

원전해체 핵심기술 개발 현황 및 계획

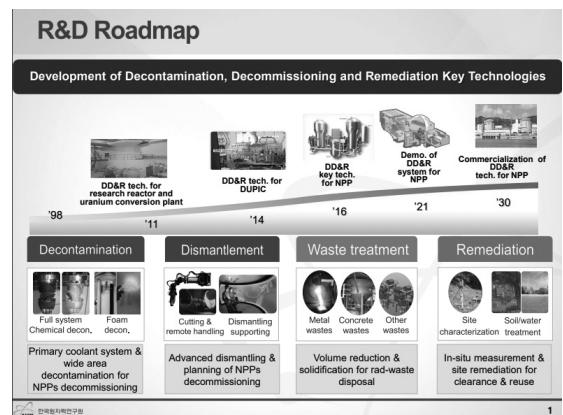
서범경

한국원자력연구원 해체기술연구부 부장



소 개발은 한국원자력연구원(이하 연구원)의 서범경입니다. 제가 말씀드릴 내용은 과학기술정보통신부(이하 과기부)에서 현재 개발하고 있는 해체 핵심기술입니다. 이 기술적인 부분들이 마침 또 올해 마무리됩니다. 처음에 이 계획을 수립할 때, 약 10년 정도로 계획하고 전체적인 방향을 잡았습니다. 그리고 이제 올해 과기부에서 추진하고 있는 핵심기술에 대한 개발들이 완료되고, 언론을 통해서 들으셨는지 모르겠지만 다시 앞으로 8년간 준비하기 위한 여타를 산업통상자원부(이하 산업부)와 과기부가 공동으로 준비하고 있습니다. 저희가 개발하고 있는 전반적인 현황에 대해서 말씀 드리겠습니다.

1. R&D Roadmap



[그림 1] R&D Roadmap

처음 해체라는 분야가 우리나라에 들어오기 시작한 것은 연구로 1, 2호기로, 서울 공릉동에

있는 연구로입니다. 연구로 1, 2호기의 영구정지가 1995년도에 결정되고, 그 이후로 저희가 해체를 시작하게 되었습니다.

대전에 연구로 원자로인 하나로가 생기면서 효용성이 사라졌기 때문에 연구로 1, 2호기에 대한 해체를 준비하고, 실제적으로 해체기술 개발을 시작한지는 1998년입니다. 벌써 20년이 지난 것 같습니다. 그 과정들 속에서 저희한테는 참 안타까운 사고였지만, 2011년도에 후쿠시마 원전 사고가 일어나면서 정부에서도 전반적으로 해체나 사고 후의 복원이라든지 이런 부분에 대해서 ‘연구개발이 필요하지 않겠냐?’고 해서 2012년도에 처음으로 해체 핵심기술이라는 부분을 만들겠다는 계획을 수립했습니다.

2015년도에 고리 1호기가 영구정지가 되는 것이 결정이 되었습니다. 그러면서 그때부터 원전해체에 필요한 기술개발을 다시 국내에서 모아서 한 번 더 계획을 수립했습니다. 2021년까지 전반적인 필수 기술에 대한 개발을 하고, 이 기술개발이라는 것 자체가 사업에 적용하기 위해서는 고도화뿐만 아니라 실증을 해야 됩니다. 그런 부분들이 지금 현재 저희가 추진하고 있는 예타에 내용이 담겨져 있습니다.

2. R&D Goal

2021년까지는 국내해체 기반들이 전혀 없었기 때문에 일단 기술을 준비 좀 해두자는 의견

이 있었습니다. 기술이라는 것 자체가 해체 공정이라든지 노형들의 특성들에 따라 다 달라집니다. 그렇기 때문에 모든 기술들을 다 개발할 수는 없었고, 가장 기본이 되는 필수기술을 먼저 만들자고 해서 과기부와 산업부가 각각 역할 분담을 해서 올해까지 과기부에서는 38개, 산업부에는 58개 분담해서 기술개발을 하는 중입니다. 이런 기술들이 개발된다고 하면, 현재 이미 영구정지한 원전도 있고, 이제 앞으로 영구정지할 원전들에 대해서 실제 기술을 적용하고, 2030년대가 되면 전 세계적으로도 상당히 많은 원전들이 영구정지 이후의 해체 단계에 들어가게 됩니다. 그 시장에 국내에서 개발한 기술을 발판으로 삼아 사업화하고 그것들을 다시 가지고 나가고자 하는 큰 그림들을 만들었습니다.

3. Development of Key Technologies

그림들을 만드는 과정 중에서 결국 해체라는 분야가 전체적으로 산업계가 가진 기술들만으로는 전반적으로 끌고 가기에는 무리가 있습니다. 그래서 이제 정부에서는 2012년, 2015년도에 원자력진흥위원회에서 해체를 좀 더 본격적인 국가 전략 사업으로 만들어보자고 하였고, 그 당시 계획을 수립했습니다. 이에 대한 후속조치로 2019년도에 원전해체 산업 육성전략을 수립했습니다.

4. Decommissioning Technology Research Div.

연구원은 연구기관으로서 해체 공정별로 핵심만 우선 개발 목표를 세웠습니다. 해체를 단계별로 나누면, 한국수력원자력은 사업자이기 때문에 사업관리나 전체 엔지니어링 측면에서 다룰 것 같습니다. 연구원의 경우, 각 단계에서 어떤 기술들이 필요한지 파악하고, 가장 우선 베이스 되는 기술들을 먼저 개발하는 계획을 수립했습니다.

연구원은 5개 분야로 나누어서 연구개발을 진행하고 있습니다. 앞으로 하나씩 자세히 말씀드리겠습니다. 결국은 기술개발이 실제 사업에 적용되기 위해서는 원전해체연구소에서 그 기술들에 대한 검증이 이루어져야할 것입니다. 그렇지만 사업 적용성에 대해 검증하기 전에 ‘ 과연 이 기술이 타당한가?’에 대한 검증도 연구 측면에서 이루어져야합니다. 그래서 연구원은 그러한 노력의 일환으로써 지금 국내 시설 및 해외 시설들을 이용해서 해체 기술들에 대한 실증을 하고 있습니다.

5. Characterization R&Ds

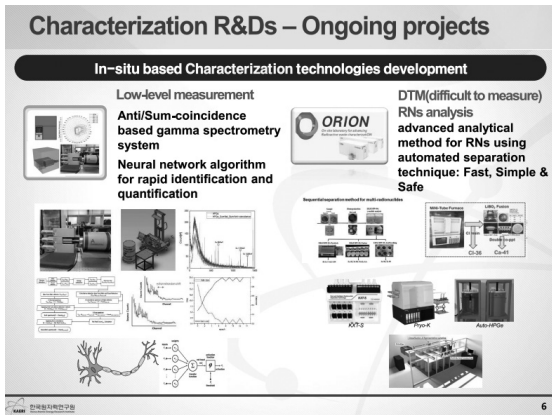
- Overview & Ongoing projects -

해체사업에서 특성평가가 가장 중요합니다. 결국 해체라는 것은 시작부터 끝까지 규제관점에서 모든 것들이 관리됩니다. 그런데 가장 유일하게 규제 관점에서 지표가 정해져있는 것은 방사능 농도입니다. 처분이나 자체처분 등은 방사

능 농도가 결정되어있지 않으면, 그것들을 더 이상 해체로 진행할 수 없습니다. 제염이나 절단과 같은 부분들은 시간이 더 필요하고, 비용이 더 필요하더라도 시작할 수는 있습니다. 그런데 보통 특성평가라고 이야기하는 이 방사능 측정 부분에 대해서 폐기물에 대한 부분, 아니면 처음에 해체 계획을 수립하기 전 어떤 재고량과 같은 부분이 명확하게 정의되어있지 않으면 해체 사업을 진행할 수가 없습니다. 그래서 이 해체에서 가장 Key가 되는 부분을 방사선학적 특성평가라고 말합니다.

연구원은 서울 연구로를 해체하면서 상당히 많은 물품들을 자체처분했고, 지난주에는 방폐물 중에 한국원자력환경공단으로 이송했던 것들이 사일로에 일부 들어갔습니다. 이러한 처분 과정들을 겪으면서 특성평가, 방사능 분석에 대한 기술들을 계속 적립해오고 있습니다. 방사능 분석을 한다는 것은 결국 현장에서 측정해야 할 부분들도 있고, 영구처분이나 자체처분에서의 방사능에 대한 정확한 정보들이 있어야 합니다. 그 정보들은 화학분석을 이용해서 또 분석을 하는데, 화학분석법을 함께 개발하고 있습니다. 앞으로 해체가 본격적으로 시작하면 실질적인 물량들이 많이 발생할 것입니다. 아마 그 물량들은 다 소화하기 쉽지는 않을 것입니다.

연구원에서는 현재 ‘어떻게 하면 이것들을 자동화 시킬 것인가?’라는 측면에서 연구를 진행하고 있습니다. 먼저, 첫 번째 파트에 대해서는 연구원이 현장에서 샘플링을 하지 않고 직접 측정



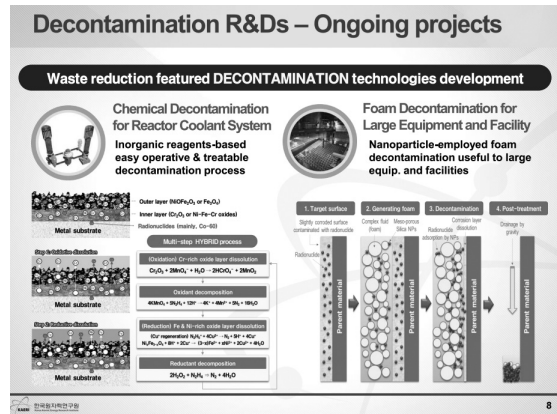
[그림 2] Characterization R&Ds - Ongoing projects

할 수 있는 기술들을 개발하고 있습니다. 보통 'In-Situ 측정'이라고 말합니다. 이 기술들을 개발함으로써 연구원은 샘플링과 시료를 채취할 수 있는 부담을 줄이려고 합니다. 원전 핵심 설비 같은 경우 선량이 높습니다. 현장에서 직접 측정하게 되면, 주변 환경에 있는 Background 때문에 정확한 측정이 필요한 핵종들을 분석하기 힘듭니다. 이에 대해 최근 4차 산업과 관련된 AI기술들을 접목시켜서 분석자의 노력을 가능한 적게 하기 위한 연구들을 병행하고 있습니다. 화학분석을 한다는 것은 결국 시료를 다 녹여서 전처리를 해야 한다는 것입니다. 그 과정에서 사람들의 일손을 줄일 수 있게끔 전체적으로 자동화하는 Sequence를 계속 개발하고 있습니다.

6. Decontamination R&Ds - Overview & Ongoing projects -

그 다음 영구정지 결정이 난 이후 인허가가 나

게 되면, 제일 먼저 해야 할 것은 계통제염일 것 같습니다. 제염이라는 것 자체가 방사능 준위를 자체적으로 줄여서 작업자들이 작업을 쉽고, 피폭을 적게 받으면서 작업 할 수 있고, 결국은 해체의 궁극적인 목표는 폐기물 처리를 통해서 방사선 폐기물량을 줄여주는 것입니다. 전처리 제염이라는 측면에서도 이 제염이 굉장히 중요합니다.



[그림 3] Decontamination R&Ds - Ongoing projects

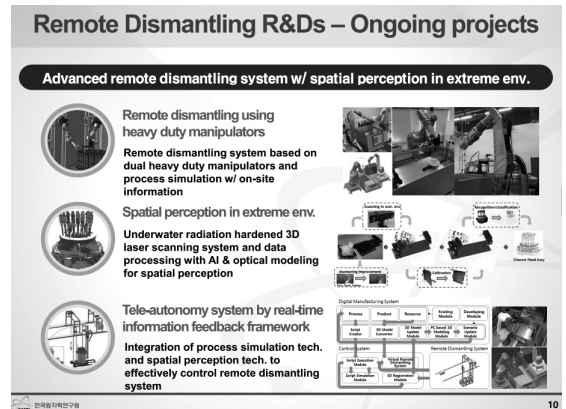
현재 가장 중점적으로 개발 하는 부분은 원전 1차 계통제염입니다. 1차 계통 제염 같은 경우 해외에서 많은 원전들이 영구정지 후 해체과정에 있습니다. 그렇기 때문에 계통제염들이 상당히 많이 이루어졌습니다. 그 기술들은 기존에 해외에서 개발한 상용 기술들이 쓰이고 있는데, 저희들은 이것을 국산화하는 것을 목표로 직접 개발하고, 실제 테스트는 거치지는 않았지만 발전소에 있는 시편들을 이용해서 일부 긍정은 했습니다. 그리고 시설 벽면에 대한 넓은 면적들을 제염을 하려면 상당히 많은 노력들이 필요하

다. 가장 쉬운 방법은 ‘스캐블러(Scabbler)’로 표면을 깎아내면 됩니다. 그런데 벽면이 굉장히 크거나 높이가 높은 경우, 작업자의 위험요인들이 굉장히 증가합니다. 그런데 액체를 분사하게 되면 2차 폐기물량이 매우 많이 생깁니다. 그래서 가장 많이 쓰이고 보편적으로 쓰이는 방법 중 하나는 ‘거품 제염’입니다. 맥주를 따르다보면 거품이 많이 생기지 않습니까? 이런 방식으로 거품을 만들어서, 거품에 오염을 제거할 수 있는 약품들을 첨가해 벽면에 뿌려주게 되면 상당한 제염 효과를 나타냅니다. 이러한 기술들을 개발하고 있습니다.

7. Remote Dismantling R&Ds - Overview & Ongoing projects -

현재 원자력안전법 상에서 해체라는 용어 자체가 광범위한 의미로 쓰이지만, 절단·철거 부분들이 Key가 됩니다. 그중에서도 ‘Reactor vessel’나 ‘Internal’같은 경우에는 중저준위급 정도에 해당되는 방사선량을 가지고 있습니다. 그렇기 때문에 이들을 안전하게 해체·절단한다는 것은 결국은 원격으로 해야 합니다. 그래서 연구원이 개발하는 것은 주로 로봇시스템을 이용하고, 또 원격으로 쉽게 절단하는 방법을 찾고자 주로 레이저를 이용하고 있습니다.

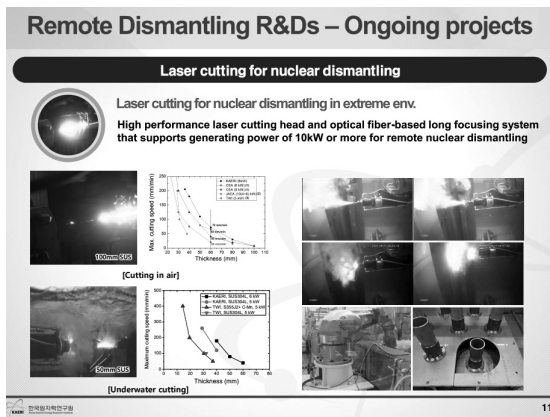
레이저기술들을 쓰기 위해서 몇 가지 기술들을 같이 개발하고 있습니다. 공기 중에서 자를 때는 크게 문제없습니다. 현재도 레이저절단 같



[그림 4] Remote Dismantling R&Ds – Ongoing projects

은 경우, 공기 중에서는 많이 쓰이고 있습니다. 그런데 방사선 준위가 높은 중저준위급을 물속에서 자르려고 했을 때, 열적인 절단 방법들이 문제가 생깁니다. 해외에서도 중저준위급 수중 절단을 할 때는 기계적인 절단을 쓰고 있습니다. 왜냐하면 이 방법이 시야 확보에 가장 좋기 때문입니다. 레이저를 쓰거나 다른 프라즈마 아크를 쓰는 등 열적인 방법을 쓰게 되면, 그 안의 버블이나 다른 부가적인 효율들이 많이 생기기 때문에 절단하는 과정들에서 물 속의 환경들을 인지할 수가 없습니다. 그래서 이 레이저 절단들을 개발하면서 수중환경을 그대로 묘사해서 시뮬레이션 할 수 있게끔 하고, 그 다음에 이러한 것들을 전체적으로 컨트롤 할 수 있는 기술들을 개발하고 있습니다.

그래서 올해 전반적으로 현재 수중에서 절단할 수 있는 기술개발을 완료했습니다. 현재 연구원에서 갖고 있는 레이저는 ‘발진기’라고 합니다. 레이저를 생성하는 부분들이 있는데, 그 부분들



[그림 5] Remote Dismantling R&Ds – Ongoing projects

은 용량이 다소 작습니다. 용량이 5kw, 6kw를 사용하고 있는데, 작은 용량이지만 세계에서 가장 발전했다는 나라들보다도 물속에서 더 좋은 절단 성능을 보이고 있습니다. 그리고 국내 시설에서 조금 더 용량이 큰 것을 이용해서 잘라 봤습니다. 앞서 말씀 드린대로 현재 원천기술들을 가지고 있기 때문에, 레이저 파워만 충분히 키울 수 있다면 자르는 길이에 대한 부분들은 충분히 커버할 수 있다는 것을 확인했습니다.

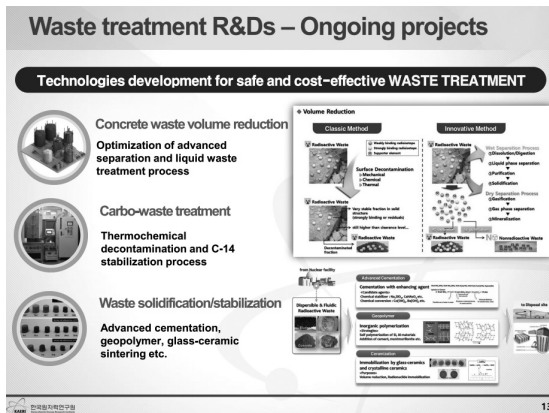
8. Waste treatment R&Ds – Overview & Ongoing projects –

전체적으로 해체라는 것 자체가 폐기물 처리 사업이라고 보셔도 될 것 같습니다. 제가 이런 말씀을 드리면 “해체가 뭐가 그리 어렵냐?”, “건설의 역순 아니냐?”라고 이야기들을 하시면서 “왜 이렇게 오래걸리죠?”라고 말씀합니다. 그런데 결국은 30년, 40년동안 계속 사용하면서 방

사화되고 오염된 물질들이 쌓이게 됩니다. ‘방사선 물질들을 어떻게 처리하냐?’라는 관점이 되기 때문에, 이 규제 관점에서도 가장 핵심이 되는 것입니다.

그래서 이런 규제관점에 대한 모든 것들을 만족시키면서 폐기물을 처리해야 하기 때문에, 방사성폐기물 처리 부분들이 해체사업에 비용적 측면에서도 가장 key가 됩니다. 지금 현재 우리나라 해체 비용 중 가장 많은 부분을 차지하는 부분이 폐기물 처리 부분입니다. 결국은 ‘해체 폐기물을 얼마나 줄일 것인가?’가 이 해체사업에 대한 경제성 부분에도 가장 영향을 미치기 때문에, 폐기물량을 줄여주는 것이 해체사업에서 경제적 부분의 효율성을 올릴 수 있는 부분에서는 가장 key가 될 것 같습니다. 해체를 하면 결국 가장 많이 나오는 폐기물이 콘크리트와 금속입니다. 연구원에서는 콘크리트나 금속에 대해서는 이미 기술개발을 시작했습니다. 그 다음에 저희는 원전뿐만 아니라 우리나라에 있는 다른 원자력 시설에서 발생하는 폐기물들도 같이 관심을 갖고 지켜보고 있습니다. 원전에 직접 발생한 폐기물은 아니지만 그 부분들에 대해서도 연구원에서 기술을 개발하고 있습니다.

그리고 이제 콘크리트 같은 경우에는 오염은 표면만 깎아내면 나머지는 자체처분을 할 수 있습니다. 하지만 방사화된 부분에 대해서는 전체가 기준 농도 이상으로 되면 처분장으로 보내야 합니다. 이런 방사화 된 물질들은 어떻게 보면 가장 작은 미분말 속에 포함되어있습니다. 그런



[그림 6] Waste treatment R&Ds – Ongoing projects

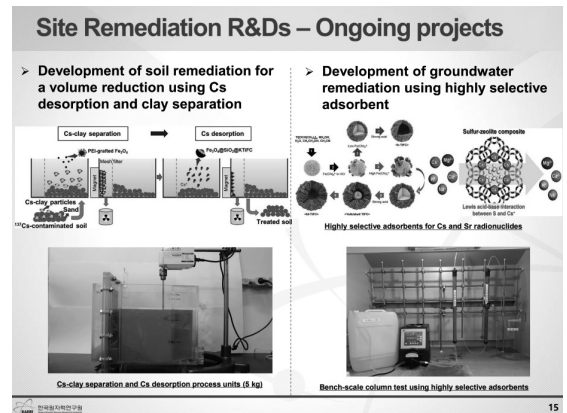
부분들을 줄이기 위한 연구들을 계속 진행하고 있습니다.

9. Site Remediation R&Ds

- Overview & Ongoing projects -

마지막으로, 해체가 진행되면 남는 것은 결국 부지입니다. 그래서 부지를 이제 ‘어떻게 복원할 것인가?’라는 측면에서 연구개발하고 있습니다. 지금까지는 토양에 대한 기술들이 많이 개발되어 있었습니다. 그렇지만 실제적으로 토양 폐기 물을 얼마나 줄일 수 있는냐는 조금 다른 문제이기도 합니다. 그래서 토양에 대한 부분과 지하수 부분으로 나누었습니다. 해외사례들을 보더라도 지하수 오염들이 일부 발견되고 있습니다. 특히나 지하수 오염 중에서 가장 까다로운 것은 ‘삼중수소’입니다.

다른 핵종들은 일반적인 핵종처리방법과 유사하기 때문에 조금만 노력하면 처리할 수 있지만,

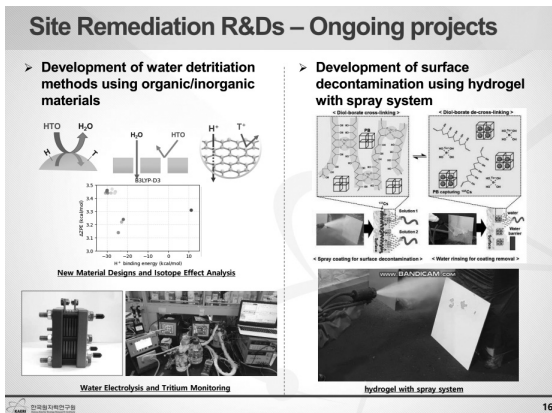


[그림 7] Site Remediation R&Ds – Ongoing projects

삼중수소는 물에서 물을 분리하는 기술입니다. 물 분자 중에서 어떤 분자 하나를 뽑아야 하는 상황이기 때문에 이 삼중수소 처리에 대한 부분들이 상당히 까다롭습니다.

연구원이 현재 개발하는 부분들은 토양 중에서도 ‘미세토’로, 핵종이 결국은 모두 미세토에 붙어있습니다. 그래서 미세토만 잘 걸러낼 수 있으면, 전체 분량에서 방폐물들을 70~80% 이상 줄일 수 있습니다. 그런 기술들하고 그 다음에 분리한 핵종들을 어떻게 잘 처리해야 할 지에 대한 관점에서 연구개발을 하고 있습니다.

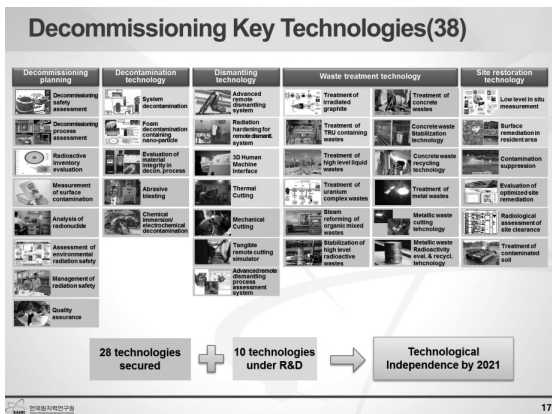
말씀 드렸던 삼중수소 부분들이 최근에 후쿠시마에서도 상당히 많은 이슈가 되고 있습니다. 낮은 농도로 오염된 오염수들은 처리할 방법이 없습니다. 경제성까지 고려하면서 이것들을 어떻게 처리할 것이냐는 다른 문제입니다. 그래서 이 부분에 대한 기술들은 아직 전 세계적으로 확보 되어있지 않습니다. 그래서 기초단계를 지나서 계속 테스트를 진행하고 있습니다. 앞서 말



[그림 8] Site Remediation R&Ds – Ongoing project

숨 드렸던 예타와 연결해서 계속 사업을 수행할 예정입니다.

10. Decommissioning Key Technologies(38)



[그림 9] Decommissioning Key Technologies(38)

이 [그림 9]는 아마 올해 마지막으로 보여드릴 그림일 것 같습니다. 연구원에서 10년 동안 기술개발을 하겠다는 발표했던 자료입니다. 이 기술 자체만으로 해체를 다 할 수 있다는 것은 아닙니다. 10년 전 그 당시에 앞으로 우리가 10년

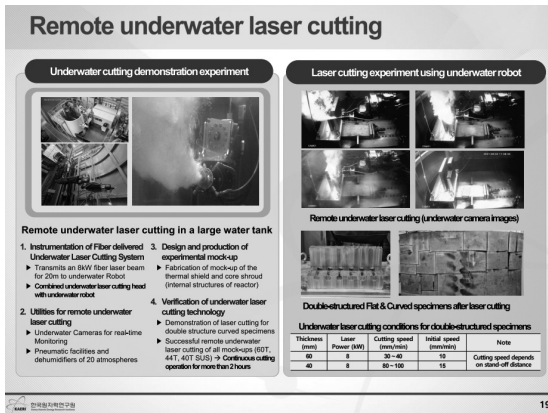
동안 무엇을 가장 기본적으로 해야 되는지에 대한 측면에서 만들었던 것입니다. 그래서 실제 사업하고 맞지 않는 부분들이 있습니다. 그 당시에는 후쿠시마 원전 사고 이후 복원에 대한 부분들도 포함되어있기 때문에 전반적으로 원전뿐만 아니라 다른 원자력 시설들까지 일부 내용을 포함하고 있고, 마지막 남은 10개가 12월에 모두 끝났습니다. 그리고 연구원에서 기술 수준 평가들도 이미 진행했습니다. 조만간 이 기술들에 대한 것은 다시 한 번 더 말씀드릴 기회가 있을 것 같습니다.

11. Verification of Decommissioning Key Technologies

마지막으로 해체 기술을 개발한다는 것 자체가 결국은 적용가능한지를 확인해봐야 합니다. 제일 마지막으로 사업 적용하기 전에 기술 검증을 해야 하기 때문에 사업 적용 전 기술 검증들은 원전해체연구소에서 이루어질 것 같습니다. 연구원과 같이 원천기술, 기초기술을 개발하는 측면에서는 이 기술의 타당성 정도는 보여줘야 합니다. 그런데 아직 국내에는 타당성을 보일 방법들이 없습니다.

12. Remote underwater laser cutting

그래서 이제 국내 일부 대기업들이 보유하고 있는 유사시설들을 이용해서 테스트를 했습니

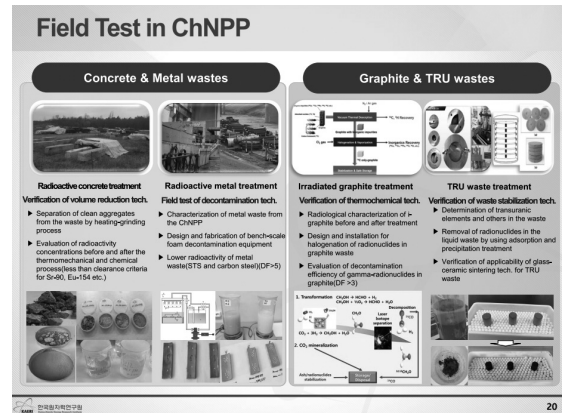


[그림 10] Remote underwater laser cutting

다. 가장 큰 것 중 하나가 레이저 절단입니다. 그래서 로봇시스템을 이용해서 레이저 절단을 하고, 컨트롤 할 수 있는 부분을 테스트를 마쳤습니다. 모사식 표를 만들어서 그것들도 절단해서 상당히 우수한 성능을 보인다는 것을 입증했습니다. 이것들은 앞서 말씀드렸지만 해외에서 개발하고 있는 현재 기술보다 훨씬 월등하고 우수한 성능을 보인다는 것을 확인했습니다.

13. Field Test in ChNPP

그리고 실제 폐기물을 이용해서 이 장치들과 개발한 기술들을 테스트하기는 힘든 상황입니다. 연구원에도 폐기물을 가지고 있지만 그 폐



[그림 11] Field Test in ChNPP

기물을 직접 실험하기에는 다른 여건들로 인해서 어렵습니다. 그래서 연구원은 체르노빌 원전과 협력하여 작년에 같이 사업을 진행했고, 3주 전에 원자력연구원 팀원 2명을 체르노빌 원전에 보내서 직접 실험하고 왔습니다. 체르노빌에서 체르노빌 원전에 계신 연구팀들과 연구원 레시피를 전달하고, 그곳에서 장치를 제작해서 실제 폐기물을 이용한 성능 평가를 마쳤습니다. 2021년 올해까지 목표로 했던 내용들을 완료했습니다.

이 포럼에서는 전반적으로만 설명을 드린 것입니다. 향후에 각각에 대해서 조금 더 자세하게 말씀드릴 자리가 있다면, 전반적인 사항들을 발표하겠습니다. 이상 발표를 마치겠습니다. **KIIF**