



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

공학석사 학위논문

한반도에서의 소규모 핵폭발 분석을 위한
저강도 인공지진 특성연구

2016년 2월

서울대학교 대학원
에너지시스템공학 원자핵공학 전공
류영광

한반도에서의 소규모 핵폭발 분석을 위한 저강도 인공지진 특성연구

지도교수 황 일 순

이 논문을 류영광 석사학위논문으로 제출함
2014 년 12월

서울대학교 대학원
에너지시스템공학과 원자핵공학과 전공
류 영 광

류영광의 석사 학위논문을 인준함
2014 년 12 월

위 원 장 최 희 동 (인)

부위원장 황 일 순 (인)

위 원 한 용 섭 (인)

국문초록

북한의 핵개발 현황 및 4차례 실시한 핵실험 탐지방법 현황 및 전 세계적으로 핵실험 판단의 공식적인 기준이 되는 CTBTO의 IMS 등에 대한 자료 및 문헌을 조사하였다.

특히 지진규모와 폭발력과의 규모식을 연구하면서 실제 한반도에서 소규모 핵폭발 분석을 위해 적용 가능한 저장도 인공 지진과 폭발력과의 규모식을 연구하였다. 이를 위해 지질자원연구원(KIGAM)과 강릉 경찰서의 협조로 지진규모와 폭발력과의 상관 관계를 분석하였다.

100km 이상 원거리에서 발생하는 지진에 대해서는 CTBTO의 규모식이 적합하고, 근거리에서 발생하는 지진에 대해서는 KIGAM의 규모식을 적용하는 것이 합리적임을 확인하였다. 따라서 북한의 핵실험에서 발생하는 핵실험을 CTBTO의 기준을 적용하는 것이 합리적일 것이다. 그러나, 1kt 이하에서 발생하는 지진규모를 평가하는데 있어 정확한 폭발량을 평가하는데 제한이 되었다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 북한의 핵실험장으로부터 최단 거리에 있는 중국 또는 러시아의 탐지장비 지진규모를 확인하여 KIGAM의 폭발규모식에 적용하는 것이 최적의 방법이라고 평가된다.

주요어 : 소형 핵실험, 핵활동 탐지, 인공폭발 CTBTO, IMS, KIGAM

학 번 : 2013-22539

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경	1
제 2 절 연구의 목표	7
제 2 장 이론적 배경	8
제 1 절 핵물질 및 핵분열 반응	8
제 2 절 핵연료 주기	16
제 3 절 핵활동 탐지방법	28
제 3 장 한반도에서의 저장도 인공폭발 특성 ...	38
제 1 절 연구의 범위 및 절차	38
제 2 절 연구결과	41
제 4 장 논의 및 결론	45
참고문헌	46
Abstract	68

표 목 차

[표 2-1] 플루토늄 단계별 동위원소 보유량	9
[표 2-2] 5MWe 흑연로 제원	25
[표 2-3] CTBT monitoring of different test environments	28
[표 2-4] 핵연료에서 생성되는 누적 피션일드	32
[표 2-5] 제논 동위원소별 생성기원	33
[표 2-6] 제논 동위원소별 방사선양	33
[표 2-7] 켈리킬로톤 인덱스	36

그림 목 차

[그림 1-1] 2010년 북한 방사성동위원소탐지 현황	4
[그림 1-2] 2010년 북한 핵실험 추정 인공지진 탐지	5
[그림 2-1] 원자로심내 중성자의 핵반응 현상	10
[그림 2-2] UF6 cylinders in protective shipping packages ·	17
[그림 2-3] 우라늄 농축시설 모델링	20
[그림 2-4] 5MWe 핵연료봉	22
[그림 2-5] Cross-section of the 5 MWe reactor	26
[그림 2-6] 3차 핵실험 방사성동위원소 포획현황	30
[그림 2-7] 방사성제논 카테고리 분석(kalinowski plot) ·	31
[그림 3-1] On-site inspection	39
[그림 3-2] 채광 발파작업일지 현황	40
[그림 3-3] 저장도 인공지진 탐지현황	41
[그림 3-4] 저장도 인공지진 고도별 분포현황	41
[그림 3-5] 인공지진 규모별 폭약사용량 현황	42
[그림 3-6] 고도별 폭발규모 분포현황	43
[그림 3-7] 100km 이상 이격 시 지진규모에 따른 폭발력	44
[그림 3-8] 100km 이하 이격 시 지진규모에 따른 폭발력	44

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경

2016년 1월 6일 10시 30분 북한의 4차 핵실험이 감행되었고, 2시간이 지난 12시 30분(평양시간 12시) 조선중앙TV를 통해 “우리의 기술, 우리의 힘 백프로에 의거 소형화된 수소폭탄 시험에 완전히 성공했다”고 공식 발표했다. 북한의 핵실험과 관련 원자력안전위원회, KINS, 기상청 및 지질자원연구원 등은 각 기관의 핵실험 탐지수단을 이용하여 분석결과를 발표하였는바, 원자력안전위원회와 KINS는 1월 8일 오후 핵실험 직후인 4개의 방사성제논 핵종 중 ^{133}Xe 이 미량 ($0.3\text{mBq}/\text{m}^3$) 검출되었으나, 이는 평상시 육상 두 곳에 설치된 고정식 방사성제논 탐지 장비에서 측정되는 정도이며, 특히 다른 방사성 제논 동위원소 (^{135}Xe , $^{131\text{m}}\text{Xe}$, $^{133\text{m}}\text{Xe}$)도 검출되지 않았다고 발표¹⁾하였다. 기상청과 지질자원연구원의 경우 4.8규모의 인공지진이 발생하였으며, 지진의 규모를 고려 시 수소폭탄이 폭발했다고 보기에는 무리가 있다는 결과를 발표했다. 그러나 정확한 위력과 핵융합 반응 여부 등은 불확실한 상태라 할 수 있다. 이와 같이 2006년 북한의 핵실험이 시작된 이후 북한의 핵개발 능력에 대한 분석은 다양한 방법으로 실시되고 있으나, 정확한 그들의 핵개발 능력에 대한 분석은 제한되고 있는 것이 사실이다. 특히 2013년 2월 12일 제3차 핵실험 이후 이러한 북한의 핵실험에 대한 불확실성은 증가하게 되었는데, 3차 핵실험 이후 노동신문 사설을 통해 「소형화, 경량화, 다중화, 정밀화」된 핵무기를 모두 갖고 있다고 언급²⁾하면서

1) 원자력안전위원회, 2016, www.nssc.go.kr

폭발력 규모, 폭탄의 종류, 사용된 핵물질의 종류와 양 등에 대한 다양한 가능성 등을 고려해야하는 상황이 되었기 때문이다. 이러한 불확실성 중 미사일 탑재능력과 관련이 있는 핵무기의 소형화는 국가의 안보와 직결된 사항으로 북한의 핵무기 개발에 있어 반드시 정확하게 평가할 수 있는 기준이 필요할 것이다.

북한의 소규모 핵실험 가능성에 대한 언급은 2012년 Swedish Defense Research Agency의 Lars-Erik De Geer의 보고서를 통해 제시되었는데, 보고서 내용에 따르면 한국과 일본 그리고 러시아에 설치된 방사성동위원소 탐지 시스템 장비에 세논이 탐지($10\text{-}0.1\text{mBq/m}^3$)되었으며 (fig.1), 플루토늄보다는 우라늄에 의한 테스트일 가능성이 높다는 것이었다. 또한 그는 북한이 우라늄탄을 이용하여 저출력 핵실험을 위해 Boosted Fission Weapon을 사용하였을 것이라고 추정하였다. De Geer는 당시의 핵폭발 규모를 50t TNT(또는 크기는 200 tTNT) 이하로 보고 있으며, 이 정도의 폭발력은 지하 핵실험의 충격완화효과(decoupling)로 인해 지진파가 검출되지 않았을 수 있다고 주장하였다.³⁾

이와 관련하여 우리나라의 공식적인 입장은 핵실험일 가능성이 낮다고 판단하였는데, 핵실험 시 발생하는 강한 인공지진파가 탐지되지 않았다는 것이 가장 큰 이유였다. 그러나 이 연구결과와 관련하여 2014년 11월 중국의 과기대에서는 핵 실험장에서 100km 주변에 설치된 중국의 지진계측소로부터 탐지된 1.44 ± 0.13 규모의 인공지진 정보를 탐지하고

2) 5월 21일 노동당 기관지, “3차 핵실험은 폭발력이 크면서도 소형화, 경량화된 원자탄을 사용해 높은 수준에서 안전하고 완벽하게 진행됐다”

3) Lars-Erik De Geer, “Radionuclide Evidence for Low-Yield Nuclear Testing in North Korea in April/May 2010,” Science & Global Security, Volume 20, No. 1, 2012.

발생위치를 분석하여 $2.9 \pm 0.8 \text{ton}$ 규모의 폭발이 북한의 핵 실험장에서 발생하였다는 연구결과를 발표⁴⁾하였다. 2010년 소규모 핵실험에 대한 결론은 아직까지 불확실하지만 이 사례를 통해서도 알 수 있듯이 핵실험에 대한 평가는 핵실험의 확실한 증거라고 할 수 있는 방사성동위원소가 포획되더라도 이를 뒷받침 할 수 있는 인공지진이 탐지되어야만 공식적으로 핵실험으로 인정하고 있다는 것이다.

핵무기 현대화 및 개발을 억제하고 타 국가로의 핵확산을 방지하기 위해 철저한 검증시스템이 요구되는데, 이러한 목적에 따라 설립된 포괄적핵실험금지조약기구⁵⁾(이하 CTBTO : Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization)에서는 핵실험 감시 및 조약의 검증을 위해 회원국에게 핵폭발의 증거를 탐지하여 제공하는 감시망인 국제감시시스템(이하 IMS : International Monitoring System)을 전 세계적으로 배치하여 운영 중에 있으며, 이 시스템을 통해 탐지된 데이터가 핵실험 유무를 공식적으로 판단하는데 기준이 되고 있다.

핵실험 후 발생하는 제논 탐지와 소규모 인공지진이 핵실험장에서 발생하였다면 핵무기 개발과 관련한 활동이 진행되었다는 논리적 전개는 가능하기 때문에 소규모로 탐지되는 인공지진이라 할지라도 간과하지 말아야 하겠지만, 실제로 과거 미국과 러시아 등에서 실시한 핵실험을

4) Miao Zhang, "Seismological Evidence for a Low-Yield Nuclear Test on 12 May 2010 in North Korea", Laboratory of Seismology and Physics of Earth's Interior School of Earth and Space Sciences University of Science and Technology of China Hefei, 2014.

5) 1996년 9월 유엔에서 채택되고 각 국에 서명을 위해 개방 중이며, 현재까지 미발효 상태임.(2014.12월 기준 총 182개국이 서명, 154개국이 비준하였고 CTBT 발효를 위해서는 미국, 이스라엘, 이집트, 이란, 중국, 인도, 파키스탄, 북한 등의 비준이 필요함.)

통해 얻은 지진과 폭발력에 대한 규모식을 기반으로 CTBTO에서는 일반적으로 1KT 이상에서 발생하는 인공지진에 대해서만 핵실험으로서 가능성을 보고 탐지를 실시⁶⁾하고 있기 때문에 핵실험에 대한 경험식이 없는 우리나라 역시 비록 북한으로부터 제논이 탐지 되고, 1KT 이하의 소규모 인공지진이 탐지되었더라도 핵실험일 가능성은 낮을 것으로 판단했을 가능성이 높다고 예상된다.

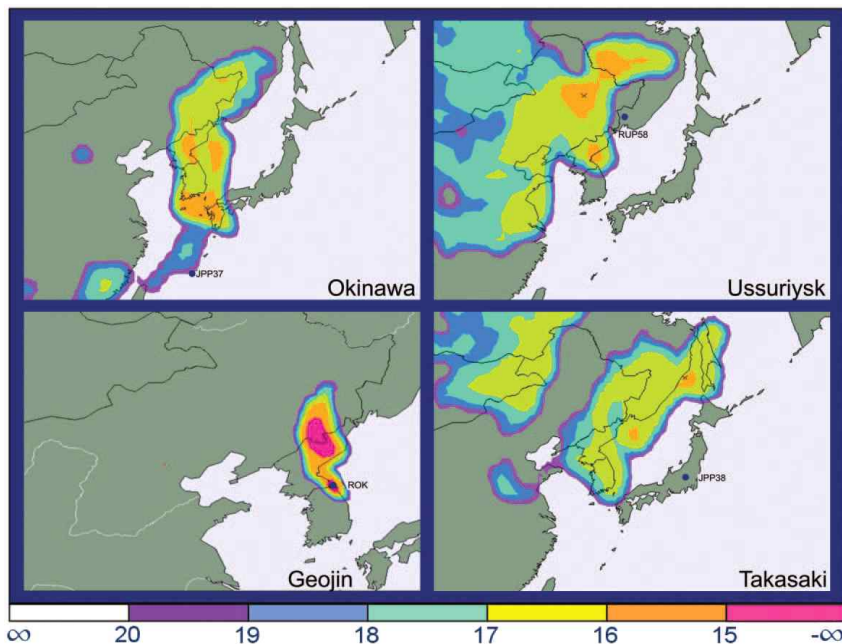


그림 1-1 Differential Fields of Regard as calculated by WebGrape based on the first detections at the four stations indicated (for Takasaki the sample with the highest xenon-133 concentration was selected).

6) Letter from James Schlesinger, Richard Cheney, Frank Carlucci, Caspar Weinberger, Donald Rumsfeld, and Melvin Laird to the Honorable Trent Lott, Majority Leader, United States Senate, and The Honorable Tom Daschle, Democratic Leader, United States Senate, in Senate Armed Services Committee(SASC) CTBT hearings, 1999, p.131.

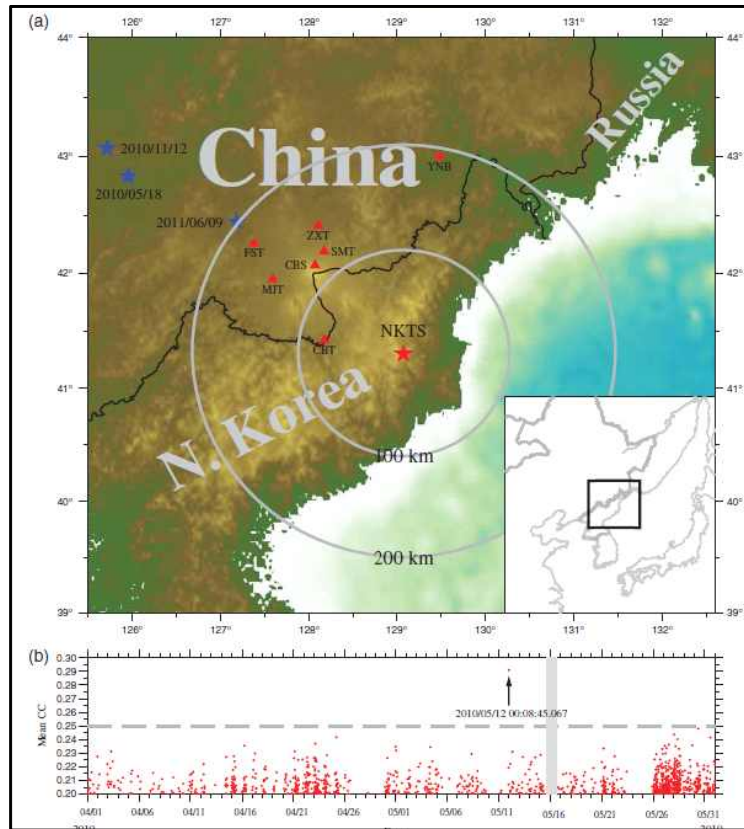


그림 1-2 (a) Location of North Korea's nuclear test site (NKTS, red star), seven seismic stations (red triangles) within 200 km of the test site, and three nearby earthquakes (blue stars) used in event type comparison. (Inset) A regional map of eastern Asia in which the black rectangle indicates the study area. (b) Maximal values of the stacked cross correlograms for every 0.001 s time interval (red dots) from 1 April 2010 to 31 May 2010 (only the values greater than 0.2 are plotted) and a detected event at 00:08:45.067 UTC on 12 May 2010 (dot labeled by the event origin time). Gray dashed line stands for the mean CC threshold of 0.25. Gray area indicates the time window of data gap (from 16:00 UTC on 15 May 2010 to 16:00 UTC on 16 May 2010).

이와 같이 북한의 위장 및 은폐 활동으로 인해 실제 북한의 핵실험 또는 북한의 핵무기 개발능력에 대한 탐지가 상당히 제한적으로 되었지만 북한이 발표한 핵실험의 결과들은 북한의 능력에 대한 평가를 더욱더 불확실하게 하고 있다. 이 시점에 북한의 핵개발 탐지방법에 대한 현황 및 제한사항 등을 확인해야 할 것이며, 공식적인 핵실험의 기준이 되는 CTBTO IMS의 기술적 한계와 제한사항 등을 점검하고 새로운 해결책을 모색해야 할 필요가 있을 것으로 판단된다. 특히, 북한 핵실험의 결정적인 기준으로 판단되는 인공지진과 폭발력과의 관계식과 관련하여 과연 한반도에서의 소규모 핵폭발 분석을 위해 적용가능한지 유무와 북한의 핵무기 소형화와 관련하여 한반도에서의 저장도 인공지진 특성에 대한 연구의 필요성이 이 연구의 배경이라 할 수 있다.

제 2 절 연구의 목표

동 연구에서는 북한의 핵개발 현황 및 4차례 실시한 핵실험 탐지방법 현황 및 전 세계적으로 핵실험 판단의 공식적인 기준이 되는 CTBTO의 IMS 등에 대한 자료 및 문헌을 조사하였으며, 대부분의 자료는 공식적이 기준이 될 수 있을 것으로 판단되는 CTBTO와 국제원자력 기구(이하 IAEA)를 통해 확인하였다.

특히 북한의 핵실험 탐지의 중요한 요소인 지진정보와 방사성 동위원소간의 상관관계를 알아보았고, 지진규모와 폭발력과의 규모식을 연구하면서 실제 한반도에서 소규모 핵폭발 분석을 위해 적용 가능한 저장도 인공지진과 폭발력과의 규모식을 연구하였다. 이를 위해 지질 자원연구원(KIGAM)과 강릉 경찰서의 협조로 2011년에서부터 2013년간 한반도에서 발생한 인공지진 데이터와 강원도 시멘트 채광 시 사용한 폭약일지를 바탕으로 지진규모와 폭발력과의 상관관계를 분석하였다.

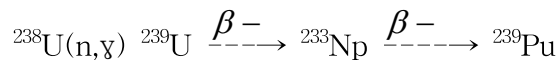
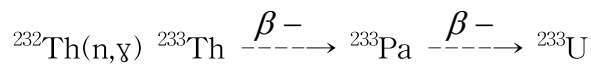
최종적으로 저장도 인공지진과 폭발력과의 상관관계 분석 결과를 바탕으로 한반도에서의 소형 핵실험에 대한 탐지방법을 제시하였다.

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 핵물질 및 핵분열 반응

본 연구에서는 북한의 핵폭발 활동 탐지에 중점을 두고 있기 때문에 핵물질 및 핵분열 반응과 핵연료주기에 관련된 정보를 문헌정보를 통해 정리하였다.

핵분열성(Fissile) 물질은 중성자를 흡수하면 핵분열을 일으키는 핵종으로, 핵무기 및 원자로의 핵연료로 사용되며 ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu 등이 있다. 핵원료성(Fertile) 물질은 중성자를 흡수하면 핵분열성 물질로 변환 될 수 있는 핵종을 말하며, ^{238}U 과 ^{232}Th 가 있다. 다음은 ^{238}U 과 ^{232}Th 이 중성자를 흡수하여 ^{239}Pu 과 ^{233}U 으로 전환되는 과정이다.



가장 중요한 핵물질은 우라늄과 플루토늄이며, 우라늄은 ^{235}U 의 비율에 따라 천연우라늄, 농축우라늄, 열화 우라늄으로 분류한다.

① 천연우라늄 : ^{234}U 가 0.0055%, ^{235}U 가 0.72%, ^{238}U 이 99.2745%로 자연상태에 존재하는 우라늄

② 농축우라늄 : ^{235}U 가 0.72% 이상인 우라늄(통상 3-90%)

③ 열화우라늄 : ^{235}U 가 0.72% 미만인 우라늄

플루토늄은 원자로내에서 ^{238}U 이 중성자를 흡수하여 만들어지는

인공핵종으로 자연에는 존재하지 않으며 독성이 매우 강한 방사성 물질이다. Pu은 ^{236}Pu , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu 등 여러 동위원소로 구성되는데 가장 중요한 것은 ^{239}Pu 이며, 대체로 ^{239}Pu 가 차지하는 비율에 따라 등급이 결정된다.

Super-grade 및 Weapon-grade Pu이 주로 핵무기 제조에 사용된다. 물론 Reactor-grade 이하의 Pu도 핵무기 제조에 사용될 수 있으나, Weapon-grade Pu보다 효율적인 폭탄을 만들기 어렵다. 핵무기에 사용되는 동위원소는 ^{239}Pu , ^{241}Pu 이나 반감기 문제로 ^{239}Pu 가 사용되어진다.

구 분	동위원소(%)				
	^{238}Pu	^{239}Pu	^{240}Pu	^{241}Pu	^{242}Pu
Super-Grade	-	98.0	2.0		
Weapon-Grade	0.12	93.8	5.8	0.35	0.022
Reactor-Grade	1.3	60.3	24.3	9.1	5.0
MOX-Grade	1.9	40.4	32.1	17.8	7.8
FBR Blanket		96.0	4.0		

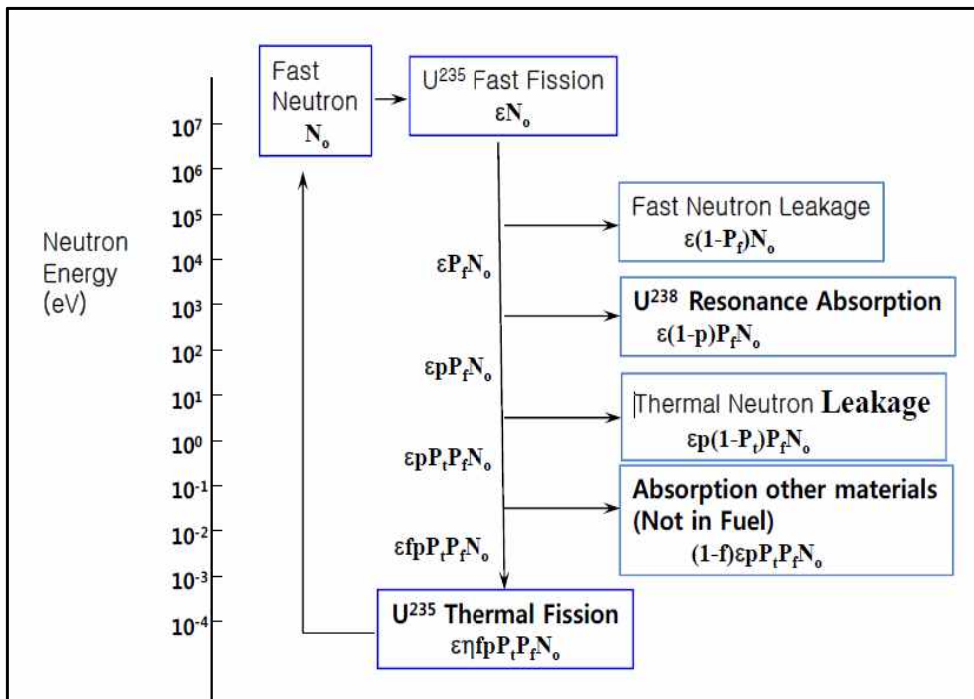
[표 2-1] 플루토늄 단계별 동위원소 보유량

핵분열(Fission)은 핵물질이 중성자를 흡수하면 핵분열 생성물 A와 B로 쪼개지면서 2-3개의 중성자와 막대한 에너지를 방출하는 반응으로 이때 방사선 방출이 뒤따른다. 연쇄반응(Chain Reaction)이란 한번의 분열시에 방출되는 2-3개 중성자의 일부가 다른 핵 물질에 흡수되어 핵분열 반응을 일으키게 되는데 이러한 핵분열 과정이 연속적으로 진행되는 것을 말한다. 원자로와 핵무기는 핵분열 연쇄반응을 통해 에너지를 얻는다는 점은 같다. 그러나 원자력발전소의 원자로는 제어봉(control

rod)이 있어, 핵분열 연쇄반응이 천천히 일어나도록 조절 및 통제하여 필요한 만큼의 에너지를 안전하게 뽑아 쓸 수 있도록 만든 장치이며, 핵무기는 핵분열 연쇄반응을 통제하지 않고 오히려 촉진시킴으로써 급격한 연쇄반응을 일으켜 일시에 최대한의 에너지를 방출할 수 있도록 만든 장치라 할 수 있다.

이와 같이 핵분열 반응에 영향을 주는 중성자와 관련하여, 핵분열 반응에 의해 새로이 탄생되는 새 세대의 중성자수와 흡수나 누설에 의해 사라지는 바로 전 세대 중성자수의 비를 증배계수 k 로 표현할 수 있는데 열출력의 증감을 결정짓는 주요 변수라 할 수 있다.⁷⁾

$$\text{증배계수 } k = \eta \cdot f \cdot \varepsilon \cdot p \cdot L_f \cdot L_t$$



[그림 2-1] 원자로심내 중성자의 핵반응 현상

7) 김창순, “핵공학개론”, 한국원자력학회, 1989. p91.

먼저 열핵분열에 의해 태어난 N_0 개의 속중성자가 있었다고 할 경우 이 속중성자는 1MeV 이상 구간에서 속핵분열 반응을 일으킬 수 있으며 속핵분열의 결과 생겨나는 중성자는 다음과 같이 정의되는 속핵분열자 ϵ 에 의해 정해질 수 있다.

$$\epsilon = \frac{\text{열핵분열에 의해 생겨난 중성자 수} + \text{속핵분열에 의해 생겨난 중성자 수}}{\text{열핵분열에 의해 생겨난 중성자 수}}$$

따라서 초기 N_0 개의 속중성자는 속핵분열 반응으로 말미암아 ϵN_0 개로 불어나며 이들은 열중성자로 감속되어 간다. 열중성자로 감속도중 속중성자의 일부는 원자로 밖으로 누설되며, 그리고 일부는 1 eV⁸⁾ - 수백 KeV에 걸치는 에너지 영역에서 공명흡수되기 때문에 원자로 밖으로 누설되지 않고, 또 공명흡수되지 않은 중성자만이 열중성자가 된다. 그러므로 속중성자의 비누설확률과 공명흡수도피확률을 각각

$L_f =$ 속중성자가 원자로 밖으로 새어나가지 않을 확률

$P =$ 속중성자가 공명흡수를 피하고 무사히 열 중성자가 될 확률

로 정의하면 열핵분열과 속핵분열에서 생긴 ϵN_0 개의 중성자중 $\epsilon L_f N_0$ 개의 속중성자는 원자로 밖으로 새어나가지 않은 채 감속하게 되고 이들 중 $\epsilon L_f P N_0$ 개의 중성자는 공명흡수를 피하고 열중성자가 되게 된다.

8) 핵공학 분야에서 매우 널리 이용되는 에너지 단위로서 전자볼트(Electron Volt, eV)라고 한다. 이는 한 개의 전자가 1Volt의 전압을 통과할 때 얻게 되는 운동에너지로 정의되며, 1eV는 1.60219×10^{-19} J의 에너지에 해당됨.

열중성자 또한 그 일부는 원자로 밖으로 새어나가는데 열중성자의 비누설확률 L_t

$L_t =$ 열중성자가 원자로 밖으로 새어나가지 않을 확률

와 같이 정의하면, $\epsilon L_{fp} L_t N_0$ 개가 열중성자로 남게된다. 이들 중성자는 원자로 물질(즉 핵연료, 가속재, 구조재 등)에 모두 흡수되어 버리는데 이 중 핵연료에 흡수되는 수는 열중성자이용확률 f 를

$$f = \frac{\text{핵연료 물질에 흡수되는 열중성자 수}}{\text{원자로 물질에 흡수되는 총 열중성자 수}}$$

와 같이 정의하면 $\epsilon L_{fp} L_t f N_0$ 이다. 핵연료에 흡수된 열중성자는 핵분열 반응을 일으켜 새로운 중성자를 탄생시키는데 이는 중성자 재생인자 η 를

$\eta =$ 핵연료에 하나의 중성자가 흡수될 때마다 핵분열에 의해 새로이 생성되는 중성자수

와 같이 정의하면 $\epsilon L_{fp} L_t f \eta N_0$ 개의 새로운 속중성자가 열핵분열에 의해 탄생되게 된다. 그리고 이들 속중성자가 다시 속핵분열에 참여하게 되면서 위에 기술한 과정을 반복하게 된다.

이상 설명한 것을 요약하면 열핵분열의 결과로서 초기에 있었던 N_0 개의 속중성자는 누설이나 흡수반응을 통해 중국에는 원자로에서 사라진다. 그러나 이들 중 일부는 핵연료에 흡수되어 새 세대의 속중성자를 $\epsilon L_{fp} L_t f \eta N_0$ 개만큼 탄생시키게 된다.⁹⁾

9) 김창순, “핵공학개론”, 한국원자력학회, 1989. p91.

임계(Criticality)는 핵분열 연쇄반응이 진행될 때 어떤 한세대 (Generation)에서 일어나는 핵분열 수와 다음 세대에서 일어나는 핵분열 수가 동일하여 일정한 수준의 핵분열이 지속적으로 유지되는 상태($k=1$)를 말한다. 원자력발전은 이 상태를 유지하고 운전되고 있다. 준임계 (Subcritical)는 연쇄반응에서 다음 세대의 핵분열 수가 이전 세대의 핵분열 수보다 적어져서 점차적으로 핵분열이 줄어드는 상태를 말한다. ($k<1$) 초임계(Supercritical)는 다음 세대의 핵분열 수가 이전 세대의 핵분열 수보다 많아 핵분열 수가 점점 증가하는 상태를 말한다. ($k>1$) 이때 핵분열 수가 기하급수적으로 증가하여 핵분열 연쇄반응이 폭발적으로 일어나는 것이 핵폭발이다.

핵분열시 방출되는 핵에너지는 핵분열을 일으키는 핵종에 따라 약간의 차이가 있지만 대략 200MeV이며 이는 원자력 열출력의 근원이 된다. 예를 들어 ^{235}U 1kg이 모두 핵분열을 일으켰을 때 방출되는 핵분열 에너지는 1g의 ^{235}U 속에는 ^{235}U 원자핵 수(= N^{25})

$$N^{25} = 1/235 \times 6.023 \times 10^{23} = 2.563 \times 10^{21}$$

가 있으므로 이들 모두가 핵분열반응을 일으키면

$$\begin{aligned} E &= 200(\text{Mev/fission}) \times 2.563 \times 10^{21} = 5.126 \times 10^{23} \text{ Mev} \\ &= 5.126 \times 10^{23} (\text{Mev}) \times 1.602 \times 10^{-13} (\text{watt-sec/Mev}) \\ &= 8.212 \times 10^{10} \text{ watt-sec} \\ &= 8.212 \times 10^4 (\text{Mw/watt}) \times (1 \text{ day}/86400 \text{ sec}) \\ &= 0.96 \text{ MwD/g fission} \end{aligned}$$

이라 할 수 있다.

증배계수 k 값은 이와 같이 원자로 출력의 증감을 조절할 수 있는 원자로 상태변수이다. 원자로를 제어한다는 것은 k 를 1보다 크거나 작은 값으로 또는 1로 자유자재로 변화시켜 필요에 따라 출력을 높이거나 내리거나 혹은 일정한 값으로 유지할 수 있다는 것을 말한다. 뿐만 아니라 k 값을 조정함으로써 필요시 원자로를 정지시키거나 가동시킬 수 있다는 것을 뜻한다. 증배계수 k 값은 여러 가지로 조절할 수 있는데 가장 보편적으로 쓰이고 있는 방법은 제어물질이라 불리는 중성자 흡수물질을 원자로 속에 집어넣거나 빼내는 방법이 있다. 가령 붕소는 열중성자를 매우 잘 흡수하는 물질인데 이 물질을 원자로 속에 주입하는 양에 따라 k 의 값이 변할 수 있다. 그리고 붕소를 주입하는 방법은 B_4C 와 같은 화합물을 붕의 형태로 제작하여 노심내에 장전 또는 인출하거나 감속재 속에 붕산의 형태로 섞어 그 붕산 농도는 조절하는 방법이 있다.¹⁰⁾

마지막으로 핵무기란 원자핵의 분열반응 또는 융합반응에 의해 발생하는 방대한 에너지를 인명살상 및 시설 파괴에 사용하는 무기의 총칭으로 원자폭탄, 수소폭탄, 핵무기, 핵분열폭탄, 핵융합폭탄, 열핵무기 등으로 불리어진다. 핵무기는 파괴력을 발휘하는 에너지가 발생하는 핵반응의 종류에 따라 크게 핵분열 무기와 핵융합무기로 분류할 수 있으나, 그 디자인에 따라 더 세부적으로 분류할 수 있다.

원자폭탄은 최초 개발 시 원자의 반응에 의해 에너지가 발생된다는 이유로 명명되었으나, 이는 잘못된 정의로 핵융합폭탄이 이에 해당하는 더 적합한 이름이나, 과거 핵무기를 개발한 과학자들이 사용했던 용어를 그대로 받아들여 통상적으로 핵분열 폭탄을 원자폭탄이라고 부른다.

10) 김창순, “핵공학개론”, 한국원자력학회, 1989. p91.

수소폭탄(Hydrogen Bombs)은 핵반응에 사용되는 주요 물질이 수소 동위원소가 사용된 데서 유래된 것으로 초기의 수소폭탄은 핵융합 연료로 이중수소(Deuterium, ^2H)를 사용하였다. 열핵무기는 핵융합무기의 다른 이름으로 핵융합을 발생시키기 위해 높은 열이 필요하기 때문에 유래된 것이다.

원자폭탄은 위력을 다양하게 만들 수 있기 때문에 대체로 20kt (표준원폭)을 기준으로 소형, 대형으로 편리하게 부르며, 최근 북한의 4차 핵실험 이후 주목을 받고 있는 증폭 핵분열무기(Boosted Fission Weapons)는 핵분열무기의 효율을 증가시킬 목적으로 개발되었다. 이러한 종류의 핵무기는 폭탄의 핵분열 물질 중심에 수십~수백그램의 이중/삼중 수소를 채운 것으로, 초기의 핵분열로 핵융합을 야기할 수 있는 1억도 이상의 고온에 도달하면, 핵융합이 시작되는데 이때 부산물로 생성된 다량의 중성자가 주위의 핵분열 물질과 다시 더 많은 핵분열 반응을 유도하는 원리로 순수 핵분열 무기보다 약 2배의 효율을 증가시킬 수 있다. 따라서 오늘날의 거의 모든 핵분열 무기는 이러한 증폭핵분열무기 형태로 생산되어 진다. 이 무기의 또 다른 이점은 핵무기를 소형화할 수 있는데 있다. 핵융합에 쓰이는 삼중수소는 생산에 많은 비용이 소요될뿐 아니라, 매년 약 5.5%가 붕괴되는 물질이나 증폭에는 소량(약 수그램)만이 필요하므로 전체적으로는 효율적인 방법이다.

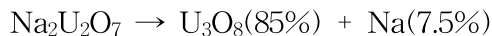
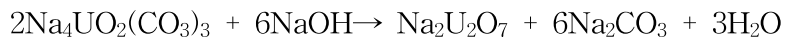
제 2 절 핵연료 주기

우라늄이 광석으로 채굴되어 정련-변환-농축-가공단계를 거쳐 원자로에서 사용된 후 재처리, 재활용 및 고준위폐기물로 영구처분 되기까지의 전 과정을 핵연료주기(Fuel Cycle)라 한다. 원자력 발전소를 중심으로 이전 단계를 선행 핵연료주기, 발전소에 연소된 이후 단계를 후행 핵연료 주기라 한다.

채광 및 정련(Mining and Milling)은 우라늄 원광으로부터 우라늄 성분을 분리해 내어 Yellow Cake라는 우라늄 정광을 만드는 작업이다. Yellow Cake는 화학식이 U_3O_8 으로 우라늄 성분이 약 80% 함유되어 있고, 노란색의 분말이다.



then, Recovery from leach liquors



변환(Conversion)은 Yellow Cake을 다시 한번 정제하여 핵연료급의 순도를 갖는 우라늄을 만든 후 이를 다시 우라늄 농축을 위해서 농축에 적합한 형태인 UF_6 로 만드는 공정이다.



[그림 2-2] Truck shipment of five 2 1/2-ton UF6 cylinders in protective shipping packages

농축(Enrichment)은 핵연료로 직접 쓸수 없는 ^{238}U 이 대부분인 천연우라늄을 핵연료로 사용하기 위하여 핵분열 물질인 ^{235}U 의 비율(0.72%)을 높이는 작업을 의미하며, 이렇게 ^{235}U 의 비율이 높아진 우라늄을 농축우라늄(Enriched U)이라 한다.

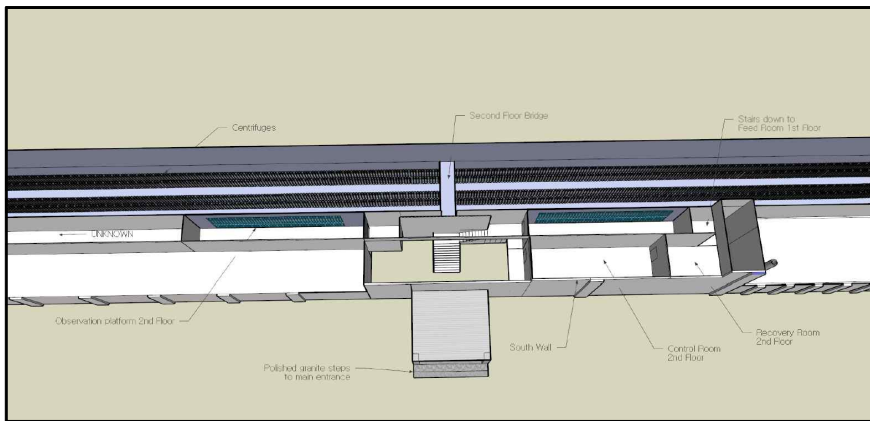
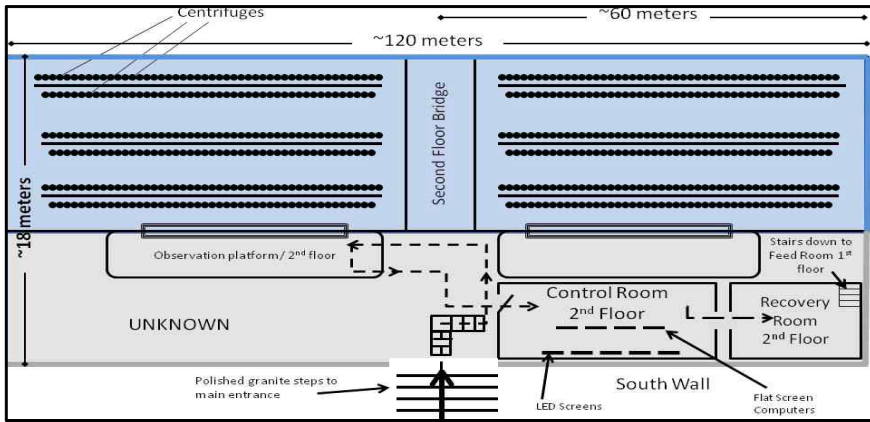
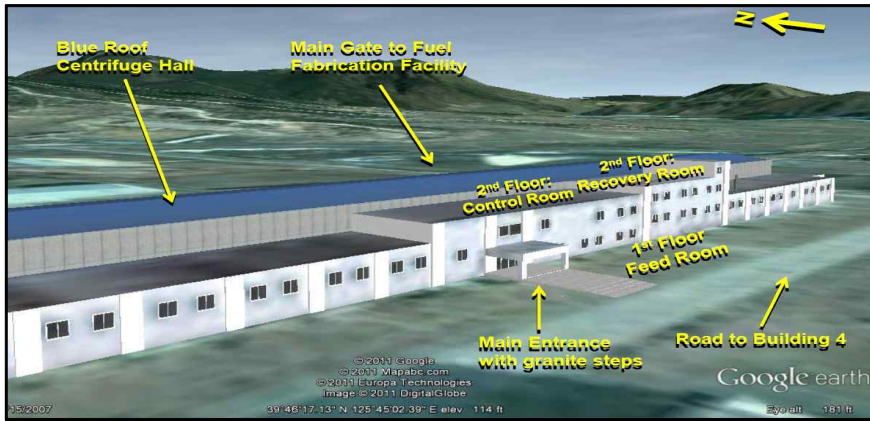
농축의 원리는 ^{235}U 와 ^{238}U 의 질량의 차이를 이용하여 두 원소를 분리하는 것으로 기체확산법, 가스원심분리법, 전자기법, 레이저법 등이 있다. 미국, 러시아, 프랑스, 영국 등 핵무기 보유국들이 농축공장을 운영하고 있으며, 농축설비 건설에 막대한 비용이 소요될 뿐만 아니라 핵확산 금지를 위해 농축기술 자체가 엄격히 통제되고 있어 핵무기 비보유국의 농축시설 보유는 상당히 어려운 실정이다.

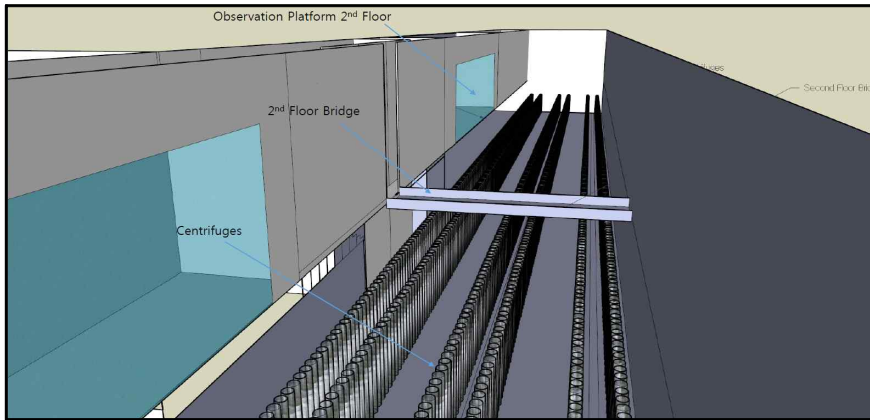
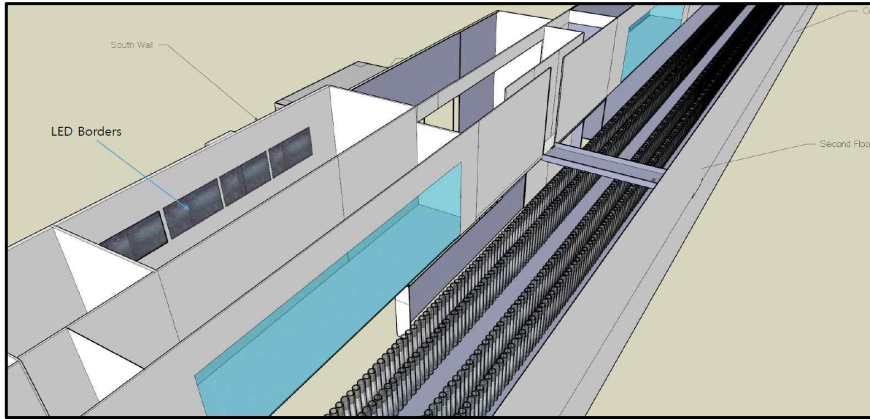
북한의 우라늄 농축 개발관련 내용은 2002년 10월 3일~5일 미 특사였던 켈리의 북한 방문 후 북한 내에 우라늄 농축 시설 의혹 제기에서

시작되었다. 이 후 2005년 9월 파키스탄의 무샤라프 대통령은 외신 기자와의 회견에서 북한이 파키스탄의 칸의 밀매 조직에 의해 우라늄 농축 기술인 원심분리기 12개와 관련 부품, 설계도를 확보하였을 것이라고 밝혔고 2006년 6월 13일 UNSC 결의안 1874호에 대한 북한의 성명에서 농축 기술의 존재가 밝혀졌다.

2008년 7월 A.Q 칸은 AP 통신과의 인터뷰에서 2000년 파키스탄의 정보요원들의 감독 아래 우라늄 농축 장비인 원심분리기가 북한 항공기에 선적되었다고 밝혔고, 2010년 11월 12일 북한 당국은 지그프리드 해커 박사에게 원심분리기 1000기 이상이 현대식 건물안에 정교하게 설치되어 있는 것을 보여주었고,(그림 0) 북한 당국자는 그 시설 안에 원심분리기 2000기가 설치되어 가동 중이라고 밝히며 2012년 완공 목표인 100MWt 급 실험용 경수로형 원자로가 건설 중인 것을 확인하였다.¹¹⁾

11) Siegfried S. Hecker, “A Return Trip to North Korea’s Yongbyon Nuclear Complex”, Center for International Security and Cooperation, Stanford University, November 20, 2010





[그림 2-3] 북한 우라늄 농축시설 모델링

핵연료가공(Fuel Fabrication)은 이산화우라늄(UO_2) 분말을 압착 및 소결하여 Pellet 형태로 만든 후 이를 피복관에 넣어 연료봉을 제조하고 연료봉을 조립하여 원자로에 장전할 수 있는 연료 집합체를 제조하는 공정을 말한다. 원자로용 핵연료는 천연우라늄을 그대로 사용하거나 ^{235}U 를 3-5% 정도로 농축시켜서 사용하며 잠수함용 원자로에는 90% 이상의 농축우라늄을 사용하기도 한다. 핵연료로 플루토늄을 사용할 수도 있으며 우라늄과 플루토늄을 혼합해서 사용할 수도 있다. 원자로에서 사

용되는 플루토늄은 사용 후 핵연료에서 추출한 플루토늄을 재활용하는데, 경수로의 사용 후 핵연료에서 추출한 플루토늄의 순도(원자로급 플루토늄)는 대체로 ^{239}Pu 의 비율이 60-70%정도이다.

핵연료 형태는 원자로용은 주로 세라믹(Ceramic) 또는 고체금속으로 만들어지는데, 세라믹 재료로는 UO_2 , UC 또는 MOX(Mixed Oxide Fuel : UO_2 와 PuO_2 의 혼합물) 등이 사용된다. 북한 흑연감속로는 천연 금속우라늄을 사용하고 있으나 대부분의 경수로 및 중수로에서는 UO_2 를 사용한다. 이들 핵연료는 앞서 언급했듯이 대개 Pellet이라고 하는 작은 원통형 덩어리로 성형 가공된다. 경수로형 및 중수로형 Pellet은 만년필 정도의 굵기로 길이가 1-1.5cm 정도 되고, 흑연감속로용은 직경이 약 3cm로 경수로나 중수로형보다 크다. 핵무기용 핵연료는 금속우라늄 및 금속플루토늄과 같이 고체금속 형태로 만들어진다. 핵연료 성질을 보면 금속우라늄이나 금속플루토늄은 물리적 화학적으로 안정성이 약하다. 금속우라늄은 중성자에 조사되면 변형 및 팽창이 잘되고, 662°C 이상에서는 밀도 등 물리적 상태가 급격히 변하므로 원자로에 사용 시 제한요소가 된다. 금속우라늄은 질산에 쉽게 녹으며 산화반응 등 화학 반응성이 매우 커서 특히 미세분말 형태의 금속우라늄은 보통 온도에서 자연 발화하는 성질이 있다. 금속우라늄의 산화속도는 150°C 이하에서는 그렇게 높지 않기 때문에 자연발화성이 없으나, 미세분말 형태로 존재시에는 자연발화성이 있다고 할 수 있다. 금속플루토늄도 고온에서 변형, 팽창, 상태변화 등 금속우라늄과 비슷한 성질을 지니며, 특히 고온에서 습기가 있을때 쉽게 산화반응을 일으키고, 분말 형태의 금속플루토늄은 산소와 접촉 시 자연 발화하는 성질이 있다. 따라서 핵무기용 금속플루토늄이나 우라늄은 보관 시에 산소와 접촉하지 않도록 니켈 등으로 도장하거나

특수용기에 넣어둔다. 핵무기급 금속플루토늄은 통상 1% Gallium 또는 Aluminum과 합금을 만들어 저장하거나 니켈로 도장하여 저장하며, 3중 포장용기에 밀봉 저장한다. UO_2 세라믹은 금속우라늄의 단점을 거의 극복하여 물리, 화학적으로 상당히 안정된 상태의 핵연료로 경수로 및 중수로에 보편적으로 사용된다. 핵연료는 Pellet 형태로 성형 가공된 후, 이 Pellet들을 기다랗고 속이 빈 원통속에 차곡차곡 재여 넣게 되는데, 이렇게 Pellet들을 넣도록 만든 긴 원통이 바로 피복관이다. 피복관(Cladding)은 핵분열 시 생성되는 방사성 핵종들의 외부누출을 방지하는 역할도 한다. 피복관의 재료로는 마그네슘 합금(Magnox), 알루미늄 합금, 지르코늄 합금(Zircaloy) 등이 있으며, Zircaloy가 가장 널리 사용되고 있다. Magnox 피복재(북한의 흑연감속로가 Magnox cladding을 사용)는 물과 접촉 시 잘 부식되는 취약점이 있으며, 특히 물 속에 1년 반 내지 2년 이상 저장시에는 급격히 부식현상이 일어나기 때문에 재처리 실시가 불가피하게 된다.



[그림 2-4] 5MWe 핵연료봉(52cm, 6.28kg)

핵연료의 장입량과 교체시기와 관련하여 경수로의 핵연료 장입량은 원자로 발전용량 1,000MWe 기준으로 볼 때 3% 농축우라늄 약 75톤, 중수로는 천연우라늄 약 150톤 정도이다. 흑연감속로는 원자로/피복관의 설계에 따라 차이가 많으며, 영국 Calder Hall 흑연감속로(60MWe)의 경우는 천연우라늄 약 127톤을 장입한다. 북한 흑연감속로의 경우는 영변 5MWe 원자로가 50톤, 50MWe 원자로가 130톤, 태천 200MWe 원자로가 300톤으로 추정된다. 핵연료 교체는 두가지 경우가 있다. ① 핵연료가 연소되어 더 이상 사용할 수 없을 경우 또는 ② 연료봉이 손상되었을 때이다. 핵연료봉이 손상되는 경우는 열로 인해 연료가 팽창하거나 균열이 발생할 때, 또는 피복관이 냉각재 속의 불순물과 화학 반응을 일으켜 부식하는 경우로써 핵연료봉이 팽창하면 채널 냉각재의 순환에 장애를 일으키고 피복관이 손상되면 방사성 물질이 누출된다. 연료교체 주기는 경수로용 농축우라늄(최초 ^{235}U 성분비가 약 3-5%)은 약 0.8%정도로 까지 연소시킨 후에 교체하며, 통상 3년 주기로 전체를 교체하고(1년에 약 1/3씩 교체), 중수로용 천연우라늄(최초 0.71%)은 ^{235}U 의 성분비가 약 0.3% 정도로 감소될때까지 연소시키는데, 약 1년마다 교체한다. 흑연감속로는 영국 Calder Hall 원자로(60MWe)의 경우 약 4년(중심부)에서 7년(가장자리) 정도마다 연료를 교체한다. 흑연감속로나 중수로는 동일한 열출력의 경수로보다 연료장입량이 훨씬 많으므로 단위 부피당 열출력이 낮고 연료교체 주기가 짧다. 이는 흑연감속로나 중수로가 경수로보다 순도가 높은 Pu을 생산할 수 있다는 것을 의미한다.

북한의 예상 Pu 추출량을 산출과 관련하여 강정민 박사가 연구한 내용을 참고하여 정리하였다.¹²⁾ 원자로의 운전이력(연료장입, 운전출력,

12) 강정민, "Using the Graphite isotope Ratio Method to Verify the DPRK's

운전기간 등)에 대한 정보를 정확히 파악해야 한다. 그러나 영변 5MWe 원자로의 운전이력은 전 세계의 관심을 집중시켰으나 정확히 알 수 없는 상태이다. 따라서 여러 가지 가용한 첩보를 종합하여 가장 가능성 있는 경우를 상정하고, 몇 가지 가정하에서 개략적인 Pu 추출량을 다음과 같이 산출해 볼 수밖에 없다.

5MWe 원자로를 1986년에 운전 개시 후 1989년 3월에 1차로 전면 연료교체를 실시한 것으로 가정할 때(900일 가동), 재처리하여 보유 중인 Pu은 약 10-20kg(순도 98%)으로 추정된다. 이는 핵무기 1발의 Pu 소요량을 6-8kg으로 볼 때 핵무기 1-2개 분량에 해당된다. Pu 순도 및 추출량은 원자로 가동기간과 평균출력에 직접 영향을 받는다. 즉, 가동기간이 짧고, 저출력일 때 높은 순도의 Pu을 얻을 수 있으나 추출량은 적다. 여기서는 이상적인 경우를 가정하여 산출하였다.

추가적으로 1989.6월 교체 후 AF 이전인 1994.5월까지 연소시키고 폐연료봉 저장시설에 보관중인 약 8,000여개의 폐연료봉을 재처리시 약 24~32kg(순도 96%)을 확보할 수 있을 것이다.

5MWe 흑연로가 가동 후 1994년까지 가동한 운전이력에 대해 ISIS의 David Albright가 정리한 바 있다.¹³⁾ 1994년 5MWe 흑연로의 사용후핵연료의 평균연소도는 600-700MWd/tHM로 알려져 있다. 5MWe 흑연로 사용후핵연료의 연평균 연소도는 대략 100 MWd/tHM로 가정하고, 2003년 2월 재가동 이후 2007년 7월 재중단하기 전까지 대략 4년 정도 전 출력으로 가동하였다고 가정하면 5MWe 흑연로에서 생산 가능한

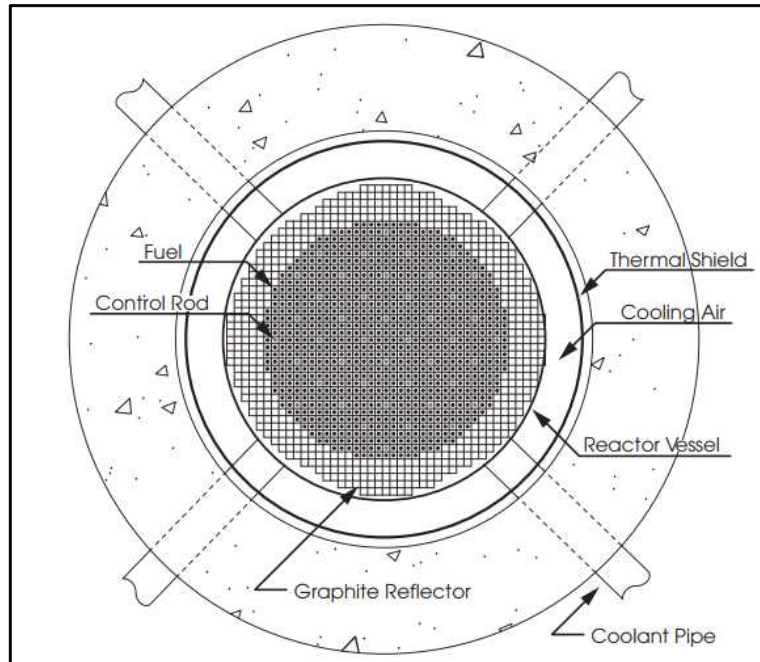
Plutonium-production Declaration”. 2013.

13) David Albright and Kevin O'Neill, Editors, Solving the North Korean Nuclear Puzzle, The Institute for Science and International Security. 2000, p.119,

플루토늄 총량은 평균연소도 약 1,100MWd/tHM에 해당하는 사용후 핵연료 50t 속에 포함된 플루토늄량에 해당한다. 상기 운전이력과 원자로 특성을 고려하여 원자로 연소계산을 수행할 결과 5MWe 흑연로에서 생산 가능한 최대 플루토늄 양은 최대 약 44-50kg으로 추산된다.

구분	내용
Thermal Power	25MWth
Electric Power	5MWe
Specific Power	0.50MWth/tHM
Uranium loaded	50t
Graphite-moderator	300t
Graphite-reflector	300t
Number of Channels	812-877
Number of fuel channels	801
Number of control rod channels	44
Number of fuel rods per channel	10
Deistance between channels	20cm
Radius of channel	6.50cm
Effective core radius	643cm
Effective core height	592cm
Upper reflector	77.50cm
Bottom reflector	66.50cm
Fuel composition	U(0.5% AI)
Diameter of fuel meat	2.90cm
Length of fuel meat	52cm
Length of fuel rod	60cm
Uranium per fuel rod	6.24kg
Clad composition	Mg(1% AI)
Clad thickness	0.05cm

[표 2-2] 5MWe 흑연로 제원



[그림 2-5] Cross-section of the 5 MWe reactor. Source: KAERI.

5MWe 흑연로에서 생산한 플루토늄 총량을 정확히 검증하기 위해서는 Graphite Isotope Ratio Method (GRIM) 방법론을 사용하여야 하며 이를 위해서는 5MWe 흑연로의 흑연감속재 샘플채취가 필수적이다.¹⁴⁾

추가적으로 다음의 검증 역시 북한의 핵능력을 평가하는데 있어 매우 중요한 검증 방안이겠지만 북한의 도움없이는 불가능한 사항이라 할 수 있을 것이다.

- ① 5MWe 원자로사용후 핵연료의 계측을 실시하는 것이다.
이 경우 북한의 원자로심 내 채널별 연료봉 보관방식에 대한 신뢰가 전제되어야 한다.
- ② 2개의 미신고 시설에 대한 사찰을 실시하는 것이다. 재처리

14) 강정민, “Using the Graphite isotope Ratio Method to Verify the DPRK’s Plutonium-production Declaration”. 2013.

후 폐기물을 보관하고 있을 것으로 예상되는 폐기물 저장소에서 시료를 채취하여 분석하는 방안으로, 재처리 시기와 Pu 추출량 등을 확인 할 수 있다. 그러나 이 방안도 북한이 재처리 폐기물을 모두 보관하고 있다는 가정하에서 가능하며, 만약에 다른 비밀저장소로 분산시켜 두었다면 제대로 파악할 수 없게 된다.

- ③ 방사화학실험실에 대한 전면적인 사찰을 실시하여 보다 구체적이고 정확한 자료를 확보하는 것이다. 그러나 이 방안도 1992년 임시사찰 당시 야기된 불일치 문제를 완전히 해결하기는 힘들 것이다.
- ④ 핵연료 제조 및 저장시설과 5MWe 원자로의 과거 운전기록을 확인하는 방법이 있으나, 보존기록의 은닉 및 조작 가능성이 크다.
- ⑤ 5MWe 원자로내의 흑연 등을 비롯한 기타 재료의 방사선 조사상태에 대한 분석으로 원자로의 운전이력을 파악할 수 있다. 그러나 이는 원자로 구조물을 파손해야 하므로 북한의 허용가능성이 희박하다.
- ⑥ 북한이 시인한 우라늄농축프로그램을 검증하기 위해서는 북한의 신고와 더불어 농축시설 및 주변에 대한 환경 샘플 채취가 이루어져야 한다. 대부분의 대규모 상업용 농축시설은 우라늄 누출 확인을 통해 시설을 탐지할 수 있다. 그러나 만약 확산자(proliferator) 시설을 은닉하고 싶어한다면 누출을 탐지되지 않을 정도의 수준으로 낮출 수 있다.

제 3 절 핵활동 탐지방법

핵개발 및 핵실험 활동을 감시하기 위해 CTBTO는 국제감시시스템(이하 IMS)을 운영하고 있으며, IMS는 크게 지진(seismic), 방사성동위원소(radionuclide), 초저주파(infrasound), 수중음파(hydro-acoustic), 위성영상(satellite imagery) 정보 체계로 구성되어 있다. 북한이 4차례에 걸쳐 실시한 지하핵실험의 경우에는 지진정보, 방사성동위원소, 초저주파, 위성영상 정보를 활용해 핵실험 실시 유무를 탐지하였다.

Monitoring Technologies	Underground	Underwater	Atmosphere	Near Space
Radionuclide	Major	Major	Major	None
Seismic	Major	Major	Secondary	None
Hydro-acoustic	Secondary	Major	Secondary	None
Infrasound	Secondary	Secondary	Major	None
Electromagnetic	Secondary	Secondary	Major	Major
Satellite Imagery	major	major	secondary	Secondary

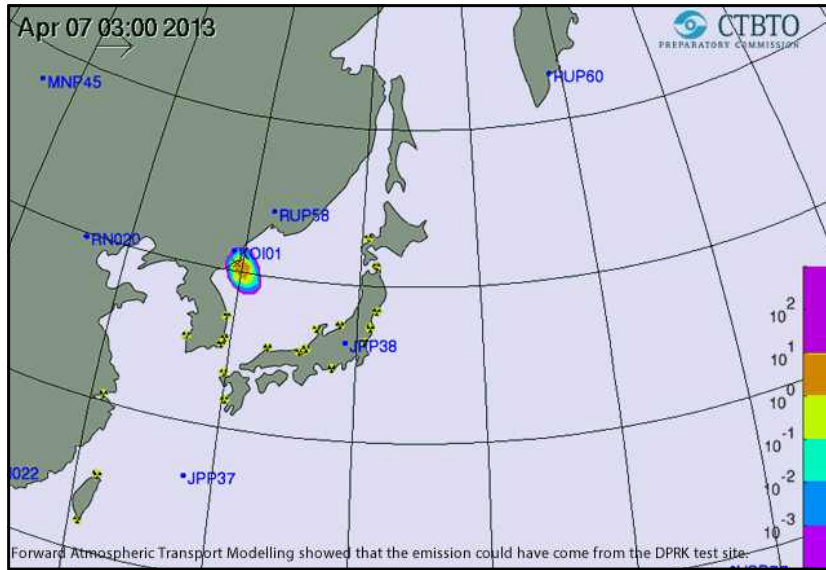
[표 2-3]Contributions of key technologies to CTBT monitoring of different test environments¹⁵⁾

15) Technical Issues Related to the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Account, National Academy of Science, 2002.

1) 방사성동위원소(radionuclide)

핵실험은 플루토늄(Pu) 및 고농축우라늄(HEU)을 아주 짧은 시간내에 연속적인 핵분열 연쇄반응이 일어나도록 해서 핵폭발이 되는 지를 확인하는 과정이기 때문에 핵실험 유무를 결정하는 중요한 요소 중의 하나가 바로 방사성동위원소를 탐지하는 것이다. 그러나 과거 지상 및 지표 핵실험의 경우 발생하는 입자들이 비교적 작아 장거리 확산이 가능하였지만, 북한과 같은 지하 핵실험의 경우에는 거의 모든 입자들이 지하에 갇히게 되기 때문에 핵분열생성물들이 대기속으로 확산될 가능성이 낮아 탐지가 낮다. 지하핵실험에서 불활성기체가 대기속으로 빠져나올 가능성은 크게 3가지로 볼 수 있는데 첫 번째로 핵폭발 당시의 높은 압력 및 기타 동역학적 영향에 의해서 기반암의 갈라진 틈새로 기체를 밀어내는 형태의 초기방출(early venting)과 두 번째로 지하핵실험을 통해 과학적 데이터를 얻기 위한 시험과정에서 터널을 열거나 신호선이 인입된 구멍을 따라 새어나올 가능성, 마지막으로 폭발후 기반암의 갈라진 틈이나 흠에 침착되어 있던 것들이 대기압력의 변화에 의해서 서서히 빠져나오는 형태의 지연방출(delayed venting) 가능성이다.

북한의 경우 1차 핵실험 시 미 공군에서 운영 중인 RC-135에 의해 방사성동위원소가 탐지되었으나, 공개되지 않았으며 3차 핵실험의 경우 핵실험 이후 2개월이 지난 4.8일에 일본과 러시아에 위치한 방사성 동위원소 관측소에서 탐지되었다.



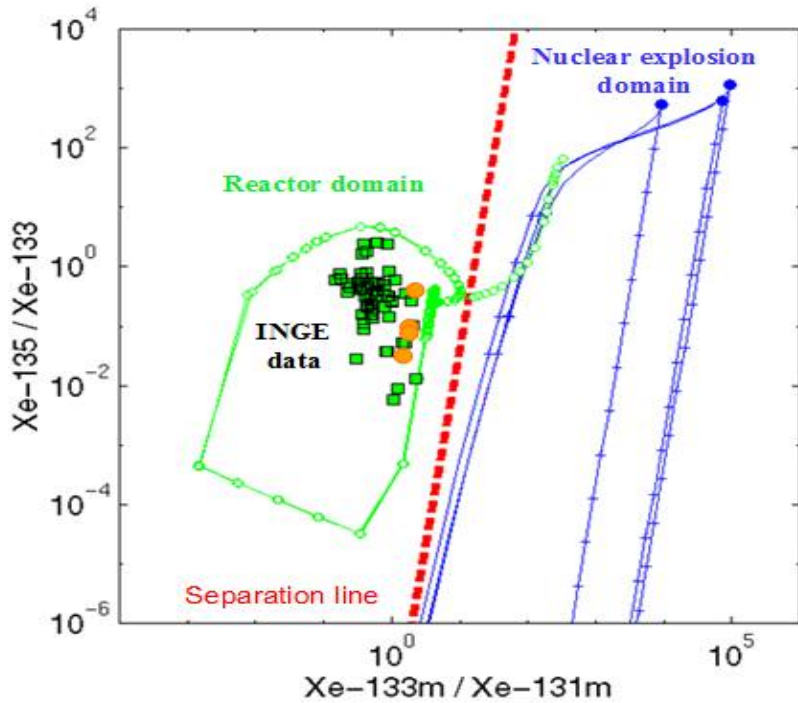
[그림 2-6] 3차 핵실험 방사성동위원소 포획현황¹⁶⁾

불활성기체인 방사성제논의 경우 암반 등에 흡착되거나 어떤 매질과도 부수적인 반응이 수반되지 않는 특성이 있어 암반의 갈라진 틈이나 천공된 구멍을 통해서 새어나올수 있는데 지구상에 약 18종의 방사성 제논 동위원소가 존재하지만, 지하 핵실험 탐지에 유용한 것은 ^{131m}Xe , ^{133}Xe , ^{133m}Xe , ^{135}Xe 4종이다.

또한 방사성핵종의 존재비(abundance ratios)를 활용해 핵실험과 원자력발전소에서 생성되는 방사성 원소들을 구별하는데 이러한 차이점은 핵실험과 원자로에서 생성되는 방사성핵종들의 생성수율(abundances)의 큰 차이를 가져오기 때문에 당시 방사성핵종의 자연존재를 이용해서 그 기원을 확인 및 검증하고 있다. 일반적으로 ^{137}Cs 방사능에 대한 상대적인

16) <http://www.ctbto.org/press-centre.press-releases/2013/ctbto-detects-radioactivity-consistent-with-12-february-announced-north-korean-nuclear-test/>

방사능세기로 확인 및 검증은 한다. 방사성 동위원소의 경우 핵실험 이후 탐지되는 시간에 따라 핵실험 관련 정보의 내용이 달라지는데, 핵실험 이후 최단 기간 내 관련정보를 탐지하는 것이 중요하다.



[그림 2-7] 방사성체는 카테고리 분석(kalinowski plot)¹⁷⁾

17) Martin B. Kalinowski, "Isotopic signature of atmospheric xenon released from the light water reactors", Journal of Environmental Radioactivity, 2006.

Isotope	Fission yield from			$T_{1/2}$	σ_c
	U235	Pu239	Pu241		
Kr83	0.531	0.295	0.204	stable	200
Kr84	0.986	0.478	0.352	stable	0.13
Kr85	0.288	0.130	0.086	10.73y	1.66
Kr86	1.951	0.758	0.610	stable	0.06
Xe131	2.835	3.745	3.118	stable	90
Xe132	4.217	5.275	4.625	stable	0.39
Xe133	6.770	6.973	6.673	5.29d	190
Xe134	7.681	7.447	8.031	stable	0.25
Xe135	6.633	7.466	7.084	9.17h	$2.65 \cdot 10^6$
Xe136	6.273	6.627	7.201	stable	0.16

[표 2-4] 핵연료에서 생성되는 누적 피션일드(%)¹⁸⁾

18) M. Mogensen, 1984, "Utilization of the Isotopic Composition of Xe and Kr in Fission Gas Release Research."

동위원소명	생성기원			
	핵실험(핵폭발)	원자력발전소	핵연료재처리	의료용
^{131m}Xe			•	•
^{131}Xe	•	•		•
^{133m}Xe	•			
^{135}Xe	•			

[표 2-5] 제논 동위원소별 생성기원

Type of release	Typical order of magnitude of radioxenon release
1kton Nuclear explosion atmospheric	$\sim 10^{16}$ Bq
1kton Nuclear explosion underground	$0 \sim 10^{15}$ Bq
Radiopharmaceutical plants	$\sim 10^{12} \sim 10^{13}$ Bq/d
Nuclear power plants	$\sim 10^9$ Bq/d
Research laboratory	$\sim 10^6$ Bq/d
Hospitals	$\sim 10^3$ Bq/d

[표 2-6] 제논 동위원소별 방사선양

2) 지진정보(seismic)

우리나라 최초의 지진관측소는 일본사람들에 의해 1905년 인천에 세워진 것이 효시이다. 그렇지만 우리 손에 의해 세워진 최초의 지진관측소는 1977년 기상청이 서울과 광주에 세운 것으로, 이를 시발로 1998년까지 기상청은 서울, 울릉도, 제주를 포함하여 전국에 12개소의 아날로그형 지진관측소를 설치하여 주로 한반도 주변에서 일어나는 국지지진을 관측하였다.(기상청, 2001).

한국지질자원연구원은 양산단층의 활동성 규명을 목적으로 1994년 말에 국내에서는 최초로 경상분지에 5개소의 디지털 지진관측소를 설치한(지헌철 외, 1995) 이후 지속적으로 지진관측망을 확충하여 왔다. 그 결과, 2010년말 현재 일반 지진관측소 33개소, 배열식 지진 관측소 9개소 및 배열식 공중음파 관측소 8개소를 전국에 설치하여 운영하고 있다. 그리고, 해외 관련기관과의 MOU를 통해 국외관측소 자료도 수신하고 있다. 일반 지진관측소 33개소 중 종합지진 관측소 9개소에는 시추공 지진계를 설치하여 양질의 지진자료를 획득하고 있을 뿐만 아니라, 지구자기장과 GPS 관측설비를 갖추어 지구물리연구의 기초자료를 지속적으로 획득하고 있다.

배열식 지진-공중음파관측소는 백령도에서부터 울릉도까지 한반도 중심을 가로지르는 등간격 횡형으로 설치되어 한반도 주변에서 발생하는 대규모 발파와 같은 인공지진을 순수 자연지진으로부터 식별하기 위한 연구에 필수적인 양질의 공중음파자료를 수집하고 있다. 양질의 공중음파 자료는 학술분야 뿐만 아니라 한반도 주변 핵실험 활동감시에 있어 필수적인 자료로도 활용되고 있다.

특히, 한국지질자원연구원 지진연구센터는 독자적인 지진관측용

전산망을 구축하였으며, 이를 통해 국가통합 지진네트워크 시스템(KISS : Korea Integrated Seismic System)을 운영하고 있으며, 원주 KSRS는 1970.1월 미공구(AFTAC)에 의해 설치되어, 2006년에 CTBTO로부터 IMS로 승인되었는 바, 현재 국내 유일의 CTBTO IMS 관측소인 원주 KSRS 관측소로부터 실시간 자료를 수신하고 있다.

지진의 규모는 주로 리히터 스케일로 나타내며 이는 지진에 의하여 발생된 에너지를 기준으로 지진의 크기를 나타내는 척도이다. 리히터 규모는 진앙에서 100km 떨어진 곳에서의 진폭을 측정된 값이므로 지진계가 위치한 거리에 따라 이를 보정하여 사용하게 된다. 한국 기상청의 경우는 국내에 위치한 지진계의 값들을 기준으로 보정 및 분석 결과를 제시하고 있고, 일본과 독일의 경우 자국 내 지진계, 미국은 동북아 지역 지진계 데이터를 분석하여 결과를 제시하고 있다. 이러한 과정에서 진앙에서 지진계가 위치한 곳까지의 지반 및 지형에 따라 보정 값을 달리하게 되며, 진앙의 지질구조에 따라서도 지진규모는 다르게 산정될 수 있다. 따라서 동일한 지진에 대해서도 각기 다른 규모가 산출될 수 밖에 없어 통상적으로 여러 곳에 위치한 지진계에서 산출된 값의 평균치가 지진의 규모로 채택된다. 서로 다른 곳에 위치한 지진계를 사용하여 측정된 값이 다른 분석치를 갖는 것은 사실상 당연한 일이다.

또한, 핵실험 당시 설치되는 완충장치의 유무에 의해서도 실제 지진규모는 달라질 수 있으므로 정확하고 유일한 측정치는 원천적으로 불가능하다.¹⁹⁾

지진의 규모는 지진에 따라 방출하는 에너지와 상관관계를 갖고

19) 박지영, “불확실성에 대한 대응 : 북한 핵실험에 대한 기술적 분석”, 아산정책연구원. 2014.

있다. 2006년 UCLA의 H.A.Kelly는 이러한 상관관계를 TNT 폭발력으로 환산한 켈리 킬로톤 인덱스²⁰⁾를 발표하였으며, 환산한 관계는 표와 같다.

일반적으로 지진의 규모가 0.2 증가할수록 상응하는 에너지는 배가 되는 것으로 알려져 있으며 리히터 스케일 1의 변화는 30배의 에너지 차이가 있는 것으로 이해된다.

지진규모	3	4	4.7	4.8	4.9	5	5.1	5.2	6
폭발력 (TNT)	32t	1kt	11kt	16kt	22kt	32kt	45kt	63kt	1Mt

[표 2-7] 켈리킬로톤 인덱스

우리 정부는 CTBTO의 국제감시기구에서 사용하는 관계식²¹⁾을 기준으로 분석하고 있으며 IMS 관계식에 암반 지형 등의 특성을 반영하여 보정된 공식을 사용한다. 우리 정부는 이러한 CTBTO의 IMS를 토대로 북한 핵실험에 대한 규모 및 폭발력을 추정하고 있다. 그러나 지진규모와 폭발력에 대한 또 다른 관계를 보여주는 Murphy 관계식²²⁾을 사용할 경우 지진규모 4.9는 16.2kt의 TNT 폭발력이 산출된다.

지진규모와 폭발력의 관계에 대한 불확실성에 지진규모 측정 오차가 더해지면 북한 핵실험의 폭발력 추정은 매우 큰 오차범위를 가질 수 밖에 없다. 독일 BGR에서 분석한 지진규모 5.2를 Murphy 관계식을 사용하여 계산할 경우 북한 3차 핵실험의 폭발력은 38kt에 달한다. 그러나 불행하게도 현재 이러한 추정치의 불확실성을 극복할 방안은

20) UCLA Department of English, "Kelly Kiloton Index of Earthquake Moment Magnitudes,"

<http://www.english.ucla.edu/all-faculty/faculty/335-kelly-kiloton-index-of-earthquake-moment-magnitudes>.

21) 지진규모 = $\log(\text{폭발력})+4.0$

22) 지진규모 = $0.81\log(\text{폭발력})+3.92$

없다. 핵실험이 실행된 곳의 지형정보, 실행 깊이, 완충장치 여부 등에 따라 계산결과가 달라지지만 이러한 정보의 부재하에서는 분석 단계마다 오차의 범위가 넓어짐으로써 결국 오차범위가 상당히 큰 추정치만이 가능하기 때문이다.²³⁾

23) 박지영, “불확실성에 대한 대응 : 북한 핵실험에 대한 기술적 분석”, 아산 정책연구원. 2014.

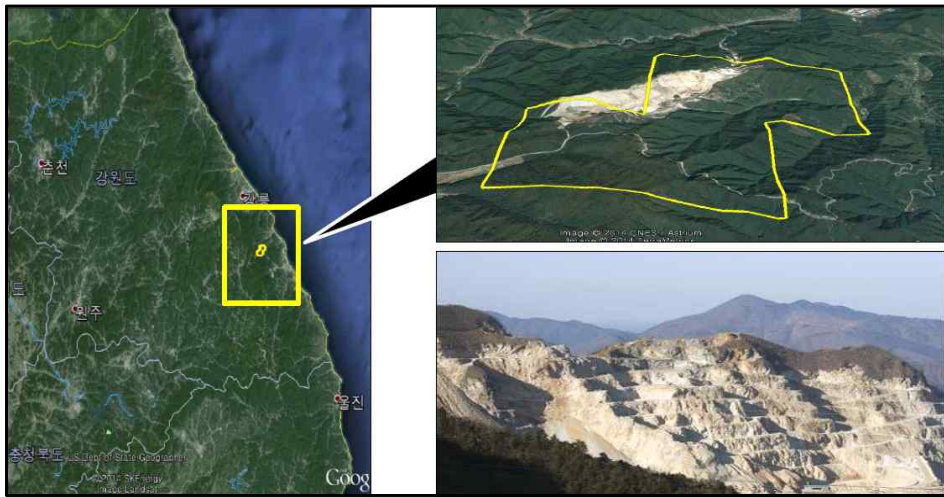
제 3 장 한반도에서의 저장도 인공폭발 분석

제 1 절 연구의 범위 및 절차

북한의 핵개발 및 핵실험 관련 탐지활동이 제한되고 있는 가운데 북한은 핵무기의 소형화를 지속하고 있다. 이러한 시점에서 기존의 탐지 방법을 보완할 수 있는 방안을 찾는 것이 본 연구의 목표이며, 이를 위해 한반도에서 소규모 핵폭발 분석을 위한 저장도 인공지진 특성을 분석하였다.

연구의 범위는 인공지진의 규모와 실제 폭발양과의 상관관계를 정량적으로 분석하기 위하여 동일한 지역에서 다양한 심도에서 폭발을 하고 있는 강원도에 위치한 석회석 광산의 채광활동에 대해 조사하였으며, 채광 시 발생하는 폭발에 대한 인공지진 발생 유무에 대한 확인 지질 자원연구원(KIGAM)의 협조를 받아 2010년에서 2013년까지의 인공지진 목록을 통해 확인하였다. 이를 통해 한반도 지형에서 인공 지진규모와 폭발량과의 상관관계를 통해 IMS에서 사용하고 있는 폭발규모식과의 적절성을 검토하였다. 또한 폭발량과 폭발깊이 그리고 지진규모와의 관련성을 연구하여 실제 북한의 소형핵실험 상황에서 비교 가능한 데이터 베이스를 구축하였다. 이를 위해 채광 시 사용하는 폭약인 NewMite plus의 에너지량($1.1 \times 10^6 \text{kcal/ton}$)과 핵폭발시 사용하는 폭발기준은 TNT(Trinitrotoluene)의 에너지량($1.0 \times 10^6 \text{kcal/ton}$)의 단위를 일치하여 계산하였다.

통상적으로 광산 채굴 시 소음피해 방지목적으로 1회 발파 시 많은 양의 폭약을 사용한다 할지라도 적절하게 지연뇌관을 사용하여 진동관리를 유효하게 할 수 있는데, 이 때 동일한 번호의 뇌관에 장전된 폭약의 총량을 ‘지발당 장약량’이라고 한다. 통상 지연시차가 8ms(30Hz) 이내이면 순발로 취급하여 진동이 중첩되는 것으로 취급되나, 이번 시험에서는 지진측정장비의 위치(원주)와 발파장소(강릉) 간의 거리가 장거리 (100km 이상) 저주파수의 경우 200-300ms 지연시간이 적용되어 지발당 장약량(charge per delay : kg/ms)은 적용하지 않았다.



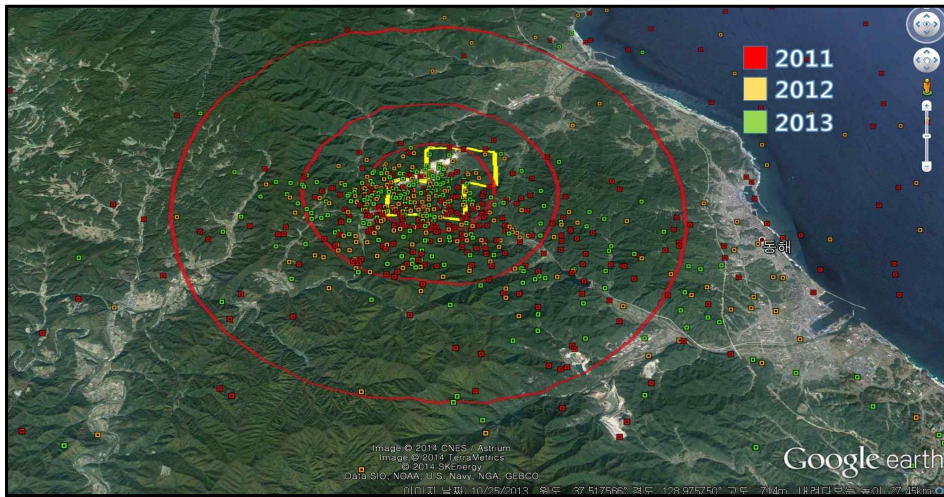
[그림 3-1] On-site inspection

발 파 작 업 일 지												
										결	담 당	대표이사
2011년 8월 8일 월요일										채	8/8	8/8
날씨 : 흐림												
하 야 류	양 수	도착시간	뉴마이드 (KG)	메가맥스 (KG)	조유폭약 (KG)	하이맥스 (KG)	폭약계 (KG)	폭약계 (KG)	뇌관 (개)	비 고		
	사 용 용 량	8:30	2,870				2,870		18			
		사용량	2,870				2,870		18			
	기 타											
출발일시							반납량					
반납							반납지					
작 업 내 용	횟 수	발파시간	천공경 (mm)	천공장 (M)	천공수 (공)	천 공 양 법	1공당장약량 (KG)	지발당장약 량 (KG)	총 장 약 당 폭약(KG) 뇌관(개)		결 과	
	1회	12:00	102	17	18	수직	159.4	318.9	2,870.0	18	양조	
								지발당장약량(charge/delay) 지연시간 20ms				

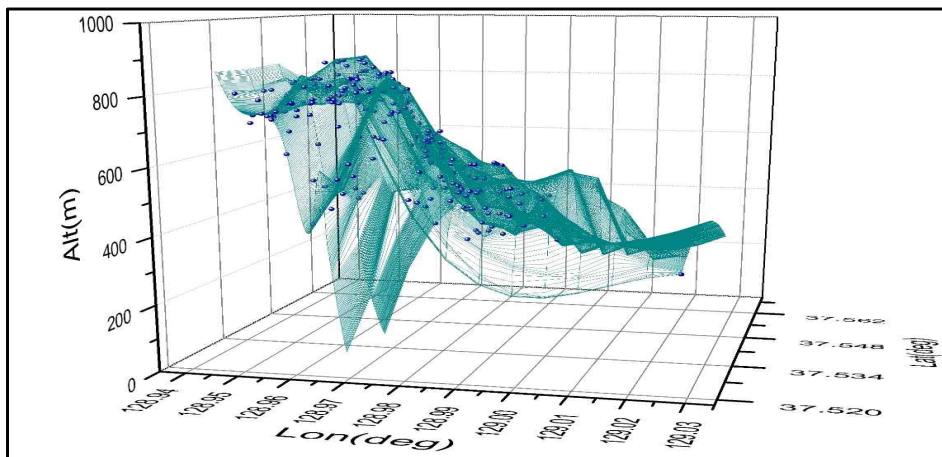
[그림 3-2] 채광 발파작업일지 현황

제 2 절 연구결과

2011년에서부터 2013년간 총 886건의 채광을 위한 폭발을 실시하였으며, 지질자원연구원은 이 중 57%인 506건의 인공지진을 탐지하였고, 이 때 위치 오차는 5km 이내에서 발생하였다.



[그림 3-3] 저장도 인공지진 탐지현황

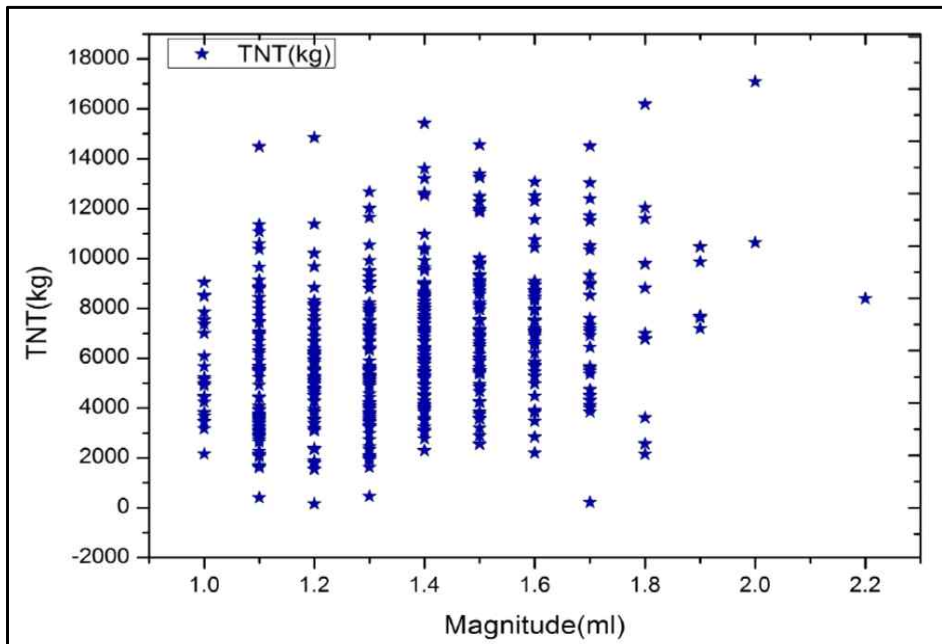


[그림 3-4] 저장도 인공지진 고도별 분포현황

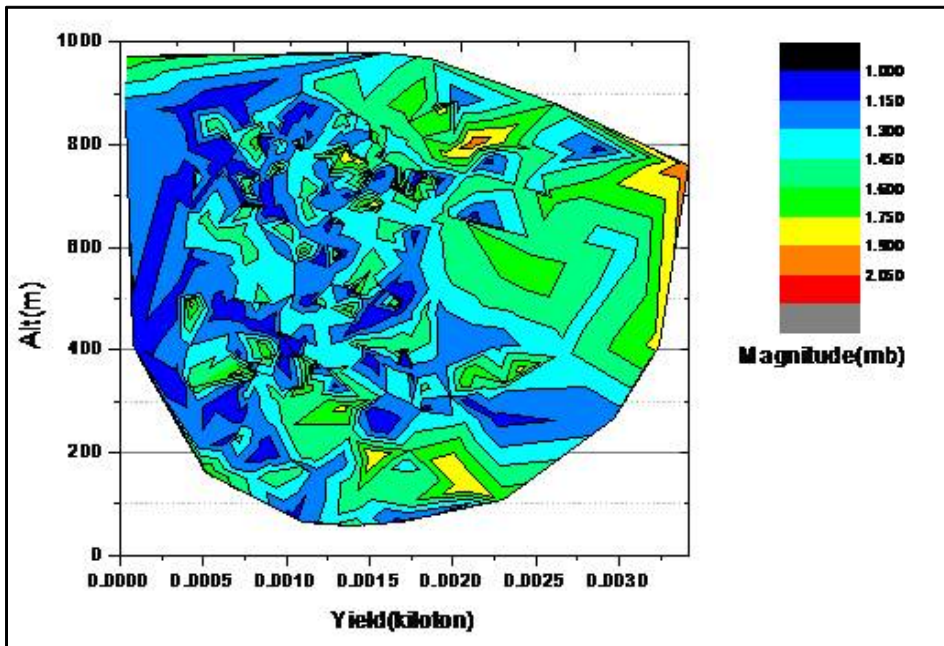
지진규모의 경우 M_L 1.0-2.2까지 탐지되었고, 폭약의 사용량은 최대 17ton을 사용하였다. 그러나 1kt 이하 폭약의 사용 시 지진규모에 미치는 영향력은 적은 것으로 확인되었다.

또한 최대 지하 1km 지점에서 폭발을 실시하였고, 지하 600-700m 지점에서 가장 강한 규모의 인공지진이 탐지되었다.

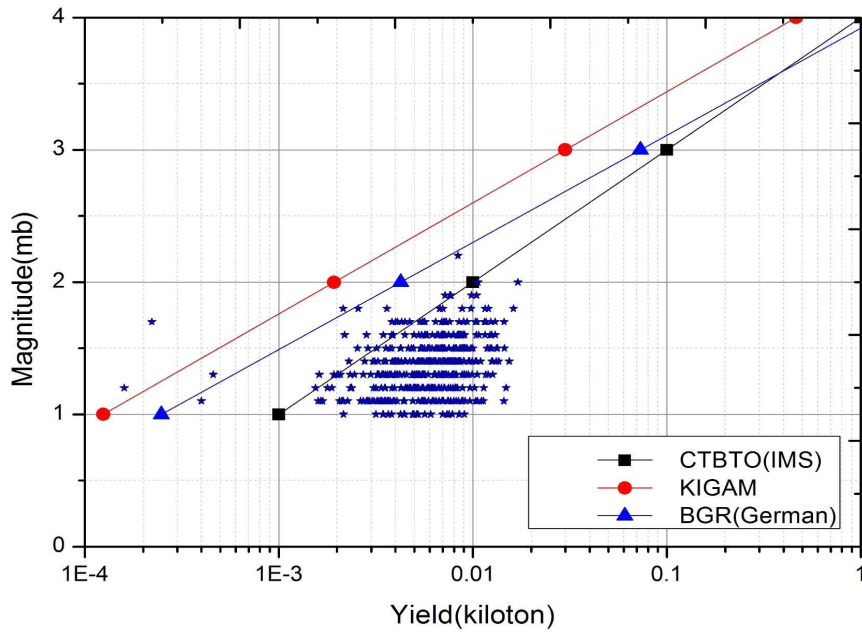
현재 사용되고 있는 지진규모식과 연구의 결과를 비교해 볼 때 원거리에서 인공지진이 탐지되었을 경우에는 CTBTO의 규모식에 가장 접근 하였으며, 단거리에서 탐지 되었을 경우는 KIGAM의 규모식이 적절한 것으로 확인되었다.



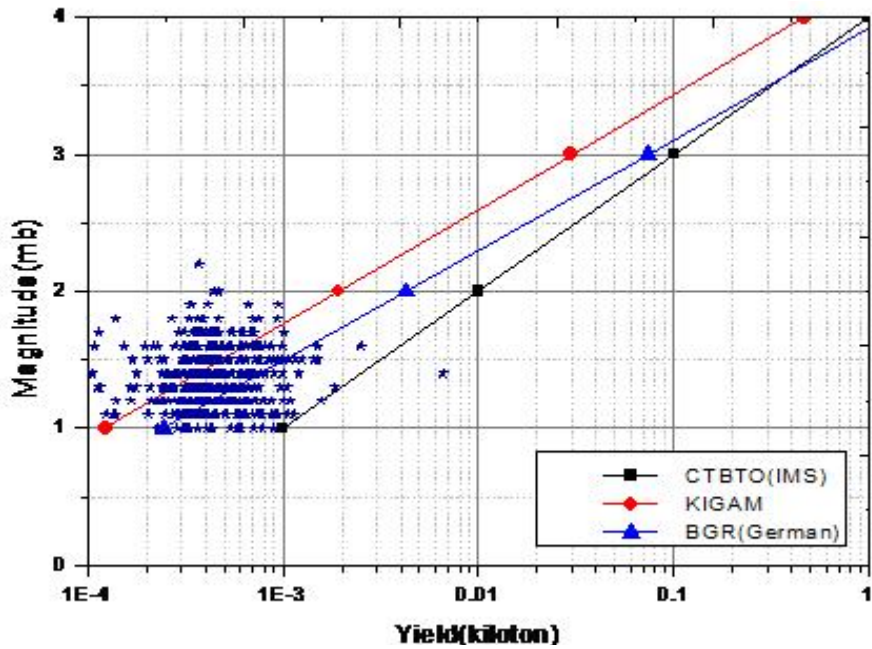
[그림 3-5] 인공지진 규모별 폭약사용량 현황



[그림 3-6] 고도별 폭발규모 분포현황



[그림 3-7] 100km 이상 이격 시 지진규모에 따른 폭발력



[그림 3-8] 100km 이하 이격 시 지진규모에 따른 폭발력

제 4 장 논의 및 결론

한반도에서의 소규모 핵실험이 발생했을 경우, 이를 탐지하고 분석하기 위해 저장도 인공지진과 실제 폭발양과의 비교를 통해 현재 적용되고 있는 CTBTO, KIGAM, BGR 의 규모식에 적용한 결과 100km 이상 원거리에서 발생하는 지진에 대해서는 CTBTO의 규모식이 적합하고, 근거리에서 발생하는 지진에 대해서는 KIGAM의 규모식을 적용하는 것이 합리적임을 확인하였다. 따라서 북한의 핵실험에서 발생하는 핵실험을 CTBTO의 기준을 적용하는 것이 합리적일 것이다. 그러나, 1kt 이하에서 발생하는 지진규모를 평가하는데 있어 정확한 폭발량을 평가하는데 제한이 되었다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 북한의 핵실험장으로부터 최단 거리에 있는 중국 또는 러시아의 탐지장비 지진규모를 확인하여 KIGAM의 폭발규모식에 적용하는 것이 최적의 방법이라고 평가된다.

참 고 문 헌

1. Lars-Erik De Geer, "Radionuclide Evidence for Low-Yield Nuclear Testing in North Korea in April/May 2010," *Science & Global Security*, Volume 20, No. 1, 2012.
2. Letter from James Schlesinger, Richard Cheney, Frank Carlucci, Caspar Weinberger, Donald Rumsfeld, and Melvin Laird to the Honorable Trent Lott, Majority Leader, United States Senate, and The Honorable Tom Daschle, Democratic Leader, United States Senate, in Senate Armed Services Committee(SASC) CTBT hearings, 1999, p.131.
3. Miao Zhang, "Seismological Evidence for a Low-Yield Nuclear Test on 12 May 2010 in North Korea", Laboratory of Seismology and Physics of Earth's Interior School of Earth and Space Sciences University of Science and Technology of China Hefei, 2014.
4. 김창순, "핵공학개론", 한국원자력학회, 1989. p91.
5. Siegfried S. Hecker, "A Return Trip to North Korea's Yongbyon Nuclear Complex", Center for International Security and Cooperation, Stanford University, November 20, 2010
6. 강정민, "Using the Graphite isotope Ratio Method to Verify the DPRK's Plutonium-production Declaration". 2013.
7. David Albright and Kevin O'Neill, Editors, *Solving the North Korean Nuclear Puzzle*, The Institute for Science and International

- Security. 2000, p.119,
8. Technical Issues Related to the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Account, National Academy of Science, 2002.
 9. <http://www.ctbto.org/press-centre.press-releases/2013/ctbto-detects-radioactivity-consistent-with-12-february-announced-north-korean-nuclear-test/>
 10. M. Mogensen, 1984, "Utilization of the Isotopic Composition of Xe and Kr in Fission Gas Release Research."
 11. 박지영, "불확실성에 대한 대응 : 북한 핵실험에 대한 기술적 분석", 아산정책연구원. 2014.
 12. 암발파 관리지침, 한국도로공사, 2013.
 13. UCLA Department of English, "Kelly Kiloton Index of Earthquake Moment Magnitudes,"
 14. Kim, W.-Y., Simpson, D.W. and Richards, P.G.(1994) High frequency spectra of regional from earthquakes
 15. Martin B. Kalinowski, "Isotopic signature of atmospheric xenon released from the light water reactors", Journal of Environmental Radioactivity, 2006.

인공지진 및 폭약발파시간·폭발양 현황(2011~2013년)

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
1	37.5258	128.9716	1.5	2011-01-05	3시 28분 26초	12:00	21	13,258.00
2	37.5375	128.9757	1.4	2011-01-07	7시 05분 57초	12:00	21	8980
3	37.5214	129.0768	1.7	2011-01-08	2시 53분 59초	12:00	18	4490
4	37.5693	128.9567	1.1	2011-01-10	2시 53분 11초	12:00	23	7430
5	37.5254	128.9683	1.4	2011-01-14	2시 47분 15초	12:00	16	6340
6	37.5339	128.9601	1.3	2011-01-18	3시 04분 12초	12:00	7	460
7	37.5336	128.9658	1.5	2011-01-18	3시 08분 05초	12:00	20	6664
8	37.5504	128.9538	1.5	2011-01-19	2시 48분 41초	12:00	22	3750
9	37.5403	128.9314	1.6	2011-01-20	2시 51분 57초	12:00	18	3828
10	37.5255	129.0147	1.2	2011-01-21	2시 50분 59초	12:00	16	6642
11	37.5056	128.9954	1.3	2011-01-25	2시 48분 36초	12:00	17	4878
12	37.5473	128.9970	1.6	2011-01-26	7시 10분 10초	12:00	13	7520
13	37.5167	128.9315	1.4	2011-01-27	7시 01분 48초	12:00	18	12,524.00
14	37.5189	129.0264	1.3	2011-02-01	2시 51분 02초	12:00	20	3984
15	37.5655	128.9793	1.3	2011-02-02	2시 49분 41초	12:00	24	6894
16	37.5179	129.0192	1.6	2011-02-06	2시 53분 26초	12:00	18	7040
17	37.5187	128.9943	1.2	2011-02-09	2시 57분 21초	12:00	7	9680
18	37.5168	129.0025	1.3	2011-02-10	2시 45분 48초	12:00	22	11650
19	37.5429	129.0151	1.1	2011-02-16	2시 58분 45초	12:00	25	1648
20	37.5357	129.0132	1.2	2011-02-17	2시 51분 33초	12:00	16.5	5248
21	37.5546	128.9827	1.3	2011-02-20	2시 52분 49초	12:00	21	9056
22	37.5201	128.9265	1.1	2011-02-21	7시 01분 52초	12:00	18	6188
23	37.5305	128.9848	1.1	2011-02-22	3시 00분 20초	12:00	25	1688
24	37.5307	128.9579	1.3	2011-02-22	2시 52분 29초	12:00	21	5320
25	37.5436	128.9587	1.3	2011-02-24	3시 35분 18초	12:00	21	9264
26	37.5297	129.0237	1.3	2011-02-26	2시 57분 29초	12:00	22	5510
27	37.5487	128.9860	1.5	2011-03-01	2시 52분 38초	12:00	21	8090
28	37.5327	128.9826	1.3	2011-03-03	3시 23분 46초	12:00	15	1928
29	37.5262	128.8940	1.6	2011-03-03	3시 30분 08초	12:00	21	7976
30	37.5421	128.9232	1.4	2011-03-08	2시 51분 34초	12:00	19.5	5986

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
31	37.4901	129.0474	1.9	2011-03-10	2시 49분 23초	12:00	15	10466
32	37.5453	128.9408	1.2	2011-03-11	3시 06분 12초	12:00	13	7122
33	37.5377	128.9936	1.1	2011-03-15	2시 50분 58초	12:00	18	7488
34	37.5255	128.9796	1.0	2011-03-18	2시 55분 19초	12:00	21	5658
35	37.4890	128.9633	1.6	2011-03-19	2시 54분 27초	12:00	22.5	10752
36	37.5253	128.9557	1.3	2011-03-26	2시 48분 12초	12:00	17	7142
37	37.5131	129.0470	1.8	2011-03-28	2시 48분 46초	12:00	15	2570
38	37.5094	129.0161	1.8	2011-04-01	2시 52분 15초	12:00	16.5	6766
39	37.5713	129.0001	1.2	2011-04-05	2시 57분 45초	12:00	21	2378
40	37.5438	128.9271	1.1	2011-04-06	2시 55분 14초	12:00	22	8868
41	37.5440	128.9534	1.5	2011-04-07	2시 51분 07초	12:00	17.5	2550
42	37.5273	129.0313	1.4	2011-04-08	2시 54분 25초	12:00	18	8574
43	37.5349	128.9406	1.2	2011-04-09	2시 46분 10초	12:00	18	2342
44	37.5277	128.9487	1.4	2011-04-09	2시 47분 16초	12:00	17	7370
45	37.5245	128.9459	1.0	2011-04-12	2시 56분 14초	12:00	23	2158
46	37.5332	128.9799	1.7	2011-04-12	6시 58분 23초	12:00	20	7190
47	37.5036	128.9566	1.4	2011-04-13	3시 27분 14초	12:00	15	4742
48	37.5181	128.9845	1.3	2011-04-14	3시 07분 53초	12:00	18	2732
49	37.5395	128.9629	1.6	2011-04-14	3시 06분 16초	12:00	19.5	12290
50	37.5279	128.9659	1.3	2011-04-16	2시 52분 27초	12:00	21	5614
51	37.5058	128.9578	1.6	2011-04-20	2시 50분 01초	12:00	19.5	9088.2
52	37.5291	129.0032	1.6	2011-04-20	2시 52분 15초	12:00	10	2190
53	37.4757	128.9812	1.7	2011-04-20	2시 52분 14초	12:00	7	221.8
54	37.5155	128.9525	1.4	2011-04-21	2시 52분 08초	12:00	16	8430
55	37.4945	129.0148	1.5	2011-04-22	2시 57분 43초	12:00	18	4664
56	37.5256	128.9095	1.1	2011-04-23	2시 54분 02초	12:00	21	10588
57	37.5320	128.9434	1.5	2011-04-25	2시 49분 43초	12:00	11	5436
58	37.5266	129.0313	1.5	2011-04-26	2시 52분 58초	12:00	17	6540
59	37.5283	128.9920	1.2	2011-04-27	3시 19분 42초	12:00	21	6650
60	37.5454	128.9827	1.3	2011-05-02	3시 03분 48초	12:00	23	3408

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _i	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
61	37.5317	128.9562	1.4	2011-05-02	2시 59분 12초	12:00	17	8110
62	37.5632	129.0246	1.1	2011-05-04	2시 55분 13초	12:00	21	5498
63	37.5328	129.0287	1.5	2011-05-05	2시 48분 59초	12:00	7	4952
64	37.5094	128.9171	1.9	2011-05-06	3시 18분 06초	12:00	12	7700
65	37.5001	129.0332	1.1	2011-05-07	2시 54분 36초	12:00	21	10362
66	37.5113	128.9968	1.7	2011-05-11	2시 52분 42초	12:00	23	5598
67	37.5281	128.9954	1.0	2011-05-12	3시 45분 29초	12:00	23	7364
68	37.5407	128.9689	1.2	2011-05-12	3시 34분 28초	12:00	17	7892
69	37.5652	128.9859	1.7	2011-05-13	8시 37분 20초	12:00	20	5658
70	37.5137	128.9638	1.1	2011-05-15	1시 59분 16초	12:00	23	5550
71	37.5640	128.9607	1.1	2011-05-16	2시 50분 28초	12:00	20	3498
72	37.5252	128.9659	1.5	2011-05-18	2시 51분 34초	12:00	18	8912
73	37.5262	129.0408	1.3	2011-05-20	2시 50분 58초	12:00	23	3814
74	37.4737	128.9909	1.5	2011-05-26	3시 12분 37초	12:00	18.5	9310
75	37.5137	128.9674	1.3	2011-05-28	2시 43분 27초	12:00	20	7268
76	37.5484	128.9150	1.1	2011-06-01	2시 55분 49초	12:00	20	5452
77	37.4993	129.0009	1.5	2011-06-02	2시 54분 08초	12:00	21	13402
78	37.5228	128.9992	1.5	2011-06-03	3시 22분 24초	12:00	20	6962
79	37.5101	128.9416	1.5	2011-06-08	2시 50분 46초	12:00	16.5	9800
80	37.5531	128.8964	1.7	2011-06-11	2시 48분 53초	12:00	20	5492
81	37.4670	129.0563	1.3	2011-06-15	2시 49분 14초	12:00	12	5142
82	37.5225	129.0093	1.4	2011-06-18	2시 42분 45초	12:00	15	7054
83	37.5303	128.9869	1.1	2011-06-21	3시 25분 45초	12:00	19.5	7992
84	37.5277	128.9788	1.2	2011-06-25	2시 49분 31초	12:00	18	8840
85	37.5126	129.0350	1.6	2011-06-25	2시 48분 12초	12:00	15	5270
86	37.5160	128.9866	1.3	2011-06-28	2시 53분 44초	12:00	21	2458
87	37.5305	128.9491	1.4	2011-06-28	2시 55분 27초	12:00	22	6690
88	37.5421	129.0306	1.3	2011-06-30	2시 53분 05초	12:00	13	3792
89	37.5115	129.0523	1.5	2011-06-30	2시 55분 08초	12:00	20	5500
90	37.4721	129.0243	1.1	2011-07-02	7시 44분 46초	12:00	17	2640

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
91	37.4721	129.0171	1.2	2011-07-02	8시 18분 59초	12:00	10	1784
92	37.5404	129.0043	1.2	2011-07-04	8시 25분 02초	12:00	7	8092
93	37.5414	129.0109	1.1	2011-07-05	2시 53분 26초	12:00	13	4918
94	37.5564	128.9397	1.1	2011-07-07	3시 00분 18초	12:00	21	3414
95	37.5118	129.0515	1.2	2011-07-08	2시 50분 27초	12:00	23	2362
96	37.4877	128.9175	1.4	2011-07-08	2시 51분 50초	12:00	22	6430
97	37.5340	129.0788	1.9	2011-07-09	2시 35분 38초	12:00	17	7622
98	37.5341	128.9947	1.2	2011-07-11	3시 07분 45초	12:00	15	7172
99	37.4710	129.0216	1.3	2011-07-14	3시 01분 17초	12:00	10	1620
100	37.5399	128.9571	1.2	2011-07-15	2시 59분 18초	12:00	23	5046
101	37.5114	128.9884	1.5	2011-07-16	2시 50분 44초	12:00	18	9108
102	37.4987	129.0447	1.2	2011-07-18	2시 51분 38초	12:00	23	5474
103	37.5410	128.9829	1.1	2011-07-22	2시 43분 32초	12:00	102	7056
104	37.5267	129.0033	1.4	2011-07-23	2시 47분 41초	12:00	7	8970
105	37.5458	129.0551	1.8	2011-07-25	3시 18분 43초	12:00	21	3614
106	37.5255	128.9736	1.1	2011-07-30	3시 01분 26초	12:00	10	4450
107	37.5315	128.9781	1.4	2011-07-30	2시 55분 28초	12:00	21	2774
108	37.5497	128.9662	1.4	2011-08-02	3시 25분 33초	12:00	7	7650
109	37.5173	128.9557	1.5	2011-08-06	2시 48분 24초	12:00	18	7138
110	37.5314	128.9941	1.4	2011-08-12	2시 54분 28초	12:00	15	9514
111	37.5293	128.9587	1.5	2011-08-15	2시 45분 44초	12:00	23	10016
112	37.5052	128.9533	1.1	2011-08-19	2시 45분 41초	12:00	18	4080
113	37.5255	128.9674	1.6	2011-08-20	2시 42분 56초	12:00	21	8676
114	37.5323	128.9869	1.6	2011-08-24	3시 03분 32초	12:00	18	6538
115	37.5206	128.9817	1.4	2011-08-27	2시 44분 53초	12:00	21	4476
116	37.5337	128.9656	1.0	2011-08-28	3시 08분 34초	12:00	21	5136
117	37.5289	128.9729	1.4	2011-08-29	5시 00분 50초	12:00	21	10330
118	37.5188	128.9709	1.2	2011-08-30	2시 49분 20초	12:00	21	5088
119	37.5498	129.0522	1.1	2011-09-02	2시 46분 02초	12:00	21	8812
120	37.5269	128.9332	1.3	2011-09-10	2시 51분 18초	12:00	10	5530

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _i	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
121	37.5119	128.9426	1.6	2011-09-11	2시 58분 36초	12:00	20	5730
122	37.5270	128.9813	1.0	2011-09-14	2시 45분 38초	12:00	15	8526
123	37.5529	128.9765	1.2	2011-09-30	2시 49분 11초	12:00	7	8318
124	37.5309	128.9481	1.1	2011-10-01	2시 53분 23초	12:00	21	8788
125	37.5663	128.9960	1.1	2011-10-04	3시 26분 40초	12:00	15	9134
126	37.5307	128.9438	1.3	2011-10-07	2시 46분 59초	12:00	15	5226
127	37.5258	128.9589	1.2	2011-10-08	2시 43분 22초	12:00	21	7474
128	37.5327	128.9625	1.2	2011-10-12	4시 39분 33초	12:00	7	160
129	37.5279	128.9897	1.5	2011-10-12	7시 01분 12초	12:00	17	8570
130	37.5311	128.9850	1.4	2011-10-13	2시 47분 48초	12:00	20	7856
131	37.5263	128.9673	1.5	2011-10-14	2시 47분 14초	12:00	10	7524
132	37.5234	128.9446	1.2	2011-10-18	2시 49분 29초	12:00	23	7496
133	37.4828	129.0720	1.3	2011-10-19	2시 52분 09초	12:00	18	10538
134	37.5384	128.9564	1.5	2011-10-21	2시 49분 05초	12:00	23	7952
135	37.5351	128.9791	1.4	2011-10-28	3시 07분 29초	12:00	21	3252
136	37.5416	128.9712	1.6	2011-10-28	3시 05분 37초	12:00	18.5	10440
137	37.5397	128.9422	1.4	2011-10-29	2시 47분 58초	12:00	15	7740.6
138	37.5404	128.9808	1.2	2011-10-31	2시 54분 49초	12:00	19	6208
139	37.5123	129.0110	1.2	2011-11-03	2시 48분 44초	12:00	9	5910
140	37.5336	128.9735	1.7	2011-11-04	3시 31분 58초	12:00	21	11706
141	37.5275	128.9592	1.9	2011-11-05	2시 46분 20초	12:00	21	7190
142	37.5246	128.9844	1.5	2011-11-07	7시 01분 45초	12:00	21	8688
143	37.5224	128.9067	1.2	2011-11-08	2시 48분 03초	12:00	21	5258
144	37.5332	128.9930	1.2	2011-11-12	2시 55분 09초	12:00	23	4288
145	37.6209	128.9869	1.6	2011-11-14	2시 48분 15초	12:00	9	8930
146	37.5419	128.9445	1.1	2011-11-15	2시 54분 11초	12:00	21	6292
147	37.5111	128.9661	1.2	2011-11-17	2시 47분 37초	12:00	23	3954
148	37.5393	129.0039	1.2	2011-11-18	2시 56분 26초	12:00	15	8844
149	37.5263	128.9884	1.4	2011-11-19	2시 57분 17초	12:00	23	13204
150	37.5417	128.9622	1.6	2011-11-21	2시 59분 17초	12:00	21	7514

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
151	37.5246	129.0271	1.4	2011-11-22	3시 05분 32초	12:00	23	10966
152	37.5479	128.9320	1.4	2011-11-25	2시 47분 59초	12:00	21	7198
153	37.5160	129.0581	1.3	2011-11-26	2시 53분 25초	12:00	23	3226
154	37.4974	128.8951	1.6	2011-11-26	2시 43분 16초	12:00	20	4980
155	37.5347	128.9488	1.3	2011-11-28	2시 50분 17초	12:00	21	6364
156	37.5348	128.9895	1.1	2011-11-29	2시 57분 25초	12:00	21	6688
157	37.5491	128.9621	1.4	2011-11-30	2시 49분 35초	12:00	18	6836
158	37.5432	128.9681	1.0	2011-12-03	3시 11분 57초	12:00	28	9048
159	37.5269	128.9687	1.2	2011-12-05	3시 11분 13초	12:00	28	4756
160	37.5305	128.9450	1.1	2011-12-07	3시 19분 57초	12:00	14	6940
161	37.4873	128.8925	1.3	2011-12-08	2시 51분 24초	12:00	22	12676
162	37.5198	128.8778	1.4	2011-12-10	2시 49분 18초	12:00	28	5300
163	37.5156	128.9946	1.6	2011-12-12	2시 48분 52초	12:00	19	8328
164	37.5232	128.8736	1.2	2011-12-19	2시 49분 03초	12:00	16	5810
165	37.5304	128.9501	1.4	2011-12-21	2시 52분 30초	12:00	24	2300
166	37.5066	129.0557	1.0	2011-12-22	2시 54분 32초	12:00	16	3470
167	37.5492	128.9604	1.8	2011-12-23	2시 53분 36초	12:00	22	11600
168	37.5266	128.9721	1.6	2011-12-26	2시 54분 22초	12:00	19	3830
169	37.4792	129.0281	1.2	2011-12-27	2시 48분 18초	12:00	20	3550
170	37.5441	128.9278	1.3	2011-12-28	2시 57분 32초	12:00	20	2340
171	37.5530	128.9802	1.3	2011-12-29	2시 49분 24초	12:00	18	8800
172	37.5088	128.9616	1.4	2011-12-30	2시 43분 07초	12:00	28	4290
173	37.5345	128.9542	1.7	2011-12-31	2시 44분 30초	12:00	22	4740
174	37.5573	128.9503	1.4	2012-01-02	2시 54분 49초	12:00	15	7890.0
175	37.5362	128.9270	1.7	2012-01-05	2시 51분 51초	12:00	13	8516.0
176	37.5197	129.0002	1.1	2012-01-06	2시 52분 10초	12:00	25	2734.0
177	37.5106	128.9876	1.7	2012-01-09	2시 48분 46초	12:00	18	10340.0
178	37.5633	128.9630	1.3	2012-01-11	3시 06분 21초	12:00	18	6408.0
179	37.5249	128.9487	1.8	2012-01-13	2시 50분 42초	12:00	3	7000.0
180	37.5117	128.9271	1.3	2012-01-16	6시 51분 19초	12:00	23	3430.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
181	37.5326	128.9698	1.6	2012-01-17	2시 46분 40초	12:00	15	6650.0
182	37.5539	128.9874	1.4	2012-01-18	2시 59분 46초	12:00	23	3847.8
183	37.5247	129.0094	1.4	2012-01-19	3시 19분 42초	12:00	23	8670.0
184	37.5215	128.9395	1.1	2012-01-20	2시 41분 10초	12:00	23	3764.0
185	37.5289	129.0052	1.2	2012-01-21	2시 44분 31초	12:00	23	14850.0
186	37.5107	128.9128	1.5	2012-01-22	2시 52분 14초	12:00	18	6440.0
187	37.4997	128.9303	1.5	2012-01-28	2시 52분 19초	12:00	23	8832.0
188	37.5377	128.9702	1.8	2012-02-01	3시 03분 10초	12:00	12	6788.0
189	37.5114	128.9398	1.6	2012-02-02	3시 03분 16초	12:00	7	8958.0
190	37.5013	129.0020	1.5	2012-02-04	2시 52분 57초	12:00	23	7092.0
191	37.5324	128.9775	1.4	2012-02-06	2시 46분 29초	12:00	7	3930.0
192	37.5098	128.9875	1.1	2012-02-11	2시 43분 10초	12:00	23	6468.0
193	37.4979	128.9675	1.5	2012-02-14	7시 02분 29초	12:00	18	8126.0
194	37.5128	128.9234	1.3	2012-02-15	2시 44분 46초	12:00	18	3730.0
195	37.5340	128.9679	1.5	2012-02-17	2시 46분 16초	12:00	23	6842.0
196	37.5361	129.0108	1.7	2012-02-20	2시 41분 34초	12:00	16	5352.0
197	37.5203	128.9824	1.3	2012-02-23	2시 45분 24초	12:00	16	9022.0
198	37.4901	129.0066	1.3	2012-02-28	2시 49분 17초	12:00	23	7298.0
199	37.4964	129.0500	1.6	2012-02-29	2시 45분 23초	12:00	7	6880.0
200	37.5109	129.0065	1.5	2012-03-10	2시 48분 51초	12:00	22	5438.0
201	37.5390	128.9701	1.2	2012-03-13	2시 49분 06초	12:00	21	8186.0
202	37.5151	128.9375	1.4	2012-03-14	2시 48분 54초	12:00	16	6358.0
203	37.5323	128.9658	1.3	2012-03-15	2시 49분 43초	12:00	17	5672.0
204	37.5276	128.9500	1.7	2012-03-17	2시 49분 15초	12:00	28	4100.0
205	37.5090	128.9874	1.6	2012-03-21	3시 30분 52초	12:00	24	11558.0
206	37.5356	128.9435	1.2	2012-03-22	2시 45분 04초	12:00	17	6369.0
207	37.5389	128.9225	1.3	2012-03-23	2시 46분 06초	12:00	20	7498.0
208	37.5240	129.0239	1.3	2012-03-24	2시 55분 52초	12:00	21	9918.0
209	37.5221	128.9927	1.2	2012-03-30	2시 51분 17초	12:00	7	1550.0
210	37.5441	128.9491	1.4	2012-04-02	2시 47분 15초	12:00	22	5247.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
211	37.5808	129.0383	1.4	2012-04-07	2시 44분 12초	12:00	19.5	6412.0
212	37.5463	128.9707	1.4	2012-04-09	2시 55분 17초	12:00	23	6988.0
213	37.5344	128.9967	1.3	2012-04-10	2시 53분 55초	12:00	21	2002.0
214	37.5481	128.9767	1.4	2012-04-11	2시 55분 21초	12:00	25	8932.0
215	37.5630	128.9957	1.5	2012-04-13	2시 46분 38초	12:00	21	8704.0
216	37.5344	128.9513	1.3	2012-04-14	2시 58분 25초	12:00	16.5	8096.0
217	37.5330	128.9560	1.7	2012-04-16	2시 42분 40초	12:00	20.5	7595.0
218	37.5079	129.0240	1.6	2012-04-17	2시 47분 54초	12:00	23	4480.0
219	37.5043	128.9764	2.0	2012-04-18	2시 44분 29초	12:00	22.5	17093.0
220	37.5450	128.9416	1.2	2012-04-19	2시 46분 25초	12:00	11	5918.0
221	37.5299	128.9590	1.2	2012-04-23	2시 43분 24초	12:00	17	4615.0
222	37.5617	128.9580	1.4	2012-04-27	3시 36분 26초	12:00	28	8142.0
223	37.5257	128.9788	1.1	2012-04-28	2시 42분 39초	12:00	20	6992.0
224	37.5457	128.9468	1.1	2012-05-01	2시 47분 08초	12:00	20	2890.0
225	37.5317	128.9623	1.2	2012-05-03	2시 51분 11초	12:00	28	10210.0
226	37.5358	128.9916	1.4	2012-05-04	2시 53분 08초	12:00	20	7526.0
227	37.5399	128.9380	1.2	2012-05-07	2시 44분 39초	12:00	16	3520.0
228	37.5361	128.9574	1.2	2012-05-09	2시 46분 48초	12:00	24	8176.0
229	37.5264	129.0084	1.6	2012-05-10	2시 54분 37초	12:00	20	8748.0
230	37.5171	128.9321	1.5	2012-05-12	2시 42분 03초	12:00	28	12272.0
231	37.5246	128.9641	1.2	2012-05-16	2시 43분 49초	12:00	28	5810.0
232	37.5080	129.0710	1.2	2012-05-17	2시 11분 11초	12:00	19	7668.0
233	37.5105	129.0310	1.6	2012-05-19	2시 46분 56초	12:00	28	7198.0
234	37.5170	128.9530	1.3	2012-05-21	3시 03분 43초	12:00	16	7072.0
235	37.5403	128.9576	1.0	2012-05-22	2시 42분 39초	12:00	16	4249.0
236	37.5526	128.9711	1.4	2012-05-25	2시 54분 41초	12:00	17	5918.0
237	37.5266	128.9698	1.7	2012-05-26	2시 42분 36초	12:00	20	6438.0
238	37.5277	129.0061	1.2	2012-05-31	2시 56분 08초	12:00	19.7	4500.0
239	37.5607	128.9413	1.4	2012-06-01	2시 50분 30초	12:00	23	10430.0
240	37.4974	129.0018	1.2	2012-06-02	2시 55분 17초	12:00	20	9680.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _i	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
241	37.5296	128.9679	1.4	2012-06-09	2시 42분 17초	12:00	17	9628.0
242	37.5529	128.9877	1.8	2012-06-11	2시 46분 58초	12:00	20	12040.0
243	37.5510	128.9926	1.7	2012-06-13	2시 47분 00초	12:00	20	10513.0
244	37.6280	128.9911	1.4	2012-06-15	2시 50분 28초	12:00	15.5	8510.0
245	37.5364	128.9674	1.1	2012-06-20	2시 53분 20초	12:00	23	14486.0
246	37.5400	128.9461	1.5	2012-06-22	2시 42분 01초	12:00	16	7548.0
247	37.5128	128.9962	1.6	2012-06-23	2시 43분 02초	12:00	17	5450.0
248	37.5546	128.9626	1.5	2012-06-26	2시 41분 18초	12:00	20	3838.0
249	37.5442	128.9375	1.4	2012-07-02	2시 59분 51초	12:00	20	9922.0
250	37.5316	128.9591	1.6	2012-07-03	3시 52분 03초	12:00	24	13066.0
251	37.5473	128.9704	1.4	2012-07-07	2시 54분 36초	12:00	20	15420.0
252	37.5463	128.9515	1.1	2012-07-09	2시 46분 39초	12:00	13	8446.0
253	37.5432	128.9542	1.2	2012-07-10	2시 57분 15초	12:00	18	3090.0
254	37.5404	128.9734	1.2	2012-07-12	2시 45분 47초	12:00	17.5	4950.0
255	37.5228	129.0010	1.3	2012-07-23	3시 01분 52초	12:00	16.5	3240.0
256	37.5525	128.9637	1.7	2012-07-24	3시 06분 54초	12:00	21.5	13028.0
257	37.5558	128.9772	1.1	2012-07-25	2시 53분 15초	12:00	21	5520.0
258	37.5439	128.9866	1.4	2012-07-25	2시 45분 04초	12:00	17	5410.0
259	37.5438	128.9781	1.4	2012-07-26	2시 45분 15초	12:00	16	6080
260	37.5404	128.9859	1.4	2012-07-27	2시 53분 04초	12:00	17	6658.0
261	37.5472	128.9534	1.3	2012-07-30	2시 55분 40초	12:00	18	6318.0
262	37.5144	129.0598	1.2	2012-07-31	2시 57분 32초	12:00	17	11382.0
263	37.5476	128.9311	1.1	2012-08-01	2시 51분 34초	12:00	7	400.0
264	37.5282	128.9843	1.0	2012-08-02	2시 48분 20초	12:00	17	3450.0
265	37.5213	128.9346	1.1	2012-08-04	3시 07분 11초	12:00	21.5	7700.0
266	37.5535	128.9913	1.4	2012-08-07	2시 51분 51초	12:00	17.5	3120.0
267	37.5377	128.9784	1.5	2012-08-08	2시 55분 33초	12:00	19.5	3570
268	37.5386	128.9794	1.4	2012-08-09	2시 46분 50초	12:00	16	4030.0
269	37.5478	128.9627	1.1	2012-08-10	2시 45분 56초	12:00	17	4410.0
270	37.5356	128.9571	1.4	2012-08-11	2시 41분 57초	12:00	15	5170.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _i	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
271	37.5292	128.8627	1.1	2012-08-13	2시 41분 05초	12:00	21	7438.0
272	37.5371	128.9851	1.2	2012-08-14	2시 42분 37초	12:00	10	4790.0
273	37.4830	129.0704	1.4	2012-08-15	2시 44분 44초	12:00	21	7202.0
274	37.5263	128.9597	1.4	2012-08-16	2시 46분 41초	12:00	12	7998.0
275	37.5265	129.0064	1.0	2012-08-17	2시 45분 06초	12:00	23	7852.0
276	37.5525	128.9511	1.5	2012-08-20	2시 45분 19초	12:00	7	9128.0
277	37.5379	128.9475	1.6	2012-08-21	2시 48분 03초	12:00	7	12520.0
278	37.5399	128.9550	1.4	2012-09-12	3시 05분 33초	12:00	16	7400.0
279	37.5438	128.9771	1.5	2012-09-13	2시 58분 54초	12:00	21	11862.2
280	37.5321	128.9510	1.6	2012-09-14	2시 51분 30초	12:00	19	8464.0
281	37.5327	128.9517	1.5	2012-09-18	2시 48분 22초	12:00	8	7518.0
282	37.5202	128.9750	1.5	2012-09-19	3시 02분 38초	12:00	6	9746.0
283	37.5281	128.9891	1.8	2012-09-21	3시 40분 30초	12:00	18	16190.0
284	37.5564	128.9498	1.4	2012-09-24	2시 53분 59초	12:00	7	5930.0
285	37.5384	128.9758	1.5	2012-09-25	2시 55분 33초	12:00	15	9822.0
286	37.5544	128.9544	1.5	2012-09-27	2시 46분 56초	12:00	9	6895.0
287	37.5221	128.9692	1.2	2012-09-28	2시 50분 12초	12:00	15	6382.0
288	37.5318	128.9625	1.0	2012-09-29	2시 42분 01초	12:00	17	3170.0
289	37.5378	128.9753	1.3	2012-10-03	2시 51분 47초	12:00	25	2028.0
290	37.5383	128.9611	1.4	2012-10-05	3시 12분 40초	12:00	23	12634.0
291	37.5569	128.9289	1.3	2012-10-08	2시 49분 22초	12:00	20	7988.0
292	37.5281	128.9694	1.3	2012-10-10	2시 44분 15초	12:00	21	8226.0
293	37.5364	128.9773	1.4	2012-10-11	2시 49분 27초	12:00	27	7210.0
294	37.5241	128.9861	1.5	2012-10-13	3시 05분 22초	12:00	22.5	8230.0
295	37.5393	128.9636	1.4	2012-10-19	3시 10분 28초	12:00	21	4908.0
296	37.5342	128.9547	1.2	2012-10-24	2시 48분 48초	12:00	21.5	6084.0
297	37.5360	128.9578	1.5	2012-10-25	2시 50분 35초	12:00	22	14560.0
298	37.5202	128.9940	1.7	2012-10-26	3시 16분 56초	12:00	3	4008.0
299	37.5229	128.9556	1.7	2012-10-29	3시 57분 12초	12:00	26	8950.0
300	37.5072	128.9600	1.0	2012-11-03	2시 45분 22초	12:00	21	4986.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도 (m)	총 폭약량(kg)
301	37.4605	128.9462	1.6	2012-11-05	2시 47분 05초	12:00	21.5	6202
302	37.5417	128.9478	1.2	2012-11-13	2시 53분 34초	12:00	16	4270.0
303	37.5446	128.9715	1.5	2012-11-14	2시 56분 47초	12:00	26	12490.0
304	37.5414	128.9466	1.7	2012-11-16	2시 51분 21초	12:00	24	14504.0
305	37.5364	128.9390	1.3	2012-11-21	2시 50분 02초	12:00	16	6708.0
306	37.4772	129.0571	1.7	2012-11-24	2시 49분 08초	12:00	23	11510.0
307	37.5504	128.9684	1.7	2012-12-01	2시 44분 33초	12:00	25	12390.0
308	37.5331	128.9553	1.4	2012-12-06	2시 51분 03초	12:00	21	3490.0
309	37.5369	128.9890	1.0	2012-12-08	2시 50분 57초	12:00	20	6080.0
310	37.5380	128.9470	1.1	2012-12-11	2시 48분 43초	12:00	21.5	11070.0
311	37.5382	128.9612	1.4	2012-12-17	3시 06분 09초	12:00	22.5	5480.0
312	37.5591	128.9808	1.3	2012-12-19	2시 45분 14초	12:00	22.5	5555.0
313	37.6111	128.9711	1.1	2012-12-22	2시 26분 39초	12:00	20	5238.0
314	37.5283	128.9509	1.5	2012-12-24	2시 48분 47초	12:00	17	4838.0
315	37.5438	128.9702	1.1	2013-01-04	2시 51분 48초	12:00	16	2152.0
316	37.5273	128.9424	1.4	2013-01-07	3시 06분 47초	12:00	22	8002.8
317	37.5413	128.9491	1.2	2013-01-08	3시 02분 17초	12:00	18	1880.0
318	37.5397	128.9575	1.3	2013-01-10	2시 54분 30초	12:00	19.5	4910.0
319	37.5410	128.9569	1.2	2013-01-11	2시 50분 33초	12:00	19	5050.0
320	37.5295	128.9200	1.6	2013-01-14	2시 58분 08초	12:00	19	3470.0
321	37.4593	128.9816	1.6	2013-01-15	2시 53분 40초	12:00	22	2840.0
322	37.5529	128.9446	1.3	2013-01-16	2시 51분 56초	12:00	23	3270.0
323	37.5413	128.9570	1.5	2013-01-21	2시 38분 36초	12:00	20	5890.0
324	37.5349	128.9702	1.4	2013-01-23	2시 57분 34초	12:00	22	8270.0
325	37.5207	128.9793	1.1	2013-01-29	2시 51분 46초	12:00	16	2122.0
326	37.5325	128.9517	1.4	2013-01-30	2시 48분 18초	12:00	19	4100.0
327	37.5426	128.9373	1.7	2013-01-31	2시 58분 07초	12:00	23	7070.0
328	37.5387	128.9481	1.2	2013-02-01	2시 54분 20초	12:00	19.5	6700.0
329	37.5327	128.9609	1.2	2013-02-05	2시 52분 21초	12:00	17	3840.0
330	37.5466	128.9733	1.3	2013-02-06	3시 02분 04초	12:00	21.5	3260.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도 (m)	총 폭약량(kg)
331	37.5443	128.9614	1.8	2013-02-08	4시 02분 09초	12:00	21	9790.0
332	37.5507	128.9570	1.3	2013-02-15	3시 00분 17초	12:00	21.5	9500.0
333	37.5064	128.9417	1.3	2013-02-16	3시 13분 13초	12:00	18	2980.0
334	37.5068	128.9652	1.3	2013-02-18	2시 58분 34초	12:00	20	7920.0
335	37.5230	128.9319	1.2	2013-02-22	2시 55분 26초	12:00	16	4980.0
336	37.5412	128.9763	1.1	2013-02-25	2시 46분 29초	12:00	16	2142.0
337	37.5103	129.0445	1.2	2013-02-28	3시 05분 17초	12:00	21.5	4720.0
338	37.5802	128.8626	1.1	2013-03-01	2시 54분 42초	12:00	16.5	3380.0
339	37.4941	128.8881	1.3	2013-03-02	2시 52분 38초	12:00	19.5	6640.0
340	37.5384	128.9558	1.1	2013-03-04	2시 54분 02초	12:00	16.5	3207.6
341	37.5185	128.9903	1.7	2013-03-07	7시 07분 18초	12:00	19.5	4310.0
342	37.5191	128.9494	1.5	2013-03-18	2시 51분 04초	12:00	17.5	4240.0
343	37.5248	128.9884	1.3	2013-03-19	3시 25분 19초	12:00	19.5	6415.2
344	37.5298	128.9694	1.8	2013-03-22	2시 59분 55초	12:00	21	9795.0
345	37.5411	128.9975	1.1	2013-03-26	2시 54분 58초	12:00	15	2880.0
346	37.5432	128.9730	1.6	2013-03-30	2시 48분 08초	12:00	21	7490.0
347	37.5267	128.9450	1.1	2013-04-01	2시 56분 36초	12:00	16	2270.0
348	37.5336	128.9432	2.2	2013-04-06	2시 52분 38초	12:00	20	8390.0
349	37.5448	128.9369	1.3	2013-04-09	3시 03분 49초	12:00	14	3480.0
350	37.5094	128.9535	1.4	2013-04-11	3시 00분 09초	12:00	18	3060.0
351	37.5670	128.9614	1.3	2013-04-15	3시 15분 59초	12:00	15	3650.0
352	37.5523	128.9625	1.8	2013-04-16	2시 54분 30초	12:00	20.5	8820.0
353	37.5399	128.9750	1.5	2013-04-18	2시 50분 48초	12:00	21.5	2890.0
354	37.5149	128.9877	1.8	2013-04-22	3시 04분 14초	12:00	18	2150.0
355	37.5467	128.9645	1.6	2013-04-25	2시 57분 40초	12:00	23	5660.0
356	37.5331	128.9419	1.7	2013-04-27	3시 00분 04초	12:00	17	7320.0
357	37.5385	128.9574	1.4	2013-04-29	2시 54분 22초	12:00	18.5	5860.0
358	37.5540	128.9452	1.4	2013-04-30	2시 59분 14초	12:00	19	4160.0
359	37.5418	128.9351	1.3	2013-05-01	2시 49분 34초	12:00	13	3560.0
360	37.5302	129.0187	1.3	2013-05-02	2시 58분 40초	12:00	13	4190.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도 (m)	총 폭약량(kg)
361	37.5358	128.9463	1.7	2013-05-04	2시 55분 47초	12:00	20	9330.0
362	37.5284	128.9670	1.0	2013-05-07	2시 54분 55초	12:00	18	3820.0
363	37.5370	128.9364	1.0	2013-05-08	3시 00분 41초	12:00	18	3680.0
364	37.5505	128.8836	1.1	2013-05-13	2시 58분 06초	12:00	20	3900.0
365	37.4922	128.9792	1.3	2013-05-14	2시 53분 11초	12:00	20	5470.0
366	37.5615	128.9792	1.5	2013-05-17	2시 49분 12초	12:00	18	4270.0
367	37.5492	128.9781	1.6	2013-05-21	3시 18분 13초	12:00	15	8440.0
368	37.5618	128.9702	1.4	2013-05-22	3시 02분 50초	12:00	20	4950.0
369	37.5368	128.9784	1.2	2013-05-24	3시 11분 36초	12:00	15	5950.0
370	37.5511	128.9647	1.2	2013-05-25	2시 49분 21초	12:00	17	6250.0
371	37.5410	128.9609	1.3	2013-05-28	2시 56분 48초	12:00	22.5	5090.0
372	37.5302	128.9702	1.3	2013-05-29	2시 53분 14초	12:00	20	3960.0
373	37.5371	128.9391	1.1	2013-05-30	3시 00분 31초	12:00	16	3280.0
374	37.4802	129.0036	1.3	2013-05-31	2시 55분 37초	12:00	16	5890.0
375	37.5449	129.0199	1.3	2013-06-03	3시 09분 11초	12:00	16	4570.0
376	37.5260	129.0144	1.0	2013-06-04	2시 59분 32초	12:00	16	4430.0
377	37.5411	128.9675	1.5	2013-06-05	2시 57분 06초	12:00	22.5	5370.0
378	37.5407	128.9667	1.5	2013-06-07	2시 55분 03초	12:00	22	3200.0
379	37.5225	128.9308	1.4	2013-06-08	2시 52분 49초	12:00	8	5760.0
380	37.5527	128.9486	1.3	2013-06-11	2시 59분 18초	12:00	16	12010.0
381	37.5325	129.0466	1.2	2013-06-12	2시 59분 23초	12:00	20	3950.0
382	37.5426	128.9718	1.3	2013-06-14	3시 01분 26초	12:00	16	7240.0
383	37.5191	129.0471	1.4	2013-06-15	2시 53분 21초	12:00	16	4000.0
384	37.5222	128.9368	1.5	2013-06-17	3시 02분 54초	12:00	17	5900.0
385	37.5364	128.9623	1.2	2013-06-18	2시 58분 09초	12:00	16	5170.0
386	37.5503	128.9589	1.4	2013-06-19	2시 55분 35초	12:00	23	3570.0
387	37.5461	128.9206	1.1	2013-06-21	3시 04분 22초	12:00	18	3640.0
388	37.5409	128.9838	1.7	2013-06-22	2시 55분 08초	12:00	21	6910.0
389	37.5389	128.9477	1.4	2013-06-24	2시 55분 38초	12:00	7	7550.0
390	37.5190	128.9694	1.1	2013-06-25	2시 56분 39초	12:00	16	2060.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도 (m)	총 폭약량(kg)
391	37.5111	129.0093	1.9	2013-06-26	3시 07분 58초	12:00	21	9860.0
392	37.5298	128.9727	1.5	2013-06-27	2시 54분 49초	12:00	23	7170.0
393	37.5107	128.9638	1.1	2013-06-29	3시 04분 59초	12:00	33	5680.0
394	37.5430	128.9431	1.3	2013-07-01	3시 05분 40초	12:00	23	5260.0
395	37.4625	129.0529	1.1	2013-07-02	2시 58분 13초	12:00	17	3040.0
396	37.5024	128.9918	1.5	2013-07-03	3시 02분 42초	12:00	20	6160.0
397	37.5301	128.9667	1.7	2013-07-05	3시 03분 29초	12:00	21	9000.0
398	37.5282	128.9722	1.5	2013-07-06	3시 00분 40초	12:00	23	11970.0
399	37.5386	128.9545	1.4	2013-07-11	2시 54분 27초	12:00	22	7120.0
400	37.5236	128.8830	1.2	2013-07-13	2시 53분 33초	12:00	17	6130
401	37.5295	128.9480	1.6	2013-07-16	2시 49분 27초	12:00	23	3900.0
402	37.5295	129.0387	1.2	2013-07-18	3시 11분 21초	12:00	16	3170.0
403	37.5424	128.9486	1.3	2013-07-19	3시 22분 18초	12:00	20	7818.0
404	37.5402	128.9596	1.4	2013-07-23	2시 56분 38초	12:00	22	9020.0
405	37.5149	128.9676	2.0	2013-07-24	2시 59분 13초	12:00	21	10640.0
406	37.5210	129.0483	1.5	2013-07-25	2시 55분 01초	12:00	22	9350.0
407	37.5391	128.9434	1.1	2013-07-26	3시 11분 11초	12:00	16	1600.0
408	37.5421	128.9698	1.6	2013-07-31	2시 59분 29초	12:00	7	8580.0
409	37.5411	129.0052	1.0	2013-08-01	3시 00분 51초	12:00	17	4900.0
410	37.5494	128.9614	1.4	2013-08-05	3시 04분 29초	12:00	22	4470.0
411	37.4828	129.0327	1.3	2013-08-07	2시 59분 25초	12:00	20	4420.0
412	37.5398	128.9698	1.3	2013-08-08	3시 01분 37초	12:00	25	5000.0
413	37.5437	128.9152	1.1	2013-08-10	2시 59분 53초	12:00	16	2840.0
414	37.4965	129.0335	1.1	2013-08-14	3시 03분 16초	12:00	23	11350.0
415	37.5482	128.9763	1.1	2013-08-15	3시 05분 31초	12:00	20	3660.0
416	37.5371	128.9444	1.5	2013-08-17	2시 59분 02초	12:00	25	5620.0
417	37.5412	128.9527	1.3	2013-08-21	3시 06분 40초	12:00	22.5	6970.0
418	37.5253	128.9688	1.2	2013-08-26	2시 58분 08초	12:00	25	6880.0
419	37.5394	128.8967	1.3	2013-08-27	3시 04분 40초	12:00	23	6360.0
420	37.4948	128.9478	1.5	2013-08-29	3시 00분 11초	12:00	22.5	9030.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도 (m)	총 폭약량(kg)
421	37.5394	128.9580	1.3	2013-08-30	2시 57분 03초	12:00	20	5470.0
422	37.5338	128.9175	1.0	2013-08-31	2시 57분 44초	12:00	16	4470.0
423	37.5097	129.0100	1.6	2013-09-03	2시 53분 13초	12:00	25	7100.0
424	37.5356	128.9598	1.1	2013-09-07	2시 56분 58초	12:00	16.5	3360.0
425	37.5152	128.9977	1.6	2013-09-10	2시 57분 43초	12:00	14	9080.0
426	37.5497	128.9438	1.5	2013-09-12	3시 00분 06초	12:00	25	5990.0
427	37.5290	128.9864	1.6	2013-09-14	3시 07분 29초	12:00	14	6970.0
428	37.5404	128.9482	1.2	2013-09-17	2시 58분 20초	12:00	22	5560.0
429	37.5077	129.0164	1.5	2013-09-18	2시 59분 31초	12:00	18	3580.0
430	37.5552	128.9746	1.3	2013-09-23	3시 47분 04초	12:00	21	4090.0
431	37.5490	128.9158	1.4	2013-09-26	3시 49분 52초	12:00	25	5440.0
432	37.5199	128.9598	1.2	2013-09-28	2시 56분 05초	12:00	22	5250.0
433	37.5447	128.9633	1.6	2013-10-02	3시 03분 08초	12:00	22	7910.0
434	37.5429	128.9558	1.2	2013-10-04	2시 54분 51초	12:00	21	4510.0
435	37.5336	128.9648	1.4	2013-10-05	2시 58분 04초	12:00	18	4520.0
436	37.4839	129.0567	1.1	2013-10-07	3시 11분 34초	12:00	17	8440.0
437	37.5183	128.9187	1.3	2013-10-09	2시 57분 44초	12:00	22	4220.0
438	37.5383	128.9990	1.7	2013-10-10	3시 00분 23초	12:00	15	3840.0
439	37.5071	129.0189	1.6	2013-10-14	2시 56분 40초	12:00	21	5830.0
440	37.5274	128.9678	1.4	2013-10-15	2시 59분 47초	12:00	20	6680.0
441	37.5402	128.9882	1.3	2013-10-16	2시 59분 41초	12:00	17	2080.0
442	37.5548	128.9766	1.0	2013-10-17	2시 55분 24초	12:00	25	4900.0
443	37.5498	128.9525	1.2	2013-10-21	3시 07분 37초	12:00	16	3180.0
444	37.5545	128.9502	1.3	2013-10-22	3시 00분 02초	12:00	15	3290.0
445	37.5310	128.9268	1.4	2013-10-24	2시 59분 01초	12:00	21	5580.0
446	37.5563	128.9747	1.3	2013-10-31	3시 00분 13초	12:00	21	5270.0
447	37.5304	129.0275	1.1	2013-11-02	2시 59분 10초	12:00	22	3560.0
448	37.5038	128.9147	1.2	2013-11-05	3시 06분 58초	12:00	14	5520.0
449	37.5278	128.9364	1.1	2013-11-06	3시 03분 40초	12:00	18	3100.0
450	37.5255	128.9637	1.1	2013-11-09	2시 57분 32초	12:00	18	5650.0

순번	Lat(deg)	Lon(deg)	M _L	Date	Time(UTC)	발파시간	심도(m)	총 폭약량(kg)
451	37.5471	128.9326	1.4	2013-11-13	2시 58분 46초	12:00	14	6100.0
452	37.5519	128.9640	1.1	2013-11-16	2시 56분 02초	12:00	18	9650.0
453	37.5550	128.9694	1.0	2013-11-19	2시 54분 36초	12:00	23	4460.0
454	37.5455	128.9790	1.0	2013-11-20	3시 06분 08초	12:00	17	7000.0
455	37.5525	128.9757	1.1	2013-11-22	3시 13분 01초	12:00	17	5900.0
456	37.5501	128.9858	1.1	2013-11-27	3시 04분 30초	12:00	21	3960.0
457	37.5371	129.0205	1.5	2013-11-29	3시 20분 30초	12:00	8	5860.0
458	37.5512	128.9717	1.4	2013-11-30	3시 05분 40초	12:00	21	13610.0
459	37.5260	129.0712	1.0	2013-12-06	3시 06분 35초	12:00	17	8500.0
460	37.5510	128.9797	1.1	2013-12-09	3시 27분 07초	12:00	17.5	3690.0
461	37.5469	128.9752	1.1	2013-12-12	2시 58분 37초	12:00	22	2940.0
462	37.5502	128.9740	1.2	2013-12-14	3시 01분 20초	12:00	21	3380.0
463	37.5435	128.9884	1.0	2013-12-17	3시 02분 20초	12:00	16	5230.0
464	37.5389	128.9859	1.4	2013-12-19	3시 00분 06초	12:00	21	4940.0
465	37.5517	128.9705	1.4	2013-12-21	2시 57분 38초	12:00	21	6250.0
466	37.5479	128.9762	1.1	2013-12-28	2시 57분 24초	12:00	14	8210.0
467	37.5491	128.9785	1.0	2013-12-30	3시 13분 37초	12:00	17	7540.0
468	37.5392	129.0030	1.3	2013-12-31	3시 11분 29초	12:00	23	4060.0

인공지능 Google Earth 시현 matlab 코드

```
% create structure
srdata = struct('data',[], 'latitude',[], 'longitude',[], 'altitude',[],...
    'description',[], 'date',[], 'time',[]);
%read the data and store in the structure
[data txt] = xlsread('event_06_south.xlsx');
[m,n] = size(data)
srdata.data = data(:,1);
srdata.Latitude = data(:,2);
srdata.Longitude = data(:,3);
srdata.altitude = data(:,4);
srdata.description = data(:,5);
srdata.time = data(:,7);

for i=1:m
    srdata.date{i,1} = txt{i,6};
    % Matches the coordinates with the description of each place name.
end

%create a main node
xDoc = com.mathworks.xml.XMLUtils.createDocument('kml');
xDocRootNode = xDoc.getDocumentElement;

%node to create a folder
folderNode=xDoc.createElement('Folder');
StyleNode= xDoc.createElement('Style');
IconStyleNode = xDoc.createElement('IconStyle');
IconNode = xDoc.createElement('Icon');
```



```

hrefNode = xDoc.createElement('href');
hrefNode.setTextContent('http://developers.google.com/kml/documentation/images/etna.j
pg</href');
StyleNode.appendChild(IconStyleNode);
StyleNode.setAttribute('id','MyStyle');
IconStyleNode.appendChild(IconNode);
folderNode.appendChild(StyleNode);
xDocRootNode.appendChild(folderNode);
ColorIconNode = xDoc.createElement('color');
ColorLabelNode = xDoc.createElement('color');
ColorLineNode = xDoc.createElement('color');
ScaleNode = xDoc.createElement('scale');
WidthNode= xDoc.createElement('width');
LabelStyleNode = xDoc.createElement('LabelStyle');
LineStyleNode = xDoc.createElement('LineStyle');
IconStyleNode.appendChild(ColorIconNode);
IconStyleNode.appendChild(ScaleNode);
IconNode.appendChild(hrefNode);
StyleNode.appendChild(LabelStyleNode);
StyleNode.appendChild(LineStyleNode);
hrefNode.setTextContent('http://maps.google.com/mapfiles/kml/pal4/icon56.png');
ColorIconNode.setTextContent('ff000ff');
ScaleNode.setTextContent('0.166667');
WidthNode.setTextContent('6');
ColorLabelNode.setTextContent('0000ffff');
LabelStyleNode.appendChild(ColorLabelNode);
ColorLineNode.setTextContent('7f000ff');
LineStyleNode.appendChild(ColorLineNode);
LineStyleNode.appendChild(WidthNode);

```

```

%looping through data and populating data in Placemark Node.
for i=1:numel(data(1:end,1))
    placemarkNode = xDoc.createElement('Placemark');
    nameNode = xDoc.createElement('name');
    DescriptionNode = xDoc.createElement('description');
    styleUrlNode = xDoc.createElement('styleUrl');
    pointNode = xDoc.createElement('Point');
    coordinatesNode = xDoc.createElement('coordinates');
    Altitudemode = xDoc.createElement('altitudeMode');
    ExtrudeNode = xDoc.createElement('extrude');
    styleUrlNode.setTextContent('MyStyle');
    DescriptionNode.setTextContent(strcat('Location          :          ',
num2str(srdata.Longitude(i,1)),'E',...

num2str(srdata.Lattitude(i,1)),'N','/',...
                                'Size          :          ',
num2str(srdata.description(i,1)),'/',...
                                'Date : ',srdata.date{i,1},'/',...
                                'Time   :   ',datestr(srdata.time(i,1))));

    coordinatesNode.setTextContent(strcat(num2str(srdata.Longitude(i,1)),'',...
num2str(srdata.Lattitude(i,1)),'',num2str(srdata.altitude(i,1))));
    Altitudemode.setTextContent('relativeToGround');
    ExtrudeNode.setTextContent('1');
    placemarkNode.appendChild(styleUrlNode);
    placemarkNode.appendChild(pointNode);
    placemarkNode.appendChild(DescriptionNode);
    pointNode.appendChild(coordinatesNode);

```

```
    pointNode.appendChild(Altitudemode);
    pointNode.appendChild(ExtrudeNode);
    folderNode.appendChild(placemarkNode);
end
xDocRootNode.appendChild(folderNode);
% writing the XML file
xmlwrite('event_06_south.kml',xDoc);
```

Abstract

Research for scale expression by low-yield seismic events in Korea

성 명 Ryu young kwang

Nuclear engineering

The Graduate School

Seoul National University

In particular, they studied the expression of a low intensity scale artificial earthquakes and explosive and can be applied to small-scale nuclear research and analysis on the actual peninsula the size of the expression of earthquake size and explosiveness. For this purpose Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) and analyzed the correlation between earthquake magnitude and explosiveness with the help of the police station in Gangneung. For earthquake occurring in more than 100km distance scale suitable CTBTO expression and, for an earthquake occurring in the local area to apply the scale it was identified as the expression of KIGAM reasonable. Therefore, in order to solve this problem, check the size of the earthquake

detection equipment in China or Russia in the shortest distance from the nuclear testing ground it is evaluated as the best way to apply to the explosion-scale expression of KIGAM.

keywords : Nulear Explosion, DPRK, CTBTO, IMS, KIGAM, HEU

Student Number : 2013-22539