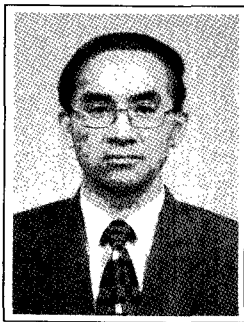


# 브라질 Angra 1호기 원전연료 손상 기술지원

박 현 태

한국전력공사 원자력발전처 노심관리부 부장



**국** 내 원자력발전소 중 고리 2호기는 16×16형 연료를 사용하는 미국 웨스팅하우스사 설계의 600MWe급 가압 경수로로서, 전세계적으로 현재 이와 같은 형태의 원자로는 고리 2호기를 포함하여 슬로베니아의 Krsko와 브라질의 Angra 1호기 등 3기에 불과한 매우 희귀한 원자로형이다.

이들 원전은 모두 초기에는 웨스팅하우스사 연료를 사용하였으나, 고리 2호기는 원전 연료 성형 가공 국산화 사업 추진에 따라 90년도부터 독일 지멘스사의 설계에 의해 한국원전연

료(주)가 제작한 연료를 장전하였으며, Angra 1호기도 비슷한 시기에 동일한 지멘스사 연료를 사용하기 시작하였다.

그런데 이 지멘스사 설계의 16×16형 연료는 고리 2호기와 Angra 1호기에서 다같이 두 주기 이상 연소시 다량의 연료 손상이 발생하였으며, 고리 2호기 연료에 대한 원인 규명 조사 결과, 손상 원인은 연료의 설계 결함으로써 원자로 냉각재 유량에 의해 유발되는 집합체 진동으로 밝혀진 바 있다.

한편 연료 손상이 발생한 이후 고리 2호기는 성능이 이미 입증된 웨스팅하우스사 연료로 노심 전체를 교체하여 현재까지 이상 없이 운전중인 반면, Angra 1호기는 지멘스사의 제안을 받아 들어 설계를 변경한 신연료를 장전하여 운전하여 왔다.

그러나 최근 설계 변경 신연료의 두 번째 주기연소 중 연료 손상이 다시 발생함으로써 큰 어려움에 봉착하게 된 바, 손상 원인 규명 및 후속 대책 수립을 위하여 브라질측의 경비

부담을 조건으로 한국전력공사의 기술 지원을 요청하였다.

이에 한국전력공사는 원자력발전처 노심관리부 박현태 부장, 전휘수 과장, 한국원전연료(주) 기술개발처 김용환 부장 등 3인으로 기술지원단을 구성하여 지난 11월 10일부터 11월 14일까지 5일간 브라질 현지에서 기술 지원 활동을 수행하였다.

이 글에서는 먼저 고리 2호기 연료 손상 및 후속 조치 개요와 Angra 1호기 연료 손상 개요를 설명한 후, 브라질 현지에서의 기술 지원 활동을 소개하고자 한다.

## 고리 2호기 연료 손상 및 후속 조치 개요

고리 2호기는 83년 7월 상업 운전을 시작한 이래 평균 이용률이 83%에 달하며, 89년도에는 94.4%의 이용률로 세계 이용률 2위를 기록하는 등 우수한 발전소 성능을 시험하여 왔다.

제1주기부터 제6주기까지는 웨스팅하우스사의 16×16형 표준형 연료

(SFA)를 사용하였으며, 90년 1월 제7주기부터 한국원자력연구소와 지멘스사의 공동 설계 및 한국원전연료(주)의 제조에 의하여 국산 연료(KOFA)로 명명된 연료를 국내 최초로 장전하였다.

제7주기까지는 발전소 성능과 곁맞게 연료의 성능도 양호하게 유지되어 원자로 냉각재 중의 I-131 방사능 농도가 국내 원전 중에서도 손꼽힐 정도로 좋은 실적인  $10^5 \mu\text{Ci/cc}$  대를 유지하였으나, 91년 5월 제8주기 운전 시작 후 약 85일 경과시부터 연료의 손상 지표인 원자로 냉각재 방사능이 급증하기 시작하였다.

제8주기말 원자로 냉각재 중 I-131 방사능 농도는 약  $9 \times 10^2 \mu\text{Ci/cc}$ 에 달하였으며, 운전 종료 후 연료 검사 수행 결과 두 번째 연소된 10다발의 국산 연료에서 총 127개 연료봉의 손상을 확인하였다.

연료 검사 결과 다량의 연료 손상이 확인됨에 따라 원전의 안전성 확보, 적기 가동 재개 및 연료 결합 원인 규명 등을 위하여 당시 기술부사장을 위원장으로 하고 관련 경영 간부 및 처·실장을 위원으로 하는 고리 2호기 연료문제대책위원회를 92년 6월 발족하였다.

고리 2호기 연료문제대책위원회 산하 기술검토실무반의 검토 결과 결합 원인은 지지 격자와 연료봉간의 진동 마모로 추정되었으나, 제한된 검사로 인하여 근본 손상 원인에 대

한 결론은 내릴 수 없었으며, 결합은 제8주기 2회 연소분 영역에 국한될 것이라는 설계·제조사로부터의 보증에 따라 다시 국산 연료를 장전하여 92년 7월 제9주기 운전을 시작하였다.

제9주기 초 원자로 냉각재 중 I-131 방사능 농도는  $10^4 \mu\text{Ci/cc}$  대를 유지하였으나, 운전 시작 후 약 100일 경과시부터 다시 급증하기 시작하였으며 주기 말 I-131 농도는 약  $2 \times 10^4 \mu\text{Ci/cc}$ 에 이르렀다.

제9주기 종료 후 연료 검사 결과 역시 두 번째 연소된 국산 연료 19다발에서 총 367개의 손상 연료봉을 확인하였다.

제8주기에 이어 제9주기에 연료 손상이 재발함에 따라 92년 11월 고리 2호기 연료문제대책위원회는 근본 결합 원인이 규명될 때까지는 성능이 입증된 연료를 사용하기로 의결하였으며, 이에 따라 93년 11월 제10주기 노심 전량을 웨스팅하우스사 연료로 교체하였다.

손상 원인 규명을 위한 검사는 제조자와 설계자에 의해 별도로 추진되어, 한국원전연료(주)는 소내 저장조 연료 검사(pool side examination)를, 한국원자력연구소는 핫셀 검사를 각각 수행하였다.

93년 11월 한국원자력연구소는 핫셀 시험 최종 보고서를 통하여 근본 손상 원인으로는 국산 연료 제조에 사용된 2종류의 피복관 중 웨스팅하

우스사가 공급한 피복관의 과도한 수축과 연료 제조 및 수송시의 지지 격자 스프링 힘 감소를, 재발 방지 대책으로는 연료봉 조립시 봉 장입 속도의 감소와 지지 격자 스프링 힘 증가 및 형태 개선을 각각 제시하였다.

당시 검사된 피복관의 연소도는 웨스팅하우스사 피복관이 35,000MW D/MTU, 지멘스사의 피복관은 25,000MW D/MTU로서 두 종류 피복관의 외경은 거의 동일하게 측정되었으나, 한국원자력연구소는 파괴 검사시 나타난 웨스팅하우스사 피복관의 소결체와 피복관의 접촉을 근거로 실험식을 적용하여, 손상 발생 시점인 25,000MW D/MTU에서의 웨스팅하우스사 피복관 수축량을 지멘스사 피복관보다 1.5배 정도 더 큰 것으로 계산하였다.

이러한 주장에 대하여 한국전력공사는 실험식에 의존한 피복관 수축량 계산은 신뢰할 수 없으며, 특히 지멘스사 피복관의 연료봉 손상 발생률이 웨스팅하우스사 피복관과 비교하여 동일하거나 오히려 다소 높은 점을 고려할 때 타당치 않다고 검토하였다.

연료 제조 및 수송시의 지지 격자 스프링 힘 감소 주장에 대하여도 한국전력공사는 동일한 조건에 의하여 제조 및 공급되는 다른 형태의 국산 연료에서는 손상이 발생하지 않고 있으므로 타당치 않으며, 이러한 스프링 힘 손실은 설계 여유에 의해 충분

히 흡수될 수 있어야 하는 것으로 검토하였다.

한국원전연료(주)의 소내 저장조 연료 검사 결과는 94년 5월 한국전력 공사에 제출되었다.

검사 결과 25,000MWD/MTU에서의 웨스팅하우스사 공급 피복관 및 지멘스사 공급 피복관의 외경을 직접 측정한 결과 차이가 없음이 확인되었으며, 근본 손상 원인은 집합체 진동으로 제시되었으나 집합체 진동이 직접적으로 확인되지 않았으므로 한국전력공사는 한국원전연료(주)에 집합체 진동 실측 실험 수행을 요구하였다.

집합체 진동 실험은 94년 10월부터 95년 11월까지 미국 사우스캐롤라이나 주 소재 웨스팅하우스사 실험 시설에서 수행되었으며, 성능 비교를 위하여 국산 연료와 함께 웨스팅하우스사 연료가 실험에 사용되었다.

실험 결과 웨스팅하우스사 연료에서는 진동이 거의 측정되지 않은 반면, 국산 연료에서는 뚜렷한 공명 진동이 측정되어 근본 손상 원인이 집합체 진동임을 입증하였다.

### Angra 1호기 연료 손상 개요

Angra 1호기는 초기 노심인 제1주기에 웨스팅하우스사 연료를 사용한 후 제2주기부터 지멘스사 설계 연료를 사용하였으며, 제4주기 운전중 총 21개 연료에서 62개 연료봉 손상

이 발생하였다.

제5주기에는 고리 2호기 연료 손상시 한국원자력연구소가 제안한 재발 방지 대책과 동일한 내용인 지멘스사의 지지 격자 스프링 힘 증가 및 형태 개선 등의 설계 변경을 채택한 신연료를 40다발 장전하는 한편, 기존 연료의 손상 발생 방지를 위하여 주기 길이를 236EFPD로 제한함으로써 연료 손상 없이 운전을 종료하였다.

제6주기에는 농축도를 달리한 2개 영역의 신연료를 81다발 장전함으로써 노심 전체가 설계 변경 연료로 구성되었으나, 운전 시작 후 약 12일 경과시부터 원자로 냉각재 방사능이 급증하기 시작하였으며, 운전 종료 후 누설 검사(sipping) 결과 두 번째 연소 연료에서 8다발, 첫 번째 연소 연료에서 1다발 등 총 9다발의 손상 연료를 확인하였다.

### Angra 1호기 연료 손상 기술 지원

한국전력공사와 Angra 1호기 운영사인 Nuclen사는 동일한 연료 손상을 경험한 입장에서 원인 규명 및 후속 대책 수립을 위한 정보 교류 및 협력을 목적으로 95년 11월 교환 방문을 가진 바 있으며, 교환 방문시 정례적인 운전 정보 교환에 합의한 후 96년 1월부터 매월 노심 운전 정보를 교환하여 왔다.

Angra 1호기 제4주기에 이어 제6

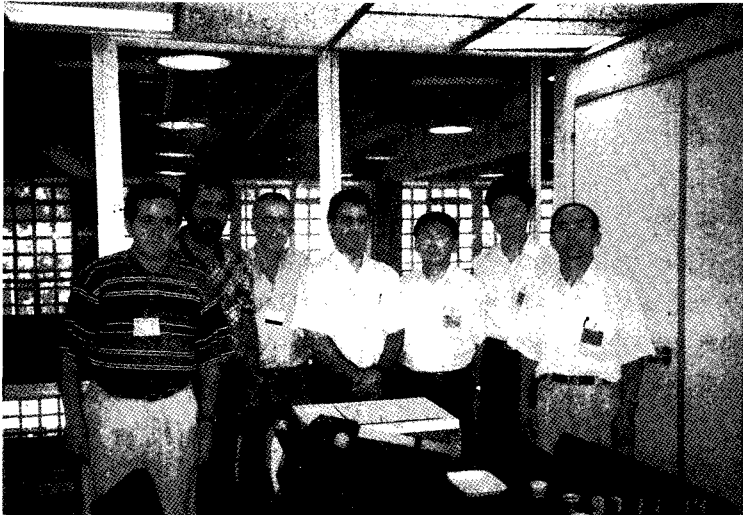
주기에 설계 변경 연료에서도 손상이 재발하자 제7주기 가동 및 향후 후속 대책이 큰 현안으로 대두된 바, Nuclen사는 고리 2호기 연료 손상 원인 규명 및 후속 조치 경험 등 한국전력공사의 자문이 필요하다는 판단 하에 국내 전문가의 파견을 한국전력 공사에 요청하였으며, 이에 따라 한국전력공사에서는 한국전력공사 및 한국원전연료(주) 전문가 등 3명으로 기술지원단을 구성하여 기술 지원을 수행하기로 결정하였다.

기술지원단 일행은 11월 7일 오후 6시 30분 서울발 뉴욕행 항공편으로 출국한 지 26시간만인 11월 8일 오전 9시 30분(현지 시간)에 브라질 리우데자네이루에 도착하였다.

도착 당일과 다음날은 시차 적응을 위한 휴식 및 자료 준비 등으로 보내고, 월요일인 11월 10일 Nuclen 본사를 방문함으로써 본격적인 기술 지원 활동을 시작하였다.

Nuclen사 관계자들과의 인사 및 환담에 이어 Nuclen사와 브라질 원전 연료 제작사인 INB사 관계자 약 20명이 참석한 가운데 고리 2호기 연료 손상 경험 발표회를 가졌다.

발표 내용은 크게 4부분으로 처음 개요 부분에서는 고리 2호기 발전소 소개, 연료 장전 이력, 연대순 연료 손상 및 조치 경위, 그리고 제8, 9주기 연료 손상 이력 등을 소개하였으며, 이어서 핫셀 시험 결과, 소내 저장조 연료 검사 결과 및 집합체 진동



한전 기술지원단 일행과 브라질 Angra 원전 관계자

실험 결과 순으로 참석자들의 진지한 관심과 질의 및 응답 속에 발표회를 진행하였다.

기술지원단은 Nuclen사 담당 분야 국장(Superintendent) Mr. L. O. Deppe, 수석 기술 고문 Dr. W. Lepecki 및 실무진 등이 참석한 가운데 Nuclen사로부터 Angra 1호기 현황 및 후속 대책 계획을 청취한 후, Nuclen사의 관심 사항에 대하여 의견을 교환하였다.

Angra 1호기의 다음 주기인 제7 주기는 현재의 지멘스 연료 재장전 이외에는 대안이 없는 실정으로 이미 10월말 현재 연료 장전 준비는 이미 완료되었으며, 특히 하계 전력 성수기(12월~2월) 진입을 앞두고 최근의 한발로 인한 수력 발전 부족으로 Angra 1호기의 재가동이 시급하나,

규제 기관으로부터의 장전 허가 지연에 따라 매일 약 50만달러의 대체 전력 비용 손실을 감수하고 있는 실정이었다.

한편 브라질 규제 기관은 손상 발생이 필연적인 연료를 재장전하는 것에 대하여 기본적으로 부정적인 입장이며, 6주기 사용 연료에 대한 정밀 육안 검사 결과 일부 연료의 지지 격자에서 인접 연료와의 과도한 마찰 및 균열로 의심되는 흔적이 발견됨에 따라 인접 연료간의 마찰 및 충격으로 인한 집합체의 구조적 건전성 상실, 특히 집합체 변형으로 인한 제어봉 삽입 실패에 대하여 강한 우려를 제기하고 있다는 설명이 있었다.

Nuclen사는 이러한 규제 기관의 입장을 설명하면서 기술지원단에게 규제 기관 답변에 도움이 될 수 있도

록 Angra 1호기 연료 검사 결과를 검토한 후 자문해 줄 것을 요청하였다.

제8, 9주기는 웨스팅하우스사 연료 사용을 고려중이며, 제10주기 이후 연료는 현재 지멘스사가 제안중인 새로운 설계 변경 연료가 사전 실증 실험을 통하여 성능이 입증되면 웨스팅하우스사 연료와 지멘스사 연료 중에서 결정할 계획이라고 하였으나, Angra 2호기 건설을 지멘스사에 크게 의존하고 있는 등 지멘스사와 브라질과의 특수한 정치·경제적 관계로 미루어 볼 때 지멘스사 연료를 배제하기에는 난관이 많을 것 같았다.

특히 99년 상업 운전을 목표로 하고 있는 Angra 2호기는 지멘스사 연료를 사용할 예정으로 연료 성형 가공 공장을 웨스팅하우스형과 지멘스형 2가지 형태로 유지하는 것은 비효율적이므로 결국 제10주기 이후에는 다시 지멘스사 연료로 정해지지 않을 까 하는 느낌이었다.

11월 11일 화요일 오전에는 리우 데자네이루로부터 남쪽 해안을 따라 약 200km 떨어진 Angra 원자력발전소로 이동하였다.

도착 후 연료 관련 부서와 별도의 독립적 검토 조직으로 구성된 대책반을 상대로 고리 2호기 연료 손상 경험을 발표하였다.

발표 및 질의·응답 후 Angra 1호기 검사 결과와의 비교 평가를 위하여 Angra 1호기 관계자들과 함께 고

리 2호기 결합 연료 녹화 테이프를 검토하였다.

11월 12일에는 Angra 1호기 제6주기 연료 검사 결과 녹화 테이프를 검토하면서 Angra 1호기 관계자들의 관심 사항에 대하여 질의·응답을 수행하였다.

Angra 1호기 제6주기 연료에 대한 검사는 우선 원자로 내 제장전 기증기에 설치된 in-mast sipping 장비로 매 연료 인출시마다 누설 검사를 수행하였으며, 연료 인출 완료 후 사용후 연료 저장조에서 사용 연료 전량에 대하여 wet sipping 장비에 의한 누설 검사 및 정밀 육안 검사를 수행하였다.

이 가운데 육안 검사는 스페인의 Technatom사에 의한 용역으로 수행되었다.

Angra 1호기측은 브라질 규제 기관으로부터 각 연료별로 확인된 이상 상태에 대하여 재사용에 대한 정당성 제시를 요구하는 상세한 질의를 받아 놓고 있는 상황이었으며, 이에 대한 답변 작성을 위하여 주요 이상 상태에 대한 기술지원단의 자문을 요청하였다.

육안 검사 결과 중 가장 큰 관심사가 되고 있던 것은 지지 격자의 건전성 여부로서, 동서 방향의 지지 격자 외부 스트랩 표면의 납땜 용접 흔적이 소멸된 것으로 확인됨에 따라 남북 방향으로의 집합체 진동에 의해 과도한 지지 격자 마찰이 발생한 것

으로 의심되고 있었으며, 일부 지지 격자 표면에서 발견된 검은 선이 과도한 마찰 및 충격에 의한 축방향 균열인지의 여부가 논란이 되고 있었다.

한편 규제 기관은 이러한 검사 결과에 의거, 제7주기 운전중 지지 격자 충격 및 변형에 의한 제어봉 삽입 실패가 발생할 가능성이 없음을 입증할 것을 요구하고 있었다.

이러한 지지 격자 상태에 대하여 기술지원단은, 검사 자료만으로는 확인된 검은 선이 축방향 균열인지의 여부를 확인할 수 없으나 지지 격자의 기계적 강도 설계 기준 및 취급중 손상에 의해 지지 격자 외부 스트랩 일부가 찢어진 연료를 이상 없이 재사용한 한국전력공사의 경험에 비추어, 한 주기 동안 재사용할 경우에도 집합체의 구조적 건전성에 심각한 영향을 미칠 정도의 손상은 발생하지 않을 것으로 의견을 제시하였다.

그밖에 각 연료별로 발견된 주요 이상 정후에 대한 검토 및 자문 내용은 다음과 같다.

1개 연료봉의 상부 봉단 마개 용접부가 변색된 연료에 대하여 Angra 1호기측은 변색이 원주 방향 균열인지의 여부를 문의하였다.

이에 대하여 발견된 변색을 원주 방향의 균열로 단정하기는 어려우며 누설 검사 결과가 정상이므로 재사용이 가능한 것으로 권고하였고, 고리 2호기 연료 손상시 2차 수소화에 의

해 절손된 상부 봉단 마개는 모두 연료봉 위 또는 상단 고정체의 유로 구멍에 압착된 상태로 발견되었으며 이 물질화하거나 2차적 손상을 유발하지는 않았음을 설명하였다.

1번 지지 격자인 최하단 지지 격자 스프링 바로 옆에 보이는 밝은 점에 대하여 Angra 1호기측은 지지 격자-연료봉간의 마모 흔적인지 여부와, 집합체 진동에 의한 지지 격자-연료봉 마모가 주로 중간 지지 격자에서 나타나는데 1번 지지 격자에서도 지지 격자-연료봉 진동 마모가 발생 가능한지를 문의하였으며, 지지 격자-연료봉 진동 방지를 위하여 가장 중요한 역할을 하는 것으로 알려진 1번 지지 격자에서 진동 마모가 발생한 연료를 재사용할 수 있는지에 대한 의견을 요청하였다.

이에 대하여 우선 고리 2호기의 경우에도 드문 예이기는 하나 1번 지지 격자에서 진동 마모가 발생한 사례가 있음을 설명하고, 검사 자료만으로는 지지 격자-연료봉 진동 마모인지를 단정하기는 어려우며 누설 검사 결과가 정상이라면 재사용이 가능한 것으로 권고하였다.

1개 연료봉의 하부 봉단 마개 용접부의 개방형 결합을 가진 연료에 대하여 Angra 1호기측은 재사용이 가능한지 여부를 문의하였다.

이에 대하여 이미 관통형 결합이 발생하였으며 재사용시 봉단 마개 절손이 우려되므로 재사용하지 않도록

권고하였다.

녹화 테이프 검토 후 종합적인 의견으로 지지 격자 건전성에 있어서는 한 주기 동안 재사용시 집합체의 구조적 건전성에 심각한 영향을 미칠 정도의 손상은 발생하지 않을 것으로 판단되며, 규제 기관의 제어봉 운전 가능성 입증 요구에 대하여는 설계 변경 연료로서 2회 연소 후 방출된 연료에 대하여 사용후 연료 저장조에서 제어봉 인양 부하 측정 시험을 수행한 후 그 결과를 제출하도록 권고하였다.

또한 현재의 계획대로 연료를 장전하여 기동할 경우 연료봉 손상이 필연적이므로, 검사 결과 경미한 이상 징후를 보이는 연료에 대하여는 cost and benefit 관점에서 재사용을 고려하는 것이 합리적임을 권고하였다.

연료 검사 결과에 대한 의견 자문 후 Angra 1호기측 요청에 따라 한국 전력공사의 연료 검사 절차와 초음파 검사의 원리 및 절차에 대하여 소개하였다.

Angra 1호기의 경우 연료 손상 징후가 없을 경우에는 육안 검사를 수행하지 않고, in-mast sipping 장비에 의한 누설 검사만 매 재장전마다 사용 연료 전량에 대하여 수행하고 있었다.

한국전력공사는 매 재장전시마다 사용 연료 전량에 대하여 육안 검사를 수행하고 연료 손상 징후가 있을

경우에는 절차에 의거 선정된 연료에 대하여 초음파 검사를 수행하고 있음을 소개하고 초음파 검사와 누설 검사(sipping test)의 장단점에 대하여 설명하였다.

11월 13일 오전에는 Angra 1호기 원자로 건물 및 연료 건물을 방문하였다.

Angra 1호기는 사용후 연료 조밀 저장대 설치 공사를 지난 10월 완료하여 사용후 연료 저장용 조밀 저장대 1,000개 및 최대 농축도 5w/o까지 저장 가능한 신연료용 252개 등 모두 1,252개의 저장 용량을 갖추고 있었다.

원자로 건물의 재장전 기증기에 설치된 in-mast sipping 장비는 초기 웨스팅하우스사로부터 도입된 장비를 일부 개조하고, 제어 계통 및 계측기는 70,000달러의 비용으로 브라질 국내 대학의 연구 개발에 의해 공급받은 것으로 양호한 성능을 보이고 있다는 설명이었으며, 이는 이번 제6주기 연료 인출시의 검사 결과 기록지 검토를 통하여도 확인할 수 있었다.

이날 오후에는 Angra 발전소 간부를 대상으로 고리 2호기 연료 손상 경험 발표회를 갖고 Angra 1호기 연료 검사 결과에 대한 질의 및 응답 시간을 가졌는데, 이 자리에는 Angra 1호기 점검을 위해 당시 현지에 체류 중이던 미국 원자력발전운전협회(INPO) 점검단도 함께 참석하였다.

11월 13일 저녁 다시 리우데자네

이루로 이동하여 11월 14일 오전에는 Nuclen사 Mr. L. O. Deppe, 수석 기술 고문 Dr. W. Lepecki 및 실무자와 함께 종결 회의를 가졌다.

Angra 1호기 연료 검사 결과 검토 의견을 설명한 후 16×16형 개량 연료 개발과 미연소 연료 수리 등 향후 상호 협력 방안에 대하여 폭넓은 의견을 교환하였다.

Nuclen사는 미연소 연료로부터 연료봉을 인출하여 다른 골격체(skeleton)로 재조립(reassembly)하는 수리 방안에 대하여 자문을 요청하였다.

이에 대하여 지원단은 우선 성능이 입증된 골격체가 결정되어야 하고, 피복관 마모 확인을 위하여 와전류 검사가 선행되어야 하며, 피복관 마모 정도에 따라 재사용이 불가능한 연료봉을 선별하기 위한 재사용 기준이 설정되어야 하는 점을 설명하였다.

아울러 재사용이 불가능한 연료봉 개수가 적을 경우에는 스테인리스 스틸 봉으로 대체할 수 있으나, 많은 경우에는 다른 집합체의 연료봉과 조합하여 한 연료를 구성하여야 하며, 이 경우에는 핵설계 측면에서 상당한 어려움이 있을 수 있고, 다른 설계자의 골격체가 사용될 경우 연료 건전성 보증의 어려움 및 혼합 노심 구성에 따른 안전 해석과 인허가 취득을 위한 추가 비용 등 예상되는 문제점을 제시하였다.

한편 Nuclen사는 이미 연료 수리 장비를 지멘스사에 발주하여 내달 중 인수 예정으로 있으며, 앞으로 노내의 실증 시험 및 단계적 장전을 통하여 미연소 연료의 수리가 성공적으로 진행된다면 자사의 수리 경험을 한국전력공사에 제공할 용의가 있음을 피력하였다.

오후에는 INB사의 요청에 의해 INB사 부사장 Mr. Ronald Araujo da Silva, 연료 설계 책임자 Mr. Roberto G. Esteves 등과 함께 회의를 갖고 Angra 1호기 연료 검사 결과, 미연소 연료 수리 및 웨스팅하우스형 연료 설계·제조 기술 도입시 한국원전연료(주)의 생산 공정 설계 변경 경험 등을 설명하였다.

INB사는 Angra 1호기 미연소 연료 수리 작업은, 장비 자격화 시험과 최초 수리 작업을 INB사 수리 요원 교육과 병행하여 지멘스사 주관으로 수행하고, 이후 작업은 INB사가 수행할 계획임을 설명하였다.

INB사와의 회의를 끝으로 공식적인 기술 지원 활동을 모두 마치고 11월 14일 리우데자네이루발 항공편으로 뉴욕을 경유, 11월 16일 김포공항에 도착하였다.

**맺는말**

브라질은 전력의 대부분을 수력에 의존하고 있으며 가동중인 원전은 Angra 1호기뿐이며 전체 발전 용량

중 원자력이 차지하는 비중은 미미한 수준이다.

뿐만 아니라 83년 7월 상업 운전을 시작한 고리 2호기는 운전 주기가 현재 13주기에 달하는 반면, 고리 2호기보다 불과 1년 남짓 뒤진 85년 1월 상업 운전을 시작한 Angra 1호기의 현재 운전 주기는 7주기에 불과할 정도로 평균 이용률 실적이 낮은 수준이며, 76년 5월 착공된 Angra 2호기는 자금난 등으로 인한 공정 지연으로 99년에야 상업 운전을 시작할 전망이다.

그러나 이와 같은 원자력 산업 여건 속에서도 Nuclen사 본사나 Angra 발전소에서 접촉한 원자력 종사자들의 개인적 자질은 매우 우수한 것을 느낄 수 있었는데, 이는 아마도 다른 분야보다 상대적으로 원자력 산업에 고급 인력이 종사하고 있기 때문인 듯 싶었다.

Angra 1호기는 연료 손상 재발로 인하여 재가동 지연, 240다발에 이르는 미연소 연료 발생 등 막대한 경제적 손실을 겪고 있는 것을 볼 때, 고리 2호기 연료 손상 발생 당시 성능이 입증된 연료를 사용하기로 한 한국전력공사의 결정은 현명한 선택이었으며, 앞으로 새로운 연료 설계 도입시에는 철저한 사전 성능 검증이 필요함을 새삼 실감할 수 있었다.

기술 지원 기간 중 Nuclen사, INB사 및 Angra 발전소 직원들은 모두 한국전력공사의 자문 내용을 경

청하고 깊은 관심과 성실한 태도를 보였으며, 한국전력공사와 Nuclen사는 같은 전력 회사의 입장에서 유익한 정보를 교환할 수 있었던 점을 높이 평가하고 앞으로도 지속적인 협력을 다짐한 바, 금번 기술 지원은 한국전력공사의 성숙한 원전 운영 경험과 기술 능력을 보여 준 좋은 기회가 되었다.

브라질은 백인이 절반 이상을 차지하는 가운데, 메스티조(백인과 인디오의 혼혈)·흑인·황인종 등 다양한 인종이 혼혈을 거듭하여 지금은 인종 구성을 조사하는 것 자체가 무의미할 정도로 다양한 인종 구성을 보이고 있다고 한다.

실제로 출장 기간 중 리우데자네이루에서의 숙박지였던 코파카바나 해변에서는 흑인 남성과 백인 여성의 커플은 물론 백인에게 가까운 부모와 흑인에게 가까운 아들로 이루어진 가족도 종종 발견할 수 있었다.

짧은 일정 속에 제한된 지역을 다녀온 후 남미 대륙의 절반에 달하는 광대한 국토와 함께 다양한 얼굴을 지닌 브라질에 대한 감상을 이야기한다는 것은 당연히 성급한 일이 되겠지만, 출장 기간 중 만난 많은 브라질인들이 힘주어 강조한 것처럼, 낙천적이고 열정적인 기질 가운데 이러한 다양성 가운데에서 평등한 삶을 누리는 모습이 브라질의 대표적인 특징의 하나임에 틀림이 없는 것 같다. ☺