creative commons
COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000263932

2013년 8월

석사학위논문

URL시설 확보를 위한 부지선정요건 분석

조 선 대 학 교 대 학 원

원자력공학과

정 민 영

URL시설 확보를 위한 부지선정요건 분석

A Study on the Analysis of the Selection Requirements of a Site for Securing the URL Facilities in Korea

2013년 8월 23일

조 선 대 학 교 대 학 원

원 자 력 공 학 과

정 민 영

URL시설 확보를 위한 부지선정요건 분석

지도교수 송 종 순

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2013년 5월

조 선 대 학 교 대 학 원

원자력공학과

정 민 영

정민영의 석사학위논문을 인준함

위원장　조선대학교　교수 김 진 원 (인)

위　원　조선대학교　교수 이 경 진 (인)

위　원　조선대학교　교수 송 종 순 (인)

2012년 5월

조 선 대 학 교　대 학 원

목 차

표 목차 ····· iii
그림 목차 ····· iv
ABSTRACT ····· v

제 1 장 서 론 ····· 1

제 2 장 처분안전성 규제 요건 체계 ····· 2
제 1 절 국제적 안전기본원칙 ····· 2
1. ICRP ····· 2
2. IAEA ····· 3
3. NEA, OECD ····· 8
제 2 절 처분안전성 규제 요건 ····· 9
1. 인체보호를 위한 위험도·선량 기준 ····· 9
2. 성능기간의 시간 범위 ····· 12

제 3 장 처분안전성 확보 개념 ····· 15
제 1 절 심지층처분 개요 ····· 15
1. 심지층처분개념 ····· 15
제 2 절 다중방벽의 기능 ····· 17
1. URL시설의 격리기능 ····· 17
2. 지연기능 ····· 18
3. 희석 및 분산 기능 ····· 19

제 4 장 다중방벽의 지질환경 요건 체계 ····· 20
제 1 절 다중방벽 성능 영향 요소 ····· 20
제 2 절 지질환경 요건 체계 ····· 22
1. 지질환경 관련 인자 ····· 26
2. 지질환경 적합성 지표 ····· 22
3. 기술지침 개발 지표 ····· 28

제 3 절 URL시설 부지요건 구성 ····· 31
1. 장기지질안정성 요건 ····· 31
2. 지형 ····· 34
3. 지표수문 ····· 36
4. 토질 및 암종 ····· 36
5. 지질구조 및 단열(대) ····· 38
6. 암석역학 ····· 40
7. 열적특성 ····· 41
8. 수리지질 ····· 42
9. 지구화학 및 이송특성 ····· 43
10. 핵종이동 ····· 44
11. 생태학적 특징 ····· 45
12. 천연자원보호 ····· 45
13. 기상 ····· 46
14. 건설, 운영 및 기타 ····· 47

제 5 장 결론 및 제안 ····· 49

【참고문헌】 ····· 50

표 목 차

표 2.1.1 안전표준(safety standard)의 구성 ····· 5
표 2.1.2 IAEA 안전성확보 기본원칙의 구성 체계 ····· 6
표 4.2.1 심지층처분장 부지요건의 구성 ····· 23
표 4.2.2 천연방벽의 처분요건 구성 ····· 24
표 4.2.3 지질환경요건에 적용되는 세부 항목 ····· 25
표 4.2.4 다중방벽성능에 영향을 미치는 지질환경 요건 체계 (안) ····· 26
표 4.3.1 화산활동 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 32
표 4.3.2 지진활동 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 32
표 4.2.3 단층운동 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 33
표 4.3.4 융기 및 침강 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 33
표 4.3.5 기후변화 및 해수면변동 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 34
표 4.3.6 지표지형 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 34
표 4.3.7 함양영역의 지표수체 ····· 35
표 4.3.8 배출영역의 지표수체 ····· 35
표 4.3.9 지표수문 환경 사건 영향 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 36
표 4.3.10 토층분포 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 37
표 4.3.11 암석분포 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 37
표 4.3.12 소성전단대 및 단열분포 특성 관련 처분장 부지 지질환경 요건 (1) ····· 38
표 4.3.13 소성전단대 및 단열분포 특성 관련 처분장 부지 지질환경 요건 (2) ····· 39
표 4.3.14 광역규모 주단열대 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 39
표 4.3.15 국지규모 주단열대 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 40
표 4.3.16 암석역학특성 관련 처분장부지 지질환경요건 ····· 41
표 4.3.17 암석의 열적특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 42
표 4.3.18 처분장 모암의 수리지질 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 43
표 4.3.19 처분장 모암의 지구화학 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 44
표 4.3.20 처분장 모암의 핵종이동특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 45
표 4.3.21 처분장부지의 생태학적 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 45
표 4.3.22 처분장부지의 천연자원보호 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 46

표 4.3.23 처분장부지의 기상특성 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 47
표 4.3.24 처분장부지의 건설 및 운영 관련 처분장부지 지질환경 요건 ····· 48

그 림 목 차

그림 2.1.1 IAEA Safety Standard의 구성 체계 ····· 6
그림 3.1.1 심지층처분시스템 ····· 16
그림 4.1.1 URL시설 개발을 위한 업무수행 과정 ····· 21

ABSTRACT

A Study on the Analysis of the Selection Requirements of a Site for Securing the URL Facilities in Korea

By Jung, Min Young
Adviser : Prof. Song, Jong Soon, Ph. D.
Department of Nuclear Engineering,
Graduate School of Chosun University

Recently in few developed countries, the construction of radioactive waste processing facility is conducted with along the build of URL installation. In Korea, KURT(KAERI Underground Research Tunnel) has been established in a 1st step since late 2006, and some studies have done on the purpose of developing and demonstrating the independent high-level waste processing facility

Due to the increase of radioactive waste from nuclear power generation, Korea has been building the radioactive waste processing facility, thus for adequate technology development, the need to extension of URL installation and additional construction has reached.

Considering the scale and depth in 1st step of KURT facility, further study is not feasible, therefore in order to prove the safety of substantial treatment system, there should be secured geological expected depth. Also, considering the long period to prove the safety of treatment system, there should be secured space for underground research facility at the proper time of waste processing program.

It is urgent to procure the underground research facility of waste processing facility's expected depth because the optimal procedure of long-term proof test and waste processing system, studied on underground research facility, should be conducted before the construction of waste processing facility.

Moreover, the secure of safety, reliability on facility, and objective accommodation have the most importance, because it is the facility for supporting

the developing program of radioactive waste processing facility. It states the necessary contents for procuring the space by verifying the validity on the base of deduction for the detailed requirements of rock and bedrock should be done for space of URL installation. Following are the contents that are stated about domestically adjustable requirements on the space of URL environment ; System of regulation on disposal safety, function and prerequisite of natural barrier, analysis on current foreign URL requirements.

The purpose of the research is to analyse the case of developed countries and related nations in order to deliberately consider the prerequisites of extension of URL facility with along the further construction. It is to contribute on estimation on determining the space of henceforward URL extension or construction, by effectively conducting the study with reduction on time and cost.

제 1 장 서 론

방사성폐기물 처분분야에서 지하처분 연구시설(Underground Research Laboratory, URL)이라 함은 방사성폐기물 처분시설 개발 프로그램을 지원하기 위한 제반 행위로서 처분시스템의 현장실증시험, 예비안전성평가, 처분장 건설 및 운영 엔지니어링 기술실증, 지하심부 지질특성 조사기술 개발, 전문가 양성, 대국민 교육홍보 등이 종합적으로 이루어지는 시설이라고 OECD/NEA, 2001에 정의하고 있다.

현재 몇몇 선진국에서는 방사성폐기물 처분장 건설과 더불어 URL시설을 구축하고 있으며, 우리나라 또한 독자적인 고준위폐기물처분시스템 개발 및 실증을 목적으로 2006년 말 건설된 KURT(KAERI Underground Research Tunnel)을 1단계 건설하여 일부 연구를 수행하고 있다. 원자력발전으로 인한 방사성폐기물이 늘어나고 있는 시점에서 우리나라는 방사성폐기물처분장을 건설하게 되었으며, 이에 따른 국내에 적합한 기술개발을 위한 URL시설의 확장 및 추가건설이 필요한 시점에 다다르게 되었다.

본 연구개발의 목적은 URL시설의 확장 및 추가건설에 따른 부지선정을 위한 조건을 선진국들과 처분연구 관련 국가들의 사례를 바탕으로 분석하였다. 향후 URL의 확장 또는 건설에 따른 부지선정 평가에 있어서, 시간 및 비용의 절감과 효율적인 업무수행에 기여하고자 한다.

URL은 일반적으로 3가지로 구분하고 있으며, 우리나라의 KURT의 경우 소규모의 Purpose Built Generic 지하연구시설로 분류가 되며 1단계 건설을 하여 일부 연구를 수행하고 있다. 하지만 현재의 1단계 KURT 시설에서는 규모 및 심도를 고려할 때 기초적인 연구 수준을 벗어날 수 없는 단계이므로, 실질적인 처분시스템 안전성 실증을 위하여 처분장 예상심도의 지질환경 확보가 필요하다. 또한, 처분 시스템 안전성 실증에 장기간 소요되므로 처분장 개발 프로그램의 적기에 지하연구시설 확보가 필요하다. 이러한 지하연구시설에서 이루어지는 장기적인 실증시험 및 처분시스템 최적화 과정은 처분장 건설 전에 마무리 되어야 하므로 조기에 처분장 예상심도의 지하연구시설을 확보하는 것이 시급하다.

또한, 방사성폐기물처분시설 개발 프로그램을 지원하기 위한 시설이기에 안전성확보와 시설에 대한 신뢰성과 객관적인 수용성이 매우 중요하며, URL시설의 부지가 갖추어야 할 암석 및 암반의 조건과 이에 따른 세부 조건을 도출하여 이를 토대로 타당성을 검증하여 향후 부지 확보 결정에 필요한 사항을 서술하였다.

제 2 장 처분안전성 규제 요건 체계

제 1 절 국제적 안전기본원칙

1. ICRP

국제방사선방호위원회 (International Commission on Radiological Protection: ICRP)는 최종처분을 위한 최적 방사능방호 기준에 대하여 선량·위험도(dose·risk) 한도치를 1mSv/yr 및 10^{-5}/yr으로 제안하였다. ICRP(1991)에 의해 제기된 적정 방사능방호에 대한 권고에서, 일반 방사능방호 기초를 제안하였으나 이전의 제안치를 대신하지는 않았다. UN의 Rio Conference[1]의 결과를 수용하여 ICRP 77을 제안하였다. 여기서 처분의 장기안전성 확보를 위한 평가기준치로서 dose·risk 기준치를 0.3mSv/yr 및 10^{-5}/yr으로 제안하고, 잠재 노출선량의 최적화, BAT(Best Avaliable Technique)의 사용, 그리고 후세대의 방사선방호 요건 등을 제안하였다. 그 후, ICRP 81 에서 ICRP 77의 선량·위험도 한도치를 0.3mSv/yr 및 10^{-5}/yr으로 확인, 제안한 바 있다.[2] 선량·위험도 한도치는 시간 규모로 1,000년~10,000년 동안에 해당하는 값에 대한 정량적인 수준으로 간주한다. 이 시간 규모를 초월한 값은 오로지 참고 값으로만 간주하여야 한다. 처분장의 장기안전성평가를 위한 ICRP의 접근방법에 대하여 추가적으로 아래와 같은 세부 원칙들을 포함한다.

(1) constrained optimization: 최적화 강화
(2) technical and managerial principles: 기술 및 관리의 기본원칙
(3) defence in depth: 신뢰성 높은 안전성 입증
(4) quality assurance: 품질보증
(5) iterative safety assessment: 반복수행 개념의 안전성평가
(6) a safety case: 안전사례 확보 및 제시
(7) multiple line of reasoning: 논리적 입증의 다양성 확보
(8) stepwise approach: 단계별 접근 개념

최종처분에 대한 2006 및 2007의 최근 권고치는 ICRP 81의 권고사항에 대하여 강화

되고 이를 확인하는 차원이다. ICRP 103은 향후 선량 한도에 대하여 보호 및 저감을 목표로 반복 수행 방법에 의해 방호에 관한 최적화를 제시하였다. 보호의 최적화는 선량 한도치의 최소화를 의미하는 것이 아니고, 수 백 년 동안 선량 한도치는 처분시스템에 의해 적절하게 유지되어야 하는 기준을 나타내는 것이다.

2. IAEA

방사성폐기물은 원자력과 방사성물질을 이용하는 한 이와 관련 시설에서 발생하는 불가피한 우리 세대의 부담이다. 이러한 폐기물의 잠재적인 위해성으로부터 인류보건과 환경의 보호는 수용 가능한 수준으로 최대한 저감시킬 수 있도록 관리되어야 한다. 방사성폐기물의 안전관리 책임은 “사용후핵연료 및 방사성폐기물 관리의 안전성에 관한 공동회의”의 결과를 통하여 이해를 같이하고 체계화되었다[3]. 모든 방사성폐기물관리 행위에 적용되는 안전성확보를 위한 안전기본원칙(Safety Fundamentals)은 IAEA RADWASS Safety Fundamentals에 의해 확립되었다[4].

가. IAEA의 안전 표준

방사성폐기물 처분안전성과 관련한 제규정의 체계 구축을 위한 최초 안전표준 관련 지침은 SS-99(IAEA, 1989)에서 후세대에 대한 부담 해소와 제도적 관리에 대한 독립적인 접근방안에 대하여 정의하였다. 최종처분을 위한 선량·위험도 상부 한도치로서 기본적인 안전기준을 제시하였다. 후세대를 위한 당해 세대의 책임은 후속 IAEA의 안전관련 기술기준의 원초적인 요구조건으로 자리를 잡았으며, Safety-fundamentals 111-F(IAEA, 2006)에서 기본원칙을 제시하였다. 세부 사안으로 후세대 보호, 후세대에 책임부담 전가 지양, 세대간 평등, 그리고 인간 및 자연환경의 보호/보전 등에 대하여 정의하였다. 한편 Joint Convention에서 후세대에 대한 책임에 관한 기본 요구조건으로 개인, 사회 및 환경 등에 대한 효율적인 보호를 위한 요구조항이 제기되었다[3]. 그리고 현세대에서 허용된 기준보다 높은 수준으로 예상되는 영향들을 야기하는 행위를 지양하는 내용들이 포함되었다.

최근, IAEA Safety Standard WS-R-4 에서 국제적 및 국가적 차원의 안전보호 목표 수준과 “안전사례(Safety Case)” 등, 장기적 안전성 입증 부문에 대하여 강조하였다[5]. 즉, 확고하고 엄격한 요구조건으로 사회 및 경제적 요소를 고려한 안전성확보 접

근방안을 제시하였다. 폐쇄 후 장기간 동안의 안전성평가에 있어서, 선량이나 개인위험도 측면보다는 안전성 지표로서 요구된다. 이외에 요구조건들은, 적정 처분장 부지확보(Siting) 및 설계, 적정 수준의 신뢰성을 갖는 단계적 정책결정, 효율적인 관리체계, 다중안전성기능의 적용, 그리고 전반적인 "안전사례" 내에서 안전성평가의 문서화 등에 대하여 권고하였다. 이와 같은 시기에 발간된 안전기본원칙, Safety Fundamentals SF-1 에서 정부·규제기관이 기술적 및 관리측면의 권한 등을 확실하게 정의하도록 강조하였다[6]. 따라서 IAEA의 방사성폐기물처분을 위한 국제적인 안전표준은 미래세대의 보호에 관한 현안과제가 기본원칙을 구성하는 핵심 사항이다.

IAEA Safety Standard Program은 표준화된 전체 문건들을 보완 개정 및 체계적 접근과 그리고 감시감독위원회 조직의 개선 차원에서 1990년대 중반에 출발하였다. 원자력 및 방사선 안전에 대한 규제행위는 국가책임으로 이루어지며, 자국의 규제 확립을 위해서 IAEA의 Safety Standard를 근간으로 접근하고 있다. 전력, 의료, 산업, 농업, 연구 및 교육 등의 분야에서 원자력 및 방사선 안전을 강조, 강화하기 위해 설계, 제조 및 운영 전반에 적용된다. 안전표준(Safety Standard)은 안전기본원칙(Safety Fundamentals), 안전기본요건(Safety Requirements) 및 안전세부지침(Safety Guides)으로 구성되어있다.

표 2.1.1 안전표준(safety standard)의 구성

구분	내용
안전기본원칙	- 원자력의 평화적 이용을 위해 관련 분야의 개발 및 적용에 관련된 안전 및 방호 등에 관한 기본목표, 개념 및 기본원칙에 대한 정의
안전기본요건	- 안전기본원칙의 목표 + 기본원칙에 의해 정의 - 후세대의 인간과 자연환경 보호를 위한 일관성 유지 - 일반안전요건과 세부안전요건으로 분류 - 안전기본요건은 자국의 규제 체계에 준하여 구축 - 안전성확보를 위해 지켜야 할 요구조건들을 확립, 기술
안전세부지침	- 안전기본요건을 지키기 위한 제안 및 지침 대안 정의, 제공 - 사용자들이 높은 수준의 안전 수준을 달성하는데 도움이 될 가장 우수한 사례들을 바탕으로 제안. - 제반 행위, 조건 혹은 절차 등에 관하여 구체적으로 정의.

이러한 IAEA 안전표준은 회원국들에 대하여 강제 사항은 아니지만 일반적으로 자체 정책방향 및 규제내용 확립에 근간으로 수용하고 있는 실정이다. 이외에 원자력 업무의 안전과 방호 등에 관련한 보고서류들로서 IAEA safety report (안전성 보고서)들은 우수사례에 대한 내용과 “안전기본요건”들을 충족시키기 위해 적용한 실제적인 적용사례와 세부적인 방법론에 대하여 정보를 제공한다.

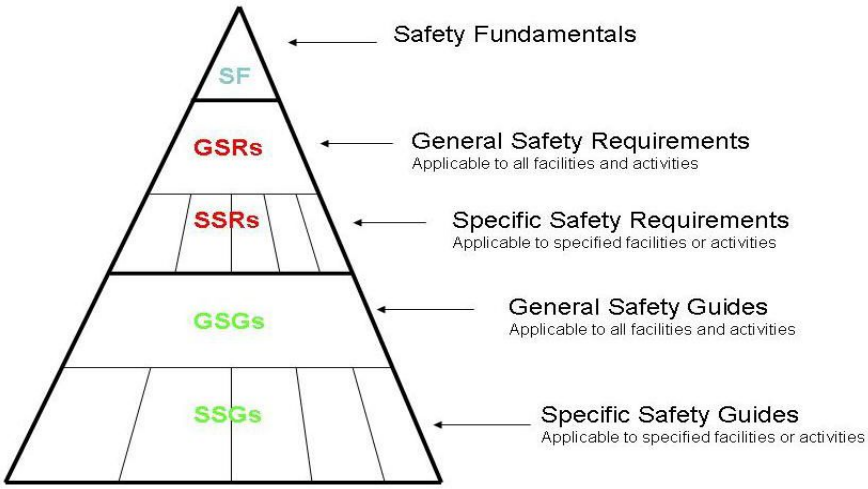
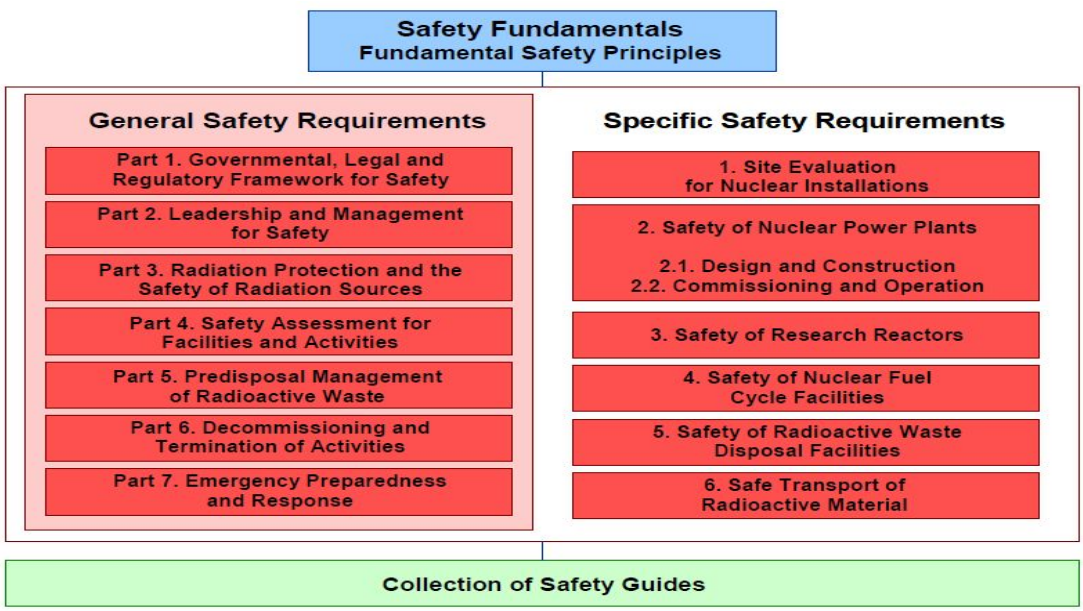


그림. 2.1.1 IAEA Safety Standard의 구성 체계

표 2.1.2 IAEA 안전성확보 기본원칙의 구성 체계



나. 안전기본원칙

IAEA는 방사성폐기물의 안전관리를 위해 “안전기본원칙”(Safety Fundamentals)의 “안전세부원칙”(Principles of Radioactive Waste Management)을 제정하여 회원국들의 자국내 제반 관리 규정 확립에 기본 철학으로 반영토록 제안하였다[4]. 안전성확보 기본원칙의 목적에 포함되는 대상은 모든 시설 그리고 이와 관련 행위, 시설 혹은 방사선선원의 운영 전과정(계획, 부지확보, 설계, 제조・제작, 건설, 운영, 해체, 폐쇄등)에 적용한다. 또한 방사성물질의 운반 및 폐기물관리 등에 수반되는 업무도 포함된다. 국제적으로 수용하는 방사선 안전표준은 이온화방사선에 대한 보호 및 방사선 선원의 안전 등을 위해 국제적 “기초안전표준(Basic Safety Standards)이 확립되었으며, 이는 ICRP의 권고에 따라 정의되었다[4].

심지층처분은 지하심부에 설치한 발열폐기물을 포함한 고체방사성폐기물의 처분과 관련하여 정의된 내용이다. 또한 사용후핵연료 및 이의 재처리과정에서 발생한 고준위폐기물, 그리고 장주기성 고농도핵종과 대규모 발열폐기물 등을 포함한다. 이들 폐기물들의 특성은 수 천 년 동안 뚜렷한 방사선 위해성을 일으키며, 일정기간 동안 지표 혹은 지하 천부의 저장시설에서 능동적 관리를 통해 관리가 가능하다. 세부기본원칙 9개 조항[4]은 다음과 같다.

(1) Principle 1: Protection of human health(인간 건강 보호)
(2) Principle 2: Protection of the environment(환경보호)
(3) Principle 3: Protection beyond national border(주변국가의 안전 보장)
(4) Principle 4: Protection of future generations(후세대 보호)
(5) Principle 5: Burdens on future generations(후세대에 부담 전가 지양)
(6) Principle 6: National legal framework(자국의 규제체계 범위내에서 관리)
(7) Principle 7: Control of radioactive waste generation(방사성폐기물의 발생량 최소화)
(8) Principle 8: Radioactive waste generation and management(방사성폐기물의 발생 및 관리 업무의 상호 연관성 유지)
(9) Principle 9: Safety of facilities(방사성폐기물 관련시설의 안전성 유지관리

3. NEA, OECD

NEA의 방사성폐기물관리위원회(Radioactive Waste Management Committee: RWMC)는 현안문제를 명확하게 정리하기 위해 실무그룹으로 하여금 방사성폐기물의 최종처분 및 이의 수용에 관한 요구조건을 개발하였다. 이 과업에는 규제자, 정책입안자, 사업자, 및 연구기술개발 등의 분야의 담당자뿐만 아니라 광범위한 분야의 이해당사자들과 대화를 통하여 참여토록 하였다. NEA의 다양한 실무그룹과 위원회에서 노출선량과 위험도 보다 처분 안전성·성능을 나타내는 인자·지시자가 처분시스템의 설계를 위한 기본 정보 제공과 함께 상이한 성능기간 시간범위체계에 적용되고 사용되어야 한다는 결론에 도달하였다[7].

안전성입증 방안으로 안전사례의 중요성을 인식하고 Cordoba workshop에서 이를 논의한 바 있으며 이 실무그룹회의에서 주요 안건은 장기안전성 현안문제와 규제자 및 사업자 사이의 대화, 규제측면의 평가체계, 장기안전성 확보에 대한 목적 및 기준, 그리고 규제 요건을 만족하는 입증방법 등에 대하여 논의하였다.

Cordoba workshop 이후 안전사례에 대한 제반 업무의 개발과 발전은 지속적으로 추진되어 상당한 수준의 결과를 도출하였는데 정성적인 평가와 자신감 강화에 대하여 자연유사뿐만 아니라 안전성평가 결과와 이 결과에 대한 자신감·신뢰성 등을 포함하는 논쟁의 선택·결정 등으로 “안전사례”에 대하여 정의하였으며[8], 2000년도에는 방사성폐기물처분장의 종합안전성평가에 대한 규제 차원의 검토·심사 과정에서 취득한 규정 및 업무수행에 대한 경험들을 검토한 결과로부터 얻은 교훈들을 정리하였다. 이를 토대로 향후 규제·규정 측면에서 정책결정에 도움이 되도록 권고안을 제시하였다[9].

안전사례는 지층처분시설의 안전성확보와 이에 대한 신뢰도·자신감 안전성에 대하여 설명하고, 정량화 및 입증·실증하는 등의 논의와 증거들의 종합하는 과정과 결과로 정의되었다. 단계별 추진체계 내에서 다양한 대안에 대한 정책결정 과정에서 상이한 의견을 가지고 있는 다양한 분야의 이해당사자들의 참여를 증대·확대시키도록 요구되었다.[10, 11]

안전성 입증 시간규모의 적용은 안전사례의 개발에 핵심적인 역할을 하는 요소이다. NEA의 다양한 실무그룹과 위원회에서 “상이한 시간 규모 혹은 상이한 시간규모 체계에서 논의에 대한 상이한 분야(different lines of argument at different times or in

different time frames)"의 적용에 대한 토의를 시행하였다. 토의 과정을 통해서 노출선량과 위해도 보다 처분의 안전성 및 성능을 나타내는 인자·지시자가 상이한 시간 규모체계에 적용되고 사용되어야 한다는 결론에 도달하였다.

안전사례의 개념은 세계적으로 널리 수용하게 된 방사성폐기물관리 프로그램에 의해 더욱 잘 이해되고 수용, 적용되었다. 방사능 노출선량과 같은 용어로 표현되는 수치적인 결과 보다는 다른 차원의 개념으로 안전성확보에 기여하고 규제 요건을 만족하는 환경으로 자리를 잡게 되었다.

장기적 안전성의 규제차원의 요구조건에 관한 Cordoba 결의 후 10년 동안의 규제측면의 개발 현황에 대한 Workshop Proceeding에서 확인된다[12]. 이 실무회의에서 제기된 사항으로서, 장기적 시간규모의 한계성과 지질환경 관련한 과학기술적 측면과 사회문화적 측면에 근거한 상이한 시간 구조의 존재 등에 대하여 논의되었다. 기타 주요 사항으로: 신뢰성구축; 단계적 접근방법; 최적화 및 수용가능한 최적기술(best available techniques: BAT); 오로지 정의된 기간을 위한 수치적 기준; 그리고 보조적 수단으로 적용하는 인자 등에 대한 내용이 포함된다.

제 2 절 처분안전성 규제 요건

ICRP 권고, IAEA의 안전표준 그리고 NEA의 다양한 유형의 문헌 등에 의해 지층처분 개발 절차가 병행 구축되었다. 수많은 질의와 토의, 실무자 회의, 그리고 주요 현안에 대한 검토과정을 거쳐 최종적으로 국제적 및 국가적 차원의 공감대를 토대로 하는 접근방안이 확립되었다. 이와 같은 일련의 검토과정을 거쳐서 Cordoba workshop (1997)에서 상당한 의견의 일치를 이룬, "안전사례(Safety Case)"는 처분장의 장기안전성 입증을 위한 주요 현안과제로 위상을 확립하면서 지속적으로 보완 및 정리되었다. "안전사례"의 개념 개발은 처분장개발 업무와 관련하여 다양한 이해당사자 사이에 지속적으로 확산되어 관심의 대상이 되었다.

1. 인체보호를 위한 위험도·선량 기준

Cordoba workshop에서 선량 계산치의 역할과 적용 가능성, 소위 안전성확보 기준치로 정의되는 수치적 평가결과에 대하여 규제기준으로서 광범위하게 논의된 바 있다.

논의 내용은 다음과 같다

(1) 선량·위험도와 같은 지시자의 적절한 선택과 관련 기준, 적용 표준 사례 및 척도
(2) 관련 기준의 적용에 대한 강제 기준과 안전성 관련 기타 논의와의 상관관계
(3) 기준 적용을 위한 시간 개념에 대한 의문점과 문제점

선량과 위해도 두 가지 측면에서 지시자의 선택에 있어서, 위해도는 기본적으로 한 층 더 근본적인 개념으로서 선량치에 비해서 기준으로서 적용이 보다 더 적합하다. 방사성폐기물처분의 분석에 관한 한 잠재적인 노출의 최종적인 추정치이며 노출의 발생 가능성 변화 정도가 다양하기 때문인 것으로 이해된다. 하지만 위해도 개념은 이해하기 어렵고 먼 장래의 특정 사건에 적용 시 큰 불확실성의 표출 가능성 등 난관이 많다. 진화시나리오와 가장 흡사한 경우에 대한 주요 지표/기준으로서 선량치를 사용할 것을 권고하였다. 위해도에 대한 두 가지 성분 즉, 발생확률과 그 결과에 대한 더 좋은 견해를 수용하기 위하여 확률과 이의 결과형태로 분해되어야 하는 불확실성 시나리오에 대하여 위해도를 고려할 것을 권고하게 되었다.

ICRP는 자연현상에서 발생하는 노출선량 혹은 위해도 평가 결과는 0.3mSv/yr 이내 혹은 10^{-5}/yr으로 각각 제안하였다[2]. 이와 동시에 건강의 손상방법에 따른 노출선량과 위해도는 수 백 년 후의 미래 시점에 이르는 기간에 대하여 어떠한 확실성도 예측·제시할 수 없음을 지적하였다. 그 대신에 보다 장기간에 대한 노출선량과 위해도의 추정은 적절한 기준을 토대로 비교함으로써 제시할 수 있음을 명시하였다. 이러한 비교는 현재의 처분시스템의 이해 범위 내에서 처분장이 수용 가능한지 여부를 특정 지표에 대하여 시험으로 비교하는 개념이다. 그러한 추산법은 미래 시점에서 인간의 건강에 손상의 예측치로 간주되지 않아야 한다. Cordoba workshop의 결론 또한 ICRP와 같이 위해도 분석의 경우, 잠재적인 노출선량과 관련 확률에 대하여 분리 해석 방법을 권고하였다.

NEA RWMC의 규제 포럼에 의해 진행된 검토과정에서, 회원국들이 사용하는 규제 기준들 중, 기준 수치의 범위가 2승에 달하는 뚜렷한 차이점을 발견한 바 있다[14]. 노출선량, 위해도, 노출선량-위해도 병용, 그리고 기타 기준 값의 범위 등 기준의 다양성을 확인하였다. 기준치들은 자국의 특성(제한적 특성, 목표, 제약성) 등의 특성에 따라서 도출되었다. 그러나 이들 수치들은 기준이 자국에서 사용되는 기준보다 훨씬 낮은

수준의 실제적인 방사능 노출로 인한 원인으로 보다 덜 위험한 경고로 간주된다.

진화하는 “안전사례” 개념과 잘 일치하는 기준치를 만족하는 수준 이상의 현안문제에 대한 규제기준들은 증가하고 있다[5, 6, 10, 15]. 완벽한 부지확보, 설계, 설비관련 기술, 최적화 현안, 수용 가능한 최고기술, 그리고 적절한 관리 기본원칙・시행 등 다양한 업무 내용과 현안에 따라서 만족도 평가의 특정 항목에 대한 상대적인 중요성이 강조되어야 한다. 모든 안전성관련 보고서는 이러한 현안문제들에 대하여 상당한 비중을 할애하여 권두에 이를 기술, 주장하고 있으며, 또한 많은 규제 규정 및 지침 문서들이 최근에 개발 및 검토・개정되었다. 하지만 다양한 요소들을 고려한 복잡한 접근 방식이 보다 더 합리적인 결과를 도출하게 될 것이다.

근래 국가차원의 규제 규정 및 지침에 있어서 “복합적 요소(multiple factors)” 혹은 “복합적 방법의 증거 제시(multiple lines of evidence)”에 대한 요구가 확립되었다:

(1) 핀란드(STUK, 2001): “Design principles” 규정 (STUK, Finnland), 초기단계에는 노출선량 한계기준, 후기단계에는 핵종유량율에 대한 기준 제시
(2) 스웨덴(SSI, 2005): BAT(best available technique)에 대한 요구조건
(3) 캐나다(CNSC, 2006): “신뢰성 구축차원의 논의(confidence-building argument)” 및 “추가적인 다양한 논의에 의해 수행한 안전성평가를 포함하는 안전사례 개발” 요구
(4) 스위스(HSK, 2008): 전반적인 안전성평가를 위해 지원하는 논의에 대한 요구사항을 강조, 안전성분석 방법론 및 사용 자료의 평가 업무 포함.
(5) 영국(EA, 2008): 개정 지침에서 증거의 다양성에 입각하여 원인에 대한 multiple line의 사용을 요구하고 있다. 또한 방사선 선량, 핵종이동률, 핵종이동시간, 환경에서 농도 및 방사능 독성 등을 포함하는 환경에서 안전사례를 강화하는데 적용해야 하는 환경안전성 관련 지표의 예제 등의 사용을 요구하고 있다.

매우 장기간의 시간규모를 만족하는 환경안전이 보장되어야 한다. 보조적인 환경안전 관련 논의 사항을 야기하는 다양한 증거들을 근거로 하는 원인 제공에 대한 복수접근 방법으로 달성하여야 한다는 것으로 이해된다. 즉, 다양 수준의 기준치에도 불구하고, 규제자를 포함한 모든 사회집단에서 현안과제를 해결하는 안전사례의 다양성과 진화 특성에 대한 상식적 이해가 전제되어야 한다. 따라서 비록 규제 체계가 국가에

따라 상이 하더라도 실제의 규제 사례들은 어느 정도 범위 내에서 크게 차이가 나지 않는다는 사실로 이해하게 된다는 것이다.

2. 성능기간의 시간 범위

주요 현안과제 중에서 현재까지 논의가 진행되고 있는 부문은 규제 요건을 만족하기 위한 평가대상 규모의 적용 기준시간(cut-off time: 한계 기준시간)에 대한 사안으로서 일반적인 현안과제는:

(1) 후세대의 보호에 대한 책임에 관한 내용과
(2) 안전사례 혹은 특별한 경우의 처분장 진화에 대한 예측 등의 업무를 수행한 실제적인 인간능력의 한계에 관한 내용

전자의 경우, Joint Convention에서 정의된, “개인, 사회 및 환경은 현재와 미래에서 이온화 방사선으로 인한 위해영향으로부터 보호되며, 미래세대의 역량과 무관하게 현 세대가 추구하는 필요성과 목표가 달성되어야 한다”는 요건은[3] 처분장의 성능을 평가하기 위한 원칙으로 일반적으로 인용되며, 폐기물이 위해한 상태로 나타나는 시점에 대한 안전성 정도와 연관된다. “SF 및 장반감기폐기물의 잠재적 위해성이 시간 경과에 따라 확연하게 감소하더라도, 이들은 근본적으로 결코 무해하다고 해서는 아니된다”는 지적[16]을 수용한다면, 실제적으로 무한시간대 규모에 대한 안전성을 요구하게 되는 것으로 귀결되며, 극단적인 경우 기준 수치 값을 만족해야만 해결될 것이다.

노출선량과 위해성의 계산 자체는 천부 대수층과 생태환경의 진화와 관련한 가정 조건에 따라 크게 좌우된다. 하지만 이들은 수 십 년~수 백 년 기간 정도의 단지 극히 제한된 시간규모 틀 내에서 신뢰성 있는 예측이 가능할 뿐이다[11]. 이러한 예측은 다른 유형의 시스템성분의 장기안전성에 대한 예측에서는 타당하게 그 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다: “적절하게 선정된 부지에서 공학적방벽 시스템과 모암의 광범위하고 개략적인 진화특성은 안전성에 대한 예측을 수 십 만년 혹은 백만년 단위 기간 동안 더 연장하여 합리적인 추정이 가능하게 될 것이다. 공학적방벽 시스템과 모암에 영향을 미치는 불확실성들이 존재하지만, 적어도 신뢰 가능한 범위 내에서 이를 입증할 수 있다.” 이러한 주장은 노출선량과 위해도 대신에 이들 성분에 대하여 직접적으로 관련

된 지표로 사용하도록 제안하지만, 설령 이 방법이 성공적으로 시행되더라도 이상과 현실 사이의 괴리는 소위, “규제측면의 딜레마(regualatory delema)”라는 어려움으로 다가오게 된다.

Cordoba workshop에서 이와 같은 현안문제에 대하여 몇 가지 의문을 제기하였다.

(1) 평가기준 시간(cut-off times)의 어려움에 대한 현실성

(2) 초 장기적 기간에 대하여 핵심적인 정량적 접근으로부터 보다 정성적 접근으로 전환 가능성

(3) 시간규모 및 한계기준시간의 의미와 설명에 대하여 명확한 정의 필요성

이와 같은 이유로, 사실상 오늘날 수많은 규정과 안전사례는 백 만년에 달하는 기간의 시간규모를 제안하고 있다. 아마도 이러한 현안과 관련하여 가장 잘 알려진 진화에 관한 사건은 미국의 경우를 들 수 있는데, EPA 규정[17]에서 10,000년으로 지정한 시간규모를 법원에서 의문을 제기한 경우이다. EPA는 이어서, Yucca Mountain(YM)에서 안전성평가를 위해 1,000,000으로 시간규모를 적용하는 것이 타당하다는 NAS(National Academy of Science) 권고를 기초로 하여 EPA규정을 재검토, 수정한 바 있다[18].

장기안전성 기준에 관하여 NEA와 관련하여 최근의 토의에서[19] Joint Convention 요구조건(폐기물이 위해한 상태로 존재하는 전체 기간에 대한 분석을 요구하는 경우)에 대한 전술한 내용은 적어도 윤리적 측면에서 논쟁의 가능성이 있다. 가장 도덕적인 측면의 주장은 한 세대는 그 후세대에 대하여 책임이 있음을 인식하며, 이러한 견해는 폐기물로 인한 위해도의 영향이 존재하는 한 한계기준시간에 대한 제한은 없다는 것이다. 이러한 절대론자들의 입장은 보다 실용적 측면의 주장에 도전을 받았다. 이러한 논쟁에도 불구하고 미래세대에 대한 책임은 안전보호를 위한 임무는 시간이 경과에 따라 변하지 않는다는 것이다.

불확실성은 시간규모가 길어질수록 증가한다는 사실과 이러한 증가현상은 성분・요소에 따라서 변할 수 있으며, 규정과 안전사례 등의 다양한 방법으로 제기된다. 가장 실질적이고 논리적인 방법에 의한 예측이 비합리적이라고 간주될 때를 제외한, 소위 한계시간규모의 강화 방법을 사용하는 것이다. 예측을 위한 요구는 상당히 단기간에 대하여서 만이 달성 가능한 대수층 혹은 생태계모델을 위해 충분한 규모의 지원이 요구되어야 한다는 의미이다. 대신에 노출선량 혹은 위해도 추정 방법이 수백 년 후의 미래세대에서 건강에 손상을 미치는 방법이 되어서는 안된다는 점에서 공감대를 형성

하고, 대신에 처분시스템에 의해 기대할 수 있는 안전성확보 지표로 검증한다[13].

한계기준시간의 완화방법에 의한 다양한 접근방법 혹은 시간 경과에 따라서 변하는 접근방법으로 대치하는 등의 방법이 있다. 여기에는 윤리관 및 안전성 관련 철학적 개면이 광범위하게 논의된 방법들을 포함한다[19]. 상이한 유형의 정량적인 지표 및 보다 정성적인 논의 등을 가중치 조절에 의해 적용함으로써 시간 경과에 따라 변하게 된다.

제 3 장 처분안전성 확보 개념

제 1 절 심지층처분 개요

1. 심지층처분 개념(Concept of Geological Disposal)

심지층처분시설은 운영 안전성과 폐쇄후 안전성확보 모두를 보장하도록 설계된다. 운영 안전성은 공학적 장치와 운영관리 기술로 해결한다. 폐쇄후 안전성은 공학적 및 천연방벽의 기능에 의존하여 보장된다. 시설의 폐쇄후 감시관리 혹은 제도적관리에 의존하지 않는 수동적관리(passive control)개념이지만, 이는 감시관리 행위가 시행될 필요가 없다는 것을 의미하는 것은 아니다. 제도적관리는 시설의 폐쇄후 일정기간 동안 적용되는 개념으로서, 심지층처분장의 사회적인 수용성에 기여하고 방사선방호 목적으로 하는 특별한 경우에 해당한다.

방사성폐기물관리의 목적은 방사성폐기물을 미래세대에 부담을 주지 않도록 현재 및 미래세대의 인간 및 자연환경을 보호하는 방법으로 관리하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 선호되는 방법으로 모든 유형의 폐기물에 대하여 생태계로부터 방사성폐기물을 격리시켜 집중 관리하는 방법이다. 여기서 생태계의 의미는 인간의 활동으로 침투 및 이용 가능한 모든 지표, 해양 및 지하 영역을 포함하는 환경의 일부 또는 전부를 의미한다.

심지층처분개념은 방사성폐기물의 집중관리와 생태계로부터 격리하는 개념으로 고밀도로 장주기 방사성폐기물을 관리한다는 전략이 최선의 방법으로 인식되고 있다. 고체방사성폐기물처분을 심부지층 처분시설 내에 처분은 본 관리전략 중에서 최종단계에 해당한다. 처분의 의미는 적정 심지층처분시설 내에 재회수 방침 없이 방사성폐기물을 적치하는 방법으로 이해된다. 심지층처분시설은 공학적 및 천연방벽에 의한 수동적보호 기능을 이용하여, 폐쇄후 제도적 감시관리를 고려하지 않고 장기안전성을 보장할 수 있도록 설계된다. 심지층처분개념은 지하 심부환경에 위치하는 방사성폐기물 처분시설에 고체 방사성폐기물의 처분을 고려하는 것이다. 심지층처분개념은 특수한 목적의 동굴, 공학적시설, 기존 공동 및 심부시추공처분 등과 같이 다양한 대안을 포함한

다. 심지층처분개념의 특징적인 형태는 수 백 미터 지하심부에 방사성폐기물을 적치하는 것을 의미한다. 이에 비하여 지표 부근의 천부 지하환경은 천층처분의 다양한 형태로 분류한다. 심지층처분은 목표 기간 동안 방사성폐기물을 완벽하게 격납 및 격리한다는 보장을 할 수는 없으나, 심지층처분의 목표는 크게 4가지로 분류 할 수 있다.

(1) 대부분의 방사능이 감쇄할 때까지 능동적 관리(active control)
(2) 격리효과에 의한 인간의 침투와 같은 예측 불가능한 사건 발생 저감
(3) 장기간 동안 방사성핵종의 생태계로 이동 지연
(4) 최종적으로 방사능 준위가 낮은 상태로 생태계에 미치게 한다는 보장

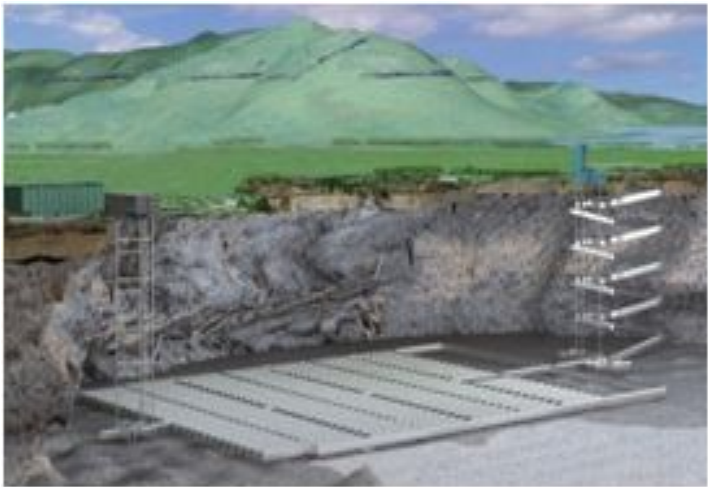


그림 3.1.1 심지층처분시스템

심지층처분의 일차적인 설계 목표는 처분시설 폐쇄 후 장기간 동안 인간보건 및 환경의 보호이다. 이 기간 동안 다중방벽의 풍화 혹은 손괴와 현상·사건·과정(feature, event, process)으로 인하여 방사성핵종의 생태계로 이동 및 이로 인한 인체에 노출이 예상된다. 또한 후속되는 각각의 사건으로 처분방벽의 변질이나 혹은 핵종의 누출을 야기할 수도 있다. 사건 혹은 현상·과정으로 인한 방사선에 노출을 수반하게 될 수도 있는 불확실성 환경하에서, 안전성입증은 이러한 사건들의 발생 확률과 잠재적인 노출 규모 모두를 고려함으로써 달성된다.

안전성확보를 위한 요건으로 기본요건, 환경요건, 안전성요건 및 방호요건 등으로 구분된다. 또한 폐쇄 후 제도적 감시관리 없이 안전성에 필수적인 각 방벽의 기능이 유

지되어야 한다. 처분장부지 및 광역적 체계에 대한 전반적인 이해는 처분시스템에 대한 설득력 있는 과학적·기술적 정의를 확립하여야 하고, 안전성평가에 적용한 체계적이고 기본적인 특성으로 인정될 수 있다. 안전성평가는 처분시설에 의해 수반되는 방사선적 위험성에 대한 체계적인 분석을 이행하는 과정이며, 또한 성능에 관한 전반적인 수준의 정량화, 관련 불확실성의 분석 및 설계 요건과 안전표준의 비교분석 등을 포함한다. 또한 평가 결과에 영향을 미칠 수도 있는 자료 혹은 분석과 같은 과학적인 이해에 있어서 중대한 결함에 대한 규명도 포함한다. 또한 평가 결과에 영향을 미칠 수도 있는 자료 혹은 분석과 같은 과학적인 이해에 있어서 중대한 결함에 대한 규명도 포함한다. 예기치 못한 진화와 사건에 대하여 예상되는 처분시스템의 성능을 분석하여야 하고, 민감도 및 불확실성 분석은 진화 및 사건의 범위 하에서 처분시스템의 성능, 성분을 이해하도록 지원, 수행하여야 한다.

제 2 절 다중방벽의 기능

URL시설의 안전성확보에 영향을 미치는 요소들은 가장 먼저 정의되어야 하는 것이 현안과제이다. URL시설의 안전성확보를 위한 기본원칙은 다중방벽개념에 의한 접근으로 시작이 되며, 우선적으로 방사성폐기물을 인간 및 자연환경으로부터의 격리기능과 핵종이 처분장으로부터 누출되었을 경우 생태계에 이르는 환경에서 충분한 지연기능 등을 확보하는 것이다. 이러한 방법은 처분시스템의 개념적 확립과 처분장 후보부지의 처분적합성에 근거를 두고 접근한다. 처분시스템에서 천연방벽의 기능은 처분시스템의 다양한 성능의 유지에 직·간접적으로 영향을 미치며, 또한 이들 성능의 수준을 결정하는 인자로서 작용한다.

1. URL시설의 격리기능

심지층처분의 1차적인 기능으로서 인간 및 환경으로부터 방사성폐기물을 격리시키는 격리기능으로서 내부식성 재질의 캐니스터에 의해 직접적으로 확보된다. 완충재는 캐니스터의 기능을 유지하도록 부식물질이 캐니스터와 접촉하는 현상을 방지하는 보조 역할을 하도록 계획되었다.

암반은 캐니스터와 완충재에 대하여 역학적, 화학적 안정조건을 제공함으로써 격리

기능을 지원하는 역할을 하게 된다. 화학적 조건은 1차적으로 지하수의 조성에 의해 결정되는데, 만약 지하수에 구리와 같은 재질과 벤토나이트에 해로운 영향을 미치는 용존 물질의 농도가 낮을 경우 매우 유리한 장점으로 작용하게 된다. 또한 지하수 유동이 매우 느려서 처분장 내부로 해로운 물질의 유입 규모가 제한될 경우 매우 유리한 환경에 위치하게 되는 것이다. 역학적으로는, 심부환경의 응력조건이 안정된 특히 3차원적인 차응력이 처분동굴 및 처분공의 외형 유지 및 단열 생성으로 전술한 물질들의 이동이 용이하지 않는 상태가 매우 바람직하다.

2. 지연기능

만약 격리기능이 어떠한 이유로 수정·보완되어야 한다거나, 캐니스터 설치 후에 근본적인 결함이 발견되지 않을 수도 있다. 이러한 상황에서 심지층처분은 2차적인 지연기능을 기대하여야 한다. 이러한 상황이 의미는 처분장으로부터 핵종이 이동되어 인간 혹은 자연환경에 도달하기 이전에 방사성독성이 무해한 수준으로 저감될 수 있는 충분한 시간이 소요되도록 하는 기능을 갖는 지질환경을 말한다.

모든 방벽들은 심지층처분장에 대하여 지연기능을 가지고 있다. 부분적으로 손상을 입은 구리재질 캐니스터 조차도 지하수의 유량률과 누출 핵종의 이동에 효과적인 영향을 미치는 역할을 한다. 대부분의 핵종들이 누적되어 있는 핵연료는 핵종이동 지연기능에 확실한 역할을 하는 장기적인 내구성 세라믹재료로 구성되어 있다. 만약 핵연료가 지하수체계 영역으로 진입하는 경우, 매우 낮은 용해 현상으로 핵종 누출에 영향을 미치게 된다. 이러한 현상은 장기적인 강한 독성을 다수 핵종들은 암반의 공극과 단열을 통해서 이동하는 지하수와 매질 내에서 용해현상을 어렵게 함으로써 누출은 사실상 제한적으로 발생하게 된다. 완충용 점토 재료는 점토입자 표면에서 장기적 독성을 갖는 많은 핵종들에 대하여 상당한 지연능력을 나타낸다. 암석의 경우 단열표면에 흡착하거나 혹은 미세균열 속으로 핵종이 침투함으로써 지하수 자체 보다 더 장기간의 이동시간이 소요되어 지연기능에 상당한 기여를 하게 된다. 처분장의 실제 설계 이외에, 지하수의 화학성분, 암반 내에서 지하수유동 및 핵종이동 특성 등은 처분장의 지연기능에 영향을 미치는 요소이다.

3. 희석 및 분산 기능

희석 및 분산 기능은 제 3의 안전성확보 기능으로 작용한다. 즉, 핵종이 누출되면 생태계에서 상당한 규모의 희석현상으로 그 독성이 완화된다. 하지만 이러한 효과는 아래와 같은 이유로 현재까지 안전성 기능으로 적극적으로 반영하지 않고 있다[20].

(1) 희석현상이 나타나는 생태계는 처분장시스템 보다 훨씬 빠른 속도로 변화함으로써 이를 예측하기에 상당한 장애가 존재하다. 따라서 생태계의 임의의 조건/환경 하에서 장기적 안전성을 평가하는 자체가 비합리적이기 때문

(2) 핵종 누출에 의해 가장 영향을 많이 받는 현상이 완화되더라도, 특정 핵종은 오히려 집중적인 영향을 받을 수도 있다는 점

그럼에도 불구하고 희석현상은 생태계에서 누출 핵종의 영향 완화에 상당한 영향을 미치는 중요한 요소임은 분명하다. 이러한 이유로 안전성평가에 처분장 부지에서 희석 조건을 평가에 포함시킨다.

제 4 장 다중방벽의 지질환경 요건 체계

제 1 절 다중방벽 성능 영향 요소

URL시설의 안전성확보를 위한 부지의 요건은 다중방벽의 성능이 반드시 만족되어야 할 항목들로 구성된다. 이들 요건을 구성하는 요소에 포함되어야 하는 부문은 전체적인 업무의 흐름으로 볼 때, 처분시설의 성능평가와 안전성평가, 그리고 처분시스템 설계를 위해 요구되는 지질환경 관련 자료를 구성하는 인자들이다.

심지층처분시스템은 아래와 같은 항목으로 구성된 요소들을 포함한다.

(1) 심지층처분시스템의 기본요건
(2) 심지층처분의 특징
(3) 심지층처분시스템 개발
(4) 안전성 기능
(5) 심지층처분시스템의 구조 체계
(6) 천연방벽의 역할과 기능
(7) 자국(한국)의 처분시스템 기본개념

천연방벽의 안정성은 아래의 세 가지 분야와 관련되는 인자로 구성된다.

(1) 천연방벽의 안정성 관련 지질환경 관련 인자
(2) 천연방벽의 격리기능 관련 지질환경 관련 인자
(3) 천연방벽의 지연기능 관련 지질환경 관련 인자

처분요건 관련 기술기준의 세부적인 정의 내용은 후보부지조사의 목적(선별평가, 선정, 특성평가 등)에 따라서 적용 내용의 수준을 탄력적으로 적용한다. 원칙적으로 처분요건이라 함은 건설허가 신청을 위한 부지특성평가(처분적합성평가)용 후보부지에 적용하여 최종 처분장의 처분안전성확보를 위한 처분지질환경에 대한 요구조건으로 정의하고 향후 업무를 진행한다.

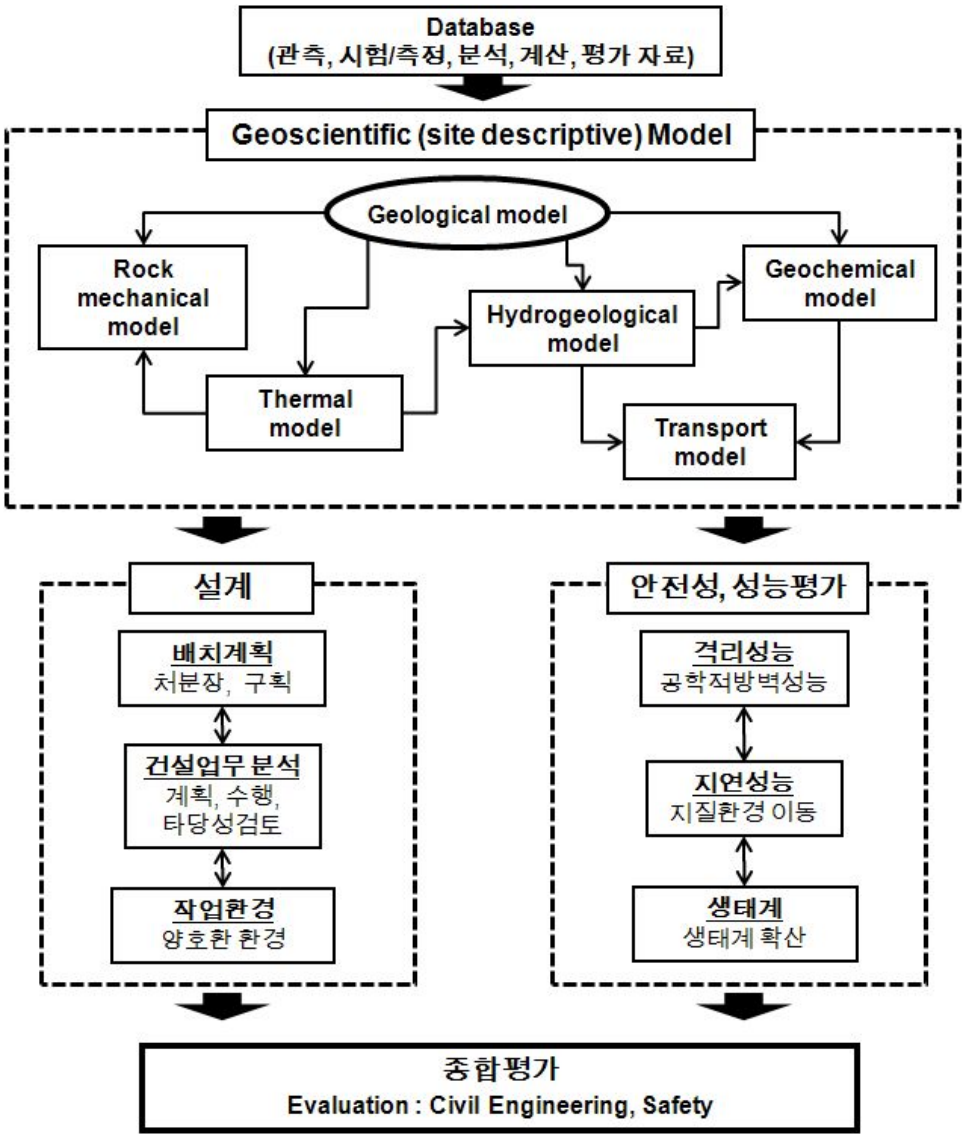


그림. 4.1.1 URL시설 개발을 위한 업무수행 과정

제 2 절 지질환경 요건 체계

URL부지의 지질환경 요건은 각 부문별로 현안 혹은 의문사항으로서 주로 처분시스템의 기능에 영향을 미치는 지질, 암석역학, 열적특성, 수리지질 및 지구화학 특성과 함께 핵종이동 관련 특성들이다. 현안사항 중 그 영향이 확연하게 제기된다면, 충분/선호요건들이 어떠한 규모와 특성을 가지고 영향을 미치게 되는지를 규명하게 된다. 더욱이 기능 분석은 부지조사(site investigation), 부지특성평가(site characterization: site suitability assessment) 업무가 수행되는 기간 동안 규명하게 된다. 이때 관련 지질환경특성 인자들이 정의될 것이고 방벽성능에 대한 분석 업무는 수많은 지질환경 인자를 포함하며, 임의의 기능의 확보에 기여하는 일부 인자들에 대한 충분요건은 분석과정이 끝난 후, 개별 인자에 관한 충분요건으로 세분된다. 그러나 일반적으로 처분안전성 기능은 다양하고 수많은 인자들 간의 상호작용하는 조건에 좌우된다. 일부 기능은 특정 인자들의 조합으로 그 기능의 확보가 가능한 경우도 있다. 따라서 처분지질환경요건 확립을 위해 관련 용어를 다음과 같이 정의하고 적용하고자 한다.

구 분	내 용
처분기능 (Function)	국제적 및 자국의 제반 법적 규정 및 지침을 만족하도록, 방사성폐기물 심지층처분장의 성능 목표를 달성하기 위한 처분시스템의 기능으로서, 격리 및 지연기능으로 구분
충분요건 (Requirement)	처분장 부지가 실제적으로 반드시 충족되어야 하는 조건으로 부지확보의 최종 목표
선호요건(Preference)	처분시설의 안전성확보 기능이나 혹은 개별 인자와 연계되며, 양호한 조건이 바람직하지만 반드시 충족시키지 않아도 무방한 차선책의 필요조건
인자(Parameter)	물리, 화학적인 물성이나 특성을 나타내는 성분, 수치 혹은 정성적인 내용으로서, 암석·암반의 상태, 정적 현상, 변화현상·과정, 외형적 특성 등을 나타내는 지표
지질환경 적합성지표 (Geoscientific suitability indicators)	처분장 후보부지의 부지선정이나 특성평가 등의 단계에서 처분요건, 필요조건을 만족하는 정도를 나타내는 지질환경특성 지표
평가기준/지침 (Criteria for evaluation)	가 기준, 부지의 처분적합성을 정의한 규정 및 지침을 충족하는지 여부를 판단할 수 있는 적합성 지표를 위한 기준값

지질환경에 대한 조사행위가 결코 암석/암반과 지하수에 대한 정확하고 완벽한 지식/정보를 제공할 수 없기 때문에, 충분요건/선호요건과 기술 기준/지침 등의 적용은 사전에 이들에 대하여 정확히 정의한 후 적용이 요구된다. 부지고유성 자료에 대한 평가 시, 제안된 충분요건과 선호요건에 대하여 추산/추정된 인자의 정밀성에 대한 평가가 요구된다.

모든 필수 불가결한 선호요건들이 만족한다면, 이러한 평가를 통해 심지층처분장은 안전성을 만족하고 토목공사의 성공적인 수행을 위해서 양호한 조건들을 확률론적으로 제시되어야한다.

표 4.2.1 심지층처분장 부지요건의 구성

안전성 기본요건 및 토목분야 기능	암반 - 심지층처분장의 격리 및 지연기능에 기여 - 처분장 배치계획 및 건설업무에 양호한 조건 제공
충분요건 및 선호요건 심지층처분장의 모암에 영향	사례: 완충재의 팽윤압력은 캐니스터 표면에 최대온도 유지에 필요한 충분요건 (격리성능)
충분요건 및 선호요건 지질환경특성 관련 인자	사례: 처분영역 지질환경의 총고용체 농도는 100 g/l 수준으로 유지 (배치계획에 필요한 온도 요건)

표 4.2.2 천연방벽의 처분요건 구성

안전성 기능	요구 조건	평가 항목	세부 평가 요소
수동적 안전기능:	-천연방벽 의존 장기안전성(지질환경: 모암 및 지질계통)	-장기적 지질안정성 -천연방벽의 지연효과 및 특성	-Tectonic setting and stability -지질환경의 지하수성분 -지질환경의 이동현상 및 특성
다중방벽기능:	-처분시설의 보호 -보조적 다중방벽 기능의 역할 및 상호보완	-부지 내 유용광물 자원 -모암 및 지질환경 특성 -지질: 균일/일양성 -근계영역 ・지구화학적 상호작용 ・역학적 상호작용 ・열/역학/수리학적 현상	-적정 모암 규모 및 역학적 특성 -블럭규모의 수리지화학적 특성 -근계영역의 지화학적 특성 -EDZ의 역학적/수리지질학적 특성 -블록/광역규모 상의 암종 -블록/광역규모 단열대 및 변형특성
격리기능:	-생태계 및 인위적 요인으로부터 폐기물 격리 -지질환경에 의한 실질적인 격리기능 장기간 유지	-낮은 지하수유동량 -천연적인 희석효과 조건 -안정 지화학환경 조건	-블록 및 광역규모 상의 수리지질 및 수화학 특성 -지하수체계; 수리적 공동 효과, 폐쇄 순환체계 -블록 및 광역 규모 상의 지하수 유동경로 특성 -블록 및 광역 규모 상의 역학적 특성

처분시스템의 기능측면에서 충분・선호 요건들이 지질환경분야의 각 부문별로, 지질, 암석역학, 열적특성, 수리지질 및 지구화학 특성과 함께 핵종이동 관련 특성 등으로 구성된다. 각 부문 별로 세부항목을 구분한다면 다음과 같다.

표 4.2.3 지질환경요건에 적용되는 세부 항목

구 분	내 용
처분시스템 성능 관련 방벽기능	· 심지층 처분안전성확보를 위해 요구되는 시스템의 성능확보에 필요한 기능
기능에 영향을 미치는 지질환경조건	· 각각의 안전기능에 영향을 미치는 지질환경 조건을 정의하는 인자
충분요건	· 실제적으로 처분장 부지가 반드시 충족되어야 하는 조건 · 부지확보의 최종목표, 처분요건, 처분장의 안전성확보 기능 혹은 개별 인자와 연계 · 처분장 부지로서 허용 불가능한 수준을 한계치로 표시 · 충분요건을 만족하지 못하는 경우 부적합함을 의미하거나, 계획의 수정보안등을 통하여 목적을 달성하여야 한다
선호요건	· 부지확보 과업 중 부지선정 업무수행 단계에 따라 탄력적으로 적용·충족되어야 하는 요건 · 안전성확보 기능이나 개별 인자와 연계 · 분야별 고유성 선호요건들은 정량적으로 표시
기능분석 및 관련인자	· 세부부지 특성평가와 건설허가를 휘한 적용 등 업무의 착수 결정을 위한 준비 업무에 있어서, 필수적 수행되는 다양한 조건에 대한 종합안정성평가. · 제번 분석 및 평가업무에 입력되는 개별 인자들을 정량·정성적으로 정의

URL시설 혹은 심지층처분장의 성능과 관련된 시설부지의 지질환경 관련 충분요건과 선호요건을 기반으로 하여 성능을 결정하는 인자에 직·간접으로 작용하는 충분 및 선호요건들의 범위가 분석 된다(표 4.2.4)

표 4.2.4 다중방벽성능에 영향을 미치는 지질환경 요건 체계 (안)

<table>
<tr><td>국제적</td><td colspan="8">안전기본원칙 / 안전기본요건 / 안전표준 기술기준, 지침</td></tr>
<tr><td>자국의 안전성 확보 기본 요건</td><td colspan="8">①기본요건 ②환경요건 ③안전성요건 ④방사선방호 요건</td></tr>
<tr><td>처분시스템 성능 확보</td><td colspan="2">폐기물
격리기능</td><td colspan="2">방벽성능
보호기능</td><td colspan="2">핵종이동
지연기능</td><td colspan="2">관리효율성
기능</td></tr>
<tr><td>처분 요건</td><td>장기 지질 안정성</td><td>수리지질환경</td><td>공학방벽 성능보호</td><td>천연방벽 성능보호</td><td>수동적 지연</td><td>능동적 지연</td><td>건설효율성</td><td>운영효율성</td></tr>
<tr><td>부문별 세부 요건</td><td colspan="8">정성적 기준: A～M.....Z,
＜“부지위치에 관한 기술기준(안) 대응수준＞</td></tr>
<tr><td>정량적 기술 지침</td><td colspan="8">정성 및 정량적 기준: A～M.....Z,
＜“부지선정 및 안전성평가에 적용 가능한 기술기준(안) 수준＞</td></tr>
<tr><td>세부 요소</td><td colspan="8">①캐니스터 건전성 ②완충재 격리 ③근계영역 격리・지연 ④근계영역 지연 ⑤천연방벽 지연 ⑥생태계 영향 ⑦ 건설운영안전</td></tr>
</table>

1. 지질환경 관련 인자.

일부 지질환경 인자들은 직접적으로 측정되지만, 다양한 유형의 오차와 불확실성을 발생시킬 수도 있는 해석 절차/방법에 의해 결정 된다. 측정 오차는 단지 이들 불확실성의 일부에 불과하다. 규모 종속적 인자들과 공간 변화와 관련한 문제들은 보다 크고 심각한 불확실성을 야기한다. 따라서 다양한 지질환경인자들의 적정성은 인자를 결정하기 위해 수용 가능한 측정 및 평가방법에 대하여 고려할 필요가 있다. 주입시험, 수압파쇄 및 추적자시험등과 같은 대부분의 시험들은 원위치에서 시행되며, 수리전도도, 암반응력 혹은 지연성분 등과 같은 간접적인 정보를 제공하는 역할을 하게 된다.

2. 지질환경 적합성 지표

가. 인자 값의 범위에 관한 충분요건

개별 인자와 직접적으로 관련 될 수 있는 값의 범위에 관한 충분요건은 명확히 정의되어야 한다. 일부, 안전 기능을 정의하는 충분요건의 기초적 인자를 위해 허용 불가능한 값의 범위에 대하여 직접적으로 규정하는 것은 가능하지만, 규정측면에서 본다면 지질환경 인자를 직접적으로 충분요건에 연관시키기는 매우 어려우며 이유는 다음과 같다.

(1) 특정 인자는 기능을 결정하는 여러 가지 인자들 중에서 오로지 한 가지이며, 적정한 값의 범위는 또 다른 인자들의 값에 영향을 미치기 때문임
(2) 특정 인자는 여러 가지 안전 기능에 영향을 미칠 수도 있으며, 특정 기능에 대한 적정 범위 값이 다른 안전 기능에도 동일한 값으로 적용 가능성은 보장할 수 없음
(3) 특정 인자는 해당 기능에 관한 선호요건에 있어서 관련 적정 범위에 대하여 새로 정의하여야 함

나. 인자 값의 범위에 관한 선호요건

만족할 만한 수준에 기초한 결과로부터 성능 혹은 안전성 평가를 위한 선호요건에 대하여 관련 지침을 제공하게 된다. 선호요건은 요구되는 기능 확보를 위한 인자 값의 범위를 정의하게 되지만, 수용 불가능한 기능을 위한 정확한 한계치를 정의하지 않아야 한다. 왜냐하면, 이러한 한계치는 수많은 미지의 경우와 관련되거나 혹은 처분장 배치계획의 수정 등에 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

세부 부지특성평가 착수 및 처분장 건설허가 신청 등의 결정을 위한 준비단계에서, 종합안전성평가는 다양한 경우에 대하여 모두 수행하여야 한다. 만약 모든 필수불가결한 선호요건들을 만족한다면, 이 안전성평가는 심지층처분장이 안전기준을 만족하고, 건설 타당성분석에서 양호한 건설용이성을 확보한다는 사실을 의미하게 된다.

다. 적합성지표로서의 유용성

부지확보 업무추진 모든 단계에서 지질환경 관련 인자가 적합성지표로 적용 가능성이 확보되어야 한다. 현재 진행 단계 과업에서, 지질환경 관련 인자는 아래와 같은 내용이 완수된다면 매우 유용한 적합성지표로 적용할 수 있다.

(1) 직접적인 충분요건 혹은 주요 선호요건이 인자로서 정의되었거나 혹은
(2) 하나 이상의 중요한 기능분석 결과에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자

라. 업무추진 단계별 지식수준

부지확보 영향요소 측면에서 볼 때, 타당성검토, 후보부지조사 및 세부특성평가 단계에서 만족할 수 있거나 혹은 반드시 충족되어야 할 지식 수준이 논의 및 정립되어야 한다. 만약 인자가 측정 혹은 추정이 불가능하다면 적정 지표로서 인자의 자격이 인정되지 않을 것이다.

특정 인자가 유용한 적적합성지표로 수용 여부와, 특정 조사단계에 대하여 기술 지침으로 정의하기 위해서, 해당 인자의 추정과정에서 그 정밀성을 예상할 수 있어야 한다. 업무추진 단계에 따라서 인자에 대한 지식은 증가하게 된다. 그렇지만, 단계 별로 그 중요성은 인자들 간에 상당한 변화가 불가피하다. 물론, 추진단계 별로 지식에 대한 긍정적인 수준은 인자가 결정될 수 있는 범위에 영향을 줄 수도 있다.

단순한 방법으로 예상 정밀성을 항상 정량화할 수는 없다. 그러나 그 정밀성에 대한 정성적인 토의는 가능하여야 한다. 부지확보 업무추진 단계에 따라서, 이러한 정성적인 토의는 임의의 인자와 기술지침이 연계 가능하도록 업무수행 체계를 수립하는 것이 효과적이다. 이러한 유형의 정보를 토대로, 적합성지표가 적용될 때 그에 대한 판단과 결정이 가능하게 된다.

3. 기술지침 개발

기술지침들은 적합성지표로서 유용하게 적용할 수 있다는 판단이 가능한 인자로 구성하게 된다. 또한 후보부지로서 적합성 여부를 판단할 수 있는 충분요건과 함께, 어느

정도 범위의 선호요건이 충족되는지를 판단할 수 있는 지침이 되어야 한다. 무엇보다도 이들 지침들은 부적합한 후보부지가 제외될 수 있다는 보장이 가능한 내용을 목표로 정의되어야 한다. 특정 후보부지의 처분안전성이 확보되었는지에 대한 최종 결정은 종합 안전성평가에서 수행된다. 종합적인 건설타당성 분석은 토목공학 관련 업무의 범위와 수행체계를 판단하기 위해서 수행되며, 기술지침은 분석결과의 도출 과정에 기여하여야 한다. 기술 지침들은 부지확보 업무수행 단계에 따라서 변화를 보일 수도 있는데, 이는 후보부지에서 정보는 변하더라도 충분요건과 선호요건들은 동일하기 때문이다.

가. 부지확보 업무와 기술지침

기술 지침들은 후보부지조사 단계에 따라서 다양하게 구성 및 정의된다. 이들 기술지침들은 해당 업무추진 단계 및 의사결정 여건에 따라 적용 가능한 정보와 연계되어야 한다.

(1) 부지조사 과정중, 전단계의 후속 조사에서 우선순위를 부여하는 지역을 규명하고 명확하게 부적합한 지역을 제외할 수 있다는 것은 매우 중요한 사안이다. 이 단계에서 기술 지침은, 깊은 심도에 대한 암반 물성의 유용한 정보 확보에 제한적임을 감안하여 지나치게 엄격한 내용으로 정의되어서는 곤란하다. 기술 지침들은 적합한 지역을 도출하는데 사용되며, 모든 충분 및 선호 요건들을 만족하는 평가로 하여금 전반적인 예측 특성의 제시가 가능하게 된다.

(2) 후보부지 조사기간 동안 당해 후보부지가 심지층처분장 후보부지로 적합/부적합 여부를 판단할 수 있도록 증거를 제시하여야 한다. 나아가서, 후보부지들 간의 비교 평가에 기술 지침들을 적용할 경우, 상당한 의미를 부여하여야 할 것이다. 후보부지 조사업무가 종료된 후, 종합안전성평가 및 종합건설성 분석 업무 등을 통한 종합평가로부터 부지의 처분적합성에 여부가 결정된다. 후보부지 조사기간 동안, 부지 고유성 자료들은 종합 안전성평가가 수행되도록 제시된 세부 기술지침에 따라 양호한 지침으로 제공되어야 한다.

기술지침은 다양한 부지의 처분적합성 관련 지표와 정보의 정밀성에 대한 평가들의

중요도에 기반을 두고 정의된다. 이러한 지침들은 후보부지 조사 이전 및 수행 동안 주요 인자들을 명확하게 정의하기 위해서 사업 주관기관의 기본전략으로 지원되어야 한다.

나. 기술지침 개발

기술지침을 구성 및 정의하는 업무는 확인된 모든 적합성지표를 대상으로 하며, 이는 후보부지의 처분적합성 여부를 검증하는데 목표를 두고 접근한다.

정량적 지침은 적용 값의 범위 혹은 중앙값으로 제시된다. 기능분석 결과는 지하수 유동량 계산치 혹은 지연능력으로 제시된다. 기술지침에 부적합한 후보부지는 처분 부적합성으로 판결된다. 하지만 성능평가, 종합안전성평가 및 종합건설타당성 평가가 필요할 수도 있으며, 혹은 처분적합성을 판단하기 위한 보다 양호한 자료가 필요할 수도 있다. 처분장 배치계획의 수정은 요구하는 수준의 안전성 기능 목표를 달성하기 위하여 고려되어야 한다.

이미 정의된 특별한 적합성지표, 예를 들어서 처분심도 주변 지하수의 용존산소 농도와 같은 인자들은 명확한 기술 지침으로 정의하는데 단순하게 수용 가능하다. 암석/암반의 지연능력 등과 같은 지표들은 기술 지침으로 적용하기에 상당히 복잡한 면이 내재한다. 왜냐하면, 이들 지표는 다양한 방법 측면에서 다양한 기능에 영향을 미치며, 또한 공간적 분포특성이 상당한 변화로 인하여 원위치 자료의 분석은 종종 광범위한 모델링작업을 필요로 하기 때문이다. 따라서 기술지침을 정의하는 작업은 모든 적합성지표에 대하여 값의 간격/범위를 정의하지 않도록 하게 될 것이다. 그러나 각각의 지표에 대하여, 정보가 어떻게 안전성평가 혹은 건설타당성 분석에 사용하도록 처리되었는지에 대한 명백한 입증 자료가 제시되어야 할 것이다. 정의, 제시된 기술지침에 대하여 인자 수준에서 상세하게 서술할 수 없는 경우, 이에 대한 이유를 제시하여야 한다.

용어로서 기술지침은 부지확보 업무수행 단계에 따라서 유연하게 정의 가능하지만 최종 처분장 후보부지의 처분적합성에 대한 목표를 기본으로 하고 단계별 적용 수준에 대한 정의를 전문가의 의견을 수렴하여 결정하는 것이 바람직하다. 임의의 부지확보업무 수행단계에서 적용 기술지침은 충분요건에 종속되지 않은 적합성지표를 근거로 하여 적용할 수도 있다. 암석/암반의 양호한 열전도도 인자는 선호성 지표이며 이러한 선호요건들의 경우, 부지확보 업무 초기단계에서 적용 가능한 기술지침으로 반영하여

기본 골격을 수립할 수 있다. 낮은 열전도도는 처분장에서 케니스터 간격을 상대적으로 넓은 설계 조건을 요구하게 될 것이다. 선호요건의 만족 여부는 비용 측면에서 유리한 요소로 작용하는데, 처분장의 규모를 축소할 수도 있는 유연성을 가지고 있다. 하지만 선호요건이 충족되지 않은 경우, 처분장 배치계획의 수정으로 보완 가능하며, 전반적인 안전성 요건은 만족하게 될 것이다.

제 3 절 URL시설 부지요건 구성

국제적인 규정과 일반적으로 수용하고 있는 관례를 기준으로 국내의 타 법률과 제반 제도적 범주 내에서 제도적 규제의 톨이 설정 및 제시되어야 한다. IAEA에서 제시한 기술지침, 위위 내용을 토대로 처분안정성 확보를 위한 URL시설 및 사용후핵연료 처분장 부지의 위치에 관한 기술 기준 및 충분요건과 선호요건을 다음과 같이 제시하였다.

1. 장기지질안정성 요건

처분방벽의 성능을 확보 및 유지를 위한 장기지질안정성 관련 요건은 처분장부지의 위치에 관한 기술기준 중에서 절대적인 필요 충분요건에 해당한다. 이 요건들은 공학적 및 천연방벽의 기능을 유지하는데 절대적으로 요구되는 안정요소이다. 장기지질안정성 관련 인자는 장기적인 지질시대에 걸쳐서 나타나는 자연현상으로서 향후 발생 가능성에 대한 평가는 분야별로 특정 연구 활동을 통하여 가능한 한 객관적이고 정량적인 결과를 도출하여야 한다.

위의 내용을 토대로 아래와 같은 충분요건 및 선호요건을 제안하였다. 충분요건은 후보부지 선별과정에서 제외기준으로, 선호요건은 후보부지들 간에 비교평가 단계에서 국내 여건을 감안하여 탄력적으로 조정 반영하는 것이 바람직하다.

가. 화산활동

처분장은 화산활동의 영향으로 시설의 안전운영에 영향을 미치지 아니하는 곳이어야 한다. 화산활동 관련 인자에 대한 충분 및 선호요건(안)은:

표 4.3.1 화산활동 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 화산활동의 영향으로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역에 위치해서는 아니된다.
제안충분요건	처분장은 화산 등 지각변동으로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역에 위치해서는 아니 된다.
제안선호요건	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 화산 등 지각변동지역으로부터 가능한 한 멀리 위치하여야 한다.

나. 지진활동

처분장은 처분시설의 안전성을 위하여 장기간에 걸쳐 역사적으로 지진 발생빈도, 규모 및 진도가 낮고, 또한 그와 같이 예상되는 지역이어야 한다. 지진활동 관련 인자에 대한 충분 및 선호요건(안)은:

표 4.3.2 지진활동 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 지진활동의 영향으로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역에 위치해서는 아니된다.
제안충분요건	처분장은 지진 등 지각변동으로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역에 위치해서는 아니 된다.
제안선호요건	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지진 등 지각변동지역으로부터 가능한 한 멀리 위치하여야 한다.

다. 단층운동

처분장은 지진의 발생에 의하여 방사성핵종의 이동속도를 증가시킬 가능성이 있는 활성단층지역이나 그와 같은 지역에 인접하여서는 아니된다. 단층운동 관련 인자에 대

한 충분 및 선호요건(안)은:

표 4.3.3 단층운동 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 단층운동의 영향으로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역에 위치해서는 아니 된다.
제안충분요건	처분장은 활성단층 등 지각변동으로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역에 위치해서는 아니 된다.
제안선호요건	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 활성단층 등 지각변동지역으로부터 가능한 한 멀리 위치하여야 한다.

라. 융기 및 침강운동

처분장은 융기 및 침강, 침식작용, 풍화, 산사태 및 기후의 등의 영향으로 시설의 안전운영에 영향을 미치지 아니하는 곳이어야 한다. 융기·침강 관련 인자에 대한 충분 및 선호요건(안)은:

표 4.3.4 융기 및 침강 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 융기 및 침강, 침식작용, 풍화, 산사태 및 기후의 등의 영향으로 시설의 안전운영에 영향을 미치지 아니하는 곳이어야 한다.
제안충분요건1	처분장은 융기·침강 및 침식 등 지각변동의 영향으로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역에 위치해서는 아니된다.
제안선호요건1	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 융기·침강 및 침식 등 지각변동지역으로부터 가능한 한 멀리 위치하여야 한다.
제안충분요건2	처분장은 빙하작용과 같은 자연현상에 의한 지반의 응력변화로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역에 위치해서는 아니 된다.
제안선호요건2	처분장은 처분장은 빙하작용과 같은 자연현상에 의한 지반의 응력변화로 인하여 처분시설의 안전운영에 가능한 한 영향을 미치지 않은 지역에 위치하여야 한다.

마. 기후변화 및 해수면 변동

처분장은 기후변화로 인한 해수면 변화가 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 아니하는 곳이어야 한다. 화산, 해수면 변화와 관련 인자에 대한 충분 및 선호요건(안)은:

표 4.3.5 기후변화 및 해수면변동 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 기후변화로 인한 해수면 변화가 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 아니하는 곳이어야 한다.
제안충분요건	처분장은 기후변화로 인한 해수면 변화로 처분시설의 안전운영에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지역에 위치해서는 아니 된다.
제안선호요건	처분장은 기후변화로 인한 해수면 변화로 처분시설의 안전운영에 가능한 한 영향을 미치지 않는 곳에 위치하여야 한다.

2. 지형

지형의 경사도는 지하수유동력에 직접적인 영향을 미쳐서 천연방벽의 지연기능에 간접적인 영향 인자이다. 또한 처분시설의 건설 및 운영 요소에도 간접적인 영향을 미치는 요소이다. 지형특성과 관련하여 충분요건으로서 제시할 만한 제약조건은 없으며, 후보부지 선별평가 과정에서 상대적인 비교평가 요소로 적용 가능하다. 관련 인자에 대한 충분 및 선호요건(안)은:

표 4.3.6 지표지형 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않도록 지형경사가 가능한 한 완만한 곳이어야 한다.
제안충분요건	해당없음
제안선호요건	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않도록 지형경사가 가능한 한 완만한 곳이어야 한다.

3. 지표수문

지표수문과 관련한 내용은 선호요건에 대한 비중을 높게 적용하여야 하는 항목으로서 후보부지 상대평가에 적용 가능한 요소이다. 이들 부문은 예비 안전성평가 업무에서 적용의 수준을 탄력적으로 반영 가능할 것이다.

가. 함양영역의 지표수체

지하수문체계에 있어서 처분장의 상류 유역에 존재하는 지표수체는 처분장으로 지하수의 함양영역의 영향에 관한 사항으로서 충분요건으로서 제약은 불가능하지만 선호요건으로 적용은 가능하다.

표 4.3.7 함양영역의 지표수계 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 인접지역의 지표면에서 지하수로 충전될 수 있는 지표수체가 가능한 한 분포하지 아니하여야 한다.
제안충분요건	해당없음
제안선호요건	처분장은 인접지역의 지표면에서 지하수로 충전될 수 있는 표층수가 가능한 한 분포하지 아니하여야 한다.

나. 배출영역의 지표수체

지하수문체계에 있어서 처분장의 하류 유역에 존재하는 지표수체는 처분장으로부터 누출된 핵종의 배출영역의 영향에 관한 사항으로서 충분요건으로서 제약은 불가능하지만 선호요건으로 적용은 가능하다.

표 4.3.8 배출영역의 지표수계 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 처분장과 가장 가까운 지표수체와의 거리는 폐기물 중의 방사성핵종이 표층수역으로 이동하여 방사성핵종 방출에 의한 환경영향이 없을 만큼 충분히 떨어져야 한다.
제안충분요건	해당없음
제안선호요건	처분장은 처분장과 가장 가까운 표층수와의 거리는 방사성핵종 방출에 의한 환경영향이 없을 만큼 가능한 한 충분히 먼 거리에 위치하여야 한다.

다. 지표수문환경 사건의 영향

지하수문환경에서 자연적 및 인위적 사건으로 발생할 수도 있는 수문체계의 교란현상에 의한 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않아야 한다. 충분요건으로서 제약은 부적절하지만 선호요건으로 그 영향에 대한 정도를 충분히 검토하여 적용하는 것이 바람직하다.

표 4.3.9 지표수문환경 사건 영향 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 홍수, 댐의 파손, 해수의 작용이나 기타 인위적인 사고로 인한 내수면의 범람시 예상 수위보다 상부에 위치하여야 한다.
제안충분요건	해당없음
제안선호요건	처분장은 홍수, 댐의 파손, 해수의 작용이나 기타 인위적인 사고로 인한 내수면의 범람시 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 것으로 예상되는 수위보다 상부에 위치하여야 한다.

4. 토질 및 암종

가. 토층 분포 특성

토층은 강수의 지표 유출을 일시 저지하여 지하로 함양되는 지하수의 저류체로서 역할을 예상할 수 있다. 가능한 한 토층의 발달이 불양한 지역이 선호되지만, 지표배수가 용이하고 얇은 두께의 토층과 배수 성능이 양호한 토층이 선호된다. 배제하여야 할 제약조건으로서 기대는 어렵지만 후보부지 간 비교 평가시 적용 가능하다.

표 4.3.10 토층분포 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준1	처분장은 가능한 한 토층의 두께가 얇고, 암석의 노두분포가 넓은 곳이어야 한다.
위치기준2	처분장은 양호한 표면배수가 잘 되고 내부로 투수가 어려운 얇은 두께의 토층이 분포하는 곳이어야 한다.
제안충분요건	해당없음
제안선호요건	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 것으로 예상되는 가능한 한 토층의 두께가 가능한 한 얇고 표면배수가 용이한 특성을 갖는 곳이어야 한다.

나. 암석 분포 특성

처분장 상부에 충분한 두께의 암반은 미래세대에서 천연자원의 개발과 같은 인위적인 침투방지와 공학적방벽의 보호기능을 보장하며, 천연방벽의 격리 및 지연기능을 함께 기대할 수 있다. 암종은 가능한 한 단일 암종으로서 단열 발달이 불량한 암종이 선호된다. 균질성의 정도는 후보부지 비교평가에 가중치로 적용 가능하다.

표 4.3.11 암석분포 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준1	처분장은 방사성핵종의 이동을 충분히 지연시킬 수 있는 지층 또는 균질한 기반암 내에 위치하여야 한다.
위치기준2	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 정도로 충분한 두께와 면적을 갖는 기반암 내에 위치하여야 한다.
제안충분요건	해당없음
제안선호요건	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 것으로 예상되는 가능한 한 충분한 두께를 가진 균질한 모암이 분포하는 지역에 위치하여야 한다.

5. 지질구조 및 단열(대)

단열대는 핵종이동경로로서 역할을 할 것이며, 이 유동경로는 가능한 한 생태계까지의 거리가 멀고, 지하수의 유동시간이 길어야 한다. 따라서 처분시스템을 구성하는 진입터널, 처분터널 및 처분공은 각각의 특성에 맞추어 단열대의 규모에 따라 상이한 기준을 적용하는 것이 바람직하다. 또한 단열대의 구조적, 수리적 및 화학적 제반특성과 이격 거리에 따라서 후보부지 간의 상대평가에 차등 적용 가능하다.

가. 소성전단대 및 단열분포

소성전단대는 처분장 모암의 균질성 요건과 관련되는 항목으로서 안전성평가 결과에 대한 신뢰성확보에 많은 장애 요소가 예상된다. 특별한 경우의 소성전단대 이 외에는 처분장 부지가 입지하지 않는 것이 바람직하다. 사업자 측면에서 볼때, 충분요건으로 분류하는 것이 바람직하다. 또한 후보부지 간 상대비교가 요구되는 부지선별 평가에서는 가능한 한 멀리 이격되어 입지하는 것이 바람직하다.

표 4.3.12 소성전단대 및 단열분포 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건(1)

위치기준	처분장은 방사성핵종의 이동을 충분히 지연시킬 수 있는 지층 또는 균질한 기반암 내에 위치하여야 한다.
제안충분요건	처분장은 광역소성전단대가 분포하는 곳에 위치해서는 아니 된다.
제안선호요건	처분장은 처분장은 광역소성전단대로부터 가능한 한 먼 곳에 위치하여야 한다.

석회암지대는 일반적으로 용식동굴 등 지하수 유동경로가 불규칙하게 발달하는 특성이 있으며, 탄전지대는 대규모의 지각변동과 변성작용을 거쳐서 지층이 크게 교란된 지역의 특성을 보인다. 이러한 특성을 갖는 지역은 처분장이 입지하기에 부적합하며, 안전성평가 측면에서도 가능한 한 멀리 떨어져 입지하는 것이 바람직하다.

표 4.3.13 소성전단대 및 단열분포 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건(2)

위치기준	처분장은 기반암 또는 지층에 균열이 많고 석회암 및 탄전지대가 존재하는 곳이어서는 아니된다.
제안충분요건	처분장은 기반암 혹은 지층에 균열이 많고 석회암 혹은 탄전지역에 위치해서는 아니 된다.
제안선호요건	처분장은 지층에 균열이 많고 석회암 및 탄전지대로부터 가능한 한 먼 곳에 위치하여야 한다.

나. 광역규모 주단열대

단열대는 처분장으로부터 방사성핵종이 지표 혹은 지표부근 생태계로 이동하는 경로로서 평가하게 된다. 광역규모 주단열대는 처분장 영역 내부를 통과하지 않아야 하는 규모일 뿐만 아니라 가능한 한 처분장으로부터 가능한 한 먼 거리에 위치하도록 계획하여야 한다. 광역주단열대의 처분장 통과 여부는 충분요건으로, 이격거리는 후보부지 비교평가 과정에서 선호요건으로 적용 가능하다.

표 4.3.14 광역규모 주단열대 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 정도로 방사성핵종의 이동경로의 가능성이 있는 광역 및 국지 규모 주단열대로부터 충분한 거리에 위치하여야 한다.
제안충분요건	처분장의 처분터널은 광역 주단열대가 통과하는 곳에 위치해서는 아니된다.
제안선호요건	처분장의 처분터널은 핵종이동경로 역할을 할 것으로 예상되는 광역 주단열대로부터 가능한 한 먼 곳에 위치하여야 한다.

다. 국지규모 주단열대

방사성핵종의 주요 이동경로로 작용할 수 있는 국지규모 주단열대는 가능한 한 처분장의 진입터널이나 처분터널을 횡단하지 않도록 계획하여야 한다. 광역규모 주단열대와 달리 국지규모 주단열대는 그 분포 빈도가 훨씬 높을 것으로 추정된다. 처분장 면적을 감안할 때, 처분터널이 이를 피하도록 계획하기는 상당한 어려움이 예상된다. 다

만 처분공은 이러한 국지규모 주단열대를 직접 관통하지 않도록 처분장 배치계획 시 반영되어야 한다. 처분공에 관한 한 충분요건으로 반영하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

표 4.3.15 국지규모 주단열대 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 정도로 방사성핵종의 이동경로의 가능성이 있는 광역 및 국지 규모 주단열대로부터 충분한 거리에 위치하여야 한다.
제안충분요건	처분장의 처분공은 국지 주단열대가 통과하는 곳에 위치해서는 아니된다.
제안선호요건	처분장의 처분공은 핵종이동경로 역할을 할 것으로 예상되는 국지 주단열대로부터 가능한 한 먼 곳에 위치하여야 한다.

6. 암석역학

암석역학 관련 요소는 처분시설의 건설 및 운영 안전에 영향 요소이다. 또한 공학적 방벽의 성능을 보호, 유지하는데 기여한다. 하지만 암석·암반의 강도는 자국의 보편적인 범위 내에 속하는 경우 특별한 충분요건으로 제약하는 것은 바람직하지 않다. 후보부지 비교평가 과정에 차등 적용이 가능하다.

암석·암반의 역학적 특성은 또한 건설과정에서 적지 않은 변화를 초래할 수도 있다. 이러한 , 암석역학적 특성의 변화는 지질구조 및 수리지질학적 제반 특성에 의해 좌우된다. 건설로 인한 처분시설의 안전운영에 미치는 영향은 가능한 한 제한적이어야 한다. 선호요건으로 적용하는 것이 바람직하다.

표 4.3.16 암석역학특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준1	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않도록 구조적 및 역학적으로 안정된 기반암에 위치하여야 한다.
위치기준2	처분장은 건설로 인한 구조적, 역학적 및 수리지질학적 특성이 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않아야 한다.
제안충분요건	해당없음
제안선호요건1	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않도록 구조적 및 역학적으로 안정된 기반암에 위치하여야 한다.
제안선호요건2	처분장 및 주변지역의 원위치 응력조건은 처분장의 안전성에 영향을 미치지 않을 정도의 특성을 갖는 심도에 위치하여야 한다.(천연방벽 보호기능 공동반영)
제안선호요건3	처분장은 건설로 인한 구조적, 역학적 및 수리지질학적 특성이 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않아야 한다.

7. 열적특성

처분장 기반암의 열적특성 관련 요소는 처분시설의 운영 안전에 영향 요소이다. 또한 공학적방벽의 성능을 보호하는 기능을 유지하는데 기여한다. 기반암의 지열특성은 자국내의 전반적인 평균 지열 분포 및 지온상승률에 분포 범위 내에 있는 지역이 선호요건으로 적용하는것이 바람직하며, 충분요건으로 적용은 한계가 있다.

한편 처분시설의 운영 중 발생하는 열은 지표 부근 생태계에 영향을 미친다. 전파된 열은 지표부근 환경의 온도를 지나치게 상승시켜 특정 생물학적 종의 생존에 영향을 미칠 수도 있다. 현재까지 보고된 바에 의하면 적정 처분심도에서 열 발생 및 전파로 인하여 생태계에 큰 영향은 미치지 않을 것으로 예상하고 있다. 후보부지 비교평가 과정에 적용 가능하다.

표 4.3.17 암석의 열적특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준1	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 정도로 지온 및 열적특성이 안정된 기반암에 위치하여야 한다.
위치기준2	처분장은 처분시설 운영으로 인한 열적 영향 의해 천부생태계에 영향을 미치지 않아야 한다.
제안충분요건	해당없음
제안선호요건1	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 정도로 지온 및 열적특성이 안정된 기반암에 위치하여야 한다.
제안선호요건2	처분장은 처분시설 운영으로 인한 열적 영향 의해 천부생태계에 영향을 미치지 않아야 한다.

8. 수리지질

처분장 부지의 수리지질 관련 요소는 처분시설의 건설 및 운영 안전에 영향 요소이다. 공학적방벽의 성능을 보호하는 기능을 유지하는데 기여하며, 또한 천연방벽의 격리기능과 지연기능에 영향을 미친다. 위치기준에서 충분요건으로 절대적인 제약조건은 정량적으로 제시하기가 어려우나, 반드시 확보하여야 할 조건이다. 이와 관련한 선호요건은 후보부지 비교평가 과정에서 다양한 측면에서 적용 가능하다.

표 4.3.18 처분장 모암의 수리지질특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준1	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 것으로 예상되는 오래된 지하수가 분포하는 곳에 위치하여야 한다.
위치기준2	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 것으로 예상되는 적정 지하수압력이 분포하는 곳에 위치하여야 한다.
위치기준3	처분장은 처분장 주위의 지하수위는 단층작용, 해수작용 등의 자연현상에 의한 변동과 계절적인 변동이 크지 않아야 한다.
위치기준4	처분장은 처분장 주변의 지하수 유동률 및 유속은 가능한 한 작아야 한다.
위치기준5	처분장은 처분장 주변의 지하수 유동체계 내에서 방사성핵종의 예상지연시간과 이동경로의 거리는 그 핵종이 충분히 붕괴되어

	인간생활권에 영향을 미치지 아니하도록 길어야 한다.
위치기준6	처분장은 처분장 주변의 대수층은 지하수 유동체계상 가능한 한 다른 대수층과 연결되어 있지 아니하여야 한다.
제안충분요건	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 것으로 예상되는 오래된 지하수가 분포하는 곳에 위치하여야 한다.
제안선호요건1	처분장 주변 암반의 지하수는 가능한 한 오래된 지하수환경이어야 한다.
제안선호요건2	처분장 및 주변지역의 지하수압력은 다중방벽의 안전성에 영향을 미치지 않을 정도로 충분히 낮은 조건을 갖는 심도에 위치하여야 한다.
제안선호요건3	처분장 주변 지역의 지하수위는 단층작용, 해수작용 등의 자연현상에 의한 변동과 계절적인 변동이 처분시설의 안전운영에 악영향을 미치지 않을 정도로 가능한 한 작아야 한다.
제안선호요건4	처분장 주변암반의 지하수 유동률, 유동경사 및 유속은 가능한 한 작아야 한다.
제안선호요건5	처분장 주위의 지하수 유동 체계내에서 방사성핵종의 예상지연시간과 이동경로의 거리는 그 핵종이 충분히 붕괴되어 인간생활권에 영향을 미치지 아니하도록 길어야 한다.
제안선호요건6	처분장 주위의 대수층은 지하수 유동체계상 가능한 한 다른 대수층과 연결되어 있지 아니하여야 한다.
제안선호요건7	처분장 및 주변지역은 처분안전성에 영향을 미치지 않을 정도의 개스발생 억제조건을 갖는 적정 수리전도도가 분포하는 지역에 위치하여야 한다.
제안선호요건8	처분장 및 주변암반의 투수량계수는 처분장의 안전성에 영향을 미치지 않을 정도로 충분히 낮은 조건을 갖는 심도에 위치하여야 한다.

9. 지구화학 및 이송특성

처분장의 지질환경은 공학적방벽과 천연방벽의 성능 유지에 필요한 모든 화학적 요건이 확보되는 지역에 위치하여야 한다. 이 중에서 가장 필연적으로 확보되어야 하는 충분요건은 환원환경에 처분장이 위치하도록 하여야 한다. 환원환경을 지시하는 화학적 요소는 여러 가지로 입증할 수 있으므로 지역적인 특성을 감안하여 다양한 인자들

을 이용하여 이를 규명하여야 할 것이다. 환원환경 관련 요건은 충분요건으로 적용하고, 기타 화학적 요건들은 선호요건으로 적용하는 것이 바람직하다.

표 4.3.19 처분장 모암의 지구화학 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않을 정도로 지구화학적 방벽특성이 발달한 기반암 내에 위치하여야 한다.
제안충분요건	처분장은 공학적방벽의 성능에 영향을 미치지 않도록 환원환경인 곳에 위치하여야 한다.
제안선호요건1	처분장은 주변 암반 및 지하수 환경은 처분시설의 안전운영에 악영향을 미치지 않도록 가능한 한 환원환경인 곳에 위치하여야 한다.
제안선호요건2	처분장은 주변 지하수 중 pH 처분시설의 안전운영에 악영향을 미치지 않는 범위인 곳에 위치하여야 한다.
제안선호요건3	처분장은 처분시설의 안전운영에 악영향을 미치지 않을 정도로 총 고체용해물의 농도가 낮은 환경조건 지역에 위치하여야 한다.

10. 핵종이동

처분장은 법적 규제 조건 만족하는 지연기능과 격리기능을 확보하여야 한다. 따라서 암반 영역은 가능한 한 방사성핵종에 대한 높은 흡착력이 있어야 하며, 특히 장반감기의 방사성핵종 이동을 지연시키는 천연방벽이 발달한 지역이어야 한다. 이 부문은 모두 선호요건으로 반영하는 것이 바람직하다.

표 4.3.20 처분장 모암의 핵종이동특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 가능한 한 방사성핵종에 대한 흡착력이 있어야 하며, 특히 장반감기의 방사성핵종 이동을 지연시키는 천연방벽이 발달한 지역이어야 한다.
제안충분요건	해당없음
제안선호요건1	처분장 주위의 지하수 유동체계 내에서 방사성핵종의 예상지연시간은 그 핵종이 충분히 붕괴되어 인간생활권에 영향을 미치지 아니하도록 길어야 한다.

제안선호요건2	처분장은 가능한 한 방사성핵종에 대한 흡착력이 있어야 하며, 특히 장반감기의 방사성핵종 이동을 지연시키는 천연방벽이 발달한 지역이어야 한다.
제안선호요건3	처분장은 가능한 한 방사성핵종에 대한 확산능력이 있는 천연방벽이 발달한 지역이어야 한다.

11. 생태학적 특징

생태학적 특성과 관련한 처분장부지의 지질환경 요건은 충분요건으로 반영하여 부지선정 업무 수행 초기과정에서 부적한 지역을 제외시켜야 할 것이다. 일부 부지 선별과정에서 비교 평가시 선호요건으로 가중평가에 적용 가능할 수도 있을 것이다.

표 4.3.21 처분장부지의 생태학적 특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준	처분장은 생태학적 특징과 관련하여 기타 관련법으로 지정, 보호되고 있는 생태계가 존재하지 아니하는 곳이어야 한다.
제안충분요건	처분장은 생태학적 특징과 관련하여 기타 관련법으로 지정, 보호 되는 생태계 분포지역 또는 역사적, 학술적으로 보존가치가 있는 문화재가 존재하지 아니하는 곳이어야 한다.
제안선호요건	처분장은 관련법으로 지정, 보호되고 있는 생태계 보호지역으로부터 가능한 한 먼 거리에 위치하여야 한다.

12. 천연자원보호

국토 환경 내에 분포하는 모든 광물자원을 포함하여 유용한 산업자원은 미래세대를 위해서 보존하여 지속적으로 유지관리 되어야 할 천연자원이다. 이러한 천연자원이 분포하는 지역은 처분장 후보부지로서 배제되어야 한다. 또한 처분장 부지는 가능한 한 이들로부터 먼 거리에 위치함으로써 처분장 부지 주변에서 인위적인 침입과 같은 사건이 발생하지 않도록 고려하여야 한다. 충분요건으로 반영함과 동시에 후보부지 선별, 선정평가과정에서 선호요건으로 적용하는 것이 바람직하다.

표 4.3.22 처분장부지의 천연자원보호 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준1	처분장은 후세대에 유용할 것으로 예상되는 광물자원이 분포하는 지역에 위치하여서는 아니된다.
위치기준2	처분장은 수자원의 이용조건과 관련하여 상수원 보호구역 등 자연자원 보호지역에 위치하여서는 아니된다.
제안충분요건1	처분장은 인간침투 등으로 처분시설의 안전성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 천연자원 분포지역에 위치해서는 아니된다.
제안충분요건2	처분장은 토양, 산업광물 및 수자원보호지역에 위치해서는 아니된다.
제안선호요건1	처분장은 처분안전성에 영향을 미치지 않을 정도로 충분한 방벽 두께의 유지 가능한 심도에 위치하여야 한다.
제안선호요건2	처분장은 수자원보호지역으로부터 가능한 한 먼거리에 위치하여야 한다
제안선호요건3	처분장은 주변지역의 사회경제적 제반 여건이 유리한 장소에 위치하여야 한다

13. 기상

기상과 관련한 요건은 강제적 충분요건이나 선호요건으로 적용하는데 한계가 있다. 이는 우리나라 국토의 면적이 기상과 관련한 요건들을 수용하여 선택적으로 적용할 만큼 넓은 국토가 아니기 때문에 보편적으로 전국이 동일한 여건이 될 것으로 판단된다. 하지만 최종 부지의 안전성평가 과정에서는 이러한 요소들을 반영하여 안전성평가에 임하여야 할 것이다. 따라서 충분요건으로 반영하기보다 선호요건으로 설정하여 특이한 기상 조건을 갖는 지역은 이를 고려하는 것이 바람직하다.

표 4.3.23 처분장부지의 기상특성 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준1	처분장은 강우 및 강설 등으로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미치는 곳에 위치해서는 아니된다.
위치기준2	처분장은 태풍, 돌풍, 지진해일, 폭풍해일 등으로 인하여 처분시설의 안전운영에 영향을 미치는 곳에 위치해서는 아니된다.

제안선호요건1	처분장은 강우 및 강설 등으로 인하여 가능한 한 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않는 곳이어야 한다.
제안선호요건2	처분장은 태풍, 돌풍, 지진해일, 폭풍해일 등으로 인하여 가능한 한 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않는 곳이어야 한다.

14. 건설, 운영 및 기타

처분장은 처분시설의 안전운영에 영향을 미치지 않도록 건설로 인한 구조적, 역학적 및 수리지질학적으로 안정된 기반암에 위치하여야 한다. 즉, 건설과정에서 유동경로의 변경 혹은 형성 가능성 등의 영향에 대한 검토가 요구된다.

표 4.3.24 처분장부지의 건설 및 운영 관련 처분장부지 지질환경 요건

위치기준1	처분장은 주변지역의 자연방사선 배경치는 건설 및 운영 종사자의 보건에 영향을 미치지 않을 정도로 충분히 낮은 지역 혹은 낮은 상태를 유지할 수 있는 장소이어야 한다.
위치기준2	처분장은 가능한 한 굴착작업 및 이에 관련된 시추사실이 없는 지역에 위치하여야 한다. 다만, 그러한 사실이 있을 경우에는 충분한 공간을 설정하여 처분장의 지형변화 가능성을 최소화할 수 있는 곳이어야 한다.
위치기준3	처분장은 지표수 관리체계의 통합, 예상 밖의 방사성핵종 이동현상에 대한 대비, 방사성핵종의 이동현상을 측정할 수 있는 충분한 공간을 확보할 수 있는 지역이어야 한다.
위치기준4	처분장은 가능한 한 토지이용의 효율성이 낮은 지역에 위치하여야 하며 비행장이 있거나 고압전송·통신선 및 가스와 석유수송로 등이 지나는 장소에 위치하여서는 아니된다.
위치기준5	처분장은 폐기물을 안전하게 수송하는 데에 적합한 교통조건을 갖춘 지역이거나 교통시설의 건설이 용이한 지역에 위치하여야 한다
위치기준6	처분장은 군사활동으로 인하여 처분장 안전운영에 영향을 미치는 지역이거나 그로 인한 방사성핵종 이동의 증가가 예상되는 지역에 위치하여서는 아니된다.

제안충분요건	해당없음
제안선호요건1	처분장은 처분장 및 주변지역의 자연방사선 배경치는 건설 및 운영 종사자의 보건에 영향을 미치지 않을 정도로 충분히 낮은 지역 혹은 낮은 상태를 유지할 수 있는 장소에 위치하여야 한다.
제안선호요건2	처분장은 가능한 한 굴착작업 및 이에 관련된 시추사실이 없는 지역에 위치하여야 한다. 다만, 그러한 사실이 있을 경우에는 충분한 공간을 설정하여 처분장의 지형변화 가능성을 최소화할 수 있는 곳이어야 한다.
제안선호요건3	처분장은 처분시설의 건설 및 운영 등 인위적 및 자연적 원인에 기인하는 응력장의 변화로 안전성에 영향을 미치지 않아야 한다.
제안선호요건4	처분장은 처분시설의 건설 등의 영향으로 지하수유동경로의 변화 혹은 투수성의 증가가 예상되지 않아야 한다.
제안선호요건5	처분장의 위치는 지표수 관리체계의 통합, 예상 밖의 방사성핵종 이동현상에 대한 대비, 방사성핵종의 이동현상을 측정할 수 있는 충분한 공간을 확보할 수 있는 지역이어야 한다.
제안선호요건6	처분장은 가능한 한 토지이용의 효율성이 낮은 지역에 위치하여야 하며 비행장이 있거나 고압전송·통신선 및 가스와 석유수송로 등이 지나는 장소에 위치하여서는 아니된다.
제안선호요건7	처분장은 폐기물을 안전하게 수송하는 데에 적합한 교통조건을 갖춘 지역이거나 교통시설의 건설이 용이한 지역에 위치하여야 한다.
제안선호요건8	처분장은 군사활동으로 인하여 처분장 안전운영에 영향을 미치는 지역이거나 그로 인한 방사성핵종 이동의 증가가 예상되는 지역에 위치하여서는 아니된다.
제안선호요건9	처분장은 주변지역의 사회경제성 제반 여건이 유리한 장소에 위치하여야 한다.

제 5 장 결론 및 제안

지하처분 연구시설(Uuderground Research Laboratory, URL)은 방사성폐기물 처분시설 개발 프로그램을 지원하기 위한 제반 시설로서, 독자적인 고준위폐기물처분시스템 개발 및 실증을 목적으로 우리나라에서는 KURT(KAERI Underground Research Tunnel)을 건설하여 일부 연구를 수행하고 있다. 매년 처리되는 방사성폐기물보다 생성되는 방사성폐기물이 점점 늘어나는 현시점에서 방사성폐기물처분장 건설을 계획할 필요가 있으며, 국내에 적합한 기술개발을 위한 URL시설의 확장 및 추가건설이 필요한 시점에 다다르게 되었다.

지하처분연구시설을 국내에 확보하는 대신, 선진 외국에 이미 건설되어 있는 지하연구시설(URL)을 활용하여 처분관련 연구를 수행하는 방안도 고려해 볼 수 있지만. 해외 지하연구시설을 활용하는 방안은 지하연구시설을 소유하고 있는 국가의 연구 및 시설활용 계획에 맞추어 우리나라의 연구항목, 시설 활용시기 등을 조정하여야 하므로 효율적인 연구수행에 많은 제약이 있고, 시설을 이용하기 위해 부담하여야 하는 분담금의 규모가 커져 경제적 관점에서도 불리하다. 또한 국내 지질환경과 유사한 해외 지하연구시설을 확보할 수 있는 가능성이 적고, 처분안전성에 대한 대 국민 홍보시설로 활용하는 것도 불가능하다.

처분시설에 따른 적합한 기술을 개발하기 위해서 지하처분연구시설은 필수적인 요소이며 방사성폐기물처분시설 개발 프로그램을 지원하기 위한 처분시스템의 현장실증시험, 예비안전성평가 및 엔지니어링기술실증과 대국민 교육홍보 이해증진 등이 종합적으로 이루어지는 지하연구시설은 처분시스템이 위치하게 될 지하 환경에서 실제 처분심도를 확보하여 연구를 수행하는 것이 가장 바람직하다.

본 연구를 통하여 이러한 지하처분연구시설(URL)이 확보되면, 한국형 처분시스템 실증으로 상용처분사업 기반기술을 구축하고, 국내 전문기술수준의 향상과 국제 협력 프로그램 활성화를 통한 기술수준 선진화에 활용될 것이다. 또한 향후 URL의 확장 및 건설에 따른 부지선정평가에 있어서, 시간 및 비용절감과 효율적인 업무수행과 처분시스템의 실증과정 등을 통하여 객관적이고 신뢰성 있는 지침들이 확립될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] UN(1992), United Nations: Report of The United Nations Conference on Environment and Development, Annex Ⅰ, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992.

[2] ICRP(1998), Annals of the ICRP, Publication 81, Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste, Elsvier, 1998.

[3] IAEA(1997), Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, INFCIRC/546, International Atomic Energy Agency, Vienna.

[4] IAEA(1995), The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F, International Atomic Energy Agency, Vienna.

[5] IAEA(2006a), Safety Standard Series No. SF-1, Fundamental Safety Principles, Safety Fundamental, International Atomic Energy Agency, Vienna.

[6] IAEA(2006b), Geological Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-4, International Atomic Energy Agency, Vienna (2006).

[7] NEA(2008), Nuclear Energy Agency, Progress Towards Geological Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?, Symposium Proceedings 23-25 January 2007, NEA No. 6319, OECD, Paris.

[8] NEA(1999a), Nuclear Energy Agency, Confidence in the Long-term safety of Deep Geological Repositories-Its Development and Communication, OECD, Paris.

[9] NEA(1999b), Nuclear Energy Agency, Geological Disposal of Radioactive Waste: Review of Development in the Last Decade?, OECD, Paris.

[10] NEA(2004a), Nuclear Energy Agency, Post-closure Safety Case for Geological Repositories, Nature and Purpose, NEA No. 3679, OECD, Paris.

[11] NEA(2004b), Nuclear Energy Agency, Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management Issues and Guiding Principles, NEA No. 4429, OECD, Paris.

[12] NEA(2008a), Nuclear Energy Agency, RWMC Regulator's Forum (RWMC-RF), Regulating the Long-term Safety of Geological Disposal of Radioactive Waste: Practical

Issues and Challenges, Workshop Proceedings, NEA No. 6423, OECD, Paris.

[13] ICRP(1998), Annals of the ICRP, Publication 81, Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste, Elsvier, 1998.

[14] NEA(1997), Joint CNRA/CRPPH/RWMC Workshop. "Regulating the Ling-term Safety of Radioactive Waste Disposal", Proceedings of an NEA International Workshop held in Cordoba, Spain, 20-23 January 1997, OECD, Paris.

[15] NEA(2008), Progress Towards Geological Dispasal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?. Symposium Proceedings 23-25 January 2007, NEA NO.6319, OECD, Paris 2008

[16] NEA(2006), Nuclear Energy Agency, Integration Group for the Safety Case (IGSC), consideration of Timescales in Post-closure Safety of Geological Disposal of Radioactive Waste, NEA/RWM/IGSC(2006)3.

[17] EPA(2001), Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 197, Public Health and Environmental Radiation Protection Standards for Yucca Mountain, NV; Final Rule, 2001.

[18] EPA(2008), Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 197, Public Health and Environmental Radiation Protection Standards for Yucca Mountain, Nevada; Final Rule, October 15 2008.

[19] NEA(2007), Nuclear Energy Agency, RWMC Regulator's Forum (RWMC-RF), Regulating the Long-term Safety of Geological Disposal. Towards a Common Understanding of Main Objectives and the Bases of Safety Criteria, NEA No. 6182, OECD, Paris.

[20] SKB(1999), Deep Repository for spent nuclear fuel. Main, Report (Volumes Ⅰand Ⅱ), SR 97 Post-closure safety, Svensk Karnbranslehantering AB, Stockholm 1999.

[21] USNRC, 10 CFR Part 960, 10 CFR Part 963

[22] STUK(2001), Regulations and Nuclear Safety Authority (STUK, Finland) Guidelines; Long-term safety of disposal of spent fuel STUK Guide YVL 8.4 (2001)

[23] HSK(2008): Spezifische Auslegungsgrundsaze fur geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis Entwurf 18, (2008)

[24] CNSC(2006), Canadian Nuclear Safety Commission: Regulatory Guide- Assessing the Long Term safety Radioactive Waste Management, G-320, 2006.

[25] Environment Agency(2008): Deep Geological Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes: Guidance on Requirements for Authorization - Draft for Public

consultation, 15 May 2008.
[26] 김우석, 이재학, 김현주, 김건영, 배대석, 지하처분연구시설(URL) 개념설계: 일본 MIU사례, 한국방사성폐기물학회.2012.

감 사 의 글

군대 전역 후, 선배의 권유와 대학원 진학을 위해 핵주기 실험실에 들어오게 되었는데 이렇게 오랜 시간을 보내게 될 줄은 몰랐습니다. 실험실에 처음 들어와 실수로 교수님의 다기셋트를 깨뜨렸던 에피소드가 문득 생각나는 이유는 모르겠지만 이러한 사건사고들도 되돌아보니 많은 후배들과 동기들과 함께해서 더욱 오랜 시간을 즐겁게 지내온 거 같습니다.

지금의 제가 있기까지 많은 분들의 도움과 관심이 있었지만 무엇보다 저에게 가장 큰 가르침을 주신 송종순교수님께 감사하다는 말씀을 드리고 싶습니다. 칭찬은 고래를 춤추게 한다는 말처럼 실수를 하였을때도, 무언가 부족한 점이 있었을때도 교수님의 격려와 많은 조언들, 그리고 긍정적인 자세를 보면서 많은걸 배우고 느꼈습니다. 앞으로도 이 가르침 잊지 않고 열심히 노력하겠습니다. 항상 바쁘시지만 학생들에게 많은 것을 알려주시는 김숭평 교수님, 항상 즐겁고 재미나게 강의를 해주시는 이경진교수님과 정운관교수님, 학생들을 독려하며 많은 것을 알려주시는 나만균교수님, 김진원교수님께도 많은 감사의 말씀 드립니다.

저에게 처음 실험실을 권유해주었던 강일이형, 상헌이형에게 고맙다는 말을 하고 싶습니다. 형들이 있어서 항상 즐거웠습니다. 학부시절부터 지금까지 학업과 진로에대해 멘토를 해준 경원이형, 동혁이형 고맙습니다. 앞으로 잘 부탁립니다. 항상 웃으면서 대해주던 용진이형, 무뚝뚝하지만 누구보다 정이 많은 민수형, 동수형, 영규형, 장난꾸러기 기현이형 정말 고맙습니다
대학원 2011학번 (큰)김주현, 한이형, 재환이형, 사용이, 현석이 같이 졸업은 못했지만 함께 보낸 시간 재미있었습니다. 특히 주현이 너하고는 10년이 넘은 듯 싶구나.. 앞으로도 꾸준히 잘 지내보자.
말썽꾸러기 건필이, 남궁이, 회열이, 경훈이, 명락이, 허위, 학주, 익현이,,,09학번들도 고맙다. 너네 덕분에 심심하지는 않았던거같다.

무엇보다 항상 나와 함께 지낸 우리 핵주기실험실 영국이, 현민이, 태빈이에게 매우 고맙다고 말하고 싶습니다. 잘 표현하지 않는 성격이라 좋은 말보다 쓴소리를 더 많이 듣고 지내왔지만 그래도 항상 옆에서 실장형이라고 믿고 묵묵히 따라와 준 덕분에 마음한편이 든든했던거 같다.

나의 10년 지기 친구들인 용연이, 정엽이, 상인이, 종환이, 해근이. 항이, 익수, 혜진이, 소연이, 은경이, 행은이, 정배, 정주, 치호, 한영이, 그리고 청솔 가족들, 은우회 친구들에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

항상 저를 믿고 지켜봐주시는 엄마, 아빠, 내 하나밖에 없는 동생 법우에게 믿어줘서 고맙다는 말을 끝으로 마치려고 합니다.

저는 이제 새로운 시작을 준비하러 갑니다. 남들과는 약간 다른 시작이기도 하고, 아직은 경험해보지 못한 생소한 시작이지만 지금처럼 앞으로도 믿어주시고 지켜봐주시기 바랍니다.

감사합니다.

2013년 6월

정민영