



원자로 해체 기술 개발

김종희

전 과학문화연구원 이사



연세대 행정대학원 석사

한국과학기술정보센터 자료부장
국방과학연구소 자료관리실장
한국원자력연구소 원자력정보센터 부장
한국원자력연구소 도교사무소 소장
(사) 과학문화연구원 이사
(주) RAWTEC 산업 부회장 역임

머리말

우리나라가 원자력을 평화적 목적으로 이용한 지도 근 40년이 되었다. 특히 에너지 자원이 전연 없는 나라에서 원자력 에너지가 이용함으로써, 국제적인 환경 정책에 부응하고 있는 동시에 우리나라의 안정적인 전력 공급과 방사선 이용 등의 면에서 사회적으로 극히 큰 공헌을 하고 있다.

따라서 그 시설의 기반이 되고 있는 원자력 시설의 기술 향상과 관계자들이 불철주야 노력한 결과, 순조롭게 가동되어 착실히 실적을 신장시키고 있음은 다행한 일이며 기쁜 일이다.

그러나 시설에도 정년이 있다. 우리나라의 경우 고리 원자력발전소 1호기가 앞으로 3년이 되면, 그 사명을 달성하고 정년을 맞게 된다. 그 다음은 몇 년마다 정년을 맞는 시설이 기다리고 있으므로, 시설의 핵심 부분인 '원자로 해체'에 관한 기술 개발에 더욱 박차를 가해야 할 것으로 생각한다. 특히 원자로 해체에는 방대한 예산이 소요되며 해체의 시기와 방법에 따라 비용의 가감이 가능하다.

이러한 관점에서 선진 외국에서는 폐로(Decommissioning)에 관련된 제 반대책이 전개되고 있고 이미 많은 기술적 성과를 올리고 있는데 비해 발표나 전달은 종합기술의 전형적인 것으로, 각 전문 분야의 기술을 깊이 파고드는 동시에 그것들을 통합하여 관리해 나가는 것이 무엇보다 중요하며, 그렇게 통합적이며 새로운 기술 체계를 정비해가는 것이 확실히 필요하다고 생각된다.

앞에서 언급한 바와 같이 우리나라에서는 아직까지 폐로 조치에 의해 원자로를 해체한 경험이 없으므로 그간 이 분야에 관한 기술 개발을 많이 했을 것이나 공개된 내용을 볼 수 없으므로, 본고에서는 이미 외국에서 개발한 중요 제목에 관하여 기술하여 우리나라에서 추진하고 있는 기술 개발에 다소나마 도움이 되었으면 하는 바람이 크다.



원자로 해체 기술 개발의 필요성

원자력 발전의 진전에 따라 원자력발전소의 입지 문제와 함께 세계적으로 많은 원전의 수명이 점차적으로 짧아지는 등의 미래를 감안하여, 근년에 원자로의 폐지 조치의 문제가 원자력발전소를 운영하는 국가에서 논의되게 되었으며, 원자로의 설치 및 운전의 경우와 같이 운전 종료 후의 조치에 대해서도 적절한 대책을 강구해 두는 것이 원자력을 개발하여 이용하는 관점에서 중요해졌다.

원자로의 폐지 조치에 대해서는 ‘안전 확보를 전제로 지역 사회와의 협조를 도모하여 추진해야 할 것이며, 더욱 부지를 원자력발전소 용지로 계속 유효하게 이용하는 것이 중요하다.’ 고 한다. 또, ‘조치 방식에 대해서는 원자로의 운전 종료 후 가급적 빠른 시기에 해체 철거하는 것을 원칙으로 하고, 개별적으로는 필요에 따라 적당한 밀폐 관리나 또는 차폐 격리의 기간을 두는 등 여러 상황을 종합적으로 판단하여 결정한다.’ 는 것이다.

더욱이 원자로의 폐지 작업은 현시점에서 기존 기술이나 또는 개량에 의해 대응할 수 있을 것으로 생각되나, 작업자가 받는 방사선량의 저감(低減) 등 안전성의 향상을 도모하는 동시에 비용 경감을 목적으로 하는 관점에서, 해체 기술, 제염 기술, 원격 조작 기술 등을 중심으로, 기존 기술의 실증, 개량과 신기술의 개발을 추진하는 것이 바람직하다고 하였다.

원자로 해체 기술

1. 시설의 특성-경수로의 시설 특성과 해체 시기의 선택

원자로의 폐지 조치에 관련된 시설 특성은, 노형, 운전 이력 등에 의해 방사능 인벤토리(Radioactive inventory) 등에 대폭 상이한 점을 볼 수가 있다. 그런 특징을 아는 것은 ① 작업자의 피폭 및 공중에 대한 영향 평가, ② 폐지 조치(Decommissioning) 방식의 선택, ③ 구체적인 해체 공법과 시기의 선택에 있어서 중요하다.

대형(100만kWe급)의 발전로를 40년간 운전했을 경우, 방사능의 강도는 원자로 정지 후 10^{17} 베큐렐(Bq) 정

도가 된다. 그 방사능 재고는 원자로 정지 후 중성자 다발 수준의 높은 노내(in pile)구조물에 집중되며, 원자로 압력용기, 생체 차폐체(生休 遮蔽休 : Biological shield) 등으로 99.9% 이상을 점유한다. 또, 기기, 배관에는 부식 생성물 등의 오염물이 부착하는데 그 양은 0.1% 정도라고 한다.

경수로의 경우 방사능의 감쇠(減衰)를 기다려 20~30년간 안전 저장 후에 본격적으로 해체하는 것이 작업자의 피폭이 적으므로 좋을 것으로 생각되나, 원자로 냉각계의 계통 제염 기술의 향상, 원격 해체 기술의 진전에 의해 즉시 해체를 가능케 하고 있다. 독일 등에서는 노내 구조물, 원자로 압력용기를 수증 절단하여 해체 철거하는 방법을 사용하여 즉시 해체를 이용토록 추진하고 있다.

2. 기기 및 계통 제염기술

경수로 등의 해체는 우선 해체를 용이하게 하려고 원 위치에서 기기와 계통 제염을 시행하는 것이 일반적이다. 지금까지 각종 제염 방법이 개발되어 최근 유효성이 나타나고 있으며, 이 방법으로 CORD법과 DFD법이 있다. 최근 여러 외국에서 폐지 조치에 즉시 해체를 많이 하게 된 것은 기술적인 배경의 하나로 이 제염 기술의 확립을 들 수가 있다.

HP/CORD DUV법(산화/환원용해 제염법의 하나)은 스테인리스강 등의 크롬(Cr : Chrome)을 포함한 재료의 Cr계 산화막을 과망강산(HMnO₄)에 의해 산화 반응으로, 또 Fe계 산화피막을 수산(Oxalic acid)에 의한 환원 반응으로 용해되는 화학제염법이며, 높은 제염 효과를 얻을 수 있다. 이 제염법으로는 과산화수소 및 자외선 조사에 의해 첨가한 수산(Oxalic acid)을 탄산사스와 물에 분해하여, 2차 폐기물의 발생량을 작게 하는 연구를 하고 있다.

DFD법은 Fe계 산화물, 모재(母材)를 불화붕소산(Fluoboric acid : HBF₄)으로 용해해서 과망강산 포타슘(Potassium Permanganate : KMnO₄)으로 Cr계 산화물을 용해함으로써 높은 효과를 얻을 수 있다. 이것은 영국의 Bradtec 회사와 미국 전력연구소가 개발한 것이다. 지금까지 메인 양키(Main Yankee : DF : 31), 빅

럭 포인트(Big Rock Point : DF : 27)에서 실시하여 좋은 결과를 얻었다.

3. 대형 기기의 해체 철거, 리사이클 또는 일괄 처분

원자로 시설의 오염 기기인 증기발생기, 가열기, 주냉각용 펌프는 밀폐하여 기기마다 철거 및 처분하는 경우와 절단하는 경우가 있다. 오염 수준이 낮은 기기에 대해서는 제염하여 그 해체 재료를 리사이클로 돌리는 때도 있다. 미국의 메인 양키, 프랑스의 G2 및 G3, 독일의 군드레밍겐(Gundremmingen)에서는 세단(細斷) 후에 용융(熔融)시켜 차폐 블록(Shielding block) 등에 리사이클 되고 있다. 또 미국의 트로얀(Trojan), 영국의 WAGR는 밀폐 후에 경량 콘크리트 몰탈(Concrete Mortar)을 충전, 고화해서 처분장에 운반하여 일괄 처분되고 있다.

4. 원자로 본체 해체 방법

원자로 본체를 해체할 때 고려해야할 점은, 첫째, 노내 구조물, 두꺼운 주물(Thick walled)로 된 구조물인 원자로 압력용기의 순으로 방사능 수준이 높으며, 특히 노내 구조물에 방사능이 집중되어 있다는 것이다. 둘째, 그 주위에 있는 극히 견고한 철근 콘크리트의 생체 차폐체가 방사 화되어 있는 점이다. 노심부의 해체 방법은 작게 절단한 해체와 일괄 철거로 구분된다.

가. 원자로 일괄 철거공법

연구용 원자로였던 구 JRR-3 (Japan Research Reactor)로 (중략 2200톤)의 일괄 철거 공사는, 세계 최초였으며 1988년에 시행되었다. 이 철거 공사에서는 작업자의 피폭 선량은 무시할 수 있을 정도였다고 한다. 그 후 미국의 Shippingport는 1989년에 원자로 압력용기의 주변에 콘크리트제인 차폐체를 붙여 그 용기와 노내 구조물을 일체화한 뒤 처분장으로 수송하여 처분하였다. 이 공사에서는 작업자의 피폭 선량은 0.18인/Sv 이고, 비용은 10.3백만불이었다.

Trojan에서는 노내 구조물을 포함한 원자로 압력용

기의 일괄 철거법이 1999년에 이루어졌으며, 원자력 압력용기 패키지(Package)를 폐기물 처분장까지 수송하여 처분되었다. 이 프로젝트는 기존 기술을 이용하여 피폭 선량이 0.6인/Sv로서 낮으며, 비용도 22백만불로 낮았으며, 폐기물량도 작았다.

또 Main Yankee, San Onofre 1호기, Big Rock Point, Connecticut Yankee 등 4기에서는 처분장 측의 요구에 의해 방사능 준위가 높은 폐기물(GTCC : 미국의 폐기물 처분 기준급 C 이상)을 제외하는 조건으로 원자로 압력용기를 일괄 철거 공법에 의해 2001년부터 2004년간에 철거 처분하였다. Main Yankee에서는 Barnwell 처분장의 수용(受容)기준 5만 Ci 이하로 채우기 위하여 노내 구조물을 2/3(127톤)로 제한하여 단열재(3톤)를 포함한 원자로 압력용기 Package 917톤을 철거하여 수송 및 처분을 2003년 5월에 실시하였다. 이와 같이 미국에서는 원자로 압력용기 등의 일괄 철거 공법이 많이 채택되는 경향에 있다.

나. 노내 구조물 및 원자로 압력용기의 절단 공법

방사능 수준이 더욱 높은 노내 구조물을 열적(熱的) 절단 용법에 의해 작게 해체하여 철거한 예로 미국의 Elik River (ERR)와 일본의 JPDR (Japan Power Demonstration Reactor) 등의 실적이 있다. JPDR에서는 원격 기술에 의한 수중 플라즈마 아크(Plasma arc) 절단 방법이 이용되었다. 또 벨기에의 BR-3 (Belgian Reactor)에서는 2차 폐기물의 처리 등이 유리하다고 하여 기계적 절단 공법을 주로 이용하였다.

110만 kW의 압력용기는 중략 400톤 (PWR형)에서 800톤 (BWR형) 등 각기 동부(胴部)의 두께가 230mm와 170mm나 되므로 가장 해체가 곤란한 구조물 중의 하나이다. JPRD에서는 회전 브레이드(Rotary Type Roller Brades)가 있는 Arcsaw로 절단하였다.

독일의 Greifswald 원전 사이트에서는 5기(구소련형 PWR, 44만kW/1기)를 순차적으로 해체하는 세계 최대의 프로젝트가 진행 중에 있다. 이 공사에서는 열적 절단 공법을 가급적 감소시켜 기계적 절단(Band saw 등)이 많이 이용된다. 최근 기술 개발에 의해 2차 폐기물의 회수 및 처리 등을 하기 쉬우므로 기계적 절단 공법이



강(鋼)구조물 해체에 많이 이용되고 있는 경향이 있다.

5. 생체 차폐체(遮蔽休)의 해체 공법

원자로 시설의 콘크리트 구조물의 해체 기술은 파쇄(破碎) 공법(제어 폭파, Braker 등), Block 절단 공법(Diamond Blades, Wiresaw 등) 및 표면 제염을 목적으로 하는 표면 박리(剝離) 공법(Break up, Blast, Shaver 등)으로 구분된다.

최근 콘크리트 구조물인 생체 차폐체 공법은 각종 공법이 개발되어 이용되고 있다. 파쇄 공법은 충격력을 이용하는 Giant Breaker 등으로 능률이 높지만 소음, 진동, 분진이 발생한다. 이 공법은 오염 수준이 낮은 부분에서 일반적으로 사용한다. 또 JPDR에서는 해체 효율이 높은 제어 폭파 공법을 생체 차폐체의 방사능 수준이 낮은 부분의 해체에 이용하여 효율적이었음을 보였다. 방사능 레벨이 높은 부분의 해체 등에는 큰 Block 상태로 해체하는 공법이 합리적이다.

Break up 공법이란 텅스텐 탄화물(WC : 炭化物) 칩(Chip)을 첨단(尖端)에 부착한 비트(Bit)를 압축공기를 이용하여 상하로 반복 운동을 시켜 콘크리트 면을 타격하여 오염된 표층부를 깎아내는 방법이다.

6. 오염 콘크리트의 제거

콘크리트 표면 박리 기술은 오염 콘크리트의 표면을 박리하는 것이며, 콘크리트 구체(軀休)를 비방사성 해체물로 취급할 수 있으므로 중요하다. JPRD의 경우 오염수에 의한 콘크리트 침투의 깊이는 ⁶⁰Co로 수 mm이며, ¹³⁷Cs로 수 mm 이내이다. 이와 같은 특성을 고

려하여 박리하면 효율적으로 오염 콘크리트를 분리할 수 있다.

콘크리트의 바닥 제염에 대하여 미국 DOE는 Break up, Blast 및 Dryice Blast를 비교 시험하여 평가하고 있다. Break up이 현재는 종합적으로 우수하나 Dryice Blast가 더욱 효과적이며 2차 폐기물의 발생량이 작고 원격 작업이 가능하며 비용 저감 과제를 극복하면 유망하다고 한다.

또 오염 콘크리트, 세라믹타일 및 각종 도장(塗裝) 제거에 드라이아이스 레이저빔 박리법(Dryice Laserbeam Stripping)이 독일에서 개발되었다. 그 제거 효율은 콘크리트를 뚫은 깊이가 5mm이고, 세라믹타일 3mm에 대해, 각각 1600cm³/hr와 650cm³/hr이다.

7. 원격 해체 기술

원자로 본체 부분을 해체하기 위해서는 방사능 수준이 높기 때문에 Mast형이나 또는 Manipulator형의 원격 장치를 이용하게 된다. WAGR(Windscale Advanced Gas-cooled Reactor)의 해체 작업에서는 원자로 상부에 원격 해체 장치를 설치하여 대상물에 맞춰 각종의 절단 야구(冶具 : metallurgic)를 대체하여 작업이 진행되고 있다.

또 대형 사고를 일으킨 체르노빌 4호로의 석관(石棺 : stone coffin)개수(改修)와 용융물(熔融物)의 제거를 검토하고 있다. 이 작업에 미국의 Mobile 제염/해체 작업 시스템(Rosie) 등이 이용된다.

일본에서는 현재 동해(東海) 발전소의 해체에 대비하여 해체 장치의 개발이 진행되고 있으며 그 개요를 다음과 같이 기술한다.

일본 동해(東海)발전소 폐지 조치 현황

- ▶ 설비 : 천연우라늄, 탄산가스 냉각형 원자로, 전기출력 16만 6천kW
- ▶ 주요 경위
 - 1966년 7월 25일 영업운전 개시
 - 1998년 3월 31일 영업운전 정지(운전 기간 : 31년 8개월)

- 누적 발전 전력량 : 290억672만kWh
- 누적 설비 이용률 : 62.9%
- ▶ 폐지 조치 착수
 - 2001년 10월 4일 원자로 해체계(届)를 경제산업성에 제출
 - 2001년 12월 4일 폐지 조치 개시

▶ 폐지조치에 대한 대비

〈원자력 장기계획 - 원자력 시설의 폐지 조치〉

상업용 발전로, 시험연구로, 핵연료 사이클 시설 등에 대한 원자력 시설의 폐지조치는, 그 설치자의 책임에 있어서 안전 확보를 대전제로 하여 지역사회의 이해와 지원을 기다리며 진행하는 것이 중요하다. 또 상업용 발전로의 대지는 원자력발전소 용지로 지역 사회의 이해를 얻어 계속 유효하게 이용되기를 기대한다.

- 표준 공정(계통 제염, 안전 저장, 본격 해체) 책정
- 법제도, 해체 총당금 제도 정비
- 폐기물 처분 제도 정비 중

* 국가방침에 준거하여 일본 최초의 상업용 원자력발전소의 폐지 조치 계획

▶ 동해발전소 폐지 조치 계획의 기본적 사고

- 원자로, 부속 설비 및 건물을 해체 철거하여 본래의 대지 상태로 복원 할 것을 기본으로 한다.
- 원자로 영역은 안전 저장(약 10년)후 해체 철거
- 원자로 영역 이외의 부속 설비 등은 안전 저장 기간 개시 시점부터 순차 적으로 철거
- 폐지 조치는 장기(약 17년)에 거친 계획이므로 공정을 분할하여 진행해 간다.

▶ 동해발전소 폐지 조치 전체 공사 공정표

목\연도	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17
제1기공사 (선행 해체, 1)	준비 공사 부속 설비 철거 등																
제2기공사 (선행 해체, 2)						열교환기 철거 등											
제3기공사 (해체 철거)			원자로 영역 안전 저장 기간							원자로 본체 해체							
																	건물 해체 등



후쿠시마 제1원전. 일본은 후쿠시마 제1원전의 해체 수순을 밟고 있다.

맺는 말

위에 기술한 내용은 원전의 핵심 부분인 원자로의 해체 기술에 관한 기본적 항목에 불과하다고 생각한다. 이 자료를 소개한 목적은 수명을 다한 원전을 어떻게 처리하느냐에 따라 무엇보다 폐로에 소요되는 제반 비용을 절감할 수 있는 기술을 개발해야 한다는 사명감과 일종의 경각심을 높이기 위함이다.

세계의 원자력발전소 현황에 의하면 현재 38 개국에서 원전을 운영하고 있으며, 또 그 중에서 원전 시설의 폐기나 폐로의 경험이 있는 국가는 18 개국에 이른다. 우리가 알고 있는 바와 같이 원전을 건설하여 에너지를 생산하는 일의 중요성에 대해서는 재론이 필요 없다.


그러나 원자로의 수명이 다 되어 원전 시설을 폐기 조치하는 일도 원전 건설에 못지않게 중요한 사업으로서, 원전을 운영하는 국가에서는 어떤 이유에서이건 원전 시설이나 원자로를 폐지할 시기를 책정하여 이에 관한 기술을 연구 개발하고 있다.

우리나라도 현재의 계획에 의하면 2017년에는 시설(고리 1호기)을 폐지하는 첫 번째의 경험을 맞게 되는 중요한 시기이다. 그러므로 그간 이에 관한 많은 연구와 기술 개발을 하고 있을 것으로 추정한다.

세계의 원자력 발전로 폐로에 관한 자료에 의하면, 운전 중인 원자로를 폐로 또는 정지 조치하는 이유는

임무 완성, 안전성, 경제성, 정책 변경 및 개발중지 등 여러 가지의 이유가 있다. 원자력 발전을 제일 먼저 시작한 국가는 영국이며, 그 원자로(Calder Hall 1)의 인가 수명은 50년이였다. 운전 기간을 보면 1953년 8월부터 2003년 3월까지 50년간 부여된 수명과 사명을 다하고 폐로되었으며 폐로 후 10 여년이 되었다.

이와 같이 원전을 이용한 지 반세기가 됨에 따라 그 중에는 이미 124기의 원자로가 해체 중이거나, 해체가 완료되어 안전 저장 중에 있는 것으로 기록되어 있다. 그러므로 원전을 운영하는 국가에서는 원전 시설 폐지의 시기에 맞춰 폐로에 관한 준비를 하고 있을 것이며 또한 이미 상당량의 연구 개발에 관한 자료가 간행된 것으로 안다.

따라서 우리나라의 경우도 예외는 아닐 것이므로 선행된 자료를 인용할 방법을 고려해 보는 것도 현명한 생각이라고 생각되어, 원전 건설이 우리나라보다 약 15년 앞선 일본에서 선행된 많은 테마 중에서 원자력 시설의 Decommissioning에 관한 연구 개발 분야의 문헌 중 「일본원자력학회지」와 「デコミッションング(Decommissioning) 技報」라는 간행물에 발표된 논문과 기술보고서를 조사하여 그 제목만이라도 목록을 작성하여 소개함으로써 다소의 보탬이 되기를 바라며 다음과 같은 목록을 첨부한다. 

원자력 시설 해체에 관한 문헌 목록 (일본 국내 연구 성과)

번호	논문명	학술지명	출판년월	권	호	면수
1	デコミッションにおける表面汚染密度測定 디코미션닝에서 표면오염 측정	デコミッション情報 데코미션닝기보	2012/01		45	19-30
2	ブルトニウム燃料第二開発室の廃止措置について 플루토늄연료 제2개발실의 폐지조치에 대하여	상 동	2011		43	2-9
3	東海発電所の廃止措置の計画と現状 토키이발전소의 폐지조치 계획과 현상	상 동	2011		43	10-17
4	三井住友建設における廃止措置関連技術の開発 미쯔이 스미토모건설에서 폐지조치관련기술개발	상 동	2011		43	30-42
5	富士電機の原子炉廃止措置技術 후지 전기의 원자로폐지조치기술	상 동	2011		44	20-32
6	廃止措置に適用する測定、除染・解体技術 폐지조치에 적용되는 측정, 제염, 해체기술	상 동	2011		44	33-42
7	原子力施設廃止措置費用簡易評価コードの開発 원자력 시설폐지조치 비용 간이평가 코드 개발	日本原子力学会 논문집	2010/9	9	3	271-278
8	21世紀の原子力発電所廃止措置の技術動向：第8回(最終会)廃止措置技術 - 金属再利用の動向 21세기의 원자력발전소 폐지조치의 기술동향 제8회(최종회) 폐지조치기술 - 금속재이용 동향	日本原子力学会誌	2010/4	82	4	219-224
9	21世紀の原子力発電所廃止措置の技術動向：第7回 廃止措置技術 - コンクリート再利用 21세기의 원자력발전소 폐지조치의 기술동향: 제7회 폐지조치기술 - 콘크리트재이용	상 동	2010/3	52	3	158-162
10	廃止措置技術：処理処分の技術動向 폐지조치기술: 처리처분의 기술동향	상 동	2010/2	52	2	108-112
11	21世紀の原子力発電所廃止措置の技術動向：第5回 廃止措置技術 - 除染の技術動向 21세기의 원자력발전소 폐지조치의 기술동향: 제5회 폐지조치기술 - 제염의 기술동향	상 동	2010/1	52	1	48-52
12	ホットラボの廃止措置と将来計画(2) Hot Lab.의 폐지조치와 장래 계획(2)	デコミッション情報	2010		42	41-48
13	東芝グループの廃止措置関連技術について 토시바 그룹의 폐지조치 관련기술에 대하여	상 동	2010		42	20-31

번호	논문명	학술지명	출판년월	권	호	면수
14	浜岡原子力発電所1, 2号機廃止措置計画の概要 하마오카 원자력발전소 1, 2기 폐지조치계획의 개요	상 동	2010		41	2-12
15	廃止措置技術：放射線計測の技術動向 폐지조치기술: 방사선계측의 기술동향	日本原子力学会誌	2009/11	51	11	819-823
16	廃止措置技術：コンクリート解体/はつりの技術動向 폐지조치기술: 콘크리트해체/각(削)는 기술동향	상 동	2009/10	51	10	763-767
17	廃止措置技術：鋼材解体の技術動向 폐지조치기술: 강재해체의 기술동향	日本原子力学会誌	2009/9	51	9	689-693
18	東海発電所廃止措置におけるクリアランスと放射性廃棄物でない廃棄物(NR物)の搬出: 原子力施設からクリアランス物とNR物を搬出するには 토키이발전소 폐지조치에 있어서 Clearance물과 방사성 폐기물이 아닌 폐기물(NR물)의 반출: 원자력 시설에서 크리아란스물과 NR물을 반출하려면	상 동	2009/8	51	8	620-624
19	廃止措置の世界の概況とわが国の現状 폐지조치의 세계의 개황과 우리나라의 현상	상 동	2009/8	51	8	625-629
20	原子力施設の廃止措置におけるサイト解放の安全基準等の調査 원자력 시설의 폐지조치에 있어서 Site 해방의 안전 기준 등의 조사	デコミッション情報	2008		37	38-51
21	軽水炉プラントにおける廃止措置の最近の取り組みについて 경수로 플랜트에 있어서 폐지조치의 최근 조치에 대하여	상 동	2008		38	25-34
22	日本初 商業用原子力発電所の廃止措置 일본 최초의 상업용 원자력발전소의 폐지조치	日本原子力学会誌	2006/8	48	8	551-555
23	立教大学における研究炉廃止措置実績 인교대학에서 연구로 폐지조치실적	デコミッション情報	2006		33	13-25
24	核燃料サイクル施設の廃止措置における安全上重要課題の検討 핵연료 사이클 시설의 폐지조치에 있어서 안전상 중요과제의 검토	상 동	2006		34	26-39



번호	논문명	학술지명	출판년월	권	호	면수
25	ガフサキプラントシステムズ(株)における発電所廃止措置及び廃棄物処理技術 가와사키 플랜트 시스템즈(주)에서 발전소폐지조치 및 폐기물 처리기술	상 동	2006		34	2-17
26	東芝炉「TTR-1」廃止措置における解体及び燃料輸送の経験 토시바로「TTR-1」폐지조치에서 해체 및 연료수송의 경험	상 동	2005		32	24-37
27	ホットラボの廃止措置と将来計画 Hot Laboratory의 폐지조치와 장래계획	상 동	2005		32	2-12
28	原子力施設における廃止措置の費用評価手法 원자력 시설에서 폐지조치의 비용평가 수법	상 동	2005		31	11-20
29	燃料サイクル施設廃止措置へのシステムエンジニアリングの適用 연료사이클 시설폐지에 대한 시스템 엔지니어링의 적용	상 동	2004		30	53-67
30	研究炉「JRR-2」廃止措置 연구로「JRR-2」폐지조치	상 동	2004		30	11-24
31	TRIGA 2型研究炉の廃止措置事例研究 TRIGA 2형 연구로의 폐지조치 사례연구	상 동	2003		27	28-49
32	OECD/NEAにおける廃止措置に関する最近の活動状況 OECD/NEA에서의 폐지 조치에 관한 최신의 활동상황	상 동	2003		28	2-9
33	原子炉施設の廃止措置計画の策定及び管理システムの開発 원자로 시설의 폐지조치계획의 책정 및 관리시스템 개발	日本原子力学会	2002/10	44	10	734-737
34	技術報告 原子炉建屋の一括移動撤去 遅延解体による廃止措置について 기술보고 원자로 건물의 일괄 이동철거, 지연해체에 의한 폐지조치에 대하여	デコミッションング 技報	2002		26	36-44
35	技術報告 原子施設デコミッションングにおける最近の解体技術動向 기술보고 원자로시설 데코미 썬잉에 있어서 최근의 해체 기술동향	상 동	2002		25	36-51

번호	논문명	학술지명	출판년월	권	호	면수
36	諸外国における黒鉛減速炉の廃止措置の現状 제 외국에서 흑연감속 형로의 폐지조치의 현상	상 동	2002		25	12-24
37	技術報告 実用発電用原子炉廃止設備確 証試験・廃止措置技術の開発状況について 기술보고 실용발전용 원자로 폐로설비확증시험-폐지조치 기술의 개발상황에 대하여	상 동	2002		26	13-20
38	原子力施設の廃止措置に関する国際協力の現状 - 원자력시설의 폐지조치에 관한 국제협력의 현상	상 동	2002		25	2-11
39	報告書 342 原子炉施設の廃止措置計画 策定および管理のための計算システムの 開発 東海発電所の解体作業に關 するプロジェクト管理データの試算 보고서 342. 원자력 시설의 폐지 조치 계획 책정 및 관리를 위한 계산시스템을 개발 통해 발전소의 해체 작업에 관한 프로젝트관리 데이터의 시산	日本原子力学会	2001/5	43	5	493-502
40	技術報告 原子炉デコミッションング の計画 管理 기술보고 원자력 데코미썬잉의 계획 및 관리	デコミッションング 技報	2001		24	48-59
41	技術報告 高温ガス炉臨界実験装置 「VHTRC」の廃止措置 기술보고 고온가스로 임계 실험 장치「VHTRC」의 폐지조치	상 동	2001		24	27-47
42	米国の発電用原子炉デコミッションング の最新動向 미국의 발전용 원자로 데코미썬잉의 최신동향	상 동	2000/3			21-34
43	ドイツEWN社で実施中の廃止措置の紹介 독일 EWN사에서 실시 중인 폐지조치 소개	상 동	2000/3			12-20
44	技術報告 JPDR 解体作業データの分析と 原子力施設の廃止措置計画検討支援シ ステムの開発 기술보고 JPDR 해체작업 데이터의 분석과 원자력시설 폐지조치계획 검토지원 시스템 개발	상 동	2000/3			38-49
45	「ふげん」の廃止措置への取り組み 「후겐」의 폐지조치에 대한 대처	상 동	2000/3			2-11
46	東芝の廃止措置関連技術開発 토시바의 폐지조치관련 기술개발	상 동	1999/8			21-35

번호	논문명	학술지명	출판년월	권	호	면수
47	原子力施設の廃止措置における「放射性廃棄物でない廃棄物」の区分手順動力試験炉の解体における経験 원자력 시설의 폐지조치에 있어서 「방사성폐기물이 아닌 폐기물」의 구분수순 동력시험로의 해체 경험	日本原子力学会誌	1999/8	38		25-34
48	トロージャン原子力発電所のデ デコミッションングの現状 Trojan 원자력발전소의 Decommissioning 현상	デコミッションング 技報	1998/12			62-68
49	原子力施設廃止措置の開発状況-石 川島播磨重工業の開発技術 원자력 시설폐지 조치의 개발 상황-이시카와지마 하리마 중공업의 개발기술	상 동	1998/12			51-61
50	デコミッションング用プラス マゼットターの開発 데코미쓰닝용 Plasma Jet Torch를 개발	상 동	1998/12			13-22
51	東海発電所の廃止措置 토카이발전소의 폐지조치	상 동	1998/11	40	11	855-860
52	原子力施設廃止措置技術の開の開 況 - 三井造船の廃止措置技術 원자력 시설폐지 조치기술의 개발상황-미쯔이 조선의 폐지조치 기술	デコミッションング 技報	1998/8			44-55
53	デコミッションングに関する米 国の新しい放射線防護基準 데코미쓰닝에 관한 미국의 새 방사선방호 기준	상 동	1997/12			2-7
54	最近の原子力施設デコミッショ ニング 放射性廃棄物処理 処分 等に関する国際会議の概要 최근의 원자력 시설 데코미쓰닝, 방사성 폐기물 처리, 처분 등에 관한 국제회의의 개요	상 동	1997/12			63-69
55	実用発電用原子炉廃炉設備確証試験 - 除染及び放射線計測技術について 실용 발전용 원자로 폐로 설비 확증시험-제염 및 방사선 계측기술에 대하여	상 동	1997/7			28-36
56	原子炉廃止措置技術の開発状況 - 富士電機の廃止措置技術 원자로폐지 조치기술의 개발상황-후지전기의 폐지조치기술	상 동	1997/7			11-27
57	鋼構造物の解体 (デコミッション ング技術の現状と課題<特集>)[解体技術] 강구조물의 해체 (데코미쓰닝 기술 의 현상과 과제<특집>)- 해체 기술	日本原子力学会誌	1991/5	33	5	420-422

번호	논문명	학술지명	출판년월	권	호	면수
58	原子力発電施設 (デコミッション ング技術の現状と課題<特集>)-[各 種施設のデコミッションングの特 徴] 원자력발전 시설(데코미쓰닝 기술의 현상과 과제<특집>)- [각종 시설의 데코미쓰닝의 특징]	상 동	1991/5	33	5	411-413
59	解体計画 被爆 廃棄物量 コスト [デコミッションング技術の現状と課題 <特集>]-システムズエンジニアリング	상 동	1991/5	33	5	415-418
60	再利用と残留放射能基準 (デコミ ッションング技術の現状と課題<特集>)- [廃棄物対策技術] 재이용과 잔류 방사능 기준 (데코미쓰닝 기술의 현상과 과제 <특집>)-[폐기물대책기술]	상 동	1991/5	33	5	435-439
61	核燃料加工施設 再処理施設 (デコミ ッションング技術の現状と課題<特集>)- [各種施設のデコミッションングの特 徴] 핵연료 가공 시설, 재처리 시설 (데코미쓰닝 기술의 현상과 과제 <특집>)-[각종 시설의 데코미 쓰닝의 특징]	상 동	1991/5	33	5	413-414
62	除染技術 (デコミッションング技 術の現状と課題<特集>) 제염기술 (데코미쓰닝 기술의 현상과 과제 <특집>)	상 동	1991/5	33	5	425-431
63	国際協力 (デコミッションング技 術の現状と課題 <特集>) 국제협력 (데코미쓰닝 기술의 현상과 과제 <특집>)	상 동	1991/5	33	5	443-445
64	コンクリート構造物の解体 (デコ ミッションング技術の現状と課題 <特集>)- [解体技術] 콘크리트 구조물의 해체 (데코 미쓰닝 기술의 현상과 과제 <특집>)-[해체기술]	상 동	1991/5	33	5	422-425
65	廃棄物処分 (デコミッションング技 術の現状と課題 <特集>) 폐기물처분 (데코미쓰닝 기술의 현상과 과제 <특집>)	상 동	1991/5	33	5	433-435
66	放射能測定技術 (デコミッション ング技術の現状と課題<特集>) 방사능 측정기술 (데코미쓰닝 기술의 현상과 과제 <특집>)	상 동	1991/5	33	5	441-442
67	放射線管理 (デコミッションング技 術の現状と課題 <特集>) 방사선관리 (데코미쓰닝 기술의 현상과 과제 <특집>)	상 동	1991/5	33	5	439-440



번호	논문명	학술지명	출판년월	권	호	면수
68	解体計画の作成 評価のためのコードシステムのデータベース [デコミッションング技術の現状と課題 <特集> - システムズエンジニアリング] 해체계획의 작성, 평가를 위한 Code System의 Data-base [데코미션닝 기술의 현상과 과제 <특집>]-(Systems Engineering)	상 동	1991/5	33	5	418-419
69	廃棄物対策技術 [デコミッションング技術の現状と課題 <特集>] 폐기물 대책기술 [데코미션닝 기술의 현상과 과제 <특집>]	상 동	1991/5	33	5	431-439
70	解体技術 [デコミッションング技術の現状と課題 <特集>] 해체기술 [데코미션닝 기술의 현상과 과제 <특집>]	상 동	1991/5	33	5	420-425
71	システムエンジニアリング [デコミッションング技術の現状と System Engineering [데コミ션닝 기술의 현상과 과제 <특집>]	상 동	1991/5	33	5	415-419
72	切断解体技術ダイヤモンドワイヤ-ソ工法 [特集: 廃止措置の到達点- 原子力発電所の高経年化時代を控え] -- [進展する廃止措置の必要技術] 절단해체기술 Diamond Wire-saw 공법 [특집 : 폐지조치의 도달점- 원자력발전의 고경년화 시대를 대비하여] - [진전하는 폐지조치에 필요한 기술]	原子力 eye	2010/8	56	8	30-33
73	着々進む東海発電所の廃止措置 [特集: 廃止措置の到達点- 原子力発電所の高経年化を控え]- [廃止措置の現状] 한걸음씩 진전하는 토카이 발전소의 폐지조치 [특집 폐지조치의 도달점- 원자력발전소의 고경년화를 대비하여] - [폐지조치의 현상]	상 동	2010/8	56	8	9-12
74	主要技術の概要 [特集: 廃止措置の到達点- 原子力発電所の高経年化時代を控え]- [廃止措置の現状] 주요 기술의 개요 [특집 폐지조치의 도달점- 원자력발전소의 고경년화 시대에 대비]- [폐지조치의 현상]	상 동	2010/8	56	8	22-25

번호	논문명	학술지명	출판년월	권	호	면수
75	浜岡原子力発電所1号機及び2号機の廃止措置について [特集: 廃止措置の到達点- 原子力発電所の高経年化時代を控え]- [廃止措置の現状] 하마오카 원자력발전소 1호기 및 2호기의 폐지조치에 대하여 [특집 폐지조치의 도달점- 원자력 발전소의 고경년화 시대에 대비]- [폐지조치의 현상]	상 동	2010/8	56	8	19-21
76	進展する廃止措置の必要技術 [特集: 廃止措置の到達点- 原子力発電所の高経年化時代を控え] 진전하는 폐지조치의 필요기술 [특집 폐지조치의 도달점- 원자력발전소의 고경년화 시대에 대비]	상 동	2010/8	56	8	22-55
77	原子力発電所の廃止措置とは [特集: 廃止措置の到達点- 原子力発電所の高経年化時代を控え]- [廃止措置の現状] 원자력발전소의 폐지조치란 [특집 폐지조치의 도달점- 원자력발전소의 고경년화 시대에 대비]- [폐지조치의 현상]	상 동	2010/8	56	8	5-8
78	廃止措置の現状 [特集: 廃止措置の到達点- 原子力発電所の高経年化時代を控え] 폐지조치의 현상 [특집 폐지조치의 도달점- 원자력발전소의 고경년화 시대에 대비]	상 동	2010/8	56	8	5-21
79	止措置技術開発の現状と今後の [特集: 具体化する商業用原子力発電施設の廃止措置] 폐지조치 기술개발의 현상과 금후의 과제 [특집 구체화하는 상업용 원자력발전 시설의 폐지조치]	原子力工業	1997/10	43	10	17-24
80	わが国の商業用原子力施設の廃止措置 [特集: 具体化する商業用原子力発電施設の廃止措置] 일본의 상업용 원자력 시설의 폐지조치 [특집 구체화하는 상업용 원자력발전 시설의 폐지조치]	상 동	1997/10	43	10	2-9
81	はじめての商業用原子力発電所の廃止措置に向けて [特集: 具体化する商業用原子力発電施設の廃止措置] 최초의 상업용 원자력발전소의 폐지조치를 위하여 [특집 구체화하는 상업용 원자력발전시설의 폐지조치]	상 동	1997/10	43	10	10-16