게 적용된 C형 운송물은 대량 또는 고방사능의 방사성물질(특별형 이외의 방사성물질은 $3000A_2$ 를 초과하는 경우에 적용, ^{239}Pu 의 경우 A_2 치는 1985년판의 $2 \times 10^{-4} \text{ TBq}$ 부터 1996년 개정판의 A_2 값에 의하면 약 1.3 kg 이상)을 항공 운송하는 경우 적용되는 운송물의 구분이다. 현행 규칙에는 대형 또는 고방사능의 방사성물질에 있어 B형 운송물에 적용되는 사고 시험조건(9m 낙하시험 : 13.3m/sec 에 해당, 800°C 화염에서 30분의 화재시험등)을 만족하면 항공운송이 가능한 것에 비하여 1996년도 개정판 운송규칙에는 현행 B(U)형 운송물의 기준을 만족하는 것 이외에 항공기사고를 가정한 90m/s 의 충격시험, 800°C , 60분의 화재 시험등을 거쳐 합격기준을 만족한 C형 운송용기에 수납하는 것으로 기준을 대

폭 강화하였다. C형 운송물의 시험 후 합격기준은 현행 B형 운송물과 같이 1985년판 IAEA SS No.6 운송규정에서 규정되어 있는대로 A_2 /주 또는 운송물 표면에서 1m의 위치에서 10mSv/h가 적용되었다. 또한 200m에서 1 시간의 침수시험의 합격기준은 현행 B형과 같이 밀봉장치의 파손이 없게 할 것으로 되어 있다. 이 판정 기준은 C형 운송물의 사고 후 손상준위가 기본적으로는 B형 운송물의 경우의 손상레벨과 같다는 관점에서 설정되었다. 다음은 C형 운송물에 대한 시험에 대한 시험 요건이다.

4.1 충격시험

C형 운송물은 90m/s이상의 속도로 최대의 손상을 주는 비항복면에 충돌할 것으로 규정된다. 시험속도는 ICAO의 항공사고 데이터베이스를 참고하여 모집단을 전 비행사고로 했을 경우 충돌속도와 발생확률의 관계를 표시한 누적확률분포의 조사결과를 기초한다. X축에는 충돌속도, Y축에는 사고의 누적확률을 표시한 그래프를 작성하면 누적확률의 90%에 해당하는 속도가 90m/s이기 때문에 이 시험속도가 설정되었다. 또한 이 90%라는 수치는 철저히 모집단의 비행사고의 건수에 의하여 정해졌다. 모집단을 항공운송의 건수로 한 경우는 이 시험속도에 해당하는 누적 범위는 100%에 가까운 수치가 된다고 추정된다.

4.2 균열시험

운송물에 대하여 최대의 손상을 가할 수 있도록 probe 형태의 물체로 운송물에 손상을 가하여야 한다. Probe는 연강재로 길이 30cm, 밑의 직경 20cm, 앞부분의 직경 2.5cm, 250 kg의 질량을 가지는 원형의 형상을 한다. 이 시험은 실제 사고에 있어서 균열 후에 운송물의 누출부위가 생겼을 때든지, 화재가 발생한 경우 누출부위로부터 화재가 내부 충격 완충재에 옮겨 붙는 것으로 가정하여 설정되었다. 균열시험에 계속하여 화재시험을 수행하도록 되었다.

4.3 화재시험

800°C, 60분의 화재시험을 통과하도록 되었다. 화재시험은 60분이라는 연속시간을 제외하고는 1985년도 IAEA 운송규정과 같은 시험조건을 적용하도록 설정되었다. 이 60분이라는 시간의 근거는 항공사고시의 사고 통계자료로부터 방사물을 실은 비행기가 이륙직후 추락하여 화재가 발생하였을 때의 화재 지속 시간이다.

4.4 침수시험

C형 운송물과 $10^5 A_2$ 값을 초과하는 방사능을 수납하는 B형운송물(대표적인 것으로 사용후 핵연료 수송용기)의 경우는 수심 200m, 1시간 침수시험을 거쳐야 한다. 200m 침수시험의 C형의 합격기준은 B형 운송물과 같이 밀봉장치의 파손이 없어야 할 것으로 설정되었다.

4.5 지중 매설 조건

C형 운송물은 정상상태에서 0.33W/mK의 열전도도를 갖는 지중에의 매설을 고려하여 여러 가지 적용되는 시험요건에 일치하도록 설계할 필요가 있다. 이 지중 매설은 추락 후 일어나는 환경조건의 하나로 선택되었다. 수납물의 발열로 인하여 운송물의 온도 또는 내압이 상승하는 것을 상정하여 이 조건은 특정 상황하에서는 화재시험보다 엄격한 관점으로 설정되었다. 또한 고체 또는 캡슐에 봉입된 방사물에 C형 운송물에 요구되는 대표적인 시험(90m/s충격시험 및 800°C 화염에서 1시간)을 통과하였을 경우, 직경 100m까지의 분말상태로 총 방출량 $100A_2$ 이하라면 수납량이 $3,000A_2$ 를 초과하여도 B형 운송물로 항공운송이 가능하도록 하였다. 핵분열성 물질을 항공 운송하는 경우는 전부 운송물에 대하여 C형 운송물에 부과되는 시험조건을 통과하고서도 독립적인 계의 운송물이 미입계가 되도록 규정하였다.

5. UF₆에 관한 사항

UF₆에 의한 방사선적인 위험도는 그다지 크지 않은 것으로 알려져 있으나 화학적인 위험을 포함한 전체적인 위험도는 B형 운송물에 해당할 정도로 상당히 크다는 연구 결과들이 나와 있고 이에 따른 적절한 운송규정이 필요하게 되었다. 특히 1980년대 들어 UF₆운송에 관련된 사고들이 발생함으로써 UF₆운송에 관한 규제의 구체적인 필요성이 대두되었고 우라늄 화합물이라는 점을 감안하여 IAEA 운송규정에 포함되었다. 위험도가 크다는 점을 감안하여 0.1 kg 이상의 UF₆의 운송은 B형 운송물에 해당하는 충격시험, 낙하시험 및 화재시험을 통과할 것을 규정하였다. 단, 9,000 kg 이상의 UF₆를 수납한 경우는 800°C 화염에서 30분의 화재시험 조건을 통과하지 않아도 규제당국의 승인이 있다면 운송에 사용할 수 있다고 되어 있다. 이는 9,000 kg 이상의 UF₆를 수납한 경우는 규제당국의 승인을 받기 위해서 특별한 안전 조치를 강구할 것으로 판단되기 때문이라고 할 수 있다.

6. 재생 우라늄

경수로에서 타고난 사용후 핵연료를 포함한 재생우라늄의 형태는 핵연료 사이클간에 이동되는 연료물질과 같이 화학적 형태나 물리적 형태가 다양하다. 우라늄에 관해서는 현재 사용되고 있는 방사성 핵종의 A_1/A_2 값에는 IAEA SS No. 6 1985년판에는 농축도 5%이하의 우라늄의 A_1/A_2 치를 무제한으로 정하고 있으나, 이 A_1/A_2 치는 재생우라늄의 방사성물질을 대상으로 작성된 것이 아니기 때문에 재생우라늄에 이 값을 단순히 적용하는 것은 검토 대상이었다. 이를 위해 규정개정을 위하여 우선 재생우라늄의 화학적 형태에 대한 검토를 수행하였다. 1985년판에서는 재생우라늄의 A_1/A_2 를 결정한 Q시스템에 있어 화학적인 특성을 고려하였다. 재생우라늄의 운송에 대하여는 방사성물질이 인체에 미치는 영향을 고려하여 재생우라늄의 화학적 형태에 따라 운송물의 분류(IP형, A형, B형등)를 하였다. 다음으로는 우라늄의 물리적 형태에 대하여 A형 운송물과 B형 운송물의 분류와 다른 재생우라늄에 운송에 대해(저 비방사능(LSA)물질)의 개념을 적용하였다. 여기서 IAEA 운송규칙에 대하여는 LSA 물질은 그것의 성질상 제한되어지는 비방사능을 가지고 있는 방사능 물질 또는 추정 평균 방사능한도에 해당하는 방사능물질로 정의되어 있다. 검토결과 재생우라늄은 다음의 3가지 그룹에 해당하는 경우 LSA 물질로 분류되도록 하였다.

6.1 LSA-I

우라늄광석, 고화상의 미조사된 천연우라늄, 감손우라늄 또는 이것들의 고체상이나 액체상의 화합물 및 혼합물.

6.2 LSA-II

방사능이 전체에 걸쳐 있고 그 추정 평균치가 고체 또는 기체에 대한 $10^{-4} A_2/g$, 액체에 대하여는 $10^{-5} A_2/g$ 을 초과하지 않은 것.

6.3 LSA-III

분말을 제외한 고체(예를 들어 고화 된 방사성 폐기물이나 방사화 된 물질)에 있어 1) 방사성물질이 고체 또는 고체 집합의 전체에 분포하고 있거나 고화재(콘크리트, 아스팔트, 세라믹 등)중에 본질적으로는 균일한 분포를 하는 것, 2) 방사성물질이 비교적 불용성이거나 비교적 불용성 매트릭스에 본질적으로 함유되어 있는 것, 운송용기가 사고시 상태에 있어도 누설되어 나오는 방사성물

질이 7일간 수중에서도 $0.1A_2$ 값을 초과하지 않는 것, 3) 차폐체 전부가 없는 경우에도 고체의 추정 평균비 방사능이 $2 \times 10^{-3} A_2/g$ 을 초과하지 않는 것.

1985년판에서는 LSA-III 물질의 특성을 고려하여 방사성폐기물이나 방사화 된 물질을 가정하여 그 방사능 한도를 LSA-II 의 20배로 설정하였었다. IAEA 기술위원회는 산화 우라늄의 분말과 재생 우라늄을 이 LSA-II로 분류할 것인가를 검토한 결과 LSA-III의 개념에 분말의 고체는 포함하지 않는 것으로 하였다.

이상과 같이 IAEA 1996년 개정판 방사성물질의 운송에 관한 규정의 내용 중에서 방사선방어와 관련된 Q 시스템과 같은 중요한 사항들을 요약 정리하였다. 운송시 특별한 고려가 필요한 B형과 핵분열성 운송물 운송용기의 안전성 시험평가에 대한 IAEA 운송규정 1985판과 1996년판의 비교를 표 2에 나타내었다.

안전운송과 관련된 IAEA규정의 내용

국내의 운송 및 포장관련 규정에 많은 영향을 주는 IAEA 운송규정에는 기본적인 방사선안전의 원칙을 기술한 Basic Safety Standard(BSS)와 IAEA의 운송규정이라고 불리는 Regulations for the 표 2. 운송용기 안전성 시험평가에 관한 IAEA 운송규정 1985판(SS No.6)과 1996년 개정판(ST-1)의 비교 (B형과 핵분열성 운송물 기준) Safety Transport of Radioactive Material 이 발행되고 있다. 현재 국내에서 적용되고 있는 운송규정은 Regulations for the Safety Transport of Radioactive Material 1985년도판을 참고로 하고 있다. IAEA 안전운송에 대한 규정 문서체계는 그림 1에 나타내었다.

1. 방사성운송물의 분류

방사성운송물의 분류에 있어서 가장 중요한 지표가 되는 것은 A_1 과 A_2 값으로 핵종별 제한치로서 정해져 있다. 이 A_1/A_2 값은 방사성 핵종에서 방출되는 방사선의 종류, 에너지 크기, 핵종의 물리화학적 성질등에 의하여 결정되고 이를 체계적으로 분류한 것은 Q 시스템이라는 운송물의 수납한도에 관한 체계이다. Q 시스템은 IAEA의 위탁에 의해 과거 영국 전력청(AEA : Atomic Energy Authority)에서 ICRP26에 기초하여 개발한 운송관련 방사선방호에 대한 시스템으로 1985년 IAEA SS No.6 에서부터 A_1/A_2 값을 정하는 기초 자료로 사용하기 시작하였다. 이 Q 시스템은 같은 크

표 2. 운송용기 안전성 시험평가에 관한 IAEA 운송규정 1985판(SS No.6)과 1996년 개정판(ST-1)의 비교 (B형과 핵분열성 운송물 기준).

항 목	내 용	1985년판	Sec.	1996년판	Sec.
구 조	용기인양장치	급격한 인양에도 충분한 안전계수를 줄 것	V506	급격한 인양에도 충분한 안전계수를 주거나 운송중에 제거가 가능할 것	VI606, 607
	뚜껑인양장치	상동	V506	상동	상동
	외압감소조건	25kPa (0.25kg/cm ²)	V534	60kPa	VI643
	살수조건	시간당 50mm/hr로 1시간	V621	좌동	VI721
	자유낙하	0~5ton : 1.2m, 5ton~10ton : 0.9m, 10ton~15ton : 0.6m, 15ton < : 0.3m (액체, 기체는 9m낙하)	VI622, 625	좌동	VI722
	압축	자중의 5배또는1,300kg/cm ² : 면적 x 24 hr	VI623	좌동	VI723
	관통	3.2cm ϕ , 6kg의 붕(첨두반구) 1m낙하(액체,기체는 1.7m)	VI624	좌동	VI723
	시험순서	그림 II-2 참조	SecVI	C형운송물에 대한 내용추가	SecVI
	자유낙하	자유낙하 9m	VI627	좌동	VI727
	천공	15cm ϕ , 20cmL의 충돌물1m 상단 부터 낙하	VI627	좌동	VI727
	침수	자유낙하, 천공, 화재시험후 0.9m 에서 8시간	VI627	좌동	VI729
	외압(침수)	수중15m에서 8시간동안 누설이 없음.	VI629, 630	좌동	VI730
	평형상태	처음 사용전 검사	IV401	좌동	V501
열	재질	외부온도 -40~70°C에서 운송물 이 완전할 것	V528	좌동	VI637
	고온조건	외부온도 38°C 무풍, 일사조건고 려하지 않고 표면 50°C 이하	V515	좌동	VI617
	평형상태	처음 사용전 검사	IV401	좌동	V501
	가상사고	800°C에서 30분 단, emi coef = 0.9, absorb coeff = 0.8	VI628	800 C 에서 60분 (C형운송물)	VI728, 736
방사선	표면선량율	표면에서 2mSv/hr(200mrem/hr) 표면부터 1m에서 0.1mSv/hr (10mrem/hr)	IV432	표면에서 2mSv/hr 표면부터 1m에서 0.1mSv/hr	V531
	가상사고	중성자 차폐재 소실사고시1m 에 서 10mSv/hr (1000 mrem/hr)	V542	중성자 차폐재소실사고시1m 에 서 10mSv/hr	V669
	표면오염	300cm ² 평균 $\beta + \gamma$: 4Bq/cm ² (10 ⁻⁴ μ Ci/cm ²) α : 0.4Bq/cm ² (10 ⁻⁵ μ Ci/cm ²)	IV408	300cm ² 평균 $\beta + \gamma$: 4Bq/cm ² α : 0.4Bq/cm ²	V508
임계	단일배열	예상되는 최고의 상태(반사, 배 열, 감속)에서 미임계	V562	좌동	VI671
	혼재시 배열	운송물의 5배에 해당하는 배열에 서도 미임계유지	V567	최대반사체 배열조건하에서 운 송물의 2배에 해당하는 배열에 서도 미임계유지	VI682

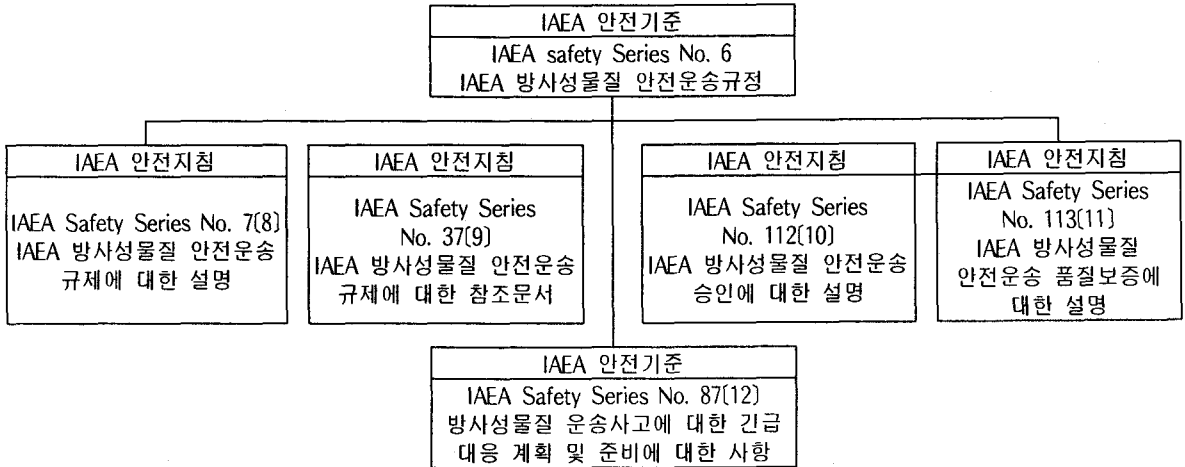
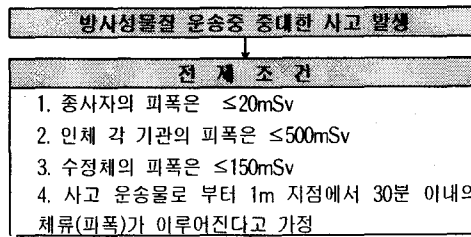


그림 1. IAEA 안전운송 규정의 문서 체계.

표 3. A₁/A₂를 결정하는 Q 시스템.



항목	선원	피폭의 형태	사고후 운송용기의 효과	피폭의 과정	평가식	
A ₁	Q _a	특수형 감마선 중성자	외부	없음	선량률 : 100mSv/h at 1m · 시간 : 30분간	· $Q_a = 1/(E_r \cdot \text{MeV})$ TBq (0.05 ~ 5MeV)
	Q _b	특수형 베타선	외부	파편등에 의한 차폐효과 (2% ~ 100%)	상동	· 차폐계수 · 조사선량률
	Q _f	특수형 알파선	외부	-	-	· 10000 Q _c
A ₂	Q _c	전선원	내부	없음 (10 ⁻² ~ 10 ⁻³)	· 방출 : 10 ⁻² ~ 10 ⁻³ Q _c	· Q _c = ALI(Bq)/10 ⁹
	Q _d	베타선	외부 (접촉시) 피부	없음 (10 ⁻² 정도 방출)	· 방출 10 ⁻² Q _d · 범위 : 1m ² · 손으로 이동 : 10%	· 10 ⁻³ Q _d /m ² ↔ 50rem · 조사선량률
	Q _e	희귀 가스	외부 (submersion)	없음 (100%방출)	· 방출 : 100% · 장소 : 300m ³ (4회/인의 환기) · 30분간의 허용농도 : 4000 DAC	· Q _e = 2.8 x 10 ⁹ DAC TBq

기의 방사성 물질의 운송이라도 운송 중에 일어날 수 있는 위험의 정도는 각기 다르다는 관점에서 출발하여 각 방사성 핵종들의 위험도에 따라 이에 해당하는 방사능량을 운송물의 한도량을 유도하는 시스템이다. 각각의 값을 결정하는 기준이 되는

선량한도는 QA, QB 및 QF값이 50 mSv 내부피폭이 피폭의 주가 되는 QC 의 경우는 1.0 ANL(Annual Limit on Intake) 이며 베타선에 의한 피부오염의 경우에 해당하는 QD 의 값은 500 mSv이다. 여기서 A1 값에 해당하는 것은 QA ,

표 4. 방사능량에 따른 운송물의 구분.

운송물의 구분	해당되는 방사능량	
면제형 운송물	고체	특수형 방사능 물질 a : $10^{-3} A_1$ 값을 초과하지 않는 경우. 특수형이외의 물질 : $10^{-3} A_2$ 값을 초과하지 않는 경우.
	액체	특수형여부에 관계 없이 $10^{-4} A_2$ 값을 초과하지 않는 경우.
	기체	삼중수소 : $2 \times 10^{-2} A_2$ 를 초과하지 않는 경우 특수형 방사능 물질 : $10^{-3} A_1$ 값을 초과하지 않는 경우. 특수형 이외의 물질 : $10^{-3} A_2$ 값을 초과하지 않는 경우
A형 운송물	특수형 방사능 물질의 경우 : A_1 을 초과하지 않는 경우	
	특수형 이외의 방사능 물질의 경우 : A_2 을 초과하지 않는 경우	
B형b (B(M) 또는 B(U)) 운송물	특수형 방사능 물질의 경우 : A_1 을 초과하는 것(항공운반의 경우는 $3000A_1$ 이하 또는 $100,000A_2$ 이하)	
	특수형 이외의 방사능 물질의 경우 : A_2 를 초과하는 것 (항공운반의 경우 $3000 A_2$ 는 이하)	
C형b 운송물	항공운반을 할 경우에 해당하는 방사능량으로서 $3000A_1$ 이상의 양	

a : 대표적인 특수형 방사성물질은 캡슐에 담긴 동위원소(R)

b : B형 및 C형 공히 인허가 받은 운반 방사능량 이상은 운반할 수 없음.

QB 및 QF 중에 최소치를 선택하고 A_2 의 경우는 QA, QB, QF, QC, QD 및 QE 중 최소치로 부여하게 된다. 표 3에는 Q 시스템으로부터 유도되는 A_1/A_2 값에 대한 사항들을 요약하여 놓았다

이렇게 결정된 대표적인 핵종의 A_1/A_2 값에 대한 예로서는 ^{60}Co (0.4TBq/0.4TBq), ^{137}Cs (2TBq/0.6TBq), ^{90}Sr (0.3TBq/0.3TBq) 그리고 농축우라늄의 경우는 농축도 20% 이하는 (무제한/무제한)이다

1.1 방사능량에 의한 분류

A형 포장에 수납할 수 있도록 규정하는 양은 A값(특수형이아 일반형이나에 따라 각각 A_1 , A_2 으로 나누어짐)을 넘지 못한다. 방사능이 A값을 넘는 경우에는 B형 포장물에 수납 되어야 하며, A형 및 B형으로 나누었다. 중저준위 폐기물이나 연료물질의 경우 처럼 일시에 대량의 운송이 필요한 경우는 방사능 농도는 낮지만 전체 총 방사능 양은 상당히 큰 경우가 대부분이므로 총 방사능량만을 가지고 운송물을 분류하는 것은 비현실적이다.(현재 국내 운송 법규의 경우는 총 방사능만을 가지고 운송물의 분류를 규정하고 있음.) 이런 취지에서 IP(Industrial Packages) 형 운송물의 경우는 비방사능량에 따른 LSA(Low Specific Activity) 형과 표면오염도에 따른 SCO(Surface Contaminated Object) 형로 분류한다. 면제형(Exempted packages), A형 및 B형 분류에 대한 내용은 표 4에 정리하였고 IP형 운송물 내에서의 분류로서 비방사능에 의한 LSA형 분류와 표면오염

도에 따른 SCO형 분류에 대한 자세한 내용은 표 5에 요약하였다. 또한 LSA 및 SCO형에 의한 산업용 운송물 IP형의 적재구분등에 따른 분류는 표 6에 나타내었다.

1.2 임계안전에 의한 분류

^{233}U , ^{235}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu 등과 같이 임계안전성의 확보가 필요한 핵임계 도달 가능한 핵분열성 물질과 임계안정성 확보가 필요하지 않은 물질에 대한 구분이 있다. 주대상 운송물의 핵분열성 여부에 따른 운송물의 분류에 대한 IAEA 운송규정은 표 7에 정리하였다.

2. 포장물의 기술기준

제1절에서 기술한 것처럼 방사능량이나 임계도달가능성 등에 따라 분류된 운송물은 그 위험도에 따라 적절히 설계/제작된 용기에 담아 운송을 해야 한다. 이때 각각의 용기에 요구되는 여러 가지 기술기준이 엄격하게 구분이 되어 있으며 방사성 물질의 안전한 운송을 위하여는 기술기준에 적합한지를 시험하는 시험 혹은 안정성 해석을 수행하여야 한다.

2.1 기술상의 기준

IAEA의 규정에 기술되어 있는 방사성물질 포장물의 기술상의 기준은 방사성물질의 운송에 의하여 일반 대중이나 운송작업 종사자 그리고 운송대상물에 직간접적인 영향을 방지하는 목적으로 작성되어 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 a)운

표 5. IP 형 운송물의 방사능 농도와 표면오염도에 따른 분류.

물질의 구분	방사능농도 혹은 표면오염에 따른 구분	
	방사성물질의 종류	제한치의 정의
LSA-I	천연 및 감손우라늄의 고체 또는 액체상태	없음
	핵분열성물질이외의 경우중 A ₂ 값이 없는경우(천연에 존재하는 우라늄광석등)	없음
LSA-II	가연성 고체	총 방사능량이 100A ₂ 를 초과하지 않고 평균방사능량이 10 ⁻⁴ A ₂ 초과하지 않음.
	비가연성 고체	평균 방사능량이 10 ⁻⁴ A ₂ 초과하지 않음.
	액체	총 방사능량이 100 A ₂ 를 초과하지 않고 평균 방사능량이 10 ⁻³ A ₂ 초과하지 않음 단, 삼중수소는 평균방사능이 0.8 GB를 초과하지 않음.
	기체	총 방사능량이 100 A ₂ 를 초과하지 않고 평균 방사능량이 10 ⁻⁴ A ₂ 초과하지 않음.
LSA-III	LSA-I 및 LSA-II 이외의 분말 고체를 제외한 것	방사성물질이 전체에 균일하게 분포. 평균 방사능량이 2 x 10 ⁻⁴ A ₂ 초과하지 않고 침수시험의 경우 수중 방사성물질의 누설량이 운송물당 1/10 A ₂ 를 초과하지 않음. 가연성이고 방사능의 양이 100 A ₂ 값을 초과하지 않음.
SCO-I	α 방사성물질	0.4 Bq/cm ² 이하 ^a (4 x 10 ³ Bq/cm ² 이하) ^b
	β, γ 방사성물질	4 Bq/cm ² 이하 (4 x 10 ⁴ Bq/cm ² 이하)
SCO-II	α 방사성물질	40 Bq/cm ² 이하 (8 x 10 ⁴ Bq/cm ² 이하)
	β, γ 방사성물질	400 Bq/cm ² 이하 (8 x 10 ⁵ Bq/cm ² 이하)

a : 비교작성 오염, b : 고작성오염

표 6. LSA 및 SCO형의 산업용 운송물 IP 형에 따른 분류.

운반물		산업용운송물의 형(IP)	
		전용적재	비전용적재
LSA-I	고체	IP-1	IP-1
	액체	IP-1	IP-2
LSA-II	고체	IP-2	IP-2
	액체, 기체	IP-2	IP-2
LSA-III		IP-2	IP-3
SCO-I		IP-1	IP-1
SCO-II		IP-2	IP-2

표 7. 운송물의 분류와 대상 운송물.

운송물의 분류	IAEA 운송규정에 의한 분류	Type	주대상운송물
방사성운송물	L 형 운송물(비핵분열성운송물)		저준위 방사성폐기물
	IP 형 운송물 비핵분열성운송물 핵분열성운송물	IP-2 IP-2	저준위 방사성폐기물 재생 우라늄
	A 형 운송물 비핵분열성운송물 핵분열성운송물	A AF ^a	천연 UO ₂ 천연 및 농축 UF ₆ 및 경수로신연료
	B 형 운송물 비핵분열성운송물 핵분열성운송물	B(M)F	경수로 사용후 핵연료 산화플루토늄 MOX 신연료 고준위폐기물

a : F means Fissile material

송물로부터 방사성물질의 누설이나 확산이 없어 주변주민의 피폭을 방지하여야 하고(내부피폭방지개념), b) 운송물로부터 나오는 방사선으로부터 일반대중과 운송작업종사자의 피폭을 최소화하며(외부피폭방지개념), c) 수납된 운송물이 핵분열성 물질인 경우 핵분열연쇄반응에 의한 핵임계도달을 방지하여야 한다. 이러한 방사선방어의 개념하에 정해진 IAEA 운송규정에 있는 기술상의 기준을 포장물의 종류에 따라 표 8에 나타내었다.

2.2 포장물의 시험조건

포장물의 시험조건은 운송물의 분류에 따라 정상운송상황에 따른 일반시험조건과 가상사고 상황에 대한 특수시험조건으로 나누어 진다. 원칙적으로 각 시험을 마친 후에는 방사성물질을 이용한 차폐성능 시험과 헬륨가스를 이용한 기밀시험을 수행하여 포장물의 차폐성능과 밀봉상태에 대한 확인을 하여야 한다.

1) 일반시험조건

일반시험조건은 포장물의 취급이나 운송도중 발생할 수 있는 소규모의 사고에 대한 대비로서 갖추어야 할 내용이 포함되어 있으며 시험의 종류와 내용은 다음과 같다.

- 살수시험 (포장물 내부에 비가 스며드는지를 확인하기 위한 시험) : 시간당 50mm의 우량에 해당하는 살수조건하에 1시간 방치
- 자유낙하시험(운송물 취급시 부주의등으로 일어나는 가상낙하에 대한 시험)
: 비행복면에 대하여 포장물의 최대손상을 주는 부위로 자유 낙하시킨다. 이때 운송물의 총중량에 따라 낙하높이를 달리하여야 하는데 그 내용은 표 9와 같다.
- 하중시험(운송물에 장시간 압축을 가했을때의 조건을 시험) : 운송물의 자중의 5배에 해당하는 압축하중 또는 운송물의 수직 1m²당 1,300 kg의 하중을 가한 후 24시간 방치
- 관통시험(운송물의 표면의 건전성을 평가하는 시험) : 직경 3.2cm 의 반구형의 형태에 무게 6kg 의 붐을 1m 높이에서 수직방향으로 운송물의 제일 약한 부분으로 표면으로 낙하시킴.
- 환경시험(운송도중의 더운 날씨에 대한 운송물의 건전성 시험) : 주위온도 38 °C 환경에 1주간 방치

2) 특별시험 조건

방사성물질의 운송중 차량의 충돌, 선박의 좌초, 화재등 극한 상황하에서의 포장물의 건전성을 확인하고자 하는 시험으로 B형 운송물과 핵분열성

운송물의 경우에 해당된다.

- 낙하시험(포장물에 대한 운송중 충돌사고나 낙하사고등에 대한 건전성을 평가하고자 하는 시험) : 9 m 자유낙하시험과 직경 15cm 의 강봉위 1m 높이에서의 낙하
- 내화시험(운송중에 일어날 수 있는 화재등에 대한 건전성 평가 시험) : 포장물을 800 °C 화염에서 30분간 방치하는 시험
- 침수시험(해상운송시 선박의 전복등의 경우에 대비하는 시험) : 운송물을 수심 15m 이상의 수압하에 8시간이상 침수시키는 시험, 단 내용물이 37 PBq(3.7X 10¹⁵) 이상의 방사성물질을 수납한 운송용기의 경우는 수심 200m 상당의 수압하에서 1시간이상 침수. 위와 같이 일반시험과 특별시험에 대하여 IAEA 운송규정에는 정해진 절차에 따라 시험을 수행할 것으로 규정되어 있다. 각각의 시험의 종류와 절차에 대한 내용은 그림 2에 나타내었다.

2.3 핵분열성물질을 수납한 경우의 운송물의 기술기준

IAEA 운송규정에 언급된 핵분열성물질을 수납한 경우 운송물의 기술기준은 평상시 혹은 사고시의 어떤 조건하에도 미입계를 유지하도록 하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적을 달성하기 위한 기술상의 요건으로는 다음과 같은 상황이 발생하지 않도록 설계제작시 고려하여야 한다.

- 운송물의 침수나 누설
- 용기등에 포함된 중성자 흡수재의 중성자 흡수 능력저하
- 운송되는 핵분열성 물질의 위치 재배열
- 핵분열성 물질사이나 포장물 사이의 간격감소
- 운송물의 수물이나 눈에 의한 매몰
- 온도변화에 대한 영향. 이외에도 핵분열성 운송물의 임계도달방지에 대하여 IAEA에 규정된 기술기준은 표 10에 나타내었다.

결론

본 기술 해설의 전반부에서는 IAEA 운송 관련 규정을 개정 또는 변경하게 된 내용중 중요한 기술적인 사항에 대하여 방사선 방어적인 측면을 중심으로 설명하였고 가능한 한 개정 배경에 대한 기술도 포함하였다. 여기서 특이할 만한 점은 ICRP60 의 개정중 가장 민감한 사항인 종사자 및 일반대중의 피폭선량율의 하향조정이 IAEA와 같은 국제기구에서 발간하는 규정에도 반영되기 시

표 8. 방사성운송물의 기술상의 기준.

기 준	IP형	A 형	B 형		C 형
			BM형	BU형	
1. 운송중 상태에 대하여					
a) 모든변의 크기가 최소 10 cm 이상	•	•	•	•	•
b) 취급하기 용이할 것	•	•	•	•	•
c) 운송중에 균열 및 파손이 없을 것	•	•	•	•	•
d) 봉인이 되어 있을 것	•	•	•	•	•
e) 표면오염이 허용치 이하	•	•	•	•	•
방사선량이 허용치 이하 표면(mSv/h)	0.005	2.0	2.0	2.0	2.0
표면에서 1 m (mSv/h)		-	0.1	0.1	0.1
g) 불필요한 물품의 수납불가	-	•	•	•	•
2. 일반시험조건하에서					
a) 표면허용 최대 방사선량률(mSv/h)	-	2.0	2.0	2.0	2.0
b) 방사성물질의 허용누설률 (1시간당)	-	허용 안됨	$A_2 \times 10^{-6}$	$A_2 \times 10^{-6}$	$A_2 \times 10^{-6}$
c) 표면온도 섭씨 50도 이하	-	-	•	•	•
d) 표면오염도 허용치 이하	-	-	•	•	•
3. 특별시험조건하에서					
표면에서 1m 지점의 최대방사선량률(mSv/h)	-	-	10	10	10
b) 방사성물질의 허용누설률(1주당)	-	-	A	$A_2 \times 10^{-3}$	$A_2 \times 10^{-3}$
c) 섭씨 영하 40도 시험	-	-	-	•	•
4. 필터, 기계적인 냉각장치 사용불가					
	-	-	-	•	•
5. 내부압력이 7 kg/cm ² 이하					
	-	-	-	•	•

표 9. 일반시험시 운송물의 총중량에 따른 낙하높이.

운송물 총중량	낙하높이	방사성운송물의 예
15ton 이상	0.3 m	사용후연료, 고준위 폐기물
10 ~ 15ton미만	0.6 m	천연우라늄 UF ₆
5 ~ 10ton미만	0.9 m	일반 RI 운송물
5 ton 미만	1.2 m	RI 운송물, 저준위 폐기물, 농축 UF ₆ , 신연료 등

표 10. 핵분열성 운송물의 임계도달방지를 위한 IAEA 기술기준.

핵분열성 운송물의 조건		허용기준
일반시험을 수행한 후에		<ul style="list-style-type: none"> 공간 또는 용적의 감소가 5%이하. 한 변이 10cm이상의 길이를 가진 입방체 형태의 파인 곳이 없을 것. 방사성운송물의 내부에 물의 침투가 없을 것. 중성자 증배율의 증가가 없을 것.
독립계 • 물의 침입이 있는 경우 • 중성자증배율이 최대가 되도록 배열된 경우 • 주위에 20cm 물이 반사체로 있는 경우	비손상상태	• 임계에 도달하지 않음.
	손상상태	• 임계에 도달하지 않음.
배열계 • 주위에 20cm 물이 반사체로 있는 경우	비손상상태	• 운송제한 갯수의 5배수가 집합되었을 때 임계에도 달하지 않음.
	손상상태	• 운송제한 갯수의 2배수가 집합되었을 때 임계에도 달하지 않음.

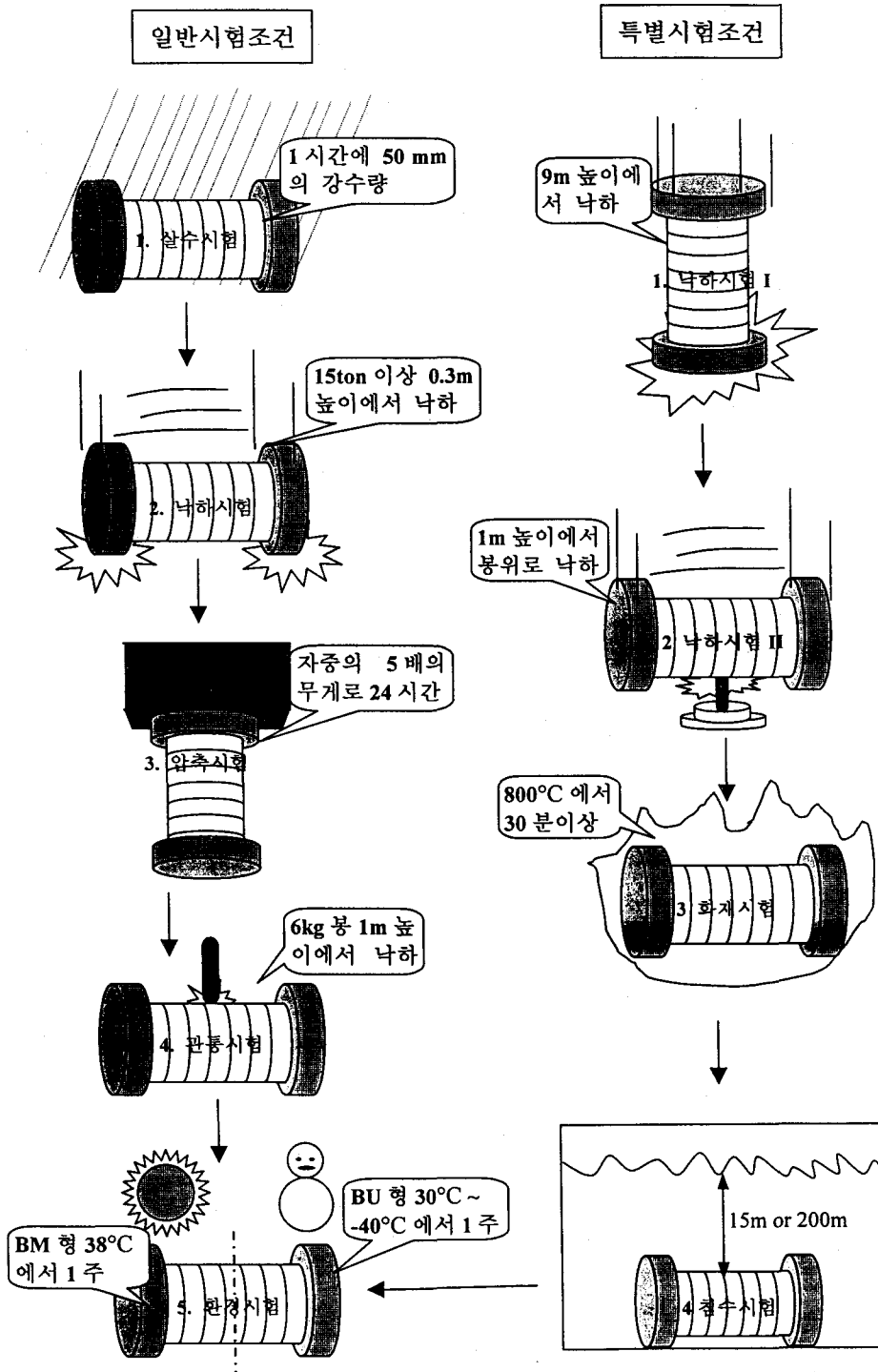


그림 2. 방사성물질 운송포장물의 일반시험 및 특별시험의 종류와 절차.

작하였다는 점에서 이와 관련된 국내의 법규체계에도 상당한 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 항공기를 이용한 대량 운송을 고려한 경우인 C형 운송물 새로운 기술기준 제정의 예는 충분한 안전장치를 할 경우는 국내에서도 운송경로, 비용 등 여러가지 면에서 장점이 있는 항공운송에 대한 충분한 고려도 할수 있다는 점에서 주목할 만하다고 할 수 있다.

후반부에서는 방사성물질을 안전하게 운송하기 위하여 마련된 여러 가지 규정 중에서 국제적인 기준이 되고 있는 IAEA의 운송 관련규정의 체계, 방사성물질의 분류 및 분류에 따른 운송용기 등의 기술기준을 항목별로 정리하여 기술하였다. 이 기술사항들은 중저준위 폐기물이나 동위원소 등의 운송에 직접적으로 적용되는 사항들로 국내 법규에 반영된다면 방사성폐기물 처분사업 등을 수행함에 있어서도 충분히 고려되어야 하는 사항이라고 할 수 있다. 특히 향후 국내에 비방사능 한도를 고려하여 운송물을 분류하는 IAEA 운송물 분류체계가 법규로 도입되게 되면 현재까지의 국내 방사물 운송과 포장물에 대하여는 전반적으로 새로운 기준에 따라 건전성 확인이 있게 될 것으로도 판단된다.

방사성 물질 특히 방사성폐기물의 운송이 가지는 저장이나 보관과는 다른 개념, 즉 대중과의 빈번한 접촉을 유발시킬 수 있다는 점에서 앞으로 국내에서는 이에 대한 상당한 연구와 고려가 되어야 한다고 할 수 있다. 특히 향후 이루어질 것으로 예상되는 방사성폐기물의 대량 운송에 대비하기 위하여는 국내의 독특한 운송여건(높은 인구밀도, 산악지형, 비교적 높은 교통사고율, 도로조건 등)을 고려한 안전한 운송체계의 연구가 필요하다고 볼 수 있다.

참고문헌

1. 과학기술처고시 제 85-12호 "방사성물질등의 포장 및 운송에 관한 규정", 과학기술처 (1985).
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Safety Series No.6(Safety Standards), Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials 1985 Edition(1985).
3. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60(1991).
4. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA(1996).
5. 과학기술부고시 제 96-38호 "방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정", 과학기술부 (1996).
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Safety Standards Series No. ST-1, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials 1986 Edition(1996).
7. 1976 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26(1976).
8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Safety Series No.7(Safety Guides), Explanatory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, Second Edition 1990 Edition (1990).
9. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Safety Series No.37(Safety Guides), Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, Thirds Edition 1990 Edition(1990).
10. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Safety Series No.112(Safety Standards), Compliance Assurance for the Safe Transport of Radioactive Materials(1994).
11. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Safety Series No.113(Safety Standards), Quality Assurance for the Safe Transport of Radioactive Materials(1994).
12. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Safety Series No.87(Safety Standards), Emergency Response Planning and Preparedness for Transport Accidents Involving Radioactive Materials, 1988 Edition(1988).