

보고서 번호

방사성 물질 운송에 이용되는 포장 방식

방사성 물질의 안전하고, 효율적이며 신뢰할 수 있는 운송을 위한 WNTI의 헌신적 노력



방사성물질 운송에 이용되는 포장 방식



서론

방사성 물질의 안전 운송을 위한 국제원자력기구(IAEA) 규정은 국제적인 운송활동에 관한 권고규제기준을 규정한다. 기본 개념은 방사능의 영향으로부터 작업자, 공공 대중 및 환경을 보호하고, 원하지 않는 연쇄반응 방지, 열손상 방지 및 내용물 분산 방지를 위한 보호를 가능하게 하는 차폐물을 제공하는 포장재를 이용함으로써 1차적으로 안전을 보장한다는 것이다. 이 기본 개념은 더 높은 준위의 방사성 물질 운송의 정상 조건 및 사고 조건 하에서 달성되어야 한다. 그리고, 운영 차원에서 최선의 관행을 도입하여 합리적으로 달성될 수 있는 범위에서 작업자와 공공대중에 가해지는 방사능 용량을 저감시키는 일은 긴요한 사안이다.

규정은 5가지 유형의 상이한 포장 방식을 규정한다.

- 제외
- 산업용
- Type A
- Type B
- Type C

상기 분류는 포장재에 담긴 방사성물질의 활동성과 물리적 형태에 따른 것이다. IAEA는 또한 각 포장 방식 별 이행기준 - 설계 요건 및 시험 절차-을 규정한다. 잠재적인 위험에 따라 요구되는 포장재의 무결성이 결정되는, 포장 방식에 대한 이러한 등급별 접근법은 효율적인 상업적 운송 작업에 중요하다. 또한 이 접근법은 IAEA가 그 특징에 따라 다음과 같이 분류한 여러 운송 조건들을 고려한다.

- 일상적인 운송에서 접할 수 있는 조건들
- 운송의 정상적 조건(경미한 사고)
- 사고 조건

취급이 안전하고 용이하며, 보안이 적절하게 유지되고, 일체의 가속 및 진동 효과를 견딜 수 있도록 보장하기 위해 모든 포장재에 적용되는 일반적인 설계 요건들이 있다.



제외 포장(Excepted packages)

제외 포장은 허용된 방사성 내용물이 갖는 잠재적인 위험이 경미하고, 이에 따라 함유와 차폐의 무결성과 관련하여 어떠한 시험도 요구되지 않는 정도의 저준위에 한정되는 포장이다.



제외 포장의 흔한 예는 의학용 방사성 의약품 운송에 이용되는 우편 포장이다.

산업용 포장

산업용 포장은 다음 두 가지 유형의 물질을 운송하는 데 사용된다.

- 단위 질량당 낮은 활동성을 갖는 물질(저활동성 (Low Specific Activity), 즉 LSA 물질로 알려짐). LSA 물질로 분류된 항목에는 병원 폐기물이 포함된다.
- 저준위의 표면 오염이 발생한 비방사성 물체(표면 오염 물체 (Surface Contaminated Objects), 즉 SCO로 알려짐). 원자로의 연료 사이클 기계류 혹은 부품으로, 이들의 표면은 냉각재나 처리수로 오염되어 SCO로 간주된다.



상기 두 가지 유형의 물질들은 본래 안전한데, 이는 함유된 활동성이 매우 낮거나 혹은 물질이 쉽게 분산되는 형태가 아니기 때문이다.

산업용 포장(Industrial Package, IP)은 IP-1, IP-2 및 IP-3으로 지정된 3가지 하위범주로 분류되는데, 일상적인 그리고 정상적인 운송 조건을 어느 정도 견디어 내도록 요구받는지에 따라 달라진다(표 1 참조). 요구되는 모의시험에는 차량으로부터의 낙하, 강우에 노출되거나 날카로운 물체에 부딪히거나 혹은 상부에 다른 화물이 적재되는 상황 등의 정상적인 운송 조건들이 포함된다.

강철 드럼 혹은 상자와 같이 산업에서 사용되는 포장재들은 상기 다양한 요건들을 충족시킬 수 있으나, 특수 설계된 포장재 역시 종종 이용된다. 포장재의 선택은 물질의 특성에 따라 결정된다.

산업용 포장재에 운송되는 일부 대표적인 물질로는 저준위 및 중준위 방사성 폐기물 또는 자연적으로 발생하는 방사성 핵종들을 함유한 원광(예, 우라늄 혹은 토륨) 및 이러한 원광들의 정광을 그 예로 들 수 있다.

표 1: 산업용 포장재 요건

기준	IP-1	IP-2	IP-3
설계 요건	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모든 포장재에 대한 일반적 요건 ■ 항공 운송의 경우, 추가적인 압력 및 온도 요건 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모든 포장재에 대한 일반적 요건 ■ 항공 운송의 경우, 추가적인 압력 및 온도 요건 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모든 포장재에 대한 일반적 요건 ■ 항공 운송의 경우, 추가적인 압력 및 온도 요건 ■ Type A의 추가적 요건
시험 요건 - 정상적 운송 조건		<ul style="list-style-type: none"> ■ 자유낙하(포장재 질량에 따라 0.3에서 1.2미터) ■ 겹쳐 쌓기 또는 압축 	<p>아래의 모든 시험에는 물분무검사가 반드시 선행되어야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 자유낙하(포장재 질량에 따라 0.3에서 1.2미터) ■ 겹쳐 쌓기 또는 압축 ■ 관통(1미터 높이에서 낙하한 6kg bar의 압력)

Type A 포장재

Type A 포장재는 상대적으로는 소량이나 상당한 양의 방사성 물질을 운송하기 위해 이용된다. 이는 이러한 방식의 포장재가 중대한 사고에서 이론적으로 손상을 입을 수 있고, 그 내용물의 일정량이 방출될 수 있다고 가정하기 때문에, 포장재 안에 담을 수 있는 방사성 핵종의 분량은 IAEA 규정에 따라 제한 받는다. 방출이 되는 경우, 이러한 제한들이 외부 방사 또는 오염에 의해 야기되는 리스크가 낮아지도록 보장해준다.

Type A 포장재는 요건에 따라 정상 운송 조건 하에서 무결성을 유지해야 하므로, 이러한 조건들을 반영한 모든 시험을 받아야 한다(표 2 참조).

Type A 포장재는 의료 진단 또는 원격치료용 방사성 동위원소, 테크네튬, 특정 암들의 진단을 지원하기 위해 사용되는 발전기 및 몇몇 핵연료 사이클 물질 운송에 이용된다.

표 2: Type A 포장재 요건

기준	요건
설계 요건	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모든 포장재에 대한 일반적 요건 ■ 항공운송의 경우, 추가적인 압력 및 온도 요건 ■ Type A의 추가적 요건 (밀봉재, 고정재, 온도, 함유, 감압, 밸브)
시험 요건- 정상적 운송 조건	<p>다음 각 시험에는 반드시 물 분무검사가 선행되어야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 자유낙하(포장재 질량에 따라 0.3에서 1.2미터) ■ 겹쳐 쌓기 또는 압축 ■ 관통(1미터 높이에서 낙하한 6kg bar의 압력)

Type B 포장재

Type B 포장재는 고준위 방사성 물질의 운송에 필요하다. Type A와 동일한 정상운송 조건들을 견뎌야 하지만, 내용물이 Type A의 한도를 넘기 때문에, 사고에 의한 손상에 기인한 방사성 물질의 방사능 방출에 대비한 별도의 저화능력을 명시할 필요가 있다. 본 유형의 포장재가 안전 격납 요건에 위배되지 않고, 일반대중 및 구조나 정화작업에 참여하는 인원들을 위태롭게 할 수 있는 수준의 준위로의 방사량 증가 없이 예측되는 사고 조건들을 견뎌낼 수 있어야 한다는 것이 핵심 개념이다. 이 요건에 대한 포장재의 적정성은 엄격한 사고 조건 시험을 통해 실증된다(표 3 참조).

Type B 포장재들은 의학 및 연구에 이용되는 캡슐화되지 않은 방사성 동위원소, 사용후 핵연료 및 유리화된 고준위 폐기물 등 매우 상이한 여러 물질들을 운송하는데 사용된다.

표 3: Type B 포장재 요건

기준	요건
설계 요건	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모든 포장재에 대한 일반적 요건 ■ 항공운송의 경우, 추가적인 압력 및 온도 요건 ■ Type A의 추가 요건 ■ Type B의 추가 요건(내부 열 발생 및 최대 표면 온도)
시험 요건 - 정상적 운송 조건	<p>아래 시험에 앞서 반드시 물분무검사가 선행되어야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 자유낙하(포장재 질량에 따라 0.3에서 1.2미터) ■ 겹쳐 쌓기 또는 압축 ■ 관통(1미터 높이에서 낙하하는 6kg bar의 압력)
시험 요건 - 사고 발생 운송 조건	<p>다음의 누적된 영향들:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 9미터 높이에서 자유낙하 혹은 역학적 충돌시험(표본에 9미터 높이에서 500kg 질량의 낙하) ■ 구멍내기 시험 ■ 열 검사(30분간 800°C 강도의 화염) ■ 침수 시험 (15미터 깊이에서 8시간) <p>다량의 방사성 물질을 운반하는 포장재에 대한 단계 높은 침수 시험</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 200미터 깊이에서 1시간

Type C 포장재

IAEA 운송 규정의 1996년 판에는 항공으로 더 높은 준위의 방사성 물질을 운송하기 위한 한층 강화 설계된 포장재-Type C 포장재-에 대한 요건이 도입되었다. Type C 포장재는 Type A 포장재의 추가적 요건들과 Type B 포장재의 대부분의 추가적 요건들을 모두 만족시켜야 한다.

Type C 포장재는 추가적인 운송 사건 및 사고를 견딜 수 있는 능력을 증명하기 위하여 일련의 시험들을 받아야 한다(표 4 참조).

표 4: Type C 포장재 요건

기준	요건
설계 요건	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모든 포장재에 대한 일반적 요건 ■ 항공운송의 경우, 추가적인 압력 및 온도 요건 ■ Type A의 추가적 요건 ■ Type B의 추가적 요건(내부 열 발생 및 최대 표면 온도)
시험 요건 - 정상적 운송 조건	<p>다음 각 검사에 물 분무검사가 선행되어야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 자유낙하(포장재 질량에 따라 0.3에서 1.2미터) ■ 겹쳐쌓기 또는 압축 ■ 관통(1미터 높이에서 떨어진 6kg bar의 압력)
시험 요건 - 사고 발생 운송 조건	<p>피시험체를 대상으로 다음 시험들을 순차적으로 실시한다:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 9미터 높이에서 자유낙하 ■ 역학적 충돌시험(표본 위로 9미터 높이에서 500kg 질량의 낙하) ■ 구멍내기 시험 ■ 단계 높은 열 검사(60분간 800°C 강도의 화염) <p>별도의 시험체를 대상으로 다음의 시험을 실시할 수 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 충격 시험(최소 초속 90미터)

핵분열성 물질 포장재

농축우라늄 혹은 플루토늄을 함유하는 핵연료 사이클 물질들은 핵분열성으로, 즉, 연쇄반응을 지속시킬 수 있다. 정상 및 사고 발생 운송 조건 하에서 이 원하지 않

는 연쇄반응들을 예방하기 위하여, 포장재 설계, 그 포장재에 담긴 핵분열성 물질의 배치 및 다중 포장재 구성 등의 방법이 이용된다.

육불화우라늄 포장재

IAEA 규정에는 육불화우라늄(Uranium hexafluoride, Hex)을 운송하는 포장재에 대한 요건이 포함되어 있다.

이 포장재들은 다음의 시험 요건을 만족해야 한다.

- 최소 1.4 MPa의 압력 시험을 통과해야 한다.
- 자유낙하 시험을 통과해야 한다 - 낙하 높이는 질량에 따라 결정됨.
- 30분간 800℃에서 열 시험을 통과해야 한다.

사진

- 1 우라늄 원광 정광 드럼(산업용 포장재)
- 2 Hex 운반용 48" 실린더
- 3 코발트-60 캐스크(Type B 포장재)
- 4 사용후 핵연료 캐스크(Type B 포장재)
- 5 MOX 연료 캐스크(Type B 포장재)
- 6 비어있는 사용후 연료 바스켓 운송에 이용되는 포장재(Type A 포장재)

WNTI

국제 원자력 운송 협회

Remo House

310-312 Regent Street

London W1B 3AX

United Kingdom

전화: +44 (0)20 7580 1144

팩스: +44 (0)20 7580 5365

웹페이지: www.wnti.co.uk

이메일: wnti@wnti.co.uk

