

피커링 원전의 중수누설 검지를 위한 휴대용 중수누설 검지 장치의 기술지원 귀국보고서

Technical Supporting for using the Portable Heavy-water Leak
Sensor in Pickering Nuclear Power Plant

Korea
Atomic Energy
Research Institute



한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

이 보고서를 2019년도 “피커링 원전의 중수누설 검지를 위한 휴대용 중수누설 검지 장치의 기술지원” 귀국보고서로 제출합니다.

2019년 11월 8일

주 저 자 이 름

공무국외여행 개요

1. 여행국

캐나다 (온타리오)

2. 여행목적

피커링 원전의 중수누설 검지를 위한 휴대용 중수누설 검지 장치의 운용 및 유지보수에 관한 기술지원

3. 여행기간

2019년 9월 24일 - 2019년 10월 4일

4. 보고서 작성자

이 름

5. 여행자 인적사항

양자광학연구부 책임연구원

목 차

공무국외여행 개요	3
제1장 해외 출장 개요	7
제1절 출장의 경위	9
제2절 출장의 목적 및 필요성	9
1. 출장자의 적합성	9
2. 출장시기 및 기간의 적정성	10
제2장 주요 수행 내용	11
제1절 사전 협의 및 방호교육	13
제2절 중수누설 검지	15
1. 누설 의심 위치 확인	18
가. 1호기 내부 및 계통	19
나. 4호기 내부 및 계통	19
2. 누설 위치 탐지	19
가. 7호기 및 회수·정제 시설	19
나. 5호기 및 기타	20
제3절 토론 및 협의	20
제3장 결론	23

표 목차

표 1. 출장 기간 중 세부 일정	10
표 2. 계획서 1	13
표 3. 계획서 2	14
표 4. 계획서 3	15
표 5. 계획서 4	16
표 6. 계획서 5	17
표 7. 계획서 6	18
표 8. 계획서 7	21

제1장

해외 출장 개요

제1절 출장의 경위

제2절 출장의 목적 및 필요성

제1장 해외 출장 개요

제1절 출장의 경위

양자광학연구부에서는 중수로 및 경수로의 냉각재 누설을 분광학적으로 검지할 수 있는 고감도 누설 검지 장치를 개발하였으며, 그 중 “휴대용 중수누설검지장치 제조기술”에 관하여 (주)액트와 2015년에 기술실시계약을 체결하였다. (주)액트는 양자광학연구부가 보유한 시제품을 기반으로 하여 상용제품의 개발을 지속해서 진행하며 국내외 기관과의 긴밀한 연락을 유지해오고 있었다. 한국과 유사한 중수로를 보유한 캐나다 Pickering 중수로형 원전은 자체기술을 활용하여 중수누설의 징후를 발견하여 조치였으나, 더욱 정확한 검증을 위하여 (주)액트에게 “중수누설 검지를 위한 측정 및 검증 지원”을 요청하였다.

현재 보유 중인 장치는 양자광학연구부에서 기술의 현장적용 검증을 위해 제작한 시제품이기 때문에, 비숙련자가 사용할 경우 조작 미숙으로 인한 오작동 및 결과 해석의 오류를 일으킬 가능성이 있다고 판단되었다. 또한, 장치 운용 및 누설 측정 과정에서의 돌발적인 문제에 즉각 대응하고 오류를 수정하기 위한 숙련된 전문가가 필요하다고 판단되어 기술지원을 위한 출장을 진행하였다.

제2절 출장의 목적 및 필요성

기술지원을 요청한 기관은 Toronto 근교의 Pickering Nuclear Generating Station (Pickering, Ontario) 으로, 해당 원전의 중수로 일부 시설에서 중수누설의 징후가 감지된 것으로 예상되며, 누설 위치 검지에 적합한 측정방법을 보유하지 못하여 지원을 요청한 것으로 파악된다.

해당 원전은 국내의 중수로와 유사한 시설로, 연구·개발 단계에서 축적한 측정 기술의 적용이 용이하며, 한국원자력연구원 기술의 우수성을 해외에 입증할 좋은 기회가 될 수 있다.

1. 출장자의 적합성

출장자는 원전냉각재 누설 검지 기술개발의 참여연구원으로서, “원전냉각재 누설 고감도 모니터링 기술개발”, “중수누설 검지 장치 상용화 기술개발” 및 “경수로 냉각재 누설 고감도 검지 기술개발” 등의 과제에 참여하여 측정장치 개발 및 개발된 장치의 현장검증 기술지원에 참여하였다. 장치의 개발 및 운용의 전문가로서 국내 원전의 현장검증 및 기술지원을 통해 축적된 실증적 기술을 보유하고 있으므로, 현장의 상황변화에 대한 적절하고 신속한 대처가 가능

하여 최소의 인원으로 충분한 기술지원을 수행할 수 있다.

2. 출장시기 및 기간의 적정성

피커링 원전측의 기술지원 요청에 대하여 최대한 신속한 대응이 이루어질 수 있도록 출장의 시기를 선정하였다. 이동시간, 방호교육, 기술지원 및 검토 회의를 포함하여 출장 기간을 산정 하였으며 세부 내용은 표 1과 같다.

표 1. 출장 기간 중 세부 일정

일정	수행 업무
제 1일	인천출발 - 온타리오 도착
제 2일	의무 방호교육 (1/2)
제 3일	의무 방호교육 (2/2)
제 4일	현장 확인 및 장비 적합성 평가
제 5일	장비 조정 및 누설 위치 검지 (1/3)
제 6일	장비 조정 및 누설 위치 검지 (2/3)
제 7일	장비 조정 및 누설 위치 검지 (3/3)
제 8일	누설 위치 재확인 및 측정결과 분석
제 9일	검토회의 및 토론
제10일	온타리오 출발
제 11일	인천 도착

제2장

주요 수행 내용

제1절 사전 협의 및 방호교육

제2절 중수누설 금지

제3절 토론 및 협의

제2장 주요 수행 내용

출장의 주요 수행 내용은 사전 협의 및 방호교육 활동, 중수누설 검지 활동 및 토론과 사후 협의 활동으로 진행되었다. 모든 활동에는 동행한 (주)엑트 직원인 박형민 차장과 Pickering 측 담당자인 Brandon Ramdoo가 동행하였으며, 원전 출입과 관련하여 전담 안전관리요원(RP)이 상시적인 안전지도를 수행하였다. 사전 및 사후 토론에는 Pickering 원전의 소장 및 고문 외 구매담당자와 소수의 실무직원이 참석하였다.

제1절 사전 협의 및 방호교육

Pickering 원전은 총 8기의 원자로를 보유하고 있으며, 현재 가동 중단된 2, 3호기를 제외한 6개 호기 모두에 대한 중수누설 검지를 4일에 걸쳐 실시하기로 하였다.

표 2. 계획서 1

Title : Day 1 - D2O Leak Technology Visit			
Location : ESB 1			
Date : 9/24/2019			
Pickering Nuclear			
Start	End	Time	Item
14:00	14:30	0:30	Meet & Greet at ESB 2 - Eng. Alignment Room
14:30	14:55	0:25	Sign N-FORM-10062 & N-FORM-10019 and deliver to 3 rd Floor MSB
14:55	15:40	0:45	Review Equipment / Discussion on portable heavy water leak sensor capabilities and any limitations
15:40	17:40	2:00	Intro to PNGS presentation by OPG / Start CBTs to enable performance of radioactive work
Total		3:40	

표 3. 계획서 2

Title : Day 2 - D2O Leak Technology Visit
 Location : ESB 1 / PLC
 Date : 9/25/2019

Pickering Nuclear			
Start	End	Time	Item
8:00	9:30	1:30	ESB1 Conf Rm E3 Meeting with Senior Leadership (Frank G)
9:30	11:30	2:00	Complete Computer based training (laptops available)
11:30	12:00	0:30	Pick-up Dosimetry from Radiation Data Unit
12:00	13:00	1:00	Lunch
13:00	14:00	1:00	PLC for COMFO Fit Test 1422 (Training : Jack Scott / Tony Miller)
14:00	16:00	2:00	Complete CBTs
16:00	18:00	2:00	Review Field Plans for in field leak search / limitations of concerns
Total		10:00	

이러한 검지 활동을 위하여 2일간의 방호교육을 필수로 이수하여야 하며, 교육에는 기본적인 안전수칙의 숙지와 방독면 (COMFO) 사용법 및 사용 적합시험 등이 포함되어있었다. Pickering 원전에는 교육 및 연구 활동을 위한 Education Center가 별도의 건물로 운용되고 있었으며 상당수의 교육전담 인력들이 배치되어있었다. 대부분의 교육은 교육센터의 개인용 노트북을 활용한 CBT (Computer Based Training)으로 이루어졌으며, COMFO 등의 장비에 관련된 교육에는 해당 교육담당자들이 투입되어 진행되었다.

표 2와 표3의 작업계획서와 같이, 방호교육을 주 수행과제로 진행하는 동시에 원자로 출입 관련 절차와 관련된 서류 작성, 장비의 이해와 사용방법에 관한 토론, 경영자와 관리자를 대상으로 작업설명 및 협의 회의 등을 수행하였다.

Pickering 측에서는 각 호기당 10~20개의 중수누설 의심 지점에 관한 확인을 우선해 달라고 요구하였으며, 이를 우선 검지한 후 할당된 시간 내에서 다른 부분들에 대한 추가적인 검지를 수행하기로 하였다.

제2절 중수누설 검지

실제 중수누설 검지 활동은 크게 두 가지로 진행하기로 협의하였다. Pickering 측에서 특정한 위치의 누설을 검지하여 장치의 성능을 확인하는 동시에 Pickering 측에서 조치(누설 의심 위치를 플라스틱 백과 덕트테이프로 고정하여 차폐)한 방법이 효과가 있는지를 검증한 후에, 안전요원(RP)들이 검지하지 못한 누설지점이 있는지 탐지하는 것이다.

이를 위하여 다음의 표 4, 5, 6, 7과 같은 작업계획서를 확정하여 구체적인 검지 활동 계획을 협의하였다. 실시간으로 모니터링되는 각 호기의 삼중수소 농도 상황 및 실무자들의 추가적인 작업요구로, 실제 측정 및 검지 활동은 계획과 다르게 진행된 부분이 있었다.

표 4. 계획서 3

Title : Day 3 - D2O Leak Technology Visit			
Location : Field PN 14			
Date : 9/26/2019			
Pickering Nuclear			
Start	End	Time	Item
8:00	9:00	1:00	Meet at Main Security Building Entrance; bring Material into PA
9:00	9:20	0:20	PJB with Radiation Protection
9:20	12:20	3:00	U1 RAB / RB
12:20	13:20	1:00	Lunch
13:20	16:20	3:00	U4 RAB / RB
16:20	17:20	1:00	Post Job; Return Dosimetry
Total		9:20	

표 5. 계획서 4

Title : Day 4 - D2O Leak Technology Visit
 Location : Field PN 058
 Date : 9/27/2019

Pickering Nuclear

Start	End	Time	Item
8:00	8:30	0:30	Meet at Main Security Building Entrance
8:30	8:50	0:20	PJB with Radiation Protection
8:50	11:50	3:00	U6 RAB / RB
11:50	12:50	1:00	Lunch
12:50	15:50	3:00	U7 RAB / RB
15:50	16:50	1:00	Post Job: Return Dosimetry
Total		8:50	

표 6. 계획서 5

Title : Day 5 - D2O Leak Technology Visit
 Location : Field PN U8 / CS
 Date : 9/30/2019

Pickering Nuclear

Start	End	Time	Item
8:00	8:30	0:30	Meet at Main Security Building Entrance
8:30	8:50	0:20	PJB with Radiation Protection
8:50	11:50	3:00	U8 RAB / RB
11:50	12:50	1:00	Lunch
12:50	15:50	3:00	CS - PIOTS / S&I
15:50	16:50	1:00	Post Job: Return Dosimetry
Total		8:50	

표 7 계획서 6

Title : Day 6 D2O Leak Technology Visit
 Location : TBD
 Date : 10/1/2019

Pickering Nuclear

Start	End	Time	Item
8:00	8:30	0:30	Meet at Main Security Building Entrance
8:30	8:50	0:20	PJB with Radiation Protection
8:50	11:50	3:00	Select U5 Areas
11:50	12:50	1:00	Lunch
12:50	15:50	3:00	Final field Tests (TBD)
15:50	16:50	1:00	Post Job: Return Dosimetry
Total		8:50	

1. 누설 의심 위치 확인

Pickering 측에서는 각 호기의 삼중수소 농도를 실시간으로 모니터링하여 현장 및 네트워크 상에서 실시간 확인이 가능한 시스템을 구축하고 있다. 따라서 누설에 의한 삼중수소 농도의 증가가 의심되는 시점으로부터 출장자의 검지 활동이 수행되는 시점까지 자체적인 유지보수 활동이 지속적으로 이루어진 것으로 보인다.

Pickering 측에서 사용하는 삼중수소 농도 측정장치는 이온챔버에 기반을 둔 장치로, 각각 다른 안전요원들의 반복 측정값을 반영하여 누설 위치를 검지하는 방식으로 누설 검지 활동을 수행하고 있다. Pickering 측에 의하면, 이온챔버 장비는 삼중수소와 불활성가스의 효과를 구별할 수 없으므로 검지 결과를 절대적으로 신뢰하지는 못하고 있으며, 플라스틱 백과 덕트테이프를 활용한 차폐 방법이 실질적으로 효과가 있는지 확인하고자 하였다.

가. 1호기 내부 및 계통

1호기 내부는 거의 모든 누설 위치 부분을 차폐하여 삼중수소 농도가 상대적으로 가장 낮게 측정된 원자로이다. 장비의 성능을 확인하기 위하여, 원자로 내부 입구 근처의 중수 탱크의 마개를 열고 장비의 탐지침을 접근하여 중수 신호를 확인한 후 내부의 중수누설을 검지하였다.

10여 곳의 테이핑으로 차폐작업이 되어있는 지점이 있었고, 그곳에서는 중수누설이 탐지되지 않았다. 추가적으로 탐지를 진행하여 차폐문의 가장자리에서 측정한계에 가까운 미세한 누설을 검지하였고, 노후화된 오링에 의한 누설이 있었음을 차후에 작업자들이 차폐문을 열어 육안으로 확인하였다.

1호기 계통(밸브 및 배관) 역시 차폐작업이 효과적으로 수행되어있어, 중수누설은 검지 되지 않았다.

나. 4호기 내부 및 계통

4호기는 1호기에 비해 삼중수소 농도가 크게 높지는 않음에도 불구하고, Pickering 측 측정 장비로는 다수의 위치에서 누설이 있는 것처럼 측정되었다고 한다. 따라서, 차폐작업효과를 확인하는 것과 함께 측정 장비에 의한 누설 의심지역에서의 확인작업을 수행하였다.

확인결과 대부분의 의심 위치에서는 누설이 검지 되지 않았으나, 의심하지 못한 밸브 박스, 글로브 박스 및 차폐문 등에서 5곳의 누설위치가 탐지되었다.

2. 누설 위치 탐지

1호기 및 4호기의 확인작업을 통하여 장비에 대해 높은 신뢰를 하게 된 현장작업자들의 요청을 반영하여 탐지 활동 계획이 수정되었다. 5호기와 8호기에 대한 탐지 활동을 취소하고 회수된 중수를 정제하는 증류탑 시설에 대한 작업이 추가되었고, 이온챔버 장비로 발견된 누설 의심 위치가 포함된 터빈실 등의 원자로 외부시설들에 대한 탐지 활동이 추가되었다.

가. 7호기 및 회수·정제 시설

7호기의 상황은 4호기와 유사하였으며, 차폐작업 위치에서는 중수누설이 검지 되지 않았고 기타 유사한 부분(밸브, 박스 및 문)에서 미량의 중수누설이 검지 되었다.

현장작업자들의 요청으로 방문한 대부분 시설에서는 극미량의 누설이 의심되는 부분이 3~4 곳 있었을 뿐, 실제적인 중수의 누설은 탐지되지 않았다. Pickering 측의 장비와 비교해서 우

리가 개발한 장비는 다른 가스와의 간섭없이 직접 중수를 검지할 수 있어서 보다 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있으며, 현장작업자들도 이를 이해하고 매우 높은 신뢰를 보였다.

회수 및 정제를 위한 증류탑 시설은 고온 고압의 파이프로 인해 실내 온도가 매우 높으며, 누설 의심 위치를 차폐한 플라스틱백과 덕트테이프가 고온에 의해 훼손될 가능성이 있다. 육안으로 확인되지 않는 차폐 위치에서 다수의 누설을 탐지하였으며, 탐지된 누설 위치를 세밀하게 목측하여 차폐작업이 완벽하지 않은 부분들을 확인하였다.

나. 5호기 및 기타

계획상 6호기의 누설 검지를 수행할 예정이었으나, 해당 호기의 삼중수소 농도가 매우 높아 작업이 허가되지 않았다. 차선택으로, 플라스틱 방호복을 착용하고 5호기에 입실하여 최소한의 시간 동안만 핵심위치를 확인하는 것으로 작업을 완료하였다. 플라스틱 방호복을 추가 착용하였을 때 탐지작업에 문제가 있는지 확인하는 작업으로, 작업자의 활동을 중앙통제센터에서 카메라를 통해 실시간 모니터링하는 것으로 작업을 진행하였다. 방호복을 착용한 위에 장비를 착용하거나 탐지 활동을 수행하는 데 무리가 없음을 확인하였다.

기타 시설에 대한 추가적인 탐지 활동을 마무리하고, 안전요원과 담당자의 안내를 받아 중앙관제실을 포함한 발전소내 시설을 견학하는 것으로 검지 및 탐지 일정을 종료하였다.

제3절 토론 및 협의

출장의 마지막 날은, 표 8과 같이 검토회의 및 사후 협의를 진행하였다.

Pickering 측에서는 중수누설 검지에 대하여 매우 만족하였고 감사하게 생각했으며, 장비의 구매 의사를 확인하였다. 구매를 위한 준비에 대한 사안을 (주)엑트 측과 세밀하게 논의하였으며, 원활한 의사소통을 위하여 한국인 직원을 통역으로 참석시키는 등의 배려를 해주었다.

발전소장인 Randy Lockwood (Senior Vice President)가 협의에 참석할 예정이었으나 급무로 불참하였고, 고문인 Harold Hefott (Senior Strategic Adviser)와 담당자인 Brandon Ramdoo를 포함하여 부소장 및 구매담당자, 현장직원 등이 참석하였다.

개인용 (휴대용) 장비 뿐만 아니라 이전에 개발된 고정형 장비에 대해서도 크게 관심이 있으며, 차후에 고정형 장비를 현장에서 활용할 수 있을지 고려해 달라는 요청이 있었다. 또한, (주)엑트와 협의 후 구매한 장비의 현장 사용을 위한 기술적 교육을 해 줄 수 있는지에 대한 요청도 있었다. Pickering 현장에서의 경험을 토대로, 현장 사용의 편의를 위한 무선 시스템으로 전환과 데이터 처리의 시인성 확보등의 구체적인 변형 및 수정 사항에 대한 요청과 협의를 통

해 개선안을 마련하였다.

표 8. 계획서 7

Title : Day 7 - D2O Leak Technology Visit
 Location : Field AM / Debrief ESB 1
 Date : 10/2/2019

Pickering Nuclear

Start	End	Time	Item
8:00	8:30	0:30	Meet at Main Security Building Entrance
8:30	8:50	0:20	PJB with Radiation Protection
8:50	11:50	3:00	FH / other areas of RB missed
11:50	12:50	1:00	Lunch
12:50	17:50	5:00	Debrief with Team
Total		9:50	

제3장

결론

제3장 결론

본 출장은 Pickering 원전(Canada Ontario 소재)의 기술지원 요청으로 진행되었으며, 한국원자력연구원 양자광학부에서 개발하고 (주)엑트가 기술실시권을 가지는 “휴대용 (개인용) 중수누설 검지 장치”의 현장 활용에 관한 기술지원을 목적으로 수행되었다. 출장자는 기술개발에 참여한 핵심인력으로, 장비의 개발 및 활용에 관한 충분한 기술적 경험을 축적하고 있다. 주요 수행 내용은 장비의 유지보수 및 누설 위치 검지, 데이터 처리 및 해석이다.

출장 기간을 통하여 Pickering 원전의 주요시설 중 4기의 원자로 내부와 외부계통 및 재처리시설 등의 누설을 검지하였으며, Pickering 측에서 파악하지 못한 다수의 누설 위치를 탐지하는 성과를 거두었다. 이를 통하여 Pickering 측 관리자 및 현장 인력들로부터 장비에 대한 큰 신뢰를 얻었으며, 추후 (주)엑트를 통한 장비의 구매에 관한 구체적인 협의를 끌어냈다.

본 출장을 통하여 개발된 장비의 성능을 외국의 원전에서 현장검증할 귀중한 기회를 가질 수 있었으며 장비의 우수성을 해외에 입증하는 의미 있는 성과를 거두었다.