

열병합 발전운영과 에너지 절약사례(한솔제지 전주공장)

오 장 근 발전과장

(0653) 210-8588

1. 서 언

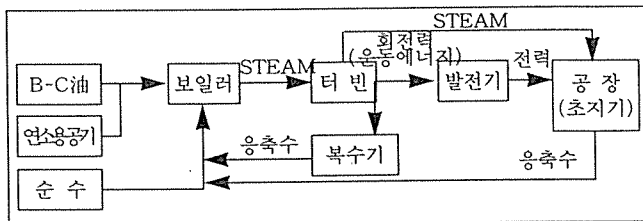
한솔제지(주) 전주공장에서는 분임조 활동을 활성화하여 품질향상과 기업경쟁력 제고에 힘쓰고 있으며 공장내에는 92개의 분임조가 있는데 그 중 열병합발전 분임조가 전주공장의 대표로 선발되어 97 전북 품질 분임조 경진대회에서 우수상을 받았으며 금년 9월에 개최될 전국 경진대회에 참가할 예정으로 있다.

여기서는 우수상을 받은 열병합발전 분임조의 활동내용과 거둔 성과를 소개하고자하며 우리공장의 사례가 열병합발전시설을보유하고 운영하는 업체의 여러분들에게 다소나마 도움이 되었으면 한다.

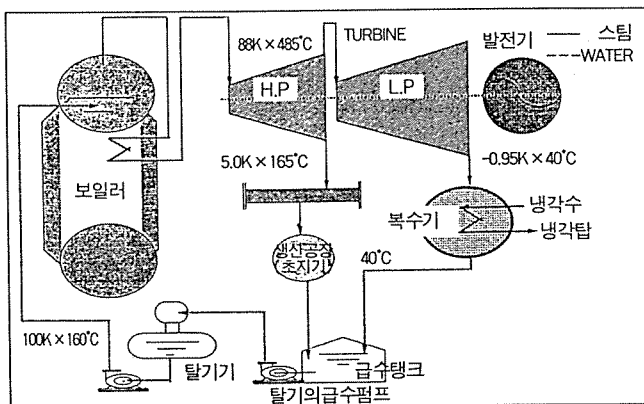
사례의 소개는 열병합 발전소 현황과 주제,현상과약, 중점요인분석, 목표의 설정, 대책실시, 결과분석순으로 도식화 방법에 의하여 소개하고자 한다.

2. 열병합발전소현황

2-1 열병합 발전 공정



2-2 개략도



2-3 STEAM발생설비 현황

설비명	BOILER(T/H)	T/G (MW)		준공년도
#1STG	82	11.5	배압터빈	1984
#2STG	130	23.24	추기복수	1989
#3STG	130	32.36	추기복수	1992
#1보조 BOILER	50	-	-	1989
#2보조 BOILER	30	-	-	1993
#3보조 BOILER	120	-	-	1996
TOTAL	542 T/H	67.1MW		

■ 폐열 보일러

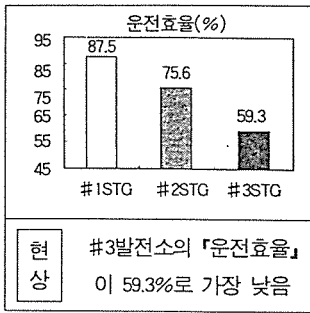
설비명	용량 (T/H)	준공년도
# 2 소각로	15	1988
# 3 소각로	25	1991
# 4 소각로	30	1993
#1 TMP	18	1990
#2 TMP	25	1996
TOTAL	113 T/H	

3. 주제선정

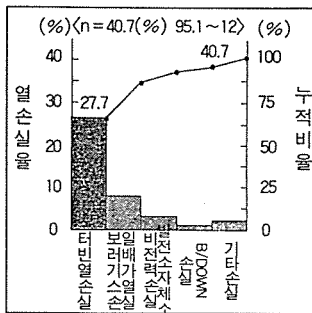
4-1 안건제출 및 평가

제안자	제안안건	평가기준				순위	판정
		과방침	가능성	참여도	평점		
곽철호	CBD DRAIN水 회수로 에너지 절감	5	5	3	13	2	차기
서정원	ACID SMUT 배출억제로 환경오염 방지	5	3	3	11	3	보류
명홍진	#3 터빈 운전효율 향상으로 이익 증대	5	5	4	14	1	채택
장승일	BURNER GUN RAFFLING 방법 개선	3	3	3	9	5	보류
최계호	E/P 관리 방법 개선	4	2	4	10	4	보류
전영운	B, C, TOWER LEVEL 관리 방법개선	2	3	3	8	7	기각
한봉희	응축수 재증발 방지로 에너지 절감	4	2	3	9	6	보류

3-2 발전소별 운전효율



3-3 발전소 열손실율



4. 주제 : #3터빈 운전효율 향상으로 이익증대

1. '95년 운전실적 기준 #1~3 발전소의 운전효율 및 발전 전력단가를 비교해 본 결과, #3 발전소의 운전 효율이 가장 낮으며, 발전 전력단가는 가장 높은것으로 나타남.

2. 한편, 발전소 연료인 B-C유 가격의 상승 및 한전 수전전력요금 적용방법 변경등의 에너지관련 주변환경 변화는 자가발전소 운전경쟁력을 약화시키는 요소로 작용 함.

3. #3 터빈 효율 저하의 가장 큰 요인인 터빈 열손실을 감소, 효율 향상을 통한 운전경쟁력의 확보와 발전소 운전이익 증대를 위하여 주제로 선정.

한전 전력요금 (적용구조) → 발전원가 ↑ → 한전과의 운전경쟁력 → **운전이익 감소**

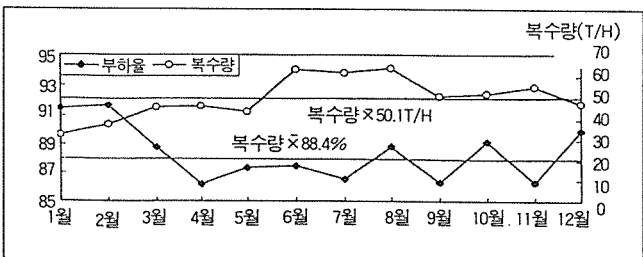
B-C유 가격 ↑ → 발전원가 ↑

열손실량 ↑ → 운전효율 ↓ → 발전원가 ↑

운전/관리방법 → 운전효율 ↓

5. 현상파악

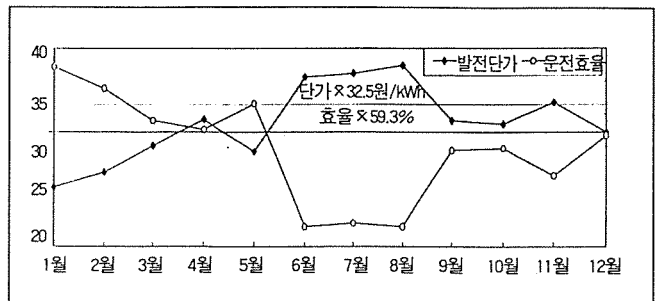
5-1. '95년 #3 발전소 운전부하율 & 터빈 복수량



현상

1. 년평균 복수량이 50.1T/H이며 여름철에 복수량이 많음.
2. 평균 부하율이 88.4%이며 겨울철이 높음
3. 스팀 1톤 복수시 열손실량 : 581,775 kcal
- 열손실율 : 72.6%(기준입열 : 801,770 kcal)

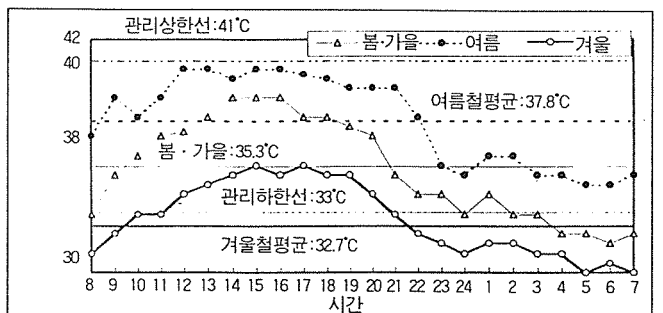
5-2 '95년 #3 발전소 효율 & 발전단가 변화 ('95)



현상

여름철에 「효율」이 낮아지며, 「발전단가」는 높은 것을 알 수 있음. (최저효율:43.0%, 최고단가:38.2원/kWh)

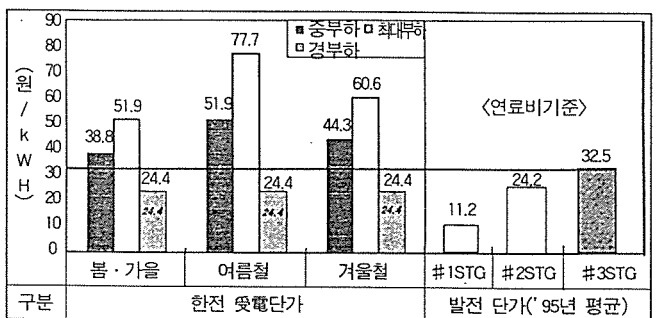
5-3 '95년 #3 발전소 터빈 복수온도 변화 ('95)



현상

1. 여름철 : 관리선 평균값에 가깝게 운전(양호함)
2. 봄가을 : 야간시간에 관리하한선 약간 벗어남
3. 겨울철 : 야간시간 전체 관리하한선을 벗어남(과전공)

5-4 전력단가비교 (한전:발전소)



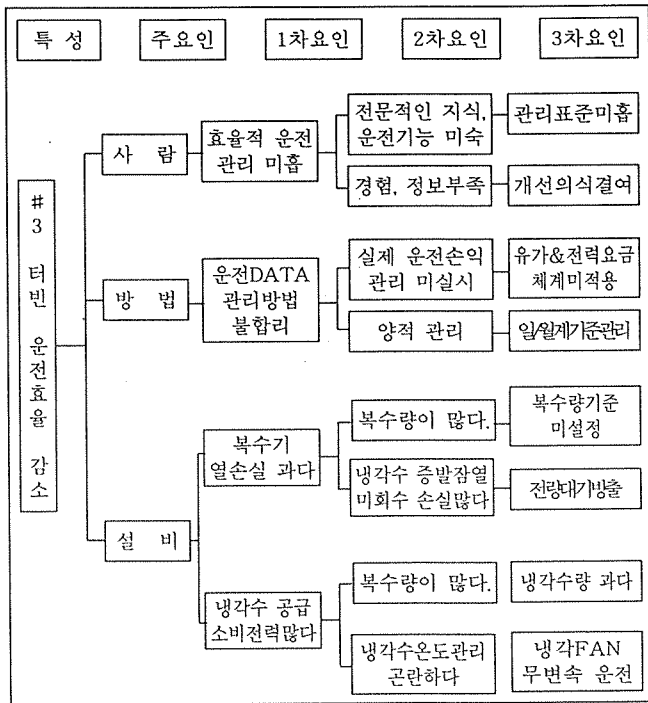
한전 전력요금 적용 시간 구조 비교

구분	중부하	최대부하	경부하
겨울철 (10-3월)	08-16, 20-22	16-20	22-08 (공휴일 24Hr)
봄·가을, 여름철 (4-9월)	08-10, 12-14, 17-22	10-12, 14-17	-

4,588Hr/년 (중부하 52%)
2,831Hr/년 (최대부하 15%)
1,341Hr/년 (경부하)

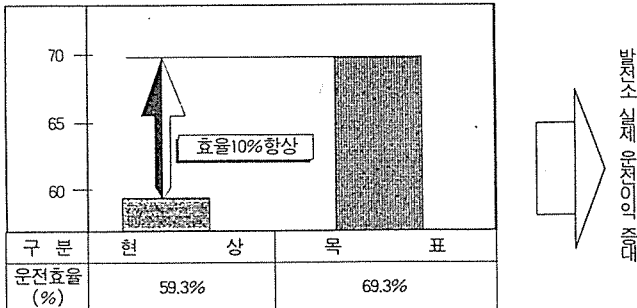
한전의 싼요금 적용으로 운전 경쟁력이 상대적으로 감소되는 「경부하」 시간이 전체의 52%를 차지 함. (4,588 Hr/년)

6. 중점요인분석



7. 목표설정

목표 : #3발전소 운전효율 10% 향상



설정근거

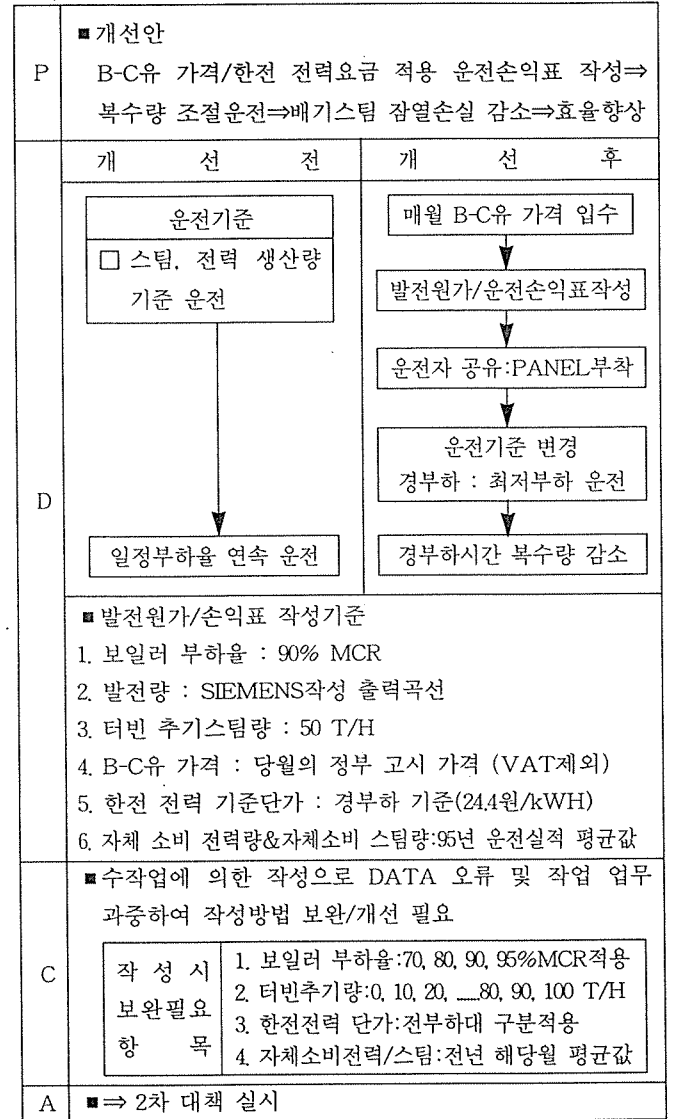
- #1, 2, 3 발전소중 복수기 용량이 크며, 공장의 변동부하를 흡수 운전하는 #3발전소의 운전효율이 가장 낮고 발전원가가 높은만큼,
- 한전 대비 운전 경쟁력(손, 익)에 따라 복수량 감소 운전으로 배기스팀 손실 최소화 및 자체 소비전력 감소를 위한,
- 운전 및 관리 방법을 개선 한다면, #2 발전소 운전 효율에 근접한 수준까지 향상 시킬 수 있으리라 판단되어 목표로 설정하게 됨.

구분	복수기용량	효율(95일적기준)	비고
#2STG	30 T/H	75.6%	한전과의 운전경쟁력이 없는 경부하 시간대에는 #3터빈의 복수량 최저로 운전
#3STG	100 T/H	59.3%	- 경부하 운전 복수량 : 30T/H이하

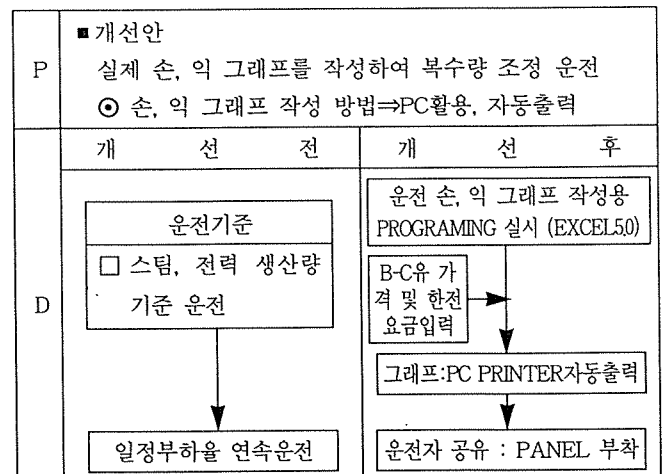
8. 대책실시

8-1 복수기준 설정 운전으로 효율향상

■ 1차 대책 실시

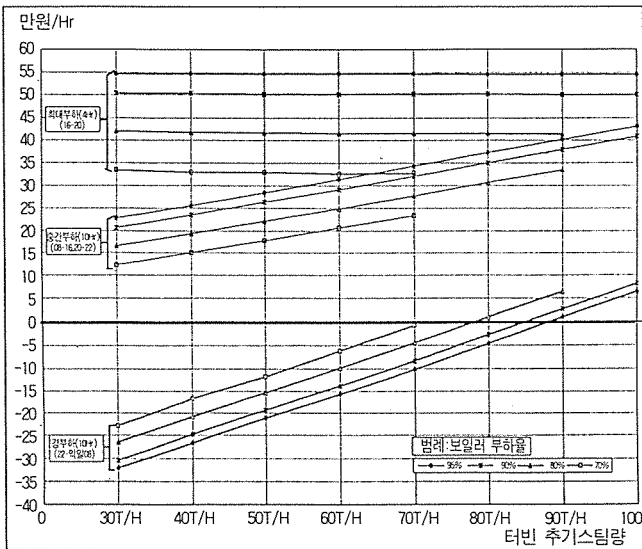


■ 2차 대책 실시

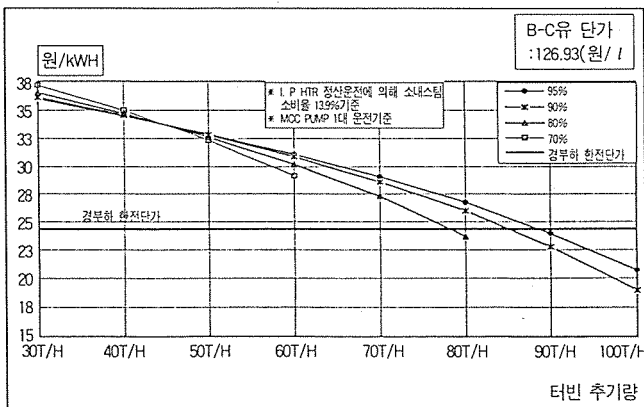


D	<p>운전기준 변경</p> <p><input type="checkbox"/> 실제 운전 손, 익에 따른 탄력적 운전</p> <p>↓</p> <p>효율향상, 이익증대</p>
C	<p>■ 운전 부하율 변화 분석</p> <p>최적부하 운전</p> <p><input type="checkbox"/> 중, 최대부하: 고부하 운전(95% MCR)</p> <p><input type="checkbox"/> 경부하: 최저부하운전(70% MCR)</p> <p>↓</p> <p>년평균 운전부하율64% ↓</p> <p>('95년도 운전실적 대비예상)</p>
A	<p>■ 작업표준서 작성 등록 활용, 등록번호 : E21-02-0130</p>

첨부 '96. 3월 #3STG 운전 손익 그래프(겨울철)



96. 3월 #3STG 송전단가



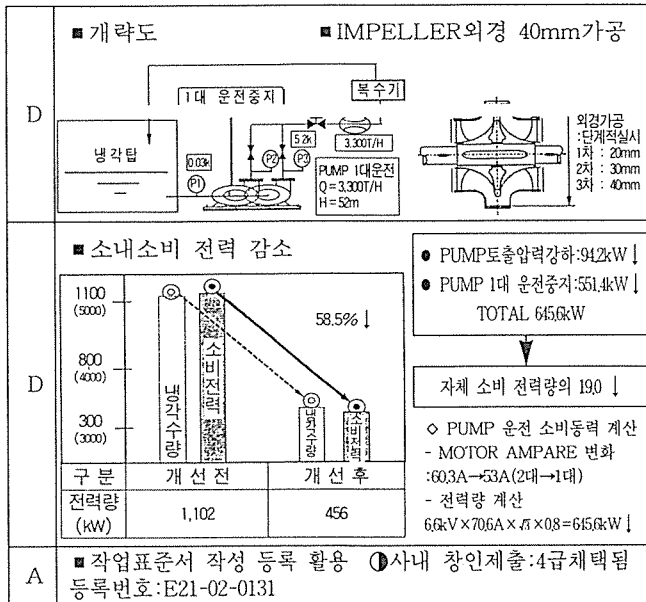
8-2 유량 콘트롤 V/V 자동운전으로 냉각수량 감소

■ 1차 대책 실시

P	<p>■ 개선안</p> <p>복수기 운전 부하대비 과다한 냉각수량을 감소운전</p> <p>◎ 유량 콘트롤 V/V복수량 추종운전⇒PUMP소비전력 감소</p>				
D	<table border="1"> <tr> <th>개 선 전</th> <th>개 선 후</th> </tr> <tr> <td> <p>복수기 냉각수량 과다운전</p> <p>설계 냉각수량 기준 일정량 운전(년중동일)</p> <p>-복수기 부하:50%</p> <p>-냉각수량:5,100 T/H (설계기준)</p> <p>-C/V조작 : 수동조작</p> </td> <td> <p>C. V/V CONTROL V/V 자동운전 REMOTE CONTROL LOOP구성 (DCS)</p> <p>↓</p> <p>복수량에따라 유량조절</p> <p>↓</p> <p>MINIMUM 냉각수량 이상운전(3,300T/H)</p> <p>↓</p> <p>PUMP 소비 전력감소</p> </td> </tr> </table>	개 선 전	개 선 후	<p>복수기 냉각수량 과다운전</p> <p>설계 냉각수량 기준 일정량 운전(년중동일)</p> <p>-복수기 부하:50%</p> <p>-냉각수량:5,100 T/H (설계기준)</p> <p>-C/V조작 : 수동조작</p>	<p>C. V/V CONTROL V/V 자동운전 REMOTE CONTROL LOOP구성 (DCS)</p> <p>↓</p> <p>복수량에따라 유량조절</p> <p>↓</p> <p>MINIMUM 냉각수량 이상운전(3,300T/H)</p> <p>↓</p> <p>PUMP 소비 전력감소</p>
개 선 전	개 선 후				
<p>복수기 냉각수량 과다운전</p> <p>설계 냉각수량 기준 일정량 운전(년중동일)</p> <p>-복수기 부하:50%</p> <p>-냉각수량:5,100 T/H (설계기준)</p> <p>-C/V조작 : 수동조작</p>	<p>C. V/V CONTROL V/V 자동운전 REMOTE CONTROL LOOP구성 (DCS)</p> <p>↓</p> <p>복수량에따라 유량조절</p> <p>↓</p> <p>MINIMUM 냉각수량 이상운전(3,300T/H)</p> <p>↓</p> <p>PUMP 소비 전력감소</p>				
C	<p>■ 개략도</p> <p>CONTROL VALVE 개도 60%→38% ↓</p> <p>냉각탑</p> <p>복수기</p> <p>PUMP 소비(2대운전) Q=2,750 T/H(670kW) H=65m</p>				
A	<p>■ 소내소비 전력 감소</p> <p>유량감소 운전으로 소비전력 128kW감소</p> <p>↓</p> <p>자체 소비 전력량의 44% ↓</p> <p>◇ PUMP 운전 소비전력 계산</p> <p>- MOTOR AMPARE변화 :603A→53A(2대)</p> <p>- 전력량 계산 66kV×14A×3×0.8=128kW ↓</p>				
A	<p>■ 유량 감소시 PUMP 토출압력 상승 및 ΔP증가로 인한 소음, 진동이 크게 증가되어 개선필요 → 2차 대책 실시</p>				

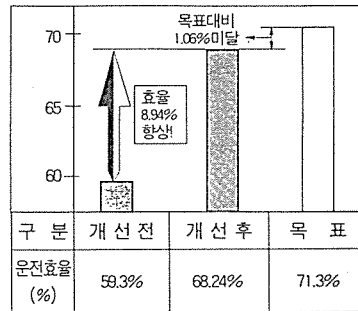
■ 2차 대책 실시

P	<p>■ 개선안</p> <p>PUMP 토출압력 상승 및 ΔP증가에 인한 소음, 진동 증가로 개선필요</p> <p>□ PUMP 토출압력 강화⇒소음, 진동 ↓⇒PUMP 소비전력 감소</p>				
D	<table border="1"> <tr> <th>개 선 전</th> <th>개 선 후</th> </tr> <tr> <td> <p>펌프 토출압력 높다</p> <p>6.5k로 과다하게높다 (복수기입구:20k)</p> <p>↓</p> <p>소음, 진동 크게 증가</p> <p>↓</p> <p>불필요한 동력 손실</p> </td> <td> <p>펌프 토출압력 낮춤</p> <p>6.5k→5.2k(1.3k ↓) (IMPELLER 외경 40mm가공)</p> <p>↓</p> <p>소음, 진동 감소</p> <p>↓</p> <p>토출량증가 운전가능</p> <p>↓</p> <p>PUMP 1대 중지 (MINIMUM 냉각수량 이상 운전 가능)</p> <p>↓</p> <p>PUMP소비 동력감소</p> </td> </tr> </table>	개 선 전	개 선 후	<p>펌프 토출압력 높다</p> <p>6.5k로 과다하게높다 (복수기입구:20k)</p> <p>↓</p> <p>소음, 진동 크게 증가</p> <p>↓</p> <p>불필요한 동력 손실</p>	<p>펌프 토출압력 낮춤</p> <p>6.5k→5.2k(1.3k ↓) (IMPELLER 외경 40mm가공)</p> <p>↓</p> <p>소음, 진동 감소</p> <p>↓</p> <p>토출량증가 운전가능</p> <p>↓</p> <p>PUMP 1대 중지 (MINIMUM 냉각수량 이상 운전 가능)</p> <p>↓</p> <p>PUMP소비 동력감소</p>
개 선 전	개 선 후				
<p>펌프 토출압력 높다</p> <p>6.5k로 과다하게높다 (복수기입구:20k)</p> <p>↓</p> <p>소음, 진동 크게 증가</p> <p>↓</p> <p>불필요한 동력 손실</p>	<p>펌프 토출압력 낮춤</p> <p>6.5k→5.2k(1.3k ↓) (IMPELLER 외경 40mm가공)</p> <p>↓</p> <p>소음, 진동 감소</p> <p>↓</p> <p>토출량증가 운전가능</p> <p>↓</p> <p>PUMP 1대 중지 (MINIMUM 냉각수량 이상 운전 가능)</p> <p>↓</p> <p>PUMP소비 동력감소</p>				

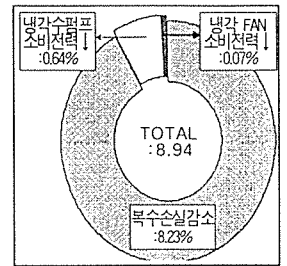


9. 결과분석

9-1 운전효율 향상



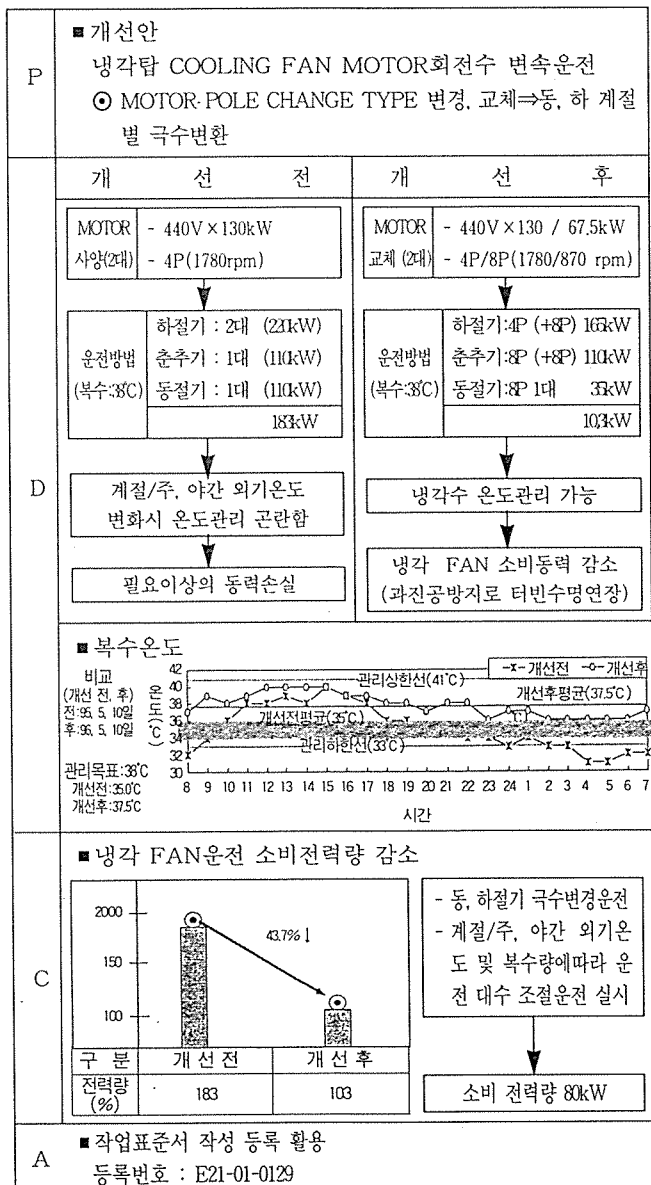
효율향상 구성비율



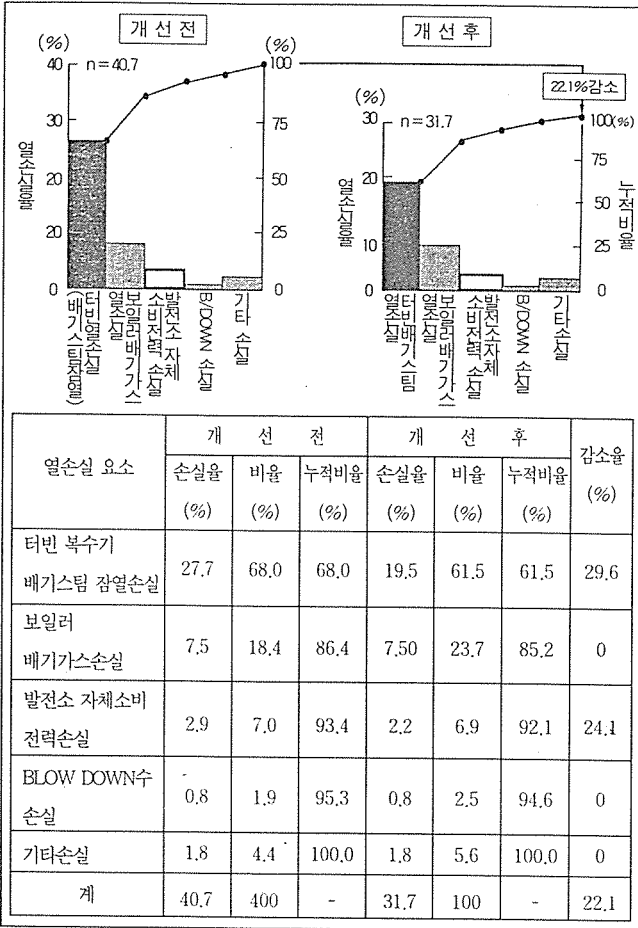
■ 개선 항목별 효율향상 ('95년 실적대비 예상)

개선항목	효율향상(%)	계 산 근 거				
		복수증, 감량(T/H)	손실증, 감량(Kcal/H)	운전시간 Ht(%)	효율증, 감(%)	
복수기 열손실 감소운전	823	중부하 (여름, 겨울)	+739	-4,379,430	1,938 (2488%)	-507
		최대부하 (전계절)	+878	-5,000,000	1,315 (1700%)	-585
		경부하 (전계절)	-2870	+16,500,000	4,588 (5812%)	+1917
		TOTAL	-1333	+7,114,440	7,911 (1000%)	+823
냉각수량 감소 / 펌프 토출압력 강하운전	061		◆ PUMP 1대 운전 중지 및 토출압력 감소 소비동력 절감 645.6kW × 860kcal/kW = 555,216kcal/H ∴ 효율향상: 393,780 ÷ [A] = 0.64%			
냉각탑 FAN 변속운전	007		◆ FAN MOTOR 극수 변경에 의한 변속운전 73kW × 860kcal/kW = 62,780kcal/H ∴ 효율향상: 62,780 ÷ [A] = 0.07%			
TOTAL			8.94% ↑			
비 고		□ 효율비교 기준입열(95년도 운전평균임, 부하88.4%) = 86,365,350kcal/H (②+⑤+⑥) = [A] 1. B-C유 평균 사용량 : 7,888kg/H 입열량 = 7,888kg × 9,830kcal/kg = 77,539,040kcal/H...② 2. 응축수 회수입열 = 29.3T/H × 1,000 × 100 = 2,930,000kcal/H...⑤ 3. TMP스팀 회수입열 = 9.17T/H × 1,000 × 643 = 5,896,310kcal/H...⑥				

8-3 냉각탑 FAN변속 운전으로 소비전력 감소



9-2 개선전, 후 열손실을 비교 파레토 그림



9-4 효과파악

9-4-1. 유형효과 806,831천원/년 (①+②+③)

1. 중부하, 최대부하 시간 복수량 증가 운전 (88.4%→95%MCR)

부하 대별	계 절	운전 시간	복수증가 량(T/H)	BC증가량 (KL/H)	BC증가 금액(원/H)	송전량증 가(kWH)	송전증가금 액(원/H)	운전이익 (천원/H)	절감액 TOTAL(천원)
중 부 하	여름철	468	9.5	0.67	85,614	2,046	106,189	20.6	9,629
	봄, 가을	873	-	-	-	-	-	-	-
	겨울철	1,500	7.0	0.50	63,804	1,508	66,787	3.7	5,554
계(천원)	2,841	16.5	1.2	148,698	3,553	172,976	24.3	15,183	
최대 부하	여름철	260	9.5	0.67	85,614	2,046	158,977	73.4	19,074
	봄, 가을철	485	10.6	0.75	5,528	2,283	118,485	23.0	11,134
	겨울철	600	7.0	0.50	63,084	1,508	91,361	28.3	16,966
계(천원)	1,345	27.1	1.9	244,226	5,837	368,823	124.6	47,175	
비고	62,358 천원/년..... ①								

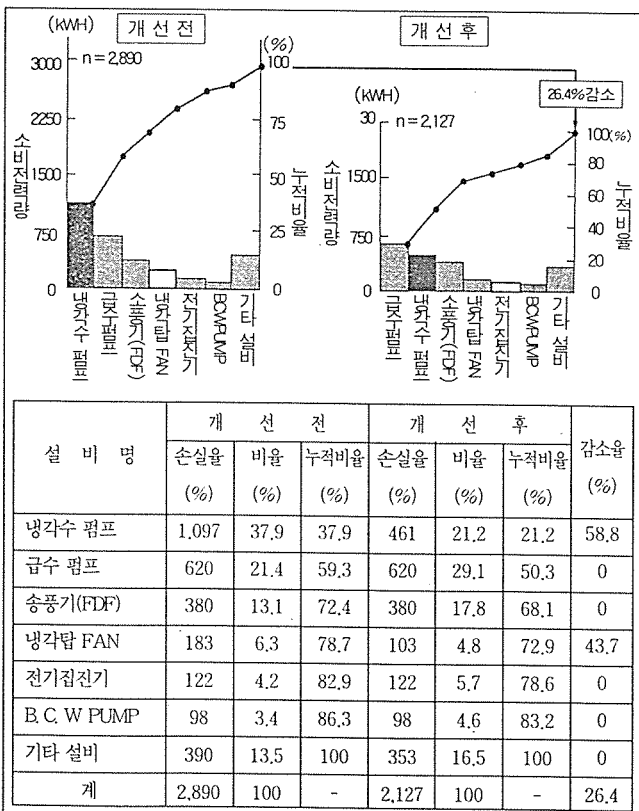
2. 경부하시간 복수량 감소운전(88.4%⇒70.0% MCR)

부하 대별	계 절	운전 시간	복수증가 량(T/H)	BC감소량 (KL/H)	BC감소 금액(원/H)	송전량감소 (kWH)	송전감소금 액(원/H)	운전이익 (천원/H)	절감액 TOTAL(천원)
경 부 하	여름철	760	42.8	3.04	385,715	9,218	224,917	160.8	122,206
	봄, 가을	1,546	31.2	2.22	281,175	6,720	163,958	117.2	181,217
	겨울철	2,290	24.4	1.73	219,894	5,255	128,224	91.7	209,923
계(천원)	4,598	98.4	7.0	886,783	211,92	217,099	369.7	513,346	
비고	513,346 천원/년..... ②								

3. 자체 소비전력 감소운전 이익금액

- 복수기 냉각수 PUMP 운전 소비전력 감소
 - 펌프 토출압력 강하 (6.6kV×10.3A×√3×0.8=94.2kW...①)
 - PUMP 1대 운전중지 (6.6kV×60.3A×√3×0.8=551.4kW...②)
 - 냉각FAN 변속운전 소비전력 감소 (440kV×131A×√3×0.8=80.0kW...③)
- TOTAL (①+②+③)=725.6kW
3. 이익금액(계산근거 : 「표」 참조)
231,127 천원 /년.....③

9-3 개선전, 후 자체소비전력 비교 파레토 그림



- [계산근거]
- 복수량 감소운전 효과
 - 1) B-C유 단가 : 126.93원/L(96.3월 기준)
 - 2) B-C유 소비량 : #3 STG BOILER평균 증발 원단위 기준 (71.0L/ST)
 - 3) 송전증가(감소)량=[복수량×(802.0-613)÷860]×0.98
 - * 802.0(91k×488°C 터빈 INLET STEAM ENTHALPY)
 - * 613.0(-0.95k×40°C 복수기 INLET STEAM ENTHALPY)
 - * 860.0(전력 ENTHALPY (kcal/kW), 0.98 (전력발생효율))

4) 송전금액 = 송전량 × 부하대별 단가 (24.4, 38.8, 44.3, 51.9, 60.6, 77.7)

5) 복수저감(증가)량 = 95년도 운전실적기준 증·감 운전 가능량임.

6) 운전이익 금액 = B-C유 절감(증가) 금액 - 송전감소(증가)

7) O/H 기간은 계산 편의상 포함하여 계산 함.(매년 기간 변경)

■ 자체 소비전력 감소 운전

1) 동력비 절감금액 계산

구 분	중 부 하	최대부하	경 부 하	TOTAL
봄, 가을철	24,578	18,264	27,371	70,213
여름철	17,624	14,658	13,455	45,737
겨울철	48,216	26,382	40,579	115,177
계	90,418	59,304	81,405	231,127

2) 계절/부하대별 운전시간

구 분	중 부 하	최대부하	경 부 하
봄, 가을철	873	485	1,546
여름철	468	260	760
겨울철	1,500	600	2,292
계	2,841	1,345	4,598

9-4-2 무형효과

1. 공장 대회 금상 및 한솔그룹대회 은상 수상으로 분임원의 사기가 앙양 되었으며,
2. 원가 절감에 대한 의식고취 및 성취감 달성
3. 합리적인 설비 관리 및 효율적인 운전 기능의 향상
4. 주변 경영 환경변화에 적극적이고 능동적인 대응 필요성 인식

11. 맺는말

한솔제지(주) 전주공장은 제3호 터빈의 운전효율 향상을 추진하여 연간 약 8억원의 에너지 비용 절감 효과를 거두었으며 97년에는 돌발 가동중지 ZERO 화를 달성하고 지속적인 과제발굴 및 추진으로 기업 경쟁력 확보에 기여하고자 한다.

생산원가에 미치는 비용요소를 보면 대부분 외적 요인(국제원자재가격, 인건비 등)으로 절약이 어려우나 에너지비용 및 보수, 정비비용등은 외적저항없이 절약이 가능하다고 사료되며 에너지를 비교적 많이 사용하고 있는 열병합 발전업체는 에너지 이용 효율 증대와 돌발적인 TROUBLE 방지에 지속적으로 노력해야 한다고 생각한다.

회원사 등칭

<수상을 축하합니다>

○ 포항종합 제철(주) 광양제철소

협회에서 1996년 7월 15일 대한전기협회에서 주최하는 '97(제16회) 전기산업진흥 촉진대회에서 시상할 수상대상자로 포항제철(주) 광양제철소의 정호성 환경에너지부장을 추천하였으며 1997년 4월 10일 개최된 촉진대회 시상식에서 대통령 표창을 수상하였다. 수상한 정호성 부장은 전력전문기업이 아닌 일반기업체에서의 유일한 수상자로 그동안 전력산업발전과 기업에 기여한 공로가 크게 인정되었다고 사료되며 회원사 여러분과 함께 축하를 드린다.

○ 한솔제지(주) 전주공장

한솔제지(주) 전주공장의 열병합 발전 부문 분임조가 전국 품질 분임조 경진대회의 전북예선에서 우수상을 수상하였으며 금년 9월에 전국 경진대회에 참가할 예정이다. 우수상 수상을 축하하며 전국대회에서 좋은 성적을 거두기를 기원한다. 사례는 본지에 별도로 게재하였으므로 참고하기 바란다.

○ 에너지 관리공단의 대전 3·4공단 열병합 발전시설 시험가동

1997년 7월 에너지 관리공단에서 건설한 대전 3·4공단의 열병합 발전시설이 시운전에 들어갔다. 공사는 94년도에 착공하였으며 설비 내용은 아래 표와