

Preliminary Calculation of the Indicators of Sustainable Development for National Radioactive Waste Management Programs

국가 방사성폐기물 관리계획에 관한 지속가능 발전지표의 예비평가

Jae-Hak Cheong and Won-Jae Park

Korea Institute of Nuclear Safety, P.O.Box 114, Yuseong, Daejeon, Korea
k352cjh@kins.re.kr

정재학, 박원재

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19

(Received November 12, 2003, Approved November 21, 2003)

Abstract

As a follow up to the Agenda 21's policy statement for safe management of radioactive waste adopted at Rio Conference held in 1992, the UN invited the IAEA to develop and implement indicators of sustainable development for the management of radioactive waste. The IAEA finalized the indicators in 2002, and is planning to calculate the member states' values of indicators in connection with operation of its Net-Enabled Waste Management Database system. In this paper, the basis for introducing the indicators into the radioactive waste management was analyzed, and calculation methodology and standard assessment procedure were simply depicted. In addition, a series of innate limitations in calculation and comparison of the indicators was analyzed. According to the proposed standard procedure, the indicators for a few major countries including Korea were calculated and compared, by use of each country's radioactive waste management framework and its practices. In addition, a series of measures increasing the values of the indicators was derived so as to enhance the sustainability of domestic radioactive waste management program.

Key words : radioactive waste, indicator, sustainable development, preliminary calculation

요약

1992년 리우 환경개발회의에서 채택된 Agenda 21에서 방사성폐기물의 안전관리를 위한 정책방향이 결정된 후, 국제연합은 방사성폐기물 안전관리를 지속 가능한 발전의 범위에 포함하여 국제원자력기구의 주관 하에 관련 지표의 개발 및 적용을 추진하고 있다. 2002년 국제원자력기구는 방사성폐기물관리에 관한 지속가능 발전지표를 확정하고 현재 운영중인 방사성폐기물 데이터베이스 시스템인 NEWMDB와 연계하여 회원국의 방사성폐기물관리 체계 및 현황을 정량적인 지표로 평가할 예정이다. 본 논문에서는

방사성폐기물에 관한 지속가능 발전지표의 도입근거와 적용상의 한계점을 분석하고, 국제원자력기구가 제시한 지표의 평가방법과 표준화된 절차를 도식화하였다. 도출된 평가절차에 따라 우리나라를 포함한 주요 국가의 방사성폐기물관리 체계 및 현황자료를 이용하여 각 국가의 방사성폐기물관리에 관한 지속가능 발전지표를 평가하고 그 결과를 비교분석하였다. 또한 지표의 향상을 통해 국내 방사성폐기물관리의 지속 가능성을 제고할 수 있는 방안을 도출하였다.

Key words : 방사성폐기물, 지속가능한 발전, 지표, 예비 평가

I. 서론

1992년 브라질 리우에서 개최된 환경개발회의에 따른 후속조치로 국제연합 (United Nations)은 International Atomic Energy Agency(IAEA)와 함께 각국의 방사성폐기물관리계획에 대한 지속 가능성을 평가하기 위한 지표인 ISD(Indicator of Sustainable Development) - RW(Radioactive Waste)의 개발에 착수하였으며, 1999년 방사성폐기물의 발생체적을 기준으로 단일 평가지표를 제안하였다[1]. 그러나 체적만을 기준으로 방사성폐기물관리의 지속 가능성을 평가하는 개념은 방사능 준위에 따른 상대적인 위험도를 고려할 수 없고 핵연료 주기사업을 추진하는 국가에 상대적으로 불리하게 적용될 수밖에 없다는 한계가 있다. 이에 따라 IAEA는 방사성폐기물관리의 지속 가능성을 “처분을 위해 대기중인 방사성폐기물의 수량이 더 이상 증가하지 않고 모든 폐기물이 처분에 요구되는 최종적인 형태로 안전하게 저장되고 있는 상태”라는 정의에 근거하여 기존 평가지표의 한계를 극복할 수 있는 무차원 (Dimensionless)의 ISDRW를 다시 제안하였다[2].

IAEA가 제시한 ISDRW는 각국의 분류기준에 따른 방사성폐기물의 종류별 관리상태에 대해 각각 형태인자 (Form Factor)와 종말점인자(Endpoint Factor)를 평가하고, 2종의 인자에 대한 평가결과를 합산하여 해당 국가의 전체적인 방사성폐기물관리에 관한 지속 가능한 발전지표를 산출하는 개념으로 요약할 수 있다. 여기서 개별 인자는 방사성폐기물관리체계의 완성도에 따라 4가지 단계로 구분되며, 최종적으로 산출되는 지표인 ISDRW는 0~100의 범위(0은 지속 가능성이 가장 열악한 상태이고 100은 지속 가능성이 가장 우수한 상태)

에 분포한다[3]. 본 논문에서는 우리나라와 주요 국가의 방사성폐기물 관리계획에 대한 ISDRW를 시범적으로 평가비교함으로써, 국내 방사성폐기물관리체계의 완성도를 객관적으로 판단하고 향후 지속가능한 발전방향을 모색하고자 한다.

II. ISDRW 평가방법 및 절차

ISDRW는 각국의 분류체계에 따른 방사성폐기물 종류별로 적용되며 다음과 같이 형태인자와 종말점인자의 합으로 정의된다[3]:

$$ISL \cdot RW_{i,j} = FF_{i,j} + EF_{i,j} = FF_{i,j} + DF_{i,j},$$

여기서, i = 특정한 국가명, j = 방사성폐기물의 종류, $FF_{i,j}$ =국가 i 의 방사성폐기물 j 에 대한 형태인자, $EF_{i,j}$ =국가 i 의 방사성폐기물 j 에 대한 종말점인자, $DF_{i,j}$ =국가 i 의 방사성폐기물 j 에 대한 처분인자이다. 본 논문에서는 모든 방사성폐기물의 최종적인 관리단계(종말점)을 “영구처분”으로 가정하였다.

1. 형태인자(Form Factor)의 산출

형태인자는 방사성폐기물의 저장 또는 영구처분 적합성을 정량화하기 위한 지표로서 표 1과 같이 4등급으로 구분되며, 형태인자 표준 평가절차는 그림 1과 같이 정리할 수 있다[3].

가. 제1단계

제1단계는 방사성폐기물이 안전하게 저장되고 있는가의 여부를 평가하는 단계이다. 저장에 적합하지 않은 방사성폐기물이 존재하지 않을 경우에는 제3단계 평가

를 수행하고, 저장에 부적합한 폐기물이 존재할 경우에는 제2단계 평가를 수행한다.

나. 제2단계

안전한 저장을 위해 방사성폐기물을 처리할 수 있는 능력이 확보되지 않은 경우에는 형태인자로 “0”을 부여한다. 한편 방사성폐기물의 99% 이상을 안전하게 저장하기 위한 형태로 처리할 수 있는 기술, 자원 및 인력이 확보되어 있고, 운영허가를 득한 처리시설이 존재할 경우에는 제3단계 평가를 수행한다.

다. 제3단계

제3단계에서는 처분에 부적합한 방사성폐기물(WUD; Waste Unsuitable for Disposal)의 존재여부와 향후 발생 가능성을 평가한다. 기발생된 모든 방사성폐기물이 처분에 적합한 형태이고 향후 발생될 모든 폐기물도 처분에 적합한 형태로 처리할 수 있음이 입증된 경우에는 형태인자로 “50”을 부여한다. 이와 관련하여 저장중인 폐기물은 저장시설로부터 반출하여 처분시설에 적치하기까지 처분요건에 적합한 형태를 갖추어야 하며, 처분된 폐기물은 처분시설에 적치하기 전에 적합한 형태를 유지하고 있었어야 한다. 한편 WUD가 존재할 경우에는 제4단계 평가를 수행한다.

라. 제4단계

대부분의 WUD를 처분에 적합한 형태로 처리할 수

있는 기술, 인력 및 재원을 확보하고 운영허가를 득한 처리시설이 존재할 경우에는 형태인자로 “10”을 부여한다. 이를 위하여 IAEA는 99% 이상의 방사성폐기물을 처분에 적합하도록 처리할 수 있어야 함을 평가기준으로 권고하고 있다. 물론 발생된 폐기물 자체가 처분에 적합한 형태일 경우에도 형태인자 “10”을 부여할 수 있다. 상기 기준을 만족하지 못할 경우에는 제5단계 평가를 수행한다.

마. 제5단계

제5단계에서는 WUD 재고량의 증가여부를 평가한다. 처분에 부적합한 방사성폐기물의 재고량이 증가하고 있는 추세인 경우 형태인자로 “25”가 적용되며, WUD 재고량이 증가하지 않고 가까운 미래에도 WUD가 증가하지 않을 것으로 예상될 경우에는 형태인자로 “50”이 부여된다.

2. 처분인자(Disposal Factor)

IAEA는 방사성폐기물의 최종적인 관리단계에 대한 국가별 정의가 상이할 수 있음을 고려하여 “종말점인자”라는 용어를 제시하였다. 그러나 본 논문에서는 대부분의 국가에서 방사성폐기물의 최종적인 관리단계를 영구 처분으로 정의하고 있음을 고려하여 이를 “처분인자”로 대체하여 적용하였다[3].

표 1. 형태인자의 분류 및 설명

형태인자	값	비고
F1	0	안전한 저장에 적합하지 않은 방사성폐기물이 존재하는 경우
F2	10	안전한 저장을 위한 처리능력이 확보된 경우
F3	25	안전한 처분을 위한 처리능력이 확보된 경우
F4	50	안전한 처분에 적합하지 않은 폐기물이 부재하고 향후에도 발생되지 않거나, 또는 안전한 처분에 부적합한 폐기물의 수량이 증가되지 않는 경우

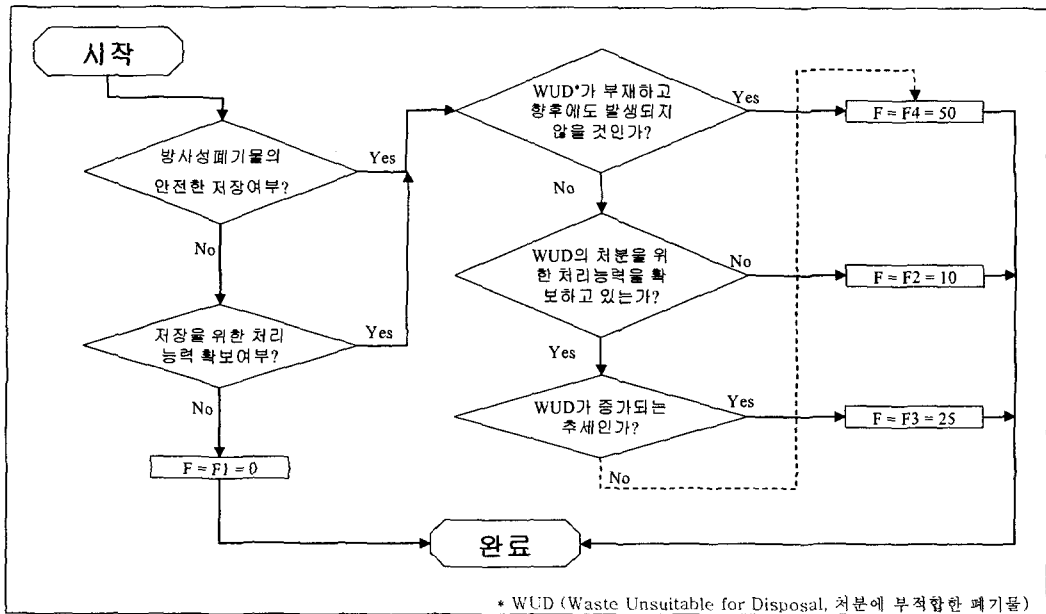


그림 1. ISDRW 산출을 위한 형태인자 평가절차

여기서 처분인자는 방사성폐기물의 최종적인 관리단계에 대한 현재 상태의 상대적인 달성도를 정량화하기 위한 지표로서 표 2와 같이 요약할 수 있으며, 처분인자의 표준 평가절차는 그림 2와 같이 3단계로 요약할 수 있다.

가. 제1단계

기승인된 방사성폐기물 영구처분 부지가 없거나 처분시설 설계가 존재하지 않을 경우에는 처분인자로 "0"을

부여한다. 한편 영구처분을 위한 부지가 승인되고, 시설의 설계가 완료되어 건설허가 신청서가 제출된 경우에는 제2단계 평가를 수행한다.

나. 제2단계

아직까지 규제기관이 방사성폐기물 영구처분시설의 운영을 승인하지 않은 상태일 경우 처분인자로 "10"이 적용되며, 처분시설 운영이 기승인된 경우에는 제3단계 평가를 수행한다.

표 2. 처분인자의 분류 및 설명

처분인자	값	비고
D1	0	방사성폐기물 처분계획이 수립되지 못한 경우
D2	10	처분시설 부지와 설계가 승인된 경우
D3	25	처분시설을 운영하고 있는 경우
D4	50	처분되지 않은 폐기물의 재고량이 증가하지 않는 경우

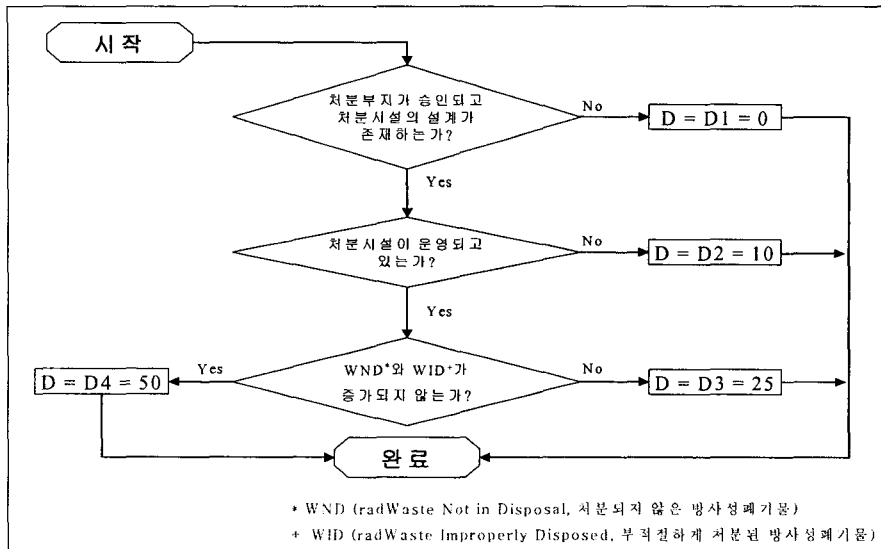


그림 2. ISDRW 산출을 위한 처분인자 평가절차

다. 제3단계

처분되지 않은 방사성폐기물(WND; radioactive Waste Not in Disposal)과 부적절하게 처분된 방사성폐기물(WID; radioactive Waste Improperly Disposed)의 재고량이 증가되고 있는 추세일 경우에는 처분인자로 “25”를 부여하고, 이들 폐기물의 재고량이 증가되지 않고 있고 가까운 미래에도 증가되지 않을 것으로 예상될 경우에는 처분인자로 “50”이 적용된다.

III. 국가별 ISDRW의 평가

1. 각국의 방사성폐기물 관리현황

우리나라와 주요 국가(미국, 독일, 스웨덴, 스페인, 영국, 일본, 캐나다, 프랑스, 핀란드)의 방사성폐기물 관리현황을 조사분석하고 그 결과를 표 3에 정리하였다.

표 3. 주요 국가의 방사성폐기물 종류별 관리현황

국가	폐기물의 종류	관리현황
대한민국	LILW	<ul style="list-style-type: none"> 저장에 적합한 형태로 폐기물을 처리할 수 있는 능력을 확보하고 있으나 처분적합성이 입증되지 않은 폐기물도 일부 존재함(F=10). 영구처분 후보부지가 선정되었으나 부지승인은 이루어지지 않음(D=0).
	HLW(SNF)	<ul style="list-style-type: none"> 발생시설 또는 저장시설에서 안전하게 저장중임(F = 10). 중간저장을 관리단계의 종말점으로 볼 수 없으며 영구처분 등에 관한 구체적인 관리체계가 부재함(D = 0).
미국	HLW	<ul style="list-style-type: none"> 처분을 위한 기술능력을 확보하고 있음(F = 25). 처분부지(Yucca Mountain)가 승인되었으나 건설허가 신청서는 아직까지 제출되지 않음(D = 0).
	SNF	<ul style="list-style-type: none"> HLW와 동일함.
	LLW (Class A, B, C)	<ul style="list-style-type: none"> 처분에 부적합한 폐기물 재고량이 증가되지 않고 있음(F = 50). 처분을 위해 대기중인 폐기물의 수량이 증가되지 않고 있음(D = 50).
	LLW-GTCC	<ul style="list-style-type: none"> ISFSI 등에서 안전하게 저장하고 있으며 처분에 적합한 형태로 처리할 수 있는 능력을 확보하고 있음(F = 25). 처분에 관한 구체적인 계획은 결정되지 않음(D = 0).
	TRU	<ul style="list-style-type: none"> 처분에 적합한 형태로 처리할 수 있는 능력을 확보하고 있음(F = 25). 1999.03.26 심층처분을 위한 WIPP(Waste Isolation Pilot Plant)가 운영중이나, 고방사성 TRU 등 일부 폐기물의 처분은 허용되지 않고 있음(D = 25).

표 3. 주요 국가의 방사성폐기물 종류별 관리현황(계속)

국가	폐기물의 종류	관리현황
독일	HGW (Heat Generating Waste)	<ul style="list-style-type: none"> ● 처분에 적합한 형태로 처리할 수 있는 능력을 확보하고 있으며, 일부 HGW는 유리화된 상태로 저장되고 있음(F = 25). ● Gorleben에 처분할 계획이나 2001.10 이후 부지조사가 중단됨(D = 0).
	NHGW (Negligible Heat Generating Waste)	<ul style="list-style-type: none"> ● 처분요건에 적합한 형태로 저장중임(F = F3 = 25). ● 1971~1998년까지 Morsleben에 36,753m³를 처분하였고, 이후 Konrad 시설은 운영허가를 취득하였으나 아직까지 폐기물을 인수가 허용되지 않음(D = 25).
스웨덴	SNF	<ul style="list-style-type: none"> ● 원전과 CLAB 등에서 안전하게 저장중이며 처분에 적합한 형태로 처리할 수 있는 능력을 확보하고 있음(F = 25). ● 2007년에 SFL-2 처분시설에 대한 부지선정 및 건설허가를 신청할 예정임(D = 0).
	LILW-LL	<ul style="list-style-type: none"> ● 처분에 적합한 형태로 처리할 수 있는 능력을 확보하고 있음(F = 25). ● 원전 부지내 또는 CLAB에서 안전하게 저장중이며 2035년경 처분을 위한 SFL 3-5 부지를 선정할 예정임(D = 0).
	LILW-SL	<ul style="list-style-type: none"> ● 저장중인 재고량이 증가되지 않음(F = 50). ● Forsmark, SFR 1 등에서 처분되고 있으며 2015년 이후 SFR 3에도 처분할 예정임(D = 50).
	VLLW	<ul style="list-style-type: none"> ● 안전하게 처분되고 있으며, 저장중인 재고량이 증가되지 않음(F = 50). ● 원전부지 및 저자재 매립장에 매립되고 있음(D = 50).
스페인	SNF	<ul style="list-style-type: none"> ● 각 원전에서 안전하게 저장중임(F = 10). ● 현재 처분에 관한 연구가 진행중임(D = 0).
	HLW	<ul style="list-style-type: none"> ● SNF와 동일함.
	LILW-LL	<ul style="list-style-type: none"> ● 안전한 저장조건으로 유지되고 있음(F = 10). ● 현재 처분에 관한 연구가 진행중임(D = 0).
	LILW-SL	<ul style="list-style-type: none"> ● 처분요건을 충족하도록 처리된 후 처분중임(F = 50). ● 1993년 이후 현재까지 El Cabril 처분시설(CELDAS)에 처분하고 있음.
	VLLW	<ul style="list-style-type: none"> ● 처분에 적합한 형태로 안전하게 저장중임(F = 25). ● 천층처분 등의 방안에 대한 연구가 진행중임(D = 0).
영국	SNF	<ul style="list-style-type: none"> ● 각 부지에서 습식 또는 건식으로 안전하게 저장중임(F = 10). ● 아직까지 최종 처분에 관한 세부사항이 결정되지 않음(D = 0).
	HLW	<ul style="list-style-type: none"> ● Sellafield, Dounreay 등에서 액체 냉각저장탱크 또는 유리 형태로 저장중임(F = 10). ● 아직까지 최종 처분에 관한 정책이 결정되지 않음(D = 0).
	ILW	<ul style="list-style-type: none"> ● 각 부지에서 안전하게 저장중임(F = 10). ● 아직까지 최종 처분에 관한 정책이 결정되지 않음(D = 0).
	LLW	<ul style="list-style-type: none"> ● 안전하게 처분되고 있으며 저장중인 재고량은 증가되지 않고 있음(F = 50) ● 과거 Dounreay에 처분하였으며, 현재 Drigg에 처분중임(D = 50).
	VLLW	<ul style="list-style-type: none"> ● 규제해제, 소각 등의 방법으로 처리되어 재고량이 증가되지 않음(F = 50, D = 50).
일본	HLW	<ul style="list-style-type: none"> ● 처분에 적합한 유리화된 상태로 안전하게 저장중임(F = 25). ● 처분시설에 대한 사전 부지조사가 진행중임(D = 0).
	LLW-PR1 (Relatively High Level)	<ul style="list-style-type: none"> ● 충분한 깊이의 지하에 처분할 예정이며 현재 저장중인 폐기물의 추가처리는 요구되지 않음(F = 25). ● 처분관련 요건은 확립되어 있으나 아직까지 처분부지는 선정되지 않음(D = 0).
	LLW-PR2 (Low Level)	<ul style="list-style-type: none"> ● Aomori 처분시설에 처분되고 있음(F = 50). ● 처분을 위해 대기중인 폐기물 재고량은 증가하지 않고 있음(D = 50).
	LLW-PR3 (Very Low Level)	<ul style="list-style-type: none"> ● 처분을 위한 별도의 처리가 요구되지 않음(F = 25). ● 천층 또는 핏(Pit)에 처분할 예정이나 아직까지 부지가 결정되지 않음(D = 0).
	LLW-TRU (Transuranic Waste)	<ul style="list-style-type: none"> ● 각 부지에서 처분에 적합한 형태로 처리한 후 안전하게 저장중임(F = 25). ● 아직까지 처분부지가 결정되지 않음(D = 0).
	LLW-UW (Uranium Waste)	<ul style="list-style-type: none"> ● LLW-TRU와 동일함.
	LLW-MIR (Medical, Industrial and Research Waste)	<ul style="list-style-type: none"> ● JPDR 해체폐기물을 JAERI(Tokai부지)에 처분하였으나, 대부분은 처분에 적합한 형태로 저장중임(F = 25). ● 아직까지 LLW-MIR 처분부지가 결정되지 못함(D = 0)

표 3. 주요 국가의 방사성폐기물 종류별 관리현황(계속)

국가	폐기물의 종류	관리현황
캐나다	SNF	<ul style="list-style-type: none"> 습식저장을 통해 냉각한 후 안전하게 건식저장하고 있음(F = 10). 최종적인 관리단계에 대한 연구가 진행되고 있음(D = 0).
	LLW	<ul style="list-style-type: none"> 모든 폐기물을 안전하게 저장중임(F = 10). 정부는 영구처분 부지를 조기에 결정할 필요가 없다고 판단하고 있음(D = 0).
	UMT (Uranium Mining and Mill Tailings)	<ul style="list-style-type: none"> 우라늄 폐광의 뒷채움재로 사용하거나 댐에 격리하고 있으며, 장기저장을 위한 기술을 개발중임(F = 10, D = 0).
프랑스	FA-VL (LILW LL)	<ul style="list-style-type: none"> 저장에 적합한 형태로 안전하게 저장중임(F = 10). 처분시설이 부재함(D = 0).
	FMA-VC (LILW SL)	<ul style="list-style-type: none"> 1969~1994년까지 la Manche에 처분되었고 이후 l'Aube에 처분중임(F = 50). l'Aube 시설 처분용량을 1,000,000m³까지 확장할 예정이며, 향후 지속적인 처분이 가능할 것으로 예상됨(D = 50).
	HA (HLW)	<ul style="list-style-type: none"> 처리된 상태 또는 처리하지 않은 상태로 저장중임(F = 10). 처분부지가 결정되지 않음(D = 0).
	MA-VL (ILS-LL)	<ul style="list-style-type: none"> HA 폐기물과 동일함.
	TFA (VLLW)	<ul style="list-style-type: none"> 극저준위 해체폐기물이 대부분으로 단순 매립시설에 처분할 예정이며, 처분에 적합한 형태로 안전하게 저장중임(F = 25). 처분부지가 아직까지 결정되지 않음(D = 0).
핀란드	RxW (Reactor Waste)	<ul style="list-style-type: none"> Loviisa, Olkiluoto 원전부지에 처분되고 있으며, 처분을 위해 대기중인 재고량은 증가되지 않음(F = 50, D = 50).
	SRS (Spent Sealed Sources)	<ul style="list-style-type: none"> 처분에 적합한 형태로 처리되어 Olkiluoto 원전 VJL Cave 등 동굴에 저장중임(F = 25). 아직까지 처분계획은 결정되지 않음(D = 0).
	SW (Small Waste)	<ul style="list-style-type: none"> 소량의 SRS와 오염폐기물로서 현재 처분에 적합한 형태로 동굴에 저장중임. 향후 RxW 처분시설에 처분할 예정임(F = 25, D = 25).

각국의 방사성폐기물 관리현황은 2003년도 방사성폐기물안전협약 국가보고서, IAEA가 운영중인 NEWMDB (Net Enabled Waste Management Database)에 수록된 자료, 기타 해외 문헌에 발표된 자료를 토대로 조사하였다[2,4]. 사용후핵연료를 방사성폐기물의 일종으로 분류하지 않은 국가에 대해서는 이를 조사대상에서 제외하는 것을 원칙으로 하였으나, 방사성폐기물안전협약 국가보고서 등에 관련 자료를 보고한 국가에 대해서는 조사대상에 포함하였다. 한편 대부분 규제해제(Clearance)의 대상인 극저준위폐기물에 대한 관리현황도 방사성폐기물안전협약 국가보고서에 관련 내용을 보고한 국가에 한하여 조사대상에 포함하였다. 표 3에서 알 수 있듯이 방사성폐기물의 분류기준은 국가별로 상이하며 각국에서는 방사성폐기물의 종류별로

관리계획을 수립하여 이행하고 있다. 특히 일본은 저준위폐기물을 발생원 및 특성에 따라 6가지 종류로 세분하여 관리대책을 수립이행하고 이를 위해 각 각의 폐기물 관리를 위한 개별 법령과 규제요건 등을 개발하고 있는 것으로 조사되었다[5].

2. 국가별 지속가능한 발전지표에 대한 평가결과

그림 3은 표3에 도시된 주요 국가의 방사성폐기물 종류별 ISDRW 산출결과를 비교한 것이다. 각 막대그래프의 아래쪽(검은색)은 형태인자를 위쪽(사선)은 처분인자를 의미하며, 막대그래프의 전체 높이는 형태인자와 처분인자의 합으로 정의되는 지속가능한 발전지표를 보여주고 있다. 아직까지 모든 방사성폐기물에 관리에 대

한 지속 가능성이 확보된(즉, ISDRW가 100으로 평가된) 국가는 없으나, 대부분의 원자력 선진국에서는 저준위폐기물관리에 대한 지속 가능성이 달성된 것으로 나타났다. 그러나 신규 처분시설(Konrad)에서 폐기물 인수가 지연되고 있는 독일이나 아직까지 최종적인 관리 단계에 관한 구체적인 계획을 수립하지 않고 있는 캐나다의 경우에는 어떤 폐기물에 대해서도 지속 가능성이 완성되지 못하고 있는 것으로 평가되었다. 아직까지 모든 종류의 방사성폐기물에 대해 저장 안전성만을 확보하고 있는 우리나라의 경우에는 고준위폐기물(사용후핵연료) 및 중저준위폐기물 모두 ISDRW가 10으로 평가되었으며, 이는 다른 주요 국가에 비해 방사성폐기물에 대한 지속 가능성의 완성도가 상대적으로 낮은 상태임을 의미하는 것이다. 고준위폐기물과 사용후핵연료 관리에 대한 ISDRW는 대부분의 국가에서 10~25 범위인 것으로 나타났으며, 이는 아직까지 이들 폐기물에 대한 관리수준이 저준위폐기물에 비해 낮은 수준임을 의미한다.

한편 미국은 표 2의 처분인자 판정기준에 따라 이들 폐기물에 대한 ISDRW가 모두 25로 평가되었으나, Yucca Mountain 처분부지에 대한 건설허가 신청서가 아직까지 제출되지 않았을 뿐 이미 부지승인을 득한 상태이므로 유사하게 평가된 다른 국가에 비해 고준위폐기물 및 사용후핵연료 관리의 지속 가능성은 상대적으로 높다고 할 수 있다.

IV. ISDRW 제고방안 및 향후 대책

1. ISDRW 적용성의 한계

가. 상이한 방사성폐기물 분류기준

지금까지 ISDRW는 표준화된 방사성폐기물 분류체계가 아닌 국가별 분류체계에 근거하여 평가하도록 개발됨에 따라 국가별 평가결과를 상호 비교하는데 한계가 있다. 예를 들어 저준위폐기물을 6가지 종류로 세분하여 각 각의 폐기물에 대해 ISDRW가 산출된 일본과 중저준위폐기물을 별도로 세분하지 않음에 따라 단일 ISDRW가 산출된 우리나라의 지속 가능성을 직접 비교하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 방사성폐기

물의 종류를 세분화하여 관리하지 않는 국가의 경우에는 가장 관리 수준이 열악한 폐기물을 기준으로 ISDRW를 평가해야 하므로, 다른 나라에 비해 상대적으로 ISDRW가 낮게 평가될 가능성이 있다. 따라서 국가별 ISDRW를 비교할 경우 각국의 방사성폐기물 분류기준이 얼마나 상세하게 정의되어 있는가를 먼저 고려해야 할 것이며, 이를 위해 IAEA가 제시한 방사성폐기물 표준 분류체계를 공통적으로 활용할 필요가 있다.

나. 최종적인 관리단계의 가변성

ISDRW는 개별 방사성폐기물의 최종적인 관리단계에 도달할 경우 가장 큰 가중점을 부여하도록 개발되었으나 최종 관리단계에 대한 정의는 국가별로 상이할 수 있다. 즉, 사용후핵연료를 포함한 방사성폐기물의 최종적인 관리단계는 “영구처분” 또는 “장기저장”으로 정의될 수 있으며, 따라서 폐기물 관리수준이 유사한 경우에도 최종적인 관리단계에 대한 국가별 정의에 따라 ISDRW 산출결과가 상이할 수 있다. 또한 국가 방사성폐기물 관리정책 변화(예; 사용후핵연료의 직접처분에서 순환핵연료주기로 전환)만으로도 ISDRW가 변경될 수 있다는 점에 유의할 필요가 있다. 따라서, 국가별 ISDRW의 상호 비교를 위해서는 해당 국가의 방사성폐기물 관리정책 및 최종적인 관리목표에 대한 사전검토가 전제되어야 한다.

다. 평가인자의 구간별 선형성

IAEA는 방사성폐기물 관리의 수준에 따라 형태인자와 처분인자를 0, 10, 25 및 50의 4등급으로 평가하도록 권고하고 있다. 평가점수를 4등급으로 구분하는 방법은 관리수준의 진척도에 대한 상대적인 비교 차원에서 타당하지만, 절대적인 비교를 위한 선형성을 확보하지 못하고 있다는 근본적인 한계점을 내포하고 있다.

따라서 선형성이 결여된 형태인자와 처분인자 평가결과를 단순히 합산하여 산출된 ISDRW만으로 특정 국가의 방사성폐기물 관리수준을 정량적으로 결정하는 것은 적절하지 못하다. 이러한 선형성 문제를 해결하기 위해서는 개별인자의 평가등급에 대한 세분화가 필요하다.

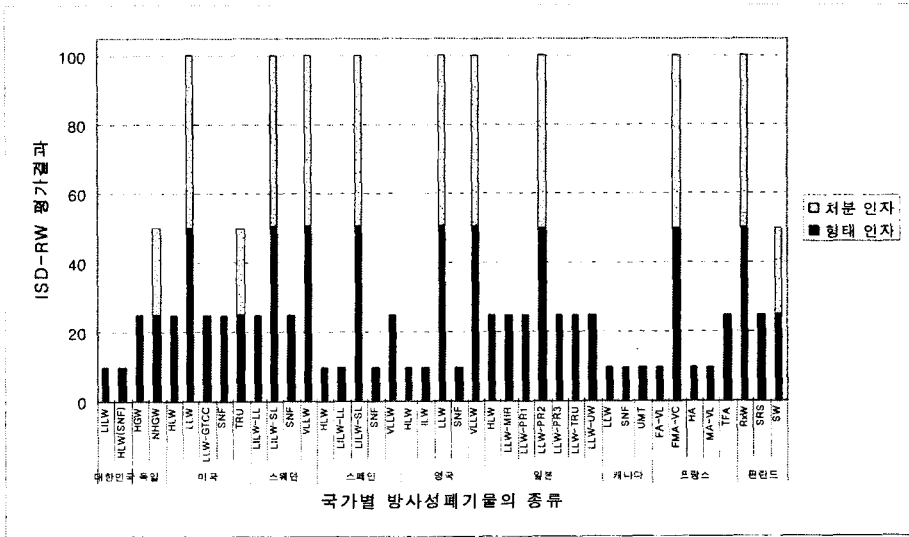


그림 3. 각국의 ISD-RW 평가결과

2. ISD-RW 제고방안

가. 처분안전성에 근거한 방사성폐기물관리

영구처분을 중저준위폐기물의 최종적인 관리단계로 정의하고 있으나 아직까지 관련부지를 확보하지 못하고 있는 국내 상황을 고려할 때, 처분요건에 부합하는 형태를 갖도록 폐기물을 처리하여 저장함으로써 형태인자를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 현재 국내 원자력 이용시설에서 발생되어 저장중인 대부분의 중저준위폐기물은 일반적인 처분요건과 부합하는 것으로 평가되지만, 일부 폐기물의 경우 처분안전성 측면에서 추가적인 처리가 필요할 것으로 예상된다. 이와 관련하여 현재 부분적으로 적용되고 있는 파라핀(Paraffin)을 이용한 안정화(Stabilization) 처리방법, HDPE(High Density Polyethylene) 재질의 폐수지 저장용기 등에 대한 처분안전성 측면의 적합성에 대한 재검토 등을 고려할 수 있다[6]. 물론 세부 처분요건은 향후 결정될 국내 처분부지의 조건과 처분시설의 설계와 연계되어 도출될 것으로 예상되지만, 저장단계에서 국제적인 안전기준에 근거한 기본적인 처분요건을 준용함으로써 형태인자를 제고하고 처분단계에서 요구될 수 있는 재포장/재처리 등의 가능성을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

나. 최종적인 관리단계의 결정

ISD-RW의 구성요소인 형태인자 및 처분인자를 제고하기 위해서는 우선 방사성폐기물 종류별로 최종적인 관리단계에 대한 정의가 선행되어야 한다. 국내 원자력관계법령에서는 사용후핵연료를 방사성폐기물의 일종으로 정의하고 있으나, 아직까지 최종적인 관리단계는 명확하게 정의되지 않은 상태이다. 물론 아직까지 후행핵연료주기에 관한 구체적인 정책결정을 유예하고 있는 상황에서 지질학적 처분을 사용후핵연료에 대한 최종적인 관리단계로 성급하게 결정하는 것은 타당하지 못하지만, 현재 개발중인 고준위폐기물관리법 등과 연계하여 사용후핵연료의 최종 관리단계를 신중하게 결정하되 그 이전까지 ISD-RW의 적용 대상에서 제외하는 방안을 고려할 수 있다.

다. 방사성폐기물 분류체계의 개선

국내 원자력관계법령에서는 방사성폐기물을 중저준위폐기물, 고준위폐기물(사용후핵연료)로 분류하고 있으며, 이러한 분류체계는 처분안전성에 근거한 1994년 IAEA의 표준 분류체계를 반영한 것으로 방사성폐기물관리의 지속 가능성 측면에서 과거 법령체계에 비해 진일보된

것으로 평가된다[7]. 그러나 아직까지 국내 법령에서 별도로 구분하지 않고 있는 혼합폐기물(Mixed Waste), 처분상한치를 초과하는 폐기물(미국의 GTCC에 해당) 등은 처분안전성 측면에서 기타 중저준위폐기물과 구분하여 별도로 고려할 필요가 있다. 최종적인 관리단계 또는 처분요건에 따라 방사성폐기물 분류기준을 세분화함으로써 개별 폐기물관리의 지속 가능성을 보다 구체적으로 평가할 수 있고, 또한 상대적으로 ISDRW가 낮게 평가된 폐기물에 대한 정책방향의 결정에 도움이 될 것으로 기대된다.

V. 결론

최근 방사성폐기물관리는 모든 분야에서 국제연합이 중점적으로 추진하고 있는 “지속 가능한 발전”의 일환으로 논의되고 있으며, IAEA가 제안한 ISDRW는 여러 가지 한계점을 내포하고 있음에도 불구하고 방사성폐기물협약 및 NEWMDB의 적용과 더불어 향후 활용 범위가 점차 확대되어 궁극적으로 각국의 방사성폐기물 관리 체계 및 관행을 정량적으로 상호 비교하는 목적으로 이용될 것으로 예상된다. 우리나라의 방사성폐기물 관리에 대한 지속 가능성 지표는 주요 원자력 선진국에 비해 상대적으로 낮은 수준으로 평가되었으며, 이는 방사성폐기물 분류체계가 단순하고 아직까지 처분안전성에 대한 고려가 미비함에 기인하는 것으로 분석되었다. 이와 관련하여 우리나라의 ISDRW를 제고하기 위해서는 향후 (1) 처분안전성에 근거한 방사성폐기물관리, (2) 사용후핵연료의 최종적인 관리단계에 대한 정책결정, (3) 방사성폐기물 분류체계 개선 등이 필요한 것으로 나타났다. 앞으로 국내 방사성폐기물 관리사업은 국제적인 지속 가능한 발전방향과 부합하고 ISDRW를 증가시키는 방향으로 추진되어야 할 것이며, 관련 정책의 수립 및 이행과정에서도 지속 가능성 지표에 대한 사전 검토 및 주기적인 비교평가가 요구된다. 이와 관련하여 현재 과학기술부의 원자력연구기반확충사업으로 개발되고 있는 “방사성폐기물 안전관리 통합정보시스템”에 ISDRW의 평가 및 관련 데이터 관리기능을 확보하는 방안을 적극적으로 검토할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구기반확충사업 중 “방사성폐기물 안전관리 통합정보시스템의 구축 및 운영” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. United Nations, Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, 2001.
2. International Atomic Energy Agency, Radioactive Waste Management Profiles - a Compilation of Data from the Net Enabled Waste Management Database(NEWMDB), No. 5, 2003.
3. G.W. Csullog et al., “The Net Enabled Waste Management Database in the Context of Radioactive Waste Classification”, International Conference on Issues and Trends in Radioactive Waste Management, Dec. 9-13, Vienna, 2002.
4. National Reports for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management (from Canada, the United States, France, the United Kingdom, Finland, Sweden, Spain, the Federal Republic of Germany, Japan, Republic of Korea), 2003.
5. Yasuo Nakagami, “Waste Management Program in JNC and its Contribution to National Program”, PBNC, China, Oct. 21-25, 2002.
6. 정재학, 정찬우, 안상면, 전제근, 김기인, 김홍태, 박원재, “주요 핵종별 규제해제기준(안)의 도출 및 기타 방사성폐기물의 안전관리 체계에 관한 고찰”, 방사선안전평가 심포지움, 2002.
7. 조건우, 장시영, 정재학, 이두희, “[해설] 방사선량 등을 정하는 기준 제정/공포에 따른 후속조치”, 원자력 안전, Vol. 11, 한국원자력안전기술원, 1999.