

500MW급 표준석탄화력 Retrofit 실증사업

송 병 훈 한국중부발전(주) 발전처 기술기획팀 차장 | e-mail : songbh21@komipo.co.kr

이 글에서는 우리나라 500MW 표준 석탄화력발전소의 효시인 보령화력 3호기를 대상으로 국내 최초로 시도되는 Retrofit 실증사업에 대해 소개하고자 한다.

1993년 우리나라에 최초 건설된 500MW 표준 석탄화력 발전소인 보령화력 3호기가 2023년에 설계수명 30년에 도달하는 것을 시작으로 국내 500MW 표준 석탄화력발전소 20기가 차례로 설계수명 한계를 맞게 된다.

이에 보령화력 3호기는 발전소 수명관리 지침을 바탕으로 수명진단, 타당성 조사를 거쳐 설계수명 도달 전에 성능개선을 시행하여 수명을 연장하고 출력 및 효율을 향상시켜 설비 이용률을 높이고 나아가 국내 표준 석탄화력 발전소 Retrofit의 표준을 만들고자 한다.

500MW 표준 석탄화력발전소 Retrofit 개요

석탄화력 발전은 국내 전체 전력 공급량의 3분의 1을 차지하고 있으며, 그 중에서 특히 1990년대 건설된 20개 호기의 표준석탄화력 500MW 발전소 운전연수가 20년을 초과하여 노후화가 진행되고 있지만 신규건설의 어려움으로 수명연장의 필요성이 대두되고 있고, 고급탄 수급의 어려움으로 인해 저급탄 연소 확대의 필요성이 증대되고 있으며, 아울러 교토 의정서에 따른 노후 발전설비의 CO₂ 저감 필요성이 점차 부각되고 있다.

이와 같은 신규건설의 어려움이나 CO₂ 저감은 노후 표준화력 500MW 발전소의 출력증강 및 수명연장을 통해 노후 발전소의 수명을 연장시킴으로써 신규발전소 건설에 상응하는 전력을 확보할 수 있으며, 아울러 성능향상을 통해 이산화탄소 배출을 줄일 수 있으므로 노후 500MW 표준 석탄화력발전소의 수명연장 및 성능향상 기술개발은 필수적이라고 할 수 있다. 20개호기의 노후 500MW 표준 석탄화력발전소의 성능향상을 통해 에너지 절감과 5% 내외의 CO₂ 감소가 가능하며, 출력을 10% 증가시킬 경우 1,000MW 규모의 신규전원을 확보할 수 있게 된다. 기술개발을 통해 확보된 기술을 바탕으로 빠르게 성장하고 있는 국내·외 노후설비 성능개선 사업에 참여함으로써 선진발전사들의 시장선점 및 독점에 대비할 수 있을 것이다.

이를 위해서 관련기업들과 정부는 2011년부터 사전 연구과제로 “노후 500MW급 석탄화력 수명연장 및 성능향상 기술개발”을 수행하여 2014년 성공적으로 완료하였으며, 이를 바탕으로 2015년 “표준화력 500MW Retrofit (550MW)을 위한 주기기 효율향상(증기터빈/보일러) 실증 기술개발” 실증과제를 한국중부발전, 두산중공업, 중소기업

표 1 발전공기업 표준화력 보유 내역

중부발전	남동발전	서부발전	남부발전	동서발전
보령화력 3~6호기 (4개 Unit)	삼천포 5~6호기 (2개 Unit)	태안화력 1~4호기 (4개 Unit)	하동화력 1~6호기 (6개 Unit)	당진 1~4호기 (4개 Unit)

업 등이 참여하여 보령화력 3호기를 대상으로 실증사업을 진행하고 있으며 2019년 실제 공사가 시행될 예정이다.

발전소 수명관리 절차

수명관리의 목적은 등가운전시간 10만 시간 초과 또는 경과연수 20년 이상 설비에 대해 수명진단을 주기적으로 시행하여, 경년열화 설비에 대한 성능개선 및 수명연장으로 발전수익을 증대하는데 있다. 발전소는 준공 후 운영 시간이 늘어날수록 각종 기계, 전기, 제어 설비 등이 노후화를 겪게 되어 정상시는 정상 정비, 1~2년 간격으로는 계획예방정비 공사를 시행하여 설비 신뢰도를 높이는 작업을 하고 있으나 설비가 안정운영기를 거쳐 열화고장기로 진입하게 되면 노후도가 촉진되고 수명소비가 한계에 이르게 되어 보수 비용 증가 및 안정성 하락으로 인해 폐지를 검토하게 된다.

그러나 통상 500MW급 발전소 1기 건설에 1.5조 원의 건설비용이 소요되는 것을 감안하고 설계수명이 도달하였다 하여도 발전소를 구성하고 있는 각각의 설비가 모두 한꺼번에 설계수명에 도달하는 것은 아니므로 각 구성품

발전소 운영시간이 증가함에 따라 설비 수명은 점차 줄어든다. 잦은 고장과 사고 등이 발생하는 열화고장기에 들어가기 전에 수명관리 절차에 따라 관리 계획을 수립하여야 하며, 경제성, 사업효과 등을 고려하여 성능개선, 성능회복, 폐지, 대체건설 등 후속조치를 결정하게 된다. 통상적으로는 공사기간 및 공사비를 고려하여 성능개선(Retrofit) 사업방식을 채택하여 시행한다.

의 수명을 면밀하게 진단하여 교체하면 사용수명을 늘릴 수 있다. 수명관리는 통상 운영시간이 20년이 지나게 되면 수명진단을 시작하며, 기동 횟수가 많으면 (기동 1회당 20시간 추가) 수명진단 시작 시기는 앞당겨지게 된다.

계획예방정비기간을 이용 보일러 튜브, 터빈 본체, 주요배관, 발전기, 고압전동기 등 주요 설비에 대해 수명소비를 진단하고 수명 소진 예상시기를 산출한다. 수명연장의 타당성을 검토하기 위하여 각각의 방안을 준비하고 경제성 및 효과 등을 고려 수명연장계획을 확정한다. 설계수명에 도달하기 전 운영회사가 가질 수 있는 방안은 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

첫 번째 성능개선(Retrofit), 설비 일부의 개조 및 교체를 통해 수명을 연장하게 되는 데, 이 경우에는 단순하게 현 효율 및 출력을 유지하여 성능개선을 할 지, 효율 및 출력을 향상시킨 격상 성능개선을 할지로 나뉘질 수 있다. 두 번째 성능회복(Repowering), 구조물은 재사용하고 설비 전체를 신품으로 교체하여 설비의 30년 수명과 성능을 100% 회복하는 것을 목적으로 할 수 있다. 마지막으로 폐지 혹은 대체건설, 앞의 두 가지 방안이 결국 경제성면에

표 2 수명관리 절차

수명진단	기본계획	타당성조사	사업확정	사업시행
<ul style="list-style-type: none"> • 운전시간 10만 시간 초과 설비 • 20년이상 사용 설비 대상 	<ul style="list-style-type: none"> • 수명관리계획 수립 • 추진일정 및 향후 계획 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 수명관리방안 도출 • 경제성, 사업효과 공사 범위 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 수명연장계획 확정 • 시행시기 등 이사회 부의 	<ul style="list-style-type: none"> • 사업수행
D - 10년	D - 9년	D - 8년	D - 5년	D - 4년

표 3 수명진단 기준

구 분	등가운전시간	경과연수	기동회수
적 용	10만시간 초과	20년 이상	2,000 회
기술적근거	Creep수명 50% 초과	시간 경과에 따라 노후도 촉진시점	피로수명 최대 50% 도달 추정

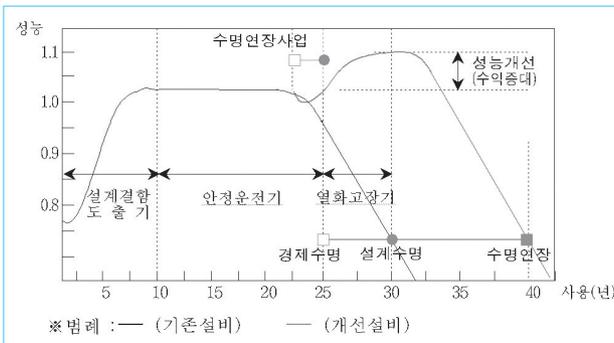


그림 1 Rertofit에 따른 수명연장 효과 그래프

서 낮다고 판단되거나 정부정책, 기술적 문제 등으로 인해 불가능하다고 여겨질 경우 폐지 수순으로 가게 되나, 대체건설은 많은 후속조치가 필요하여 일반적으로 폐지는 우선적으로 고려하지 않는다.

통상 6개월 정도로 공사기간이 짧고, 사업비가 가장 적게 소요되는 성능개선(Retrofit)을 통해 수명을 연장하는 방법을 채택하고 있다.

보령화력 3호기 Retrofit 시행방안

보령화력 3호기는 발전소 건설 이후 유연탄 수급여건 제약, 배출권 거래제 시행, 고효율 설비 진입에 따른 이용률 저하, 발전사 간 경쟁체제 강화 등의 전력시장 환경변화를 겪고 있고, 20기의 표준화력 중 가장 먼저 설계수명에 도달하게 되어 발전회사 최초로 수명관리 절차를 시작하게 되었다. 2009년 수명관리 마스터플랜이 수립되었고, 2011년 국가연구개발과제로 “500MW급 석탄화력 수명연장 기술개발 및 성능개선 타당성 조사”를 발전공기업 5개사와 민간기업과 함께 수행하여 Retrofit을 위한 타당성 조사 및 기술개발을 시작하였다. 그리하여 2014년까지 보령화력 3호기와 6호기에 대한 수명진단을 시행하고 수명관리 기본계획을 확정하

단순 Rertofit은 수명 한계설비의 교체 및 개조 범위가 격상 Retrofit과 유사하고, 시장경쟁력 확보 등을 고려 시 실효성이 적으며, 향후 시장변화에 대응키 위해, 저탄소·고효율·저원가 설비인 USC 급으로 격상 Retrofit을 추진하고 향후 경제성 상 실시 대응량 고효율 발전기로 대체건설을 추진하는 것이 바람직하다고 결정하였다.

였다. 2개호기 수명진단결과를 살펴보면 운전시간에 따른 수명소비는 적정수준이나, 열화 중기단계로 노후화에 따른 열화 가속 특성을 고려 시 설계수명 30년 이전에 수명이 소진될 것으로 예상되었다. 발전기는 양호하나 보일러, 터빈이 한계수명 80%를 고령한 수명소비가 60% 정도로 열화 중기단계에 있으며, 특히 주요배관은 열화 말기에 진입하고 있는 것으로 조사되었다. 당초 잔여수명이 설계수명 이상일 경우에는 2025년까지 수명연장을 시행하고, 설계수명 이내일 경우는 2019년까지 수명연장을 시행하는 검토 방안

에 따라 수명연장을 2019년까지 시행하기로 결정하였다. 또한 단순한 설비 교체를 통한 수명연장은 저소비탄 소비 증대, 배출권 거래제로 인한 CO₂ 배출감소 의무, 고효율 발전소의 시장진입으로 인한 급전순위 하락에 대처하기 어려운 게 사실이며, Retrofit과 Repowering 공사에 교체되는 설비가 사실상 큰 차이가 없다는 점과 최신 기술을 적용한 저열량탄 연소 확대, 탄소배출량 감소, 출력증대, 효율 향상 등 경쟁우위를 확보할 수 있는 효율과 출력을 향상시키는 Retrofit을 추진하기로 결정하였다.

다음단계로 투자비 대비 경제성이 가장 좋고, 환경영향평가 등 각종 인허가에도 유리한 증기조건 및 출력을 선정하

였는데, 현재 출력 500MW, 증기온도 538℃를 각각 550MW, 593℃로 격상시키는 게 가장 경제성이 있는 것으로 결과가 도출되었다. 이에 따라 저급탄 연소 확대(5,700→5,300kcal/kg), NO_x 저감(200→150ppm), 설비효율 약 2%p 상승(노후대비 3.4%p), 연료절감량 125,076t/연, CO₂ 저감량 263천t/연으로 B/C ratio 1.2가 도출되었다. 보령화력 3~6호기 기준으로 연료비 절감금액은 481억 원/연, 출력증가에 따른 매출 증가 428억 원, 저급탄 연소에 따른 비용절감 351억 원/연으로 매년 총 1,260억 원의 비용효과와 효율 상승으로 인한 CO₂ 배출 저감 효과가 기대된다.

보령화력 3호기 Retrofit 실증사업

성능격상 Retrofit(이하 Retrofit)은 국내에서 최초 시도되는 사업으로 선행 연구개발과제가 성공적이었다 하더라도 실증사업은 상당한 Risk를 수반하고 있어 쉽게 실증을 결정하기 어려운 면이 있다. 이에 정부와 중부발전은 Retrofit을 위한 주기기 효율향상 실증 기술개발과 실증사업을 병행하기로 결정하고 핵심부분은 국가연구개발과제로 시행하고 기기 제작은 중부발전 자체사업으로 추진하여 Risk를 감소하기로 결정하였으며, 국내 기업의 기술개발 참여를 통해 기술력 향상에 기여하고 중소/중견기업과 Supply Chain 구축을 통해 인프라를 구축하고 국내 중소/중견기업의 경쟁력 강화 지원도 병행하기로 하였다. 국가연구개발과제는 주관기관인 두산중공업을 비롯하여 중부발전 등 9개 기관이 참여하고 있다.

발전소 개조 범위는 보일러, 터빈, 주요배관, 발전기, 고압전동기 등으로 크게 구분할 수 있으며, 수명진단 결과 보일러, 터빈은 열화 중기 단계(수명소비 60%), 주요 배관은 열화 말기 진입(수명소비 69%)으로 진단되어 각 부분별로 상세하게 일부 개조·교체·보강, 전량 교체 등을 결정하여 범위를 확정하였다.

주요 개발내용은 1. 주증기, 재열증기 및 추기증기 배관 및 밸브 최적화 기술개발, 2. 주증기 온도 변화에 따른 고압급수펌프 연결 배관 및 밸브 최적화 기술개발, 3. 593℃ 증기조건의 용량격상 보일러 압력부/비압력부 최적화 기술개발, 4. 출력 증대에 따른 발전기 최적화 기술개발, 5. 증기조건 변화에 따른 LP Bypass 밸브개발, 6. 운전조건 격상에 따른 표준화력 CRH Pipe용 A691 소재 사용적합성 평가, 7. 주증기, 고온재열증기 및 추기 증기 배관 및 밸브 최적화로 구성된다.

실증사업 일정으로는 기술개발은 2018년까지 진행되며 기자재 제작을 거쳐 2019년 6월 준공(실증)으로 계획

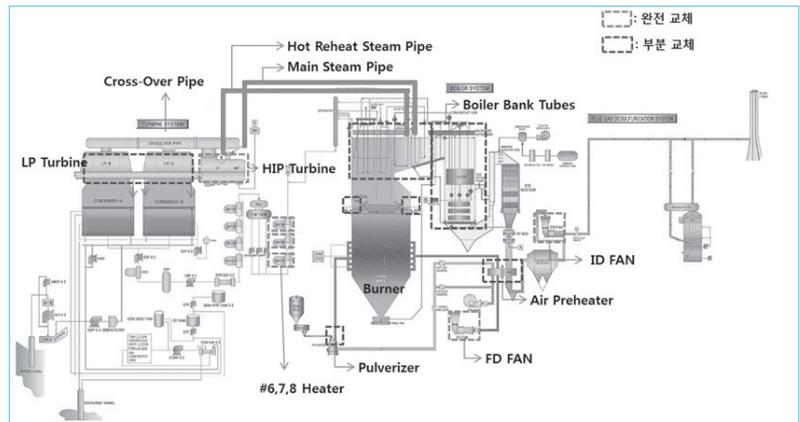


그림 2 개조범위

되어 있다. 이후 보령화력 4~6호기(3개호기)는 보령화력 3호기 실증사업 결과를 기반으로 2022년까지 Retrofit 사업을 연속하여 수행할 계획이다.

비용적 측면에서 살펴보면 통상 Retrofit의 최소비용은 신규 건설비의 10% 정도이며(EPRI) 20% 이하가 적정 사업비로 판단하고 있고(15년 정부 예비타당성 보고서) 실증사업비 산출결과 적정비용으로 판단되어 최종 정부 예비타당성 조사를 통과하게 되었다.

보령화력 3호기는 국내 최초의 500MW 표준 석탄화력 발전소로 미국 Power 지가 선정한 세계 최우수 발전소상 2회, Asian Power Awards 금상 수상 등 해외 전력산업계에서 우수성을 높게 평가 받고 있는 발전소이며 2015년 3월 5,500일 무고장 운전을 달성하여 이 부문 세계 최고의 기록을 가지고 있다(美 World Record Academy, 한국기록원 인증). 최근 1,000MW급 대용량 고효율 발전소가 국내에 건설되고 있어 성능이나 효율면에서 점차 위상이 낮아지고 있는 시점이나 아직까지도 대한민국 전력사에 큰 상징성을 갖고 있는 동시에 경제발전의 원동력으로 자리매김한 보령화력 3호기는 이제 다시 태어나는 국내 최초의 발전소로 기록되게 될 것이다. 성공적인 실증사업으로 국내 500MW 표준 석탄화력발전소 Retrofit의 표준을 마련하고 이를 기반으로 해외 발전소 Retrofit 사업까지 확대하는 계기가 될 것이다. 성공적인 보령화력 3호기의 실증사업을 기대해 본다.