

초초임계압(USC) 발전설비 국내외 기술동향

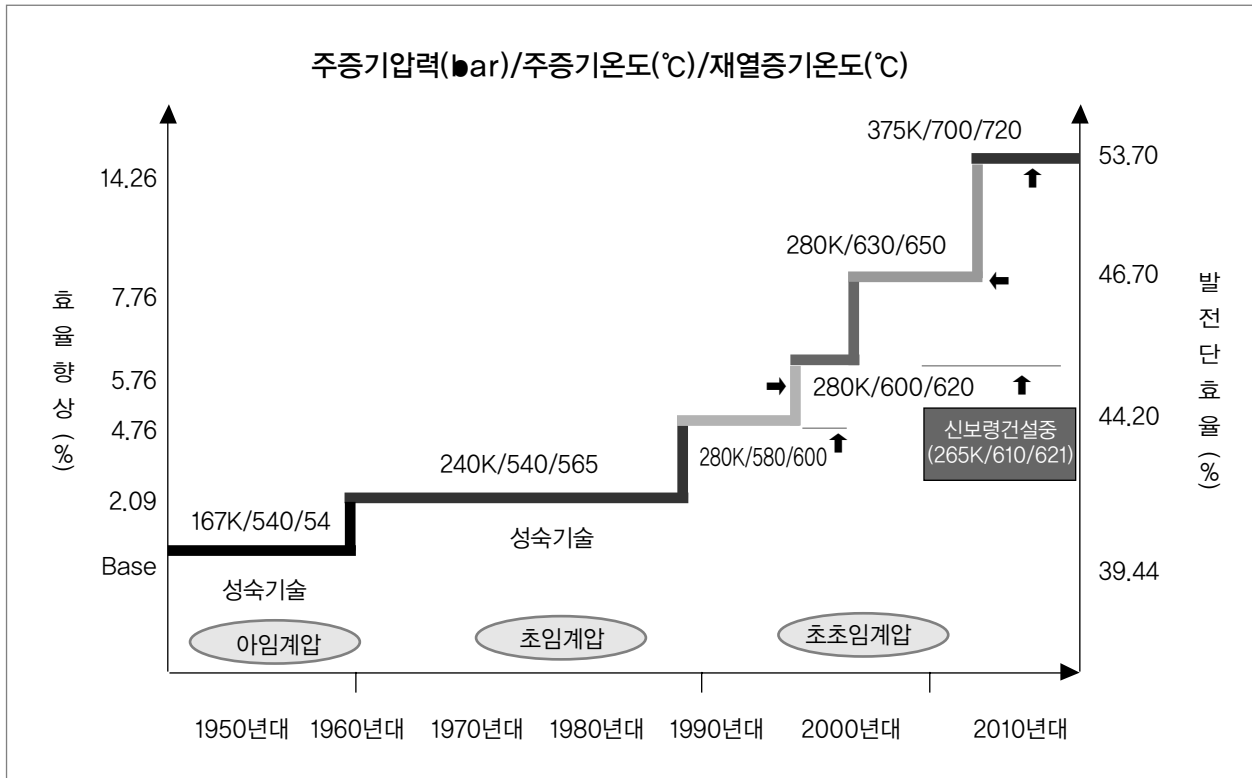


하 관 호
한국중부발전(주) 건설처 기전기술팀장

1. 개 황

전 세계 전력의 70% 이상이 석탄, 천연가스, 중유 등과 같은 화석연료를 사용하는 발전소에 의해 생산되고

있다. Ultra Super Critical(USC) 혹은 Advanced Supercritical로 불리는 초초임계압은 물의 임계점 (압력 225.54kg/cm², 온도 374.15℃)을 기준으로 압력 관점에서 임계압력 이상의 초임계압(Super Critical)



[그림 1] 화력발전소 증기조건 및 발전효율 변화

보다 훨씬 높은 조건을 의미하고 있다.

즉, 초초임계압 발전소란 증기압력이 254kg/cm² 이상 이고 주증기 혹은 재열증기온도가 593℃ 이상인 발전소를 의미한다.

증기의 압력과 온도를 높이는 이유는 발전소 효율을 상승시키기 위함이며, 일반적으로 주증기 및 재열증기 온도가 10℃ 상승 시 효율은 0.5% 증가하고 압력이 10kg/cm² 상승 시 0.2%의 효율이 증가한다. 증기 온도와

[표 1] 열소비율에 따른 연료량 절감 현황

구 분	증기조건		Heat Rate (kcal/kWh)	석탄 사용량 (kg/hr)	연료비 절감률(%)
	압력(kg/cm ²)	온도(°C)			
제 1 안	246	566/593	1,773	358,493	Base
제 2 안	246	610/610	1,744	352,629	1.66
제 3 안	246	621/621	1,728	349,394	2.6
제 4 안	265	610/621	1,722	348,181	2.96
제 5 안	281	610/610	1,728	349,394	2.6
제 6 안	281	621/621	1,717	347,170	3.26

압력은 1950년대부터 현재까지 꾸준히 증가하여 발전 효율이 39%에서 44.2%까지 상승하였다.

즉, 10년에 1%의 효율상승이 이루어진 셈이다. 1,000MW 발전소 효율을 1% 올리면 연간 약 100억원의 경제적 이익과 1,100,000ton의 CO₂ 절감효과를 기대할 수 있다.

2. 동향

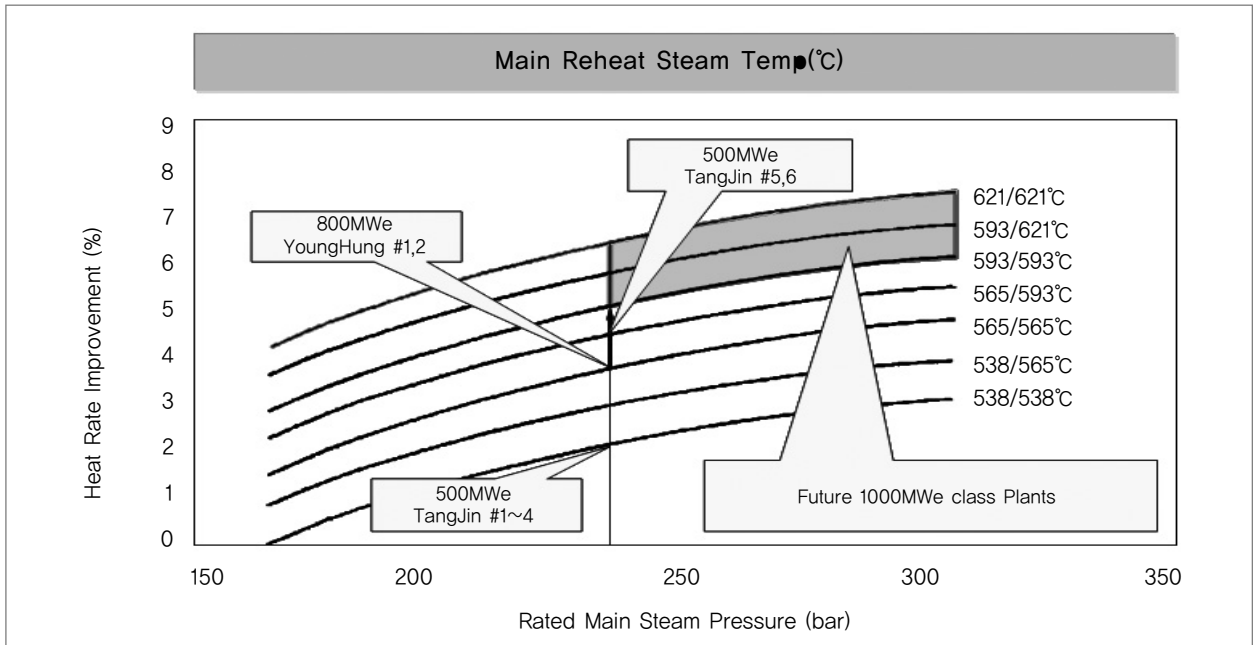
발전소 효율상승의 핵심요소인 증기온도와 압력을 증가시키기 위해서는 고온에서 사용 가능한 보일러·터빈 핵심부품의 신소재 개발이 선행되어야 한다. 따라서 21세기 발전산업은 소재와의 경쟁에서 살아남는 기업이 전 세계 발전시장을 주도할 것임은 자명한 사실이다. USC 발전소의 보일러 분야는 일본의 IHI와 BHK가 선두 주자이고 그 다음이 저열량탄(Lignite coal) 설비에 강점을 보유하고 있는 독일의 Siemens이며, 터빈/발전기

분야는 미국의 GE, 일본의 Toshiba, MHI, 독일의 Siemens 등이 선진기술을 보유한 기업들이다. 이들 업체와 비교 시 국내 발전사의 기술수준은 약 80% 수준이다.

■ 한국

국내 발전소의 경우 1990년대 500MW 표준석탄화력의 246kg/cm², 538/538℃ 조건에서 증기조건 개선 노력을 꾸준히 기울인 결과 2006년에 당진화력 5,6호기가 국내 최초로 246kg/cm², 566/593℃의 증기조건으로 건설된 것을 시작으로 보령화력 7,8호기, 영흥화력 3,4호기 등 총 10개호기가 동일한 증기조건으로 건설되어 운영 중이다. 또한 당진화력 9,10호기와 삼척화력 1,2호기가 250kg/cm², 600/600℃, 태안화력 9,10호기는 250kg/cm², 600/610℃의 증기조건으로 건설 중에 있다.

한편, 265kg/cm², 610/621℃ 조건의 1,000MW급 국책 연구과제인 ‘차세대 화력발전 기술개발’이 신보령 1,2호기에 적용되어 건설 중이다.



[그림 2] 국내 화력발전소 증기조건 개선 현황

[표 2] 일본 EPDC 주관의 USC 발전소 연구 개발 목표

항 목	기존발전소	Phase I (~1994년)		STEP II (~2015년)
		STEP I	STEP II	
증기압력(kg/cm ²)	241	314	343	300
증기온도(°C)	538/566	593/593	649/593	630/630
설계효율(%)	Base	5.0	6.5	4.8
석탄 절감량(톤)	Base	96,000	175,000	95,000

■ 일본

오일쇼크 이후 에너지 위기관리를 위해 1980년부터 정부 통산성과 EPDC 주도로 600°C급 USC기술개발을 Phase 1과 2로 구분해 1980년부터 2001년까지 수행했다. 각 단계별 목표가 완료되는 시점에 개발 기술검증을 위해 대상발전소에 적용해 성능과 신뢰성 입증에 성공함으로써 600°C급 USC 석탄화력발전 기술과 시장을 선도하고 있다.

또한 1000MW, 600/600°C의 증기조건을 가진 Misumi #1호기를 1998년부터 세계 최고의 증기조건 (600MW, 277kg/cm²/605/623°C)이 적용된 Isogo New 2호기를 2009년부터 상업운전하고 있다.

■ 미국

USC 기술개발은 EPRI의 주도로 진행되었으며, 1978년 이후 발전소 신뢰성 저하 없이 효율을 향상시킬 수 있는 2단 재열방식의 증기조건 제안과 1986년부터 2단 재열방식의 터빈 설계 및 재료개발을 위하여 GE, Toshiba, GEC Alstom, MAN 컨소시엄과 EPRI간의 연구계약 (RP1403-15) 체결하였다.

이어 1991~1995년에 EPRI, Sargent & Lundy, SEPRIL Service공동 주관으로 발전효율 44%(LHV기준)의 SOAPP (State of the Art Power Plant) 프로젝트를 수행했지만, 미국 내 USC 석탄화력기술을 적용한 화력 발전플랜트의 건설 및 운전실적은 보유하고 있지 않다.

[표 3] 미국 UltraGen 프로그램 개발계획

구 분	UltraGen1	UltraGen2	UltraGen3
기 간	현재~2015년	2016~2020년	2021~2025년
주요 연구 사업 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 605°C급 개발 • Advanced Emission Control • 20~50% CO₂ Capture 	<ul style="list-style-type: none"> • 700°C급 개발 • Near Zero Emission Control • 90% CO₂ capture 	<ul style="list-style-type: none"> • 760°C급 개발 • Near Zero Emission Control • 90%이상 CO₂ Capture

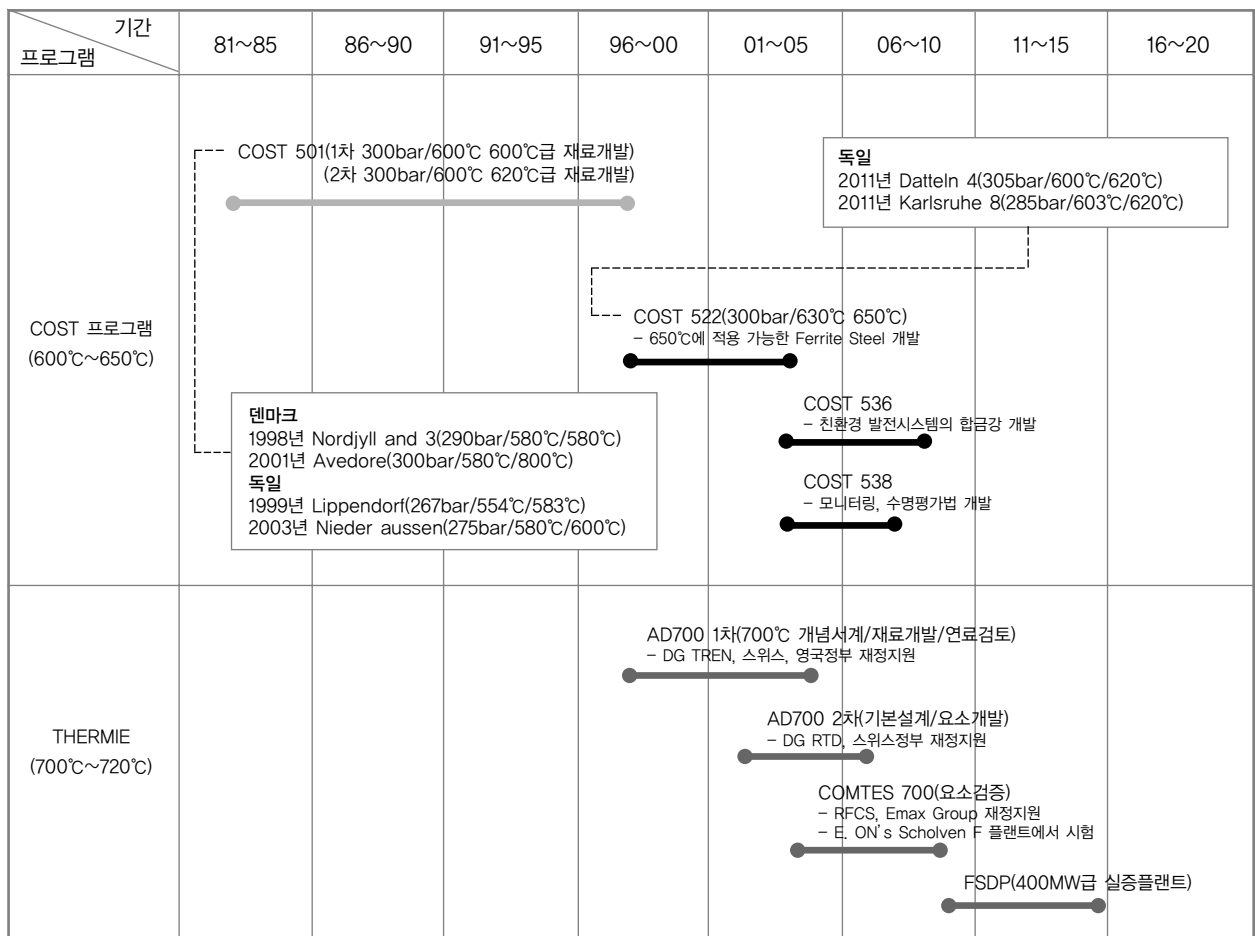
미국은 USC 석탄화력보다 DOE주관으로 Gas Turbine 등 복합화력, IGCC 기술과 CCT 개발에 주력한 결과, 600°C급 USC 석탄화력 발전분야의 기술수준은 일본과 유럽에 뒤쳐져 있어 기술만화를 위한 'UltraGen' 프로그램을 추진하고 있다.

■ 유럽

유럽의 USC 기술개발 시작은 일본과 동일하게 고온용 페라이트계 내열재료의 개발을 목표로 'COST 501 프로그램'을 통해 개발한 내열재료를 1992년 Vestkraft 3호기에 설치하여 검증하였다.

이어 'COST 522 프로그램'을 1997년부터 2003년

까지 620°C용 터빈재료인 COST FB2 등을 개발해 2011년 준공을 목표로 독일에 건설 중인 620°C급 USC 화력발전소인 Datteln 4호기와 Karlsruhe 8호기에 적용하였고, 후속으로 650°C급 플랜트에 적용 가능한 강재와 용접기술 등에 대한 장기간 검증시험을 목표로 'COST 536 프로그램' (Alloy Development for Critical Components of Environmentally Friendly Power Plant)과 고온플랜트 수명연장을 위해 발전기기의 상태 모니터링 및 고정밀도의 수명평가법 개발을 목표로 하는 'COST 538 프로그램' (High Temperature Plant Lifetime Extension)을 총 개발비 1,300만€와 1,000만€를 투입해 계속해서 추진하고 있다.



[그림 3] 유럽의 USC 개발 프로그램

3. 전 망

신보령 1,2호기는 국내 최대규모의 1,000MW급 USC 발전소로 1호기 준공 예정일은 2016년 6월이며, 2호기는 2017년 6월을 목표로 추진중이다.

현재 국내에 건설 중인 동급용량의 발전소와는 다르게 국내 최초로 국산 기술을 적용(두산중공업 국책연구과제) 함과 동시에 해외 어느 발전소와 견주어도 결코 뒤지지 않는 세계 최고 수준의 고품질 발전소로 탄생할 예정이다.

신보령 1,2호기는 저원가 고효율 설비를 갖추게 됨으로써 경영경쟁력을 강화시키고, 나아가 외화절감 및 성공적인 실증을 통한 해외사업 진출의 교두보가 될 전망이다. KEA