2002년 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

모로코의 원자력 프로그램 및 우리나라와의 협력방안 분석
Analysis on the Nuclear Cooperation between Korea and Morroc

이한명, 오근배
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

본 논문에서는 모로코와의 원자력 기술협력 방향 설정을 목표로, 모로코의 원자력 이용개발 현황을 파악하고, 관련 정책을 조사하며, 이를 기반으로 양국간 원자력분야의 협력 가능 분야를 분석하고자 한다. 이를 위해 모로코의 원자력 이용개발 현황, 해수담수화 사업현황을 조사하고 이를 바탕으로 양국간 원자력협력 가능분야를 조사 분석한 후, 이를 구체화하기 위한 추진 방안을 제시하였다. 우리나라와 모로코가 우선적으로 협력할 수 있는 분야로는 중소형 원자로를 이용한 해수담수화 사업, 원자력 인력양성 및 교육체제 수립, 국가 원자력정책 지원기반 수립, 원전 도입 타당성 조사 등을 제안할 수 있다.

Abstract

The objective of this article is to analyze the direction for cooperation between Korea and Morocco. It aims to review Moroccan nuclear program and related policies, and to identify the common interests between two countries. In this regard, energy demand and supply plan, nuclear development program, desalination program of Morocco are surveyed and analyzed. Based on the analysis, the possible areas for future cooperation between two countries are identified and its implementation strategies are suggested.

1. 서론

2001년 10월 모로코 마라케쉬에서 개최된 기후변화협약 제7차 당사국회의에서는 선진국들의 온실가스 감축을 위한 구체적 이행방안에 대한 합의가 이루어졌다. 기후변화협약의 의무이행

을 위해서는 에너지 이용이 제약을 받을 수밖에 없으며 이 문제는 지속가능한 개발(Sustainable Development)과 밀접히 연관되어 있다. 특히 21세기의 세계 에너지 수요 증가의 대부분을 차지할 것으로 예상되는 개발도상국의 입장에서는 경제성장을 유지하면서 기후변화협약에 동참할 수 있는 이중의 목표 달성에 대한 시책이 절실하게 요구된다. 이러한 관점에서 볼 때 원자력은 이들 목표를 달성하기 위한 적절한 수단의 하나로 고려되고 있다. 향후 원자력발전의 도입을 신중하게 고려하고 있는 국가들로는 아시아 지역 국가 이외에 아프리카 국가들이 있으며 특히 모로코, 이집트와 같은 북아프리카 지역 국가들은 해수담수화를 위해 원자력 기술 선진국과의 교류를 활발히 추진하고 있다. 따라서 우리나라도 이들 국가의 원자력 이용개발 현황을 파악하고 이들과의 교류를 확대하여 장래의 해외 원자력 시장 확보에 대비하여야 할 것이다.

2. 모로코 원자력 이용개발 현황

모로코는 부존 에너지 자원이 거의 없으며 석유와 석탄 등 에너지 수요의 90% 정도를 수입에 의존하고 있다. 1998년 모로코의 1차 에너지 소비량은 9.34백만toe(ton oil equivalent)이며, 일인당 일차에너지 소비량은 0.34toe으로 우리나라 일인당 소비량의 약 1/10 수준이다.

<표 1> 모로코의 에너지 수급현황

석유 확인 매장량 (2001년 초)	180만 barrel (bbl)
석유 생산 (2000년)	1200 bbl/day (원유생산량 200 bbl/day 포함)
석유 소비 (2000년)	149,000 bbl/day
석유 수입 (2000년)	147,800 bbl/day
원유 정제 능력 (2001년 초)	156,630 bbl/day
천연가스 매장량 (2001년 초)	470억 ft^3
천연가스 생산/소비량 (1997년)	14억 ft^3
석탄 가채 매장량 (1996년 말)	600만 short ton
석탄 생산 (1999년)	32만 short ton
석탄 소비 (1999년)	385만 short ton
석탄 수입 (1999년)	353만 short ton
발전용량 (1999년 초)	4100 MWe
발전량 (1999년)	1370억 kWh

자료) Morocco energy oil information, January 2001, Energy Information Administration (http://www.eia.doe.gov)

모로코의 일차에너지 소비량을 원별로 보면 석유 66.6%, 석탄 27%, 신재생 4.5%, 수력 1.6%, 가스 0.3%를 점하고 있다. 1998년 모로코의 전력소비량은 14.27 TWh이며 일인당 전력소비량은 514kWh로 우리나라 일인당 소비량의 약 1/9 수준이다. 모로코의 전력은 모로코 전력공사(ONE)가 90%, 민간회사가 10%의 전력을 공급하고 있다. 1998년 모로코의 발전시설은 화력이 84%, 수력이 16%를 차지하며, 전력소비량 증가율은 최근 년 평균 7%에 이르고 있다.

모로코의 원자력 관련 주요 정부기관은 고등교육과학부 (MESRS : Ministry of High Education and Scientific Research)와 에너지 광물부 (MEM : Ministere de l'Energie et des Mines)이다. 에너지광물부 산하에는 수자원공사 (ONEP : Office National de l'Eau Potable)와 전력청 (ONE : Office National de l'Electricite)이 있으며 이중 ONEP는 해수담수화 사업의 타당성 연구 및 사업계획을 수립하고 ONE는 발전소 건설 운영 업무를 담당한다. 고등교육과학부 산하의 원자력과학기술연구소 (CNESTEN : Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléarires)는 방사성동위원소 응용부문의 연구를 중심으로 상업원자로 도입 타당성조사를 위한 기술지원, 원자로계산, 중소형로 및 차세대원전동향 분석, 해수담수화 관련 연구 등 원자력분야의 기술지원을 하고 있다. 2002년 현재 CNESTEN은 라바트에서 20km 정도 외곽에 위치한 Maamora 지역에 원자력연구센타 (CEN)를 건설중에 있으며 이의 일환으로 열출력 2 MW급의 TRIGA 연구로를 미국과 프랑스의 지원하에 설치중에 있다. 모로코는 1957년 9월 17일 창설멤버로 국제원자력기구에 가입한 이래 수원국으로서 국제원자력기구의 기술협력 사업 지원을 받고 있으며, 이를 분야별로 정리하면 표 2와 같다.

모로코는 에너지 해외 의존의 심화, 환경에 미치는 화력발전의 부정적 영향, 이용 가능한 수력발전의 한계, 빈약한 부존 에너지자원 등을 감안하여, 원자력발전을 전력 문제를 해결할 수 있는 방안의 하나로 고려하여 왔다. 이에 따라 모로코 전력청은 원전 도입을 위한 부지 및 타당성 조사를 1984년부터 국제원자력기구 및 프랑스 SOFRATOM의 지원하에 수행하였다. 부지 및 타당성 조사는 1998년 완료되었으며 모로코 정부는 Sidi Boulbra에서 원자력발전소 부지를 선정하게 되었다. 현재 모로코 전력공사는 600 MWe급 또는 그 이하 규모의 원자력발전소를 2010-2015년경에 도입하는 것을 목표로 한 타당성 조사 결과 보완 작업을 국제원자력기구의 지원하에 수행하고 있다. 또한 모로코는 원전 1호기 도입을 위한 사전계약 활동을 위한 작업도 국제원자력기구의 지원으로 수행하고 있다. 동 사전계약 활동을 통하여 모로코 전력공사는 Sidi Boulbra에 원자력발전소를 건설하기 위한 공급자를 선정하기 위한 입찰 안내서를 준비할 예정이다.

<표 2> 모로코의 IAEA 기술협력사업 수원 분야 및 내용

분 야	기술지원 내용	비고
원자력 일반	원자력법령 정비, 원자력연구센터 설립, 인력개발, INIS 데이터베이스 이용, 교육 및 훈련센터 설립	TRIGA 연구용 원자로 도입 결정
원자력 물리	핵물리 및 방사화학 연구시설 정비 - 중성자방사화분석, x-ray 형광분석기술	모하메드 5세 대학 실험실 지원
핵물질 탐사	전국토 우라늄 탐사작업, 전산화된 Databank 수립	
원자력 공학	원전도입 타당성조사, 원자력기기 유지보수 능력향상, 방사성의약품 생산시설 설계/건조, 원자력해수담수화 예비조사	요오드-131, 인-32 등 생산
농학적 이용	방사성추적자 이용, 방사성면역법, 돌연변이에 의한 품종개량, 토양의 생산성증대	프랑스가 Co-60 조사시설 설치 지원
의학적 이용	핵의학 진단기술, 의료용 선형가속기 도입	
산업 응용	동위원소 수문학 도입, 방사성동위원소 연대측정법, 비파괴검사 훈련 프로그램	
안전성	중앙방사선방호센터 시설 및 인력보강, 방사선비상계획 및 환경방사선감시 기술	

3. 해수담수화사업

1990년대 초반 국제원자력기구(IAEA)는 아프리카 국가들의 담수화 사업을 지원하기 위하여 지역내 기술협력 사업에 착수하였다.[1] 동 사업은 원자력 에너지를 이용한 해수 담수화 사업의 타당성 연구를 수행하고, 해수담수화와 관련된 의사결정을 지원하기 위한 기술적, 경제적 정보를 축적하는 것을 목표로 하며 모로코 이외에 알제리, 리비아, 이집트 및 튀니지의 북아프리카 지역 5개국이 참여하였다. 이들 북아프리카 지역국가들은 1970년대 중반부터 해수담수화 설비를 도입하여 왔으며 1989년 말 조사 당시 약 900,000 ㎥/d의 담수 시설이 운영되고 있는 것으로 집계되었다. 이들 중 가장 큰 용량을 보유하고 있는 국가는 리비아로 지역 전체 담수시설의 69%를 점하고 있으며 모로코는 1%를 점하고 있다.

현재 모로코에는 Laayoune 및 Boujdour 2개 지역에서 화석연료를 이용한 해수담수 시설을

1) 본 사업은 아프리카 지역내의 기술협력 사업의 하나로 수행되었으며 사업명은 Water Desalination Using Nuclear Heat Reactors (RAF/4/010) 이다.

가동중에 있으며, 그외 Agadir, Tantan 및 Essaouria 지역에서 해수담수화 사업을 검토하고 있다. 현재의 국가개발계획을 위한 수자원 소요와 수자원 공급계획을 비교해 보면 일부 지역에서는 2020년부터는 물부족이 발생할 것으로 예상된다.[2)]

<표 3> 모로코의 해수담수 부지 현황

부지	기존공급원		후보공급원		비고
	용량 (㎥/d)	포화년도	용량 (㎥/d)	포화년도	
Laayoune	7,000	2000	14,000	2020	기존시설의 용량 증대로 지역의 물부족을 당분간 해결
Boujdour	800	2020	-	-	기존시설은 지역의 물수요를 장기적으로 충족
Agadir	-		45,000	2030	신규 설치 검토 중
Tan-Tan	-		8,000	2020	신규 설치 검토 중
Essaouria	-		13,000	2020	신규 설치 검토 중

물부족 문제를 해결하기 위한 방안의 하나로 모로코는 1995년 7월 국제원자력기구에게 기술지원을 요청하였고 이에 따라 소형 열생산용 원자로를 이용한 해수담수 시범 생산시설에 대한 예비연구를 국제원자력기구의 기술협력사업의 틀 안에서 중국과 공동사업으로 수행하게 되었다. 예비 연구에서 설계할 10 MWt 급 열생산 원자로의 설계는 중국 Tsinghua 대학의 INET (Institute of Nuclear Energy Technology)에서 1989년부터 가동하고 있는 5MWt 급을 바탕으로 하였다. 원자로와 결합될 담수 처리시설로는 MSF (Multi-Stage- Flash) 방식과 MED (Multi-Effect-Distillation) 방식을 비교한 결과, 열 소비율이 작고, 부식 및 스케일 (scale)에 강한 MED 방식이 채택되었다. 이에 따라 모로코 에너지 광물부와 중국 과학기술위원회는 1996년 9월 협력협정을 체결하고 Tan-Tan 지역에 대한 공동연구에 착수하여 1998년 11월 예비 연구를 완료하였다. 이후 모로코는 상용화 추진여부를 검토하여 오다가 2000년 6월에 동

2) Nuclear Desalination of Sea Water, Proceedings of a Symposium, Taejon, Republic of Korea 26-30 May 1997, IAEA, 1997, p136

원자로의 도입을 중단하는 것으로 국가 방침을 결정하고, 최근에 개발중에 있는 다양한 원자로를 대상으로 자체적인 검토 및 기술협력방안을 검토하고 있다.

원자력을 이용한 해수담수화에 관심을 가지는 국가가 증가함에 따라 국제원자력기구는 이들을 지원하고 이들 국가간의 협력을 증진하기 위한 기술협력 사업에 착수하였다. 1999년 시작된 지역간 협력사업의 명칭은 "Integrated Nuclear Power and Desalination System Design (INT/4/134)"으로 해수담수 및 발전 목적으로 사용할 수 있는 소형원자로와 결합된 원자력담수 시스템을 위한 최적화된 모델을 수립하는 것을 목표로 하고 있다. 이러한 기술의 개발에 관심을 표명하고 있는 국가로는 우리나라, 모로코, 아르헨티나, 중국, 이집트, 인도, 인도네시아, 러시아, 남아공, 시리아, 튀니지 등이 있다. 동 기술협력 사업을 통하여 IAEA 사무국은 2000년 1월부터 회원국들과 접촉하여 이들의 필요와 기회를 더욱 상세히 파악하기 위한 협의를 시작하였으며, 이 과정에서 인도네시아, 파키스탄, 이란 및 튀니지로부터 구체적인 요구내용을 접수하였다. 이에 따라 사무국은 2000년 6월에는 튀니지, 2000년 7월에는 인도네시아로 장래의 기술 파트너와의 협력 방안을 수립할 수 있도록 조사단을 파견하였다. IAEA는 현재까지 파악된 잠재적인 최종이용자들의 구체적인 요구에 근거하여 2001년부터는 최종이용자들이 타당성연구에 착수할 수 있도록 본 기술협력 사업을 관리해 나갈 것이며, 기술제공자들은 IAEA를 통하여 타당성연구를 지원하게 된다. 타당성 연구가 완료되면 최종 이용 각국의 구체적 조건을 고려한 원자력 열병합발전 최적의 후보 조합을 도출할 수 있을 것으로 기대되며, 의사결정자들에게 다음 단계의 이행계획을 위한 합리적인 근거를 제공할 수 있을 것으로 전망된다.

4. 양국간 원자력 협력방향 및 추진방안

이상에서 살펴 본 바와 같이 모로코는 여러 분야에 걸쳐서 원자력 이용개발을 위한 기초지식과 경험을 축적하고 있다. 모로코와 우리나라가 협력할 수 있는 분야로는 동위원소 생산이용 분야에서 의료용 동위원소 kit 생산, 추적자 이용 등에 대한 기술협력이 가능하며, 연구로 이용 분야에서는 원자로 운전, 유지·보수에 대한 협력이 가능할 것으로 전망된다. 원전 도입 및 해수담수화 분야와 관련하여서는 부지평가, 중소형 원자로개발, 설비공급 등에 대한 기술협력이 가능할 것으로 분석된다. 그 외 방사선방호 및 원자력안전성분야에서는 방사선 안전규제 및 비상계획 수립에 대한 협력이 가능하고 원자력일반 분야에서 인력양성 및 국가원자력정책 지원기반수립을 위한 협력이 가능할 것으로 전망된다. 이러한 분야 중에서 모로코와 우리나라가 우선적으로 협력을 추진할 수 있는 분야로는 해수담수화, 인력양성, 국가원자력정책수립 지원, 원전도입 타당성 조사 등이 적합할 것으로 사료된다.

<표 4> 한국과 모로코간 원자력 협력 가능 분야

협력분야	대상기관	협력내용	시행방안	경비분담방안
해수담수화	- KAERI, 두산중공업 - CNESTEN, ONEP	SMART 설계, 건조	SMART 설계, 담수시설과의 계통연결 분야에 대한 OJT 실시	IAEA fellowship 신청
인력양성	- 원자력공학과 설치 대학 - 모하메드 5세 대학	원자력공학 전공 석·박사과정 유치	원자력공학과정을 운영중인 대학의 장학생 지원제도 활용	KOICA 등을 통한 경비 지원 방안 강구
국가 원자력정책 지원기반 수립	- KAERI - CNESTEN, 에너지광산부, 고등교육과학부	국가 원자력 이용개발계획 수립을 위한 정책분석 전담부서 창설 지원	모로코 원자력 관련 고위직을 한국원자력연구소에 유치	IAEA의 Scientific Visit 신청
원전 도입 타당성 조사	- 한수원 - ONE, CNESTEN	원전도입 타당성 조사 및 입찰 평가, 재원 조달 등	한국전력의 원전사업 경험을 중심으로 모로코측 중견관리자를 대상으로 OJT 실시	공동경비 부담조건으로, 모로코측은 항공료를 부담하고 한국측은 체재비 부담

모로코와의 원자력분야의 기술협력을 정착시켜 나가기 위한 수단으로는 양국간 원자력 협력협정의 틀 안에서 구체적 계획이 수립·시행되는 것이 바람직하다. 모로코가 지리적으로, 언어적으로, 문화적으로 우리나라와 가장 멀리 떨어져 있는 국가들 중의 하나라는 점을 감안하면 우리의 협력전략은 모로코가 우리나라에 대한 관심을 지속적으로 유지시킬 수 있게 추진되어야 할 것이다. 따라서 실무차원에서는 기관간 협력약정을 체결하여 인력 및 정보 교류를 위한 기반을 마련하고, 협력 초기에는 우리나라는 기술공여국의 입장에서 가능한 모로코의 비용을 최소화하는 쪽으로 협력전략을 설정하여야 할 것이다.

한국과 모로코 양국간의 직접적인 교류 이외에 국제원자력기구 (IAEA)를 매개체로 활용하여

협력을 가속화시키는 방안을 고려할 수 있다. 즉 IAEA는 다양한 수준의 기술협력사업 (Technical Cooperation Project)을 통하여 회원국들의 원자력기술 수준을 향상시키기 위한 활동을 전개하고 있으므로, 이에 동참하여 비용 효과적으로 협력 목표를 달성할 수 있을 것으로 전망된다. IAEA의 기술협력 사업은 국가별 기술협력 지원사업 이외에 아시아, 아프리카 등 지역내 협력사업 (Regional Technical Cooperation Project), 또한 전 세계를 대상으로 하는 지역간 기술협력 사업 (Inter-regional Technical Cooperation Project)이 있으며, 지원수단 또한 전문가 (Expert)지원, 과학자 방문 (Scientific Visit), 훈련생 교육 (Fellowship Training), 기기 공급 (Equipment Supply), 세미나 및 워크숍 개최 등 다양한 형태를 띠고 있다. 따라서 양국간의 협력에 있어서 이러한 체제를 적절히 활용하면 협력성과를 보다 충실히 할 수 있을 것으로 전망된다.

5. 결론

우리나라가 모로코와 우선적으로 협력할 수 있는 분야로는 중소형 원자로를 이용한 해수담수화 사업, 원자력 인력양성 및 교육체제 수립, 국가 원자력정책 지원기반 수립 분야를 들 수 있다. 해수담수화 사업은 우리나라의 입장에서는 개발중인 SMART 원자로의 수출후보국으로서 모로코와의 적극적 협력이 필요하며, 모로코는 점증하는 담수 수요를 공급하기 위해서는 대용량보다는 중소형의 다목적 원자로의 도입이 필요한 상황이다. 원자력 인력양성 및 교육체제 수립은 모로코의 원자력 전공 대학과정을 강화하기 위하여 모로코측에서 한국과의 협력에 관심을 표명한 분야로, 국내 대학에서 모로코의 원자력 관련 인물을 양성할 경우, 장기적으로 긍정적인 효과를 낼 것으로 기대된다. 국가 원자력정책 지원기반 수립은 모로코의 국가 원자력정책 수립에 필요한 전문분석 조직 구성과 그 운용방안을 확립하기 위한 것으로, 기 축적된 우리나라의 경험을 활용할 수 있고 향후 모로코 원자력 정책수립 지원을 위한 중심인물들과 직접 교류할 수 있는 경로를 개척한다는 측면에서 우리나라에도 유용한 분야라 할 수 있다. 원자력발전소 도입 타당성조사 지원은 원자력발전소 수출을 위한 사전 활동으로 필요하며, 한수원 등에서 입찰안내서 작성 및 입찰평가 등을 협력할 수 있을 것이며 향후 우리나라가 단독으로 또는 외국 기업과 공동으로 모로코 시장에 진출하기 위한 초석이 될 것으로 전망된다.

참고문헌

1. Morocco energy oil information, January 2001, Energy Information Administration, (http://www.eia.doe.gov)
2. International Energy Agency, Energy Indicators per Country,

http://www.iea.org/stats/files/selstats/keyindic/nmc
3. IAEA-TECDOC-898, Options identification programme for demonstration of nuclear desalination, IAEA, 1996
4. IAEA-TECDOC-917, Potential for nuclear desalination as a source of low cost potable water in North Africa, IAEA, 1996
5. Nuclear Desalination of Sea Water, Proceedings of a Symposium, Taejon, Republic of Korea 26-30 May 1997, IAEA, 1997
6. GOV/2886/Add.1, Technical Cooperation - The Agency's Proposed Programme for 1997-98, IAEA, 1996
7. GOV/2957/Add.1, The Agency's Proposed Programme for 1998, IAEA, 1997
8. GOV/1998/59/Add.1, The Agency's Proposed Programme for 1999-2000, IAEA, 1998
9. GOV/1999/66/Add.1, Technical Cooperation - The Agency's Proposed Programme for 2000, IAEA, 1999
10. GOV/2000/50/Add.1, Technical Cooperation - Project Listings for 2001-2002, IAEA, 2000

후기

본 원고는 과학기술부 원자력 국제협력 기반조성사업으로 수행한 "한·모로코 원자력 협력기반 조성사업"의 일환으로 작성되었습니다.