상태 기준 방식에 의한 열병합발전플랜트 정비 효율 향상에 관한 연구

성 동 기 / SH 공사
sdk6237@hanmir.com

1. 서론

설비의 보전 및 정비활동은 각각 설비의 성능유지에 그치지 않고 생산체계의 유지에 관한 활동이라고 할 수 있다. 적기에 적절한 정비작업을 함으로써 설비의 고장 및 정지로 인한 손실은 감소하겠지만 정비로 인한 비용 지출이 증가함에 따라서 정비활동의 규모와 한계는 기업의 손실을 최소로 유지시키는 범위 내에서 결정할 필요가 있다. 정비작업은 생산 작업에 비해 작업 능률이 낮아 실제 작업시간이 50%도 미치지 못하는 경우가 많다. 그 이유는 첫째, 정비작업은 돌발적이고 긴급한 경우가 많다. 둘째, 종래의 관행에 따른 정비 방식 및 절차가 진행된다. 셋째, 정비작업은 그 내용에 있어 종류가 많고 반복되는 형태도 아니기 때문이다. 넷째, 생산 작업에 비해 효율적인 작업여건이 갖추어져 있지 않다.

그러므로 이러한 플랜트 정비 작업 업무의 운영에 대한 최적화 방안이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구는 2000년 1월부터 2005년 11월까지 N 열병합발전플랜트에 적용한 결과를 기준으로 삼았으며 플랜트 정비 작업 업무를 효율적으로 수행함으로서 기업 발전에 도움이 되고자 한다.

2. 상태기준의 의한 효율적인 정비방안

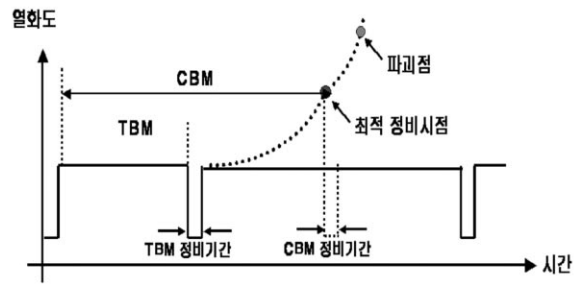
2.1 상태기준정비 방식

그림 1과 같이 상태기준정비(Condition-based Maintenance)의 방식에 의한 보존은 설비나 시스템의 고장을 사전에 감지 및 예측하여 적절한 보전계획을 수립하여 고장이 발생하기 이전에 정비(수리 또는 교체)를 실시하는 방법이다.

플랜트 정비 체계는 크게 고장정비와 예방정비로 나뉘며 예방정비는 시간기준정비와 상태기준정비로 구분된다. 시간기준정비(Time based Maintenance)는 일정기간 즉, 계획예방정비 또는 기기 운전 시간을 기준으로 수행되며, 이 주기는 제작자 권고사항 및 운전경험을 근거로 정해진다.

(1) 상태기준정비의 체계

최상의 효율적인 정비 체계를 갖추어 실현하기 위해서는 **그림 2**와 같이 각각의 기기들의 상태를 감지할 수 있는 시스템이 구비되어 있어야 한다. 이러한 상황에서 해당 기기들에 대한 자료들과 자재현황관리, 형태들의 정보를 갖춘 상태에서 감지된 결과에 따라 검증과 진단, 고장 유형의 해석 등을 예측하여 정비시점, 주기 및 범위를 정할 수 있다.



[그림 1] 시간기준정비와 상태기준정비 비교표

(2) 정비 주기

그림 3과 같이 플랜트기기들의 경년 열화도를 감시하면서 이상 부분이 발견 시 정밀진단해서 분석한 상태에 따라 설비별 정비비용과 정비에 소요되는 시간을 C-T곡선으로 종합 분석하여 최적 정비시점을 도출하고 정비대상 기기들의 성능과 운전조건, 기간을 감안하여서 계획정비와 경상정비로 구분함으로써 열병합발전플랜트 정비주기를 결정한다.

(3) 상태기준정비의 장점

CBM 방식은 설비가 갖고 있는 여러 종류의 문제에 대한 계량이 가능하며 고등기술이 필요한 고장원인을 분석하기 위한 기본 자료와 정보를 제공하여 줄 수 있다는 점에 여러 장점이 있다고 보여 진다.

① 정비 작업 품질향상

온도, 진동 또는 초음파 수준이 미미하게 변화할 때 감지하여 문제가 심각하지 않거나 쉽게 고쳐질 때 예측정비를 실시하여 문제를 해결함으로써 수리의 신뢰성 즉 정비작업 품질향상이 가능하다.

② 고장원인 분석 능력 확보

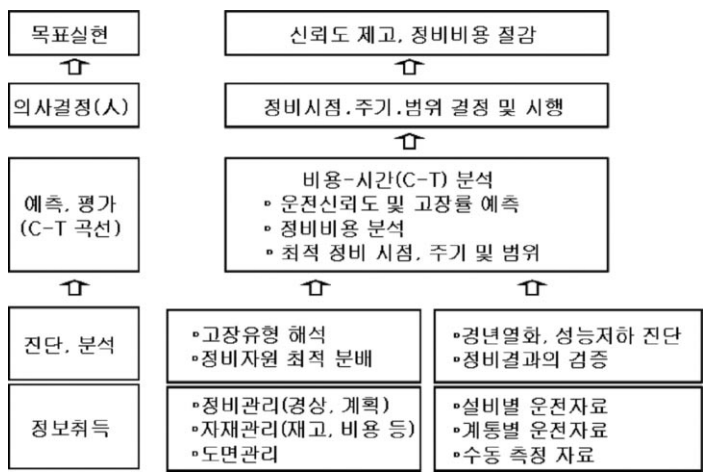
고장원인 분석방법 중의 하나인 고장근원분석은 사람, 설비 및 자재가 포함된 설비의 운전과 설계에 관한 모든 요소를 완전히 검사 할 수 있는 방법이라고 평가된다. 각 설비의 심 맞추기 불량, 밸런스 불량, 베어링 및 기어의 마모, 유부족, 유오염 또는 전기 쇼트와 같은 관심 대상 설비의 구체적 문제 발췌가 가능하다.

③ 정비비용 절감

과대보전에 의한 보전비용 상승억제 특히 설비상태를 진단함으로써 과대 Overhaul방지, 정비요원 작업효율성 증대, 보전절차 간소화 등의 장점이 있다.

④ 사고 미연 예방

설비를 구성하고 있는 많은 부품들은 보전주기 즉 평균수명이 전부 동일하지 않다. 따라서 수명이 짧은 부품의 갑작스러운 고장은 다른 부품에 영향을 주어 시스템 전체에 큰 고장을 가져오는 결과가 된다. 따라서 중점 부품에 대한 상태 감지를 통하여 고장이나 사고를 미연에 예방할 수 있다.



[그림 2] 상태기준정비의 체계도

3. 적용사례

3.1 대상 플랜트 기기 현황

상태기준 방식에 의한 정비를 적용해보기 위해 선정대상은 N열병합발플랜트 기계분야 설비의 현황은 다음과 같다.

- 보일러 : 열병합보일러 150T/H 1기와 보조 보일러 150T/H 4기 각부속 설비포함
- 펌프 : 급수펌프 등 85대
- 공기 압축기 : 3대
- 열교환기 : 6대
- 터빈 : 정격출력 37.000kW 1대
- 송풍기 : 보일러 전용 5대, 소형 14대
- 크레인 : 천정용 3대
- 배관 : 발전소 내에 있는 전체 배관
- 밸브 : 발전소 내에 있는 모든 밸브류
- 기타 : 전기, 계장을 제외한 상기 이외의 모든 시설물

3.2 상태분석 및 정비시점 결정

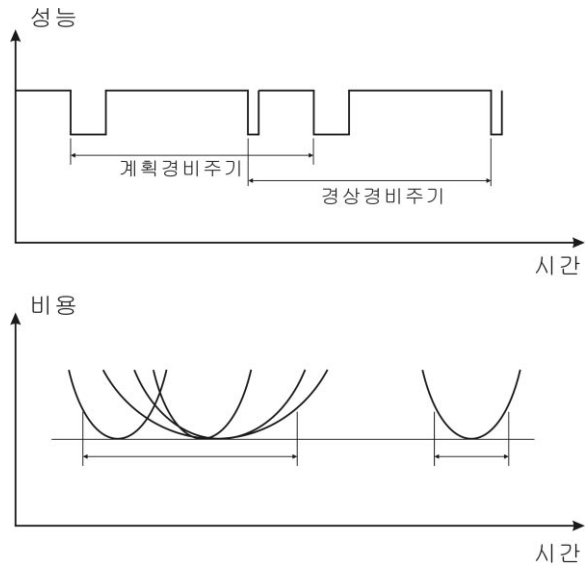
(1) 분석 절차

설비 상태를 감지하고 진단하여 보전시기와 방법을 결정하기 위해서는 이를 위한 설비와 감지기술을 확보하여야 한다. 감지기술은 불순물 분석에서부터 유 분석, 진동, 그리고 사람의 오감에 의한 분석까지 다양한 방법이 있다. 적정기술을 선정하는 과정은 특히 전문적인 기술이 필요로 하는 분야로서 적정한 장비를 어떻게 선정하느냐 하는 것이 중요한 요건이 된다. 또는, 설비특성과 진단 기구에 의하여 점검주기(일상, 주기, 월간, 반년, 1년)에 따라 실시하며, 간이진단에 의하여 진동수준, 기름 등의 진단모수(Parameter)를 측정하고 시간에 대하여 기록한다. 이 측정치가 이미 정해진 임의수준이 도달할 때 정밀진단을 실시하고 위험에 도달될 때까지의 시간을 예측하여 최적의 보전시간과 정비방법을 결정한다.

① N열병합발전플랜트 감지시스템

그림 4와 같이 시스템은 UCN(Universal Control Networks data)와 LCN(Local Control Network data)은 다른 형식을 가지고 있으며 이 두 가지 형식의 data를 서로 간에 변환시킬 수 있는 장치가 필요하다. 아날로그 신호는 NIM(Network Interface Module)이 APM(Advanced Process Manager)로부터 수집된 자료를 UCN을 통하여 LCN상 US(Unlversal Stations)나 AM(Application Module), HM(History Module) 등으로 전송하기 위하여 LCN 형태로 변환시켜 주며 또한 디지털 신호는 DMB(Date Hiway Boxes)를 통하여 UCN으로 들어오며 이 신호를 HG(Hiway Gateway)가 변환시켜 LCN 상의 US, AM, HM 신호로 변환하여 상태가 계속적으로 감지되어진다.

이와 같이 모니터링 되는 설비는 기계의 운전 상태를 대표하는 중요 변수의 변화폭이 일정한 경계치에 달하면 설비 운전 중에 경고음 또는 모니터상의 경고 등에 의한 자동경고를 발하게 되어 응급조치 또는 정밀진단과 정비를 즉시 수행할 수 있는 감지시스템이다.



[그림 3] 정비주기 선정과정

② 유 분석

유 분석(Oil analysis) 감지 대상은 윤활/유압시스템, 압축기, 터빈, 대용량펌프, 디젤/가솔린 엔진 등이며 먼지나 오염물질 그리고 건강치 못한 기계로부터 발생하는 불순물의 윤활 상태를 측정함으로서 기계나 장치의 건강상태를 검증하는 것이 이 방법이다. 이와 같이 오일에 존재하는 특정 물질 수준을 측정하는 것을 Spectrography라고 하며 이것을 위하여 사용하는 장비를 Spectrometer라고 한다. 스펙트로미터는 두 가지 형태가 있다. 하나는 AES(Arc Emission Spectrometer)이고 또 다른 기구는 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrometer)이다.

③ 오감에 의한 분석

시각, 청각 및 촉각(Visual observation, Listening, Touching)은 모든 중요설비들의 느슨해지고 시각 가능한 부품, 기름누출, 과대 소음, 진동 및 과열 베어링 및 커플링, 불충분한 보전 및 수리방법, 불량부품, 과부하 운전규명 등을 한다.

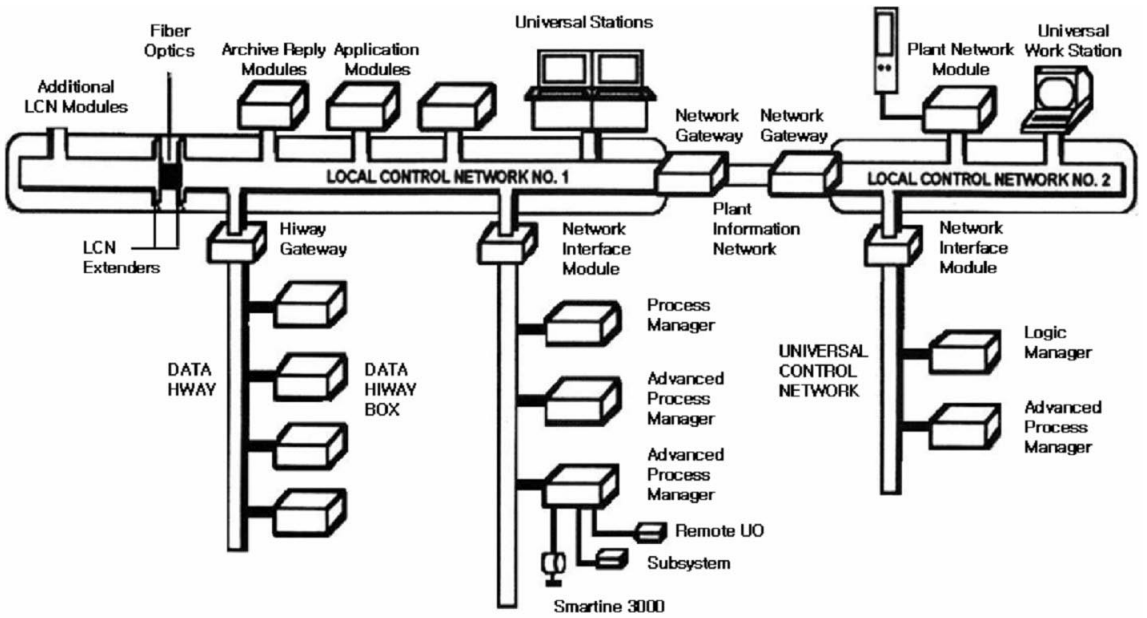
④ 진동분석

플랜트 중요 회전기계에는 진동계(주로 진동진폭)를 설치하여 운전상태 및 기기의 이상 유무를 감시하고 있으며 특히 진동이 회전기계의 건전성을 나타내는 중요한 지표로서 이상의 조기발견에 가장 적절하기 때문에 진동에 의한 회전기계의 이상 진단 시스템을 많이 설치하고 있다.

(2) 결정기준

상태기준 방식에 의한 정비시점 결정은 **그림 5**에 나타나고 있는 것과 같이 초기고장(시)기가 지나면 설비의 한 요소로, 진동수준(Vibration Level)은 일정한 상태를 보이면서 설비는 정상운전(시)기에 들어간다. 그러나 이때에도 주기적으로 진동수준을 감지하여 설비운전을 변화에 의한 진동변화를 감지한다.

만일, 이때 또는 초기 고장시기에 이상이 발생하면 이것을 감지하고 이에 따른 잠정적인 진단을



[그림 4] N열병합발전플랜트 상태감시 시스템

내린다(①고장 가능성 및 시기예측). 상태가 더욱 악화되어 2차 고장시기(②정비준비)에 이르면 이상을 정확히 판단하여 확실한 고장시기를 예측하여 적정한 정비방법을 결정하고 구체적 실행계획을 수립한다.

따라서 실제 고장이 발생하여 전체시스템에 영향을 미치기 전(③정비실시)에 수리 또는 부품대체 등의 방법을 통하여 정비를 하면 설비의 비가동시간(downtime)을 최소화 할 수 있음과 동시에 고장률을 획기적으로 낮출 수도 있는 것이다. 분석결과 고장 원인이 발견되면 그 상태를 중시하여 예측정비와 선행정비, 완전분해정비로 분류하여 **그림 6**과 같이 운전시간 경과에 따라 위험비용은 증가, 정비비용은 감소 등을 감안하여 최적 정비 시점을 결정 한다.

3.3 상태기준 정비의 적용

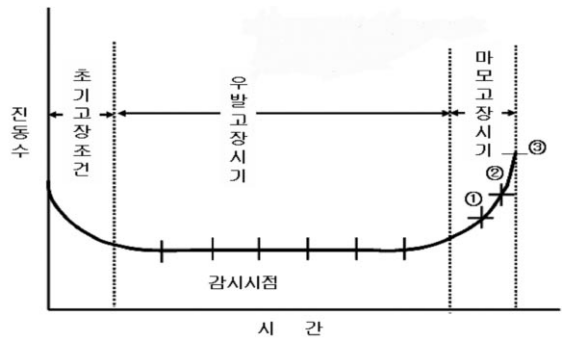
정비란 시스템의 신뢰성을 유지하고 기능을 확보하기 위한 활동으로서 열병합발전플랜트는 고장정비와 제작사의 지침 또는 권고사항에 기준하여 분해 정비를 하여왔다. 이러한 정비는 고장으로 인한 생산차질과 운전조건, 관리상태 주변 환경 등을 고려하지 않은 예방정비 과다로 인한 정비비용이 많이 투입되어 왔다. 따라서 본 논문에서 상태기준 방식에 의한 정비를 N열병합발전플랜트 기계분야에 적용하여 보았다. 상태진단 장비와 종류는 각 기기들에 설치되어 항시 모니터링 되는 감지시스템과 설비특성과 진단 기구에 의한 유분석, 시각, 청각, 및 촉각분석, 진동분석 등으로 분석하고 이상 발견 시 상태 결함을 다음과 같이 진단한다.

(1) 진단항목

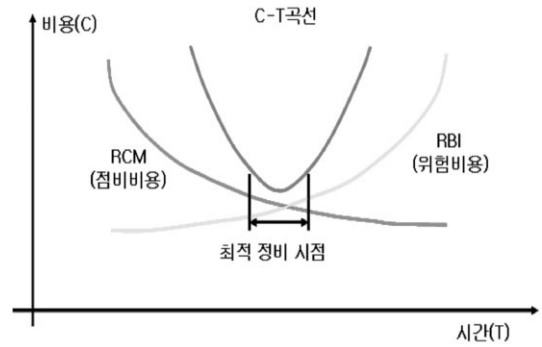
① 치수 정밀도의 측면
② 외관 형상의 측면
③ 조립 정밀도의 측면
④ 설치 정밀도의 측면
⑤ 사용 조건의 측면
⑥ 기능 부품의 기능적인 측면
⑦ 사용 환경의 측면
⑧ 재질 강도적인 측면

(2) 적용방법

현실의 상태의 결함을 발견하고 설정함므로써 비교한 그 차이를 부품 전체를 보아서 치수 정밀도는 어느 범위에 들어가야 하는지, 형상적으로 어떠해야 하는지, 어느 정도의 마모까지 사용해도 견딜 수 있는지 등에 요구되는 정밀도는 다르지만, 이를 하나씩 결정하는 것과 정해진 상태에 따라 예측정비와 선행정비를 분류하고 사전에 자원



[그림 5] 상태 기준으로 한 정비시점 결정 과정



[그림 6] CT 곡선을 통한 최적 정비시점 제시

과 구비 요건들을 갖추어서 정비를 점차적으로 시행하였다.

(3) 분석 자료

CBM을 적용하면 각 기기별로 진단분석 되므로 방대한량의 기초 자료와 결과물이 생성된다. 따라서 본 논문에서는 차이점을 알아보기 위하여 보조보일러 급수펌프에 기존정비 방식적용과 예측정비, 선행정비를 적용한 결과를 각각 비교하여 보았다. 또한 적용효과는 적용시점 2000~2005년까지 자료를 총 정리하여 정비 작업에 소요된 인원 수, 정비에 투입된 자재비, 고장정비와 예방정비 건수 현황을 그래프로 기술하는데 초점을 두었으며 세부적인 상세데이터 및 분석내용에 대하여는 수록하지 않았다.

① 적용 결과

상태기준정비에 의해 N열병합발전플랜트 기계분야 기기들에 대하여 2000년도부터 2005년 11월까지 적용하여 보았다. 보조보일러 급수펌프 A, B, E 3대에 기존의 정비방식과 예측정비, 선행정비를 분류하여서 적용결과를 샘플로 수록하였다.

㉠ 기존 정비방식 적용

보조보일러 급수펌프E에 2000~2005년 11월까지 기존방식대로 고장이 발생시 고장부분을 정비하고 제작사의 권고사항에 따라 일정기간이 되면 분해정비를 행한 결과는 **그림 7**과 같은 결과를 얻었다. 잦은 분해정비로 인한 작업일수가 57일로 다른 펌프에 비해 많았다.

㉡ 예측정비 적용

보조보일러 급수펌프B에 2000~2005년 11월까지 상태기준을 중시하여 지속적인 감시시스템을 통하여 취득한 자료와 점검을 실시하여 나온 결과에 따라 분석하여 정비주기와 시점을 정하고 정비범위에 맞게 정비자원을 미리 갖추어서 상황에 따라 적합한 작업방법으로 사전에 정비를 행한 결과 **그림 8**과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 정비작업일수는 29일로 절감 되었으나, 작업 횟수는 많았음을 알 수 있다.

㉢ 선행정비 적용

보조보일러 급수펌프A에 2000~2005년 11월까지 선행정비를 적용해 보았다. 감지 시스템을 통하여 결과를 분석하고 점검 시 발견된 고장을 초래할 수 있는 근본원인을 찾아내어 **그림 9**와 같이 사전에 Mechanical Seal은 접촉면이 세라믹에서 내구성이 좋은 스텐레스 재질로 교체하여 설치하였다. Sleeve은 턱을 사용 치수에 적합하게 가공하여 설치하였다.

Bearing은 내구성이 좋은 NU211 EKC[3]것으로 교체 설치하였다. 그 결과 **그림 10**과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 정비일수 55일로 많으나 잦은 고장 없이 5년 4개월 동안 연속운전이 가능하여 최적정비 주기를 정할 수 있었고 신뢰도를 갖출 수 있었다.

② 적용상의 문제점

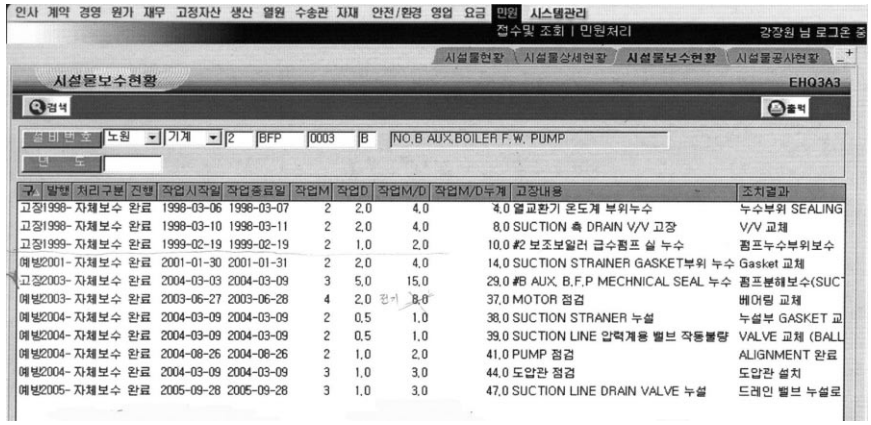
플랜트 상태기준을 중요시함으로서 정비 업무를 개선하고 최적화하는데 있어 많은 장점을 가지고 있는 반면에 적용상 선행되어야 할 문제점들이 있어 현장에서 활용을 꺼리는 경향이 있다고 본다.

상태기준을 중시한 정비가 적용 및 활성화되려면 극복해야 할 다음과 같은 문제점들이 있다.

㉠ 사업주의 정비에 대한 인프라 부족 : 정비는 아무나 모양만 대충 갖추면 같은 정비인줄 아는 인식이 강하다.

㉡ 객관적인 인재 부족 : 정비에 대한 학식과 관련된 이론지식, 실무에 능통하여 정확한 판독과 해결을 하는지에 대한 신뢰가 부족하다.

[그림 7] 기존 정비방식 보조보일러 급수펌프E 정비표



[그림 8] 예측정비 보조보일러 급수펌프B 정비표

[그림 9] 선행정비 사례

㉢ 책임과 권한 한계 : 객관적으로 입증할만한 인재가 있다 할지라도 책임과 권한의 한계로 인하여 정비 업무 전반에 영향력을 행사할 만큼 비효율적인 요소들을 제거하지 못한다.

정비 업무는 설비 유형별로 여러 가지 다양한 기기의 상태기준에 따라 있으며 이러한 업무들 중 효과적인 예측정비와 선행정비를 구분하여 수행해야 한다. 그러나 이렇게 적용해서 실현한 정비효율을 정량적으로 명확하게 산출해 내기는 곤란하다. 또한 운전조건상 과부하 운전이나 강제정시, 운전미숙, 관리부족으로 인한 고장 등의 여지가 있음으로 이용률이 성장하였다 하더라도 이득효과가 어느 정도인지 명확하게 구분하기는 어렵다.

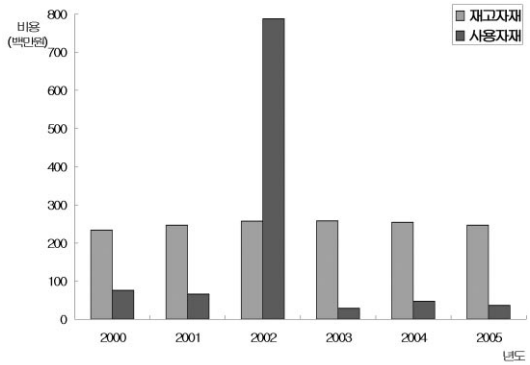
상태기준에 의해서 최적화된 정비를 실현하더라도 단 시일 내에 그 효과를 가시적으로 나타내기는 쉽지 않다. 정비 효율을 평가하기 위해서는 적어도 2년 이상 지난 후에나 효과가 점차 나타나기 시작하며 심지어 특정 기기에 따라서는 계획정비 주기가 3~6년 등 장기간 설정된 것도 있고 또한 일부 기기들은 운전 조건과 환경 상태에 따라 소모성 자재 일부만 보수하거나 교체하여 10년 이상 사용해도 운전상 지장이 없는 기기들도 있다.

③ 정비 효과 분석

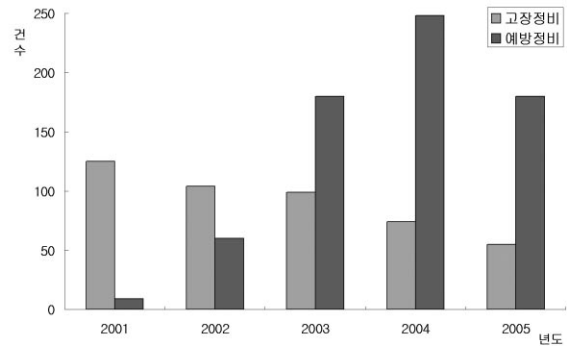
국내 N열병합발전플랜트의 기계분야 기기들에 대한 상태기준을 중시하여 정비를 적용하여 수행한 결과 이전에 고장정비 및 시간기준정비 및 제작사 지침에 의한 정비와 비교 분석을 통해 내 외형적인 수치상으로 효과를 예상 할 수 있었다. 그러나 발전소 전체의 정비 효율을 향상시켜 구체적인 정비효율을 평가하기 위해서는 정비가 완료되어 일정기간(3~6년 정도) 경과한 후에나 가능하며, 적용대상 기기가 설비 전체에 포함되어 있기 때문에 계량화하기가 어렵고 또한 상태기준정비에 의한 직접적인 결과라는 것을 증명해 내기란 용이하지 않다.

현행 상태기준정비 업무에 대한 평가는 적용 후의 정비 작업업무 변화량에 소요 자재비 절감, 정비요원 수 감소와 업무 가중치의 변화만으로도 간단히 가시적인 효율성의 예측이 가능하다. 이들 효과를 객관적으로 정확히 합산하여 효율로 평가해 내기 위한 자료는 현재로서는 관리되고 있지도 않고 객관화되어 있지도 않기 때문에 본 연구에서는 정비작업 업무를 위해 소요되는 정비요원 수와 소요자재 절감과 관리비용만을 고려하여 비용과 효과를 상대 비교 평가하였으며 동일한 발전플랜트에 적용하였으므로 전체적인 비용절감으로 인한 정비효율

[그림 10] 선행정비 보조보일러 급수펌프A 정비표



[그림 11] 자재비용 내역 현황



[그림 12] 정비작업 건수 현황

을 예측하기 위한 척도로서의 가치는 충분히 있다고 생각된다. 연구기간 중 변화된 것은 열병합보일러에 탈진설비가 2002년에 신설되었다.

㉠ 정비작업 인원 수 현황

N열병합발전플랜트 기계분야에 상태기준 방식에 의한 정비 적용 시점부터 인원 수를 기준하여 자료로 삼았으며 정비작업 인원 수는 2000년도 5명에서 2002년도 4명, 2003년도 3명으로 줄었다.

㉡ 자재비용 절감 효과

그림 11은 N열병합발전플랜트 기계분야 정비에 소요되는 자재를 매년 12월 말일을 기준으로 한 자료에 금액을 나타내었다. 설비 노후와 자재비 상승에도 불구하고 2002년도 말을 기준으로 줄었음을 알 수 있다. 2002년도 자재비 증가는 터빈을 A급 정비로 인한 것이다.

㉢ 정비작업 건수 내역 현황

그림 12는 2001~2005년도까지 N열병합발전플랜트 기계분야 정비작업 건수 현황을 나타낸 것이다. 고장정비 건수는 계속 줄고 예방정비 건수는 증가하다가 2004년부터 감소하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구를 통해서 국내 N열병합발전플랜트의 운영여건에 맞는 상태기준정비(CBM) 체계를 마련하고, 이를 활용하여 기계분야 기기들을 선정하고 그 기기상태 분석결과에 따라 예측정비와 선행정비로 분류하고 이에 필요한 자원은 갖추어 최적의 정비작업방법으로 적용해 본 결과 정비작업 인원수는 약 30%, 실제 정비에 투입된 자재비용 역시 약 30% 절감할 수 있었다. 또한 예방정비 횟수는 증가 하였으나 고장으로 인한 정비횟수는 감소하였으므로 생산성 향상 효과가 있다.

그리고 설비의 기기들의 상태에 따라 정비 주기를 선별, 예측정비와 선행정비를 분류하여 최적의 정비를 수행함으로써 기기 활용을 극대화하고, 적합한 정비조직 및 업무 분담과 필요한 자원 요소들을 갖춘 상태에서 신속한 작업이 이루어지므로 정비로 인한 설비 정지시간이 단축되어 가시적인 절감 효과를 얻을 수 있었으며, 무엇보다도 열병합발전플랜트에서 상태기준정비에 근거하여 정비를 수행하는 선례를 남길 수 있었다. (KIPEC)