ITER 사업 추진 현황

DOI: 10.3938/PhiT.19.062

정 기 정

Status of ITER Korea Project Activities

K. J. JUNG

ITER Korea is the Korean Domestic Agency (KODA) entity that is responsible for the ITER Project in Korea. Its main work is designing, manufacturing and delivering on time the Korean ITER contributions to the ITER Organization (IO). Five procurement items have been concluded Procurement Arrangements (PAs) with IO and Contract Awards with domestic industries. There have been some refinements of procurement sharing due to new ITER baselines and project design changes. Responsible procurement activities are progressing well on schedule to meet the ITER project requirements. This article describes the status of ITER Korea project activities that are currently being conducted in the KODA.

개 요

2050년이면 세계 인구는 약 90억 명을 넘어서는 것으로 예측되고 있다. 이 많은 인구가 지구상에서 기후변화를 최소화하려면 저탄소 녹색 성장을 이루는 길밖에 없다. 세계는 이미 이러한 글로벌 문제에 대하여 머리를 맞대고 있다. 유엔을 중심으로 교토 의정서, 코펜하겐 협정서 등 기후변화에 관한 국제 협상이 진행 중이다. 여기서도 근본적인 글로벌 이슈는 인류가 지속가능 성장을 이끌 저탄소 녹색 에너지를 인류가 어떻게 마련하느냐 하는 것이다.

정부도 세계 흐름에 발 빠르게 대응, 녹색 성장의 주춧돌로서 「제1차 국가에너지기본계획(2008~2030)」을 확정하여, 2030년까지 에너지 효율 46% 개선, 신재생에너지 비중 4.6 배 확대 등 녹색 에너지 개발을 위한 장기 에너지 기본 계획을 수립하였다. 에너지 자원 전략으로는 화석에너지의 비중을

현재의 83% 수준에서 2030년까지 61% 수준으로 축소하고, 신재생(2.4%→11%), 원자력(14.9%→27.8%) 등 저탄소 녹색 에너지의 비중을 확대해 나가겠다는 계획이 포함되었다. 이의 후속 조치로 정부는 녹색 성장에 대비한 기술개발을 목표로 27개 중점 육성 기술을 발표하였는데, 그 중의 하나로 ‘핵융합 기술’도 선정되어 있다.

핵융합기술은 우리가 일상에서 접하는 태양(핵융합)에너지를 지구상에서 생산하는 것이다. 핵융합에너지는 수소와 같은 가벼운 원자핵들이 1억도 이상의 아주 높은 온도에서 플라스마 상태로 서로 충돌·융합하는 과정에서 발생한다. 이때 아인슈타인의 상대성 이론에 따라 아주 작은 양의 질량 감소가 일어나면서, 이 감소된 질량이 엄청난 양의 에너지로 변하는 것이다. 따라서 핵융합에너지의 개발은 곧 지구 온난화의 주범인 이산화탄소의 배출을 원천적으로 없앨 수 있는 미래 청정 에너지원의 개발이라 할 수 있다.

반세기에 걸친 핵융합기술 개발의 역사에서 국제핵융합실험로(ITER) 프로젝트는 그 동안 축적된 연구 성과를 바탕으로 ‘지구상에서 핵융합에너지의 자체 생산 가능성’에 대한 과학적·공학적 타당성을 최종 실증하려는 목표로, 세계 초강대 7개국(한국, EU, 미국, 러시아, 일본, 중국, 인도)이 공동 투자하여 추진하는 세계 최대의 과학기술 국제협력 사업이라고 하겠다. 태양에너지와 같은 핵융합에너지를 지구상에서 실질적으로 활용해 보겠다는 것은 21세기 인류가 도전하는 가장 야심찬 과학기술 과제임에 틀림없다. ‘ITER’는 International Thermonuclear Experimental Reactor의 약자로, 라틴어로는 ‘길(Way)’이라는 의미로서, ‘인류의 미래 에너지 개발로 나아가는 길’이라는 뜻을 담고 있다.

본지 2008년 3월호(pp. 28~33)에 ITER 사업에 대하여 이미 자세히 소개한 바 있으므로, 여기에서는 이후 전개된 내용들을 중심으로 ITER 사업 추진 현황을 소개하고자 한다.

ITER 사업 현황

1985년 미·소 정상회담에서 채택된 ‘핵융합연구개발 추진에 관한 공동성명’을 계기로 시작된 ITER 사업에는, 당시 핵융합 선진국들인 미국, 러시아(구소련), 유럽연합(EU), 일본 등이 참여하고 있다. 1988년 국제원자력기구(IAEA) 산하에

저자약력

정기정 박사는 프랑스 국립공과대학교 화학공학과 공학박사(1985)로 현재 국가핵융합연구소 ITER 한국사업단장으로 재직하고 있다.
(kjjung@nfrj.re.kr)

Fig. 1. ITER design model with $R = 6.2$ m, $a = 2.0$ m, $I_p = 15$ MA, $B_T = 5.3$ T.

ITER 이사회(ITER Council)를 구성하면서 본격적으로 사업이 추진되었다. 1988년부터 3년 동안의 개념설계, 1992년부터 약 10년 동안의 공학설계를 마치고, 2001년 ITER 기준설계인 최종설계보고서(Final Design Report)가 완성되었다(그림 1. ITER 설계도 참조). 이후 한국, 중국, 인도가 추가로 참여하면서 7개 회원국으로 늘었고, ITER 건설 후보 부지와 공동이행협정(Joint Implementation Agreement)에 관한 협상을 거쳐, 2007년 10월 24일 프랑스 남부의 카다라쉬에 법인격을 가진 ITER 국제기구(IO: ITER Organization) 본부가 공식적으로 발족되었다.

ITER 국제기구는 장치 건설에 앞서 우선적으로 2001년도 최종 공학설계에 대한 설계 검토(Design Review) 작업과 필요한 후속조치에 들어갔다. 설계 검토 작업은 2001년 최종설계 이후 제기된 각종 기술적 이슈들을 반영하여, ITER 사업에 대한 새로운 'ITER Baseline(ITER 사업 기본계획)'을 확정하기 위한 작업이었다. 여기에는 우리나라 전문가들도 기술 분야별로 참여하여, ITER 장치 설계 검토 및 개선에 많은 기여를 하였다. 설계 검토 과정에서 세계 핵융합 전문가들이 제안한 각종 설계변경(안)과 개선(안), 그리고 그것들이 사업에 미치는 영향 등에 대하여, ITER 이사회를 중심으로 ITER 국제기구와 회원국 국내전담기구 간 오랜 논의를 거쳐, 2010년 11월 제7차 ITER 이사회에서 사업범위와 사업일정 및 사업비용을 포함하는 'ITER Baseline'이 최종 확정되었다.

설계 검토 과정에서 제기된 중요 설계 변경 이슈들은 ITER 이사회 산하기구인 과학기술자문회의(STAC)에 의해 재논의 후 ITER 이사회에 제안되었다. 그 대표적인 것들로는 1) 초전도자석 저온시험, 2) ELM 코일 설치, 3) 중성입자빔시험시설(Neutral Beam Test Facility) 설치, 4) Hot Cell 증설 등이었다. 또한 사업일정 부분에서는 최초 플라스마(First Plasma) 달성 목표가 협정에 따른 2017년 10월에서 약 2년

Fig. 2. Overview of schedule to 2019 First plasma and 2027 D-T plasma.

Fig. 3. An aerial view of the ITER construction site and a ceremony photo for the Foundation Stone in Cadarache, France, November 2010.

이 연장되어, 2019년 11월로 최종 확정되었다(그림 2. ITER 사업일정 참조). 그러나, 최초 플라스마가 2019년으로 연장되

Table 1. Status of KO Procurement Allocation Change.

Procurement Package	Allocation by Agreement (November 2006)			New Allocation (as of December 2010)		
	Total (kIUA)	Sharing (%)	Allocation (kIUA)	Total (kIUA)	Sharing (%)	Allocation (kIUA)
TF Conductors	215.00	20.0	43.00	215.00	20.18	43.39
Vacuum Vessel (Main)	124.20	20.0	24.84	124.20	21.10	26.20
Vacuum Vessel (Ports)	78.51	76.0	59.67	78.72	73.50	57.86
Assembly Tooling	22.00	100.0	22.00	23.01	100.00	23.01
Thermal Shield	28.80	100.0	28.80	26.88	100.00	26.88
AC/DC Converters	82.20	38.0	31.24	123.60	36.30	44.87
Diagnostics	137.50	3.3	4.54	137.92	3.54	4.88
Tritium Storage & Delivery	14.50	88.0	12.76	15.57	81.50	12.69
Blanket Shield Block	58.00	10.0	5.80	58.00	49.80	28.90
Blanket First Wall	87.00	10.0	8.70	87.00	-	-
Total			241.35			268.68

더라도, ITER 사업의 최대 목표라고 할 수 있는 D-T 핵융합 반응은 2027년 3월까지 달성해야 한다는 마일스톤은 반드시 지키도록 하되, 가능한 한 2026년 이내로 앞당기는 노력을 병행하기로 하였다. 이러한 장치 추가나 설계 변경, 사업일정 연장 등의 채택으로 ITER 건설비는 총 3,577.7 kIUA에서 4,584.7 kIUA로 약 28% 증액되었다.

한편 ITER 국제기구 출범 2년을 평가하면서 조직 개편도 이루어졌다. 사무총장으로 일본의 모토지마 교수가 새로 취임하였고, 조직 개편은 본격적인 건설단계로의 방향 전환과 업무의 간소화를 목표로 이루어졌다. 또한 ITER 이사회는 건설 비용증가에 대한 각 회원국의 부담을 최소화하기 위하여 ITER 국제기구로 하여금 건설비용을 절감하도록 요청하였다. 이에 ITER 국제기구는 각 회원국의 국내전담기관들과 협력하여 비용절감 방안을 마련하는 등 사업비 절감을 위한 여러 가지 대비책을 수립하고 있다.

ITER Baseline 확정 및 국제기구 조직 개편 등의 과정 속에서도 2010년 12월 현재 ITER 건설 공사는 계획대로 순조롭게 진행되고 있으며(그림 3. ITER 건설부지 사진 참조), ITER 국제기구 직원은 우리나라 파견인력 27명을 포함하여 약 500여 명의 전문 및 지원 인력이 근무하고 있다.

ITER 한국사업

2007년 9월 ITER 한국사업을 전담·추진해 나갈 국내전담 기관(Domestic Agency)으로 설립된 'ITER 한국사업단(KODA)'은 2008년 TF 도체 조달약정(ITER 국제기구와 KODA간 조달을 위한 약정) 체결을 기점으로 ITER 한국사업의 조달 업무는 본격 추진되고 있다. ITER 한국사업단은 국내 산업체 제작 발주를 위한 조달계약 업무체계 및 세부조달 시행계획 수립과 함께, 전 조달품목에 대한 공정관리 체계도 수립하였다.

2007년 시작된 설계 검토 과정에서 설계변경 또는 Interface 간소화 등의 요인으로 인해, [표 1]에서 보는 바와 같이 우리나라 조달품목 할당율에도 약간의 미세조정이 있었다. 블랑켓 일차벽이 전부 다른 나라로 이관되는 반면, 블랑켓 차폐블록 할당율은 늘어났다. 블랑켓 일차벽을 우리나라 조달품목에서 제외하기는 하였지만, 이의 기술적 중요성을 고려하여 2011년까지 국내 사업으로 계속 추진하여 기반 기술 개발을 완료하는 것으로 하였다.

ITER 한국사업단의 건설단계 기본 임무 중의 하나는, 우리나라 할당 조달품목을 IO의 품질보증요건에 따라 적기 납품하고, 협정에 정의된 우리나라 할당 몫의 조달가치를 획득하는 것이다. 각 회원국이 할당 조달품목을 제작 납품하기 위해서는 우선 ITER 국제기구와 회원국 전담기관 간 조달약정(PA; Procurement Arrangement)을 체결하여야 한다. 우리나라의 경우 2008년 TF 도체 및 진공용기 본체·포트에 이어, 2009년 조립장비(Assembly Tooling), 2010년 열차폐체(Thermal Shield)에 대한 조달약정을 체결하였다[표 2]. 그리고 ITER 한국사업단은 조달 약정을 체결한 상기 5가지 조달품목의 적기 제작 납품을 위하여 규정된 절차에 따라 계획대로 산업체와 제작계약을 체결하였다.

아직 조달약정을 체결하지 못한 품목들은 향후 조달을 위한 기술개발 활동 즉, 검증용 시제품 제작 및 성능시험 등 상세 설계, 조달약정 체결에 필요한 준비업무 등을 수행하고 있다. 삼중수소 저장·공급 시스템은 단위공정 성능시험 장치를 구축하여 공정별 시험에 착수하였으며, 전원 및 진단장치는 각각 설계검증용 단위모듈 및 시작품을 제작하고 시험 중에 있다. ITER 핵심기술개발 분야에서는 테스트 블랑켓 모듈(Test Blanket Module) 설계 및 기술개발에 주력하고 있는데, FM 강 접합기술 등 구조재 제작기술 개발, 핵심 요소기술로서의 페블 제조공정 평가, 액체 증식재 루프 설계, 핵자료 설계 업

Table 2. Status of KO Procurement Arrangements and Contract Awards.

Procurement Package	PA			Contract Awards	Suppliers
	Status		Dates		
TF Conductors	BtP	FDR	2008.05.07	2009.01.29	KAT, Nexans, POSCOSS, NSE (JA)
Vacuum Vessel (Main)	BtP	FDR	2008.11.19	2010.01.15	Hyundai Heavy Inc.
Vacuum Vessel (Ports)	BtP	FDR	2008.11.19	2010.01.15	
Assembly Tooling	FS	CDR	2009.08.03	2010.03.22	SFA Inc, Wonil Inc.
Thermal Shield	DD	PDR	2010.05.17	2010.08.09	Dae Bong Acrotec Inc.
AC/DC Converters	FS	CDR	Jan. 2011	—	
Diagnostics	FS	CDR	Apr. 2011	—	
Tritium Storage & Delivery	DD	CDR	Dec. 2012	—	
Blanket Shield Block	BtP	CDR	May 2013	—	

*FS: Functional Specification /DD: Detailed Design /BtP: Build to Print

*CDR: Conceptual Design Review /PDR: Preliminary Design Review /FDR: Final Design Review

Table 3. KO Contributions to ITER Design through Task Agreements and Service Contracts between IO and KO DA & Industries.

Type	Q'ty	Workscope of Task and/or Service	Cost (BW)
Cash TA	10	<ul style="list-style-type: none"> -Detail design of VV support & coupon test -Creation of drawings to illustrate the assembly plan -Hydride bed laboratory for tritium plant system -Manufacturability of the blanket shield block -Investigating the use of EPICS for ITER control -NBI RAMI study, Hot Cell design -etc. 	6.3
Credit TA	8	<ul style="list-style-type: none"> -CAD/ENG work for PA technical specification -Inwall shield design of ITER VV NB ports -Blanket shield detailed design and analysis -Tritium storage and delivery system conceptual design -Feasibility study for ITER cryogenic system by KSTAR -etc. 	13.5
Service Contract	13	<ul style="list-style-type: none"> -Engineering support for the electrical in-stallations -Technical specification for machine assembly -Design study for neutron generator development -Study for tritium measurement in metallic radwaste -Remote handling feasibility of type B radwaste -Design for 70g tritium transport package -ITER TF magnet design and engineering support -etc. 	13.3
Total	31		33.1

그레이트, 증식재/냉각재 코드 개발 등을 진행하고 있다.

한편 ITER 한국사업단은 ITER 국제기구가 발주하는 기술용역이나 위탁사업(Task Agreement) 등에 국내 산업체나 연구계 학계 등이 많이 수주할 수 있도록 최선의 지원을 다하고 있다. 그 결과 2010년 12월 현재, 약 31건, 약 331억 원의 기술용역이나 TA 사업을 ITER 국제기구로부터 수주하는 실적을 올렸다. 대표적인 예가 KSTAR 통합제어운전의 최신기술인 EPICS

를 활용하여, ITER 통합제어를 EPICS로 설계하는 기술과제를 IO로부터 수주하여 국내에서 수행한 것이다. 또한 KSTAR 극저온헬륨장치(Helium Refrigerator System)를 이용한 ITER Cryogenic System 모사를 시험하는 연구도 수주하였다. 다음 [표 3]은 지금까지 ITER 국제기구로부터 수주하여 국내 연구소 및 대학에서 수행한 대표적인 과제 현황들이다.

ITER 한국사업단은 그 동안 대국민 이해증진을 위하여 ITER 사업성과 홍보를 강화하고, 국내 산업체 참여를 촉구하기 위하여 산업체 초청 ITER 사업 설명회를 연 2회 이상 개최하는 등 사업 수행에 필요한 제반 홍보 및 산업체 참여 증진 노력을 강화해 나가고 있다.

맺음말

ITER 사업은 21세기 전 인류의 생존 문제인 지구 온난화에 대비하고, 석유 고갈 등 에너지 위기를 극복할 궁극적인 방안으로의 핵융합에너지 대량 생산 가능성을 실증하는 사상 최대 규모의 국제공동 연구개발 사업이다. ITER 사업 참여를 통해 확보되는 핵융합 기술들은 회원국 간 공동사용이 가능하도록 합의되어 있기 때문에, 우리나라도 핵융합발전 상용화를 위한 원천기술 보유국의 지위 확보가 가능하게 된다. ITER 사업의 성공은 핵융합장치에 대한 과학적·공학적 기술검증의 완료를 의미하며, 그 결과를 바탕으로 핵융합실증로(DEMO) 뿐만 아니라, 미래 핵융합로의 설계·제작 기술을 확보하는 것을 의미한다. 이러한 이유로 ITER 사업은 핵융합에너지 기술 개발 로드맵에서 차지하는 비중은 참으로 중차대하다 하겠다. ITER 한국사업단은 ITER 사업 성공을 통해 핵융합에너지가 미래 국가 에너지 자립뿐만 아니라, 에너지 수입국에서 수출국으로 도약함으로써 미래 국가 먹거리 창출에도 기여할 수 있도록 최선의 노력을 다 할 것이다.