

전기집진기 성능개선을 통한 에너지절감 및 대기환경 개선사례

석탄을 연료로 사용하는 화력발전소에서는 대기중에 배출되는 석탄재를 수거하기 위해 전기집진기를 설치 운영하고 있다. 대기환경규제가 연차적으로 강화되기 때문에 이에 상응하는 집진설비를 갖추어야 하나 집진기 교체는 막대한 예산과 공사기간이 필요하므로 영월화력에서는 전기집진기를 신형으로 교체하지 않고 집진효율을 향상시킬 수 있는 방법을 개발하여 예산절감 및 대기오염방지에 기여하게 되었다. 간단한 설비개선으로 큰 효과를 얻은 사례이므로 향후 이 방법을 더욱 발전시켜 다른 발전소 및 시멘트 플랜트 등에 이용되기를 바란다.

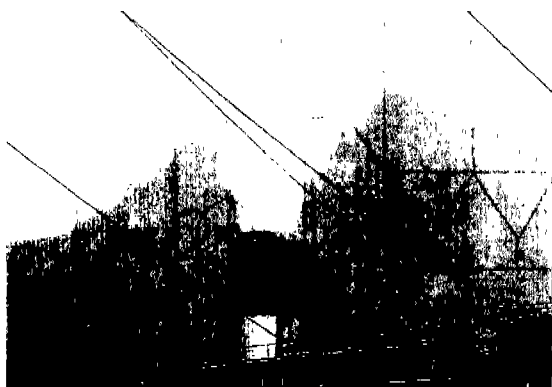
■ 원고제공 / 김 병 하 (한국전력공사 영월화력발전소 전기부장)

1. 서론

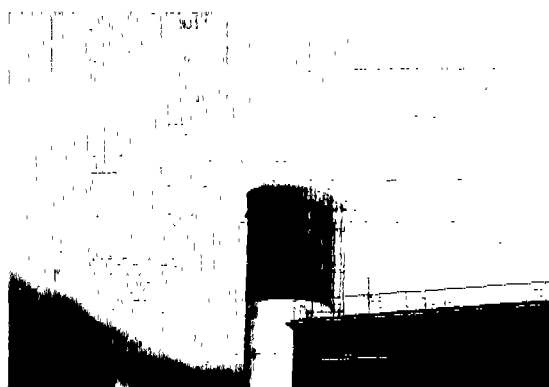
영월화력(500MV×2)은 석탄 중유 혼소발전소로서 강원도 영서탄광에서 생산되는 저품위 무연탄

소비를 목적으로 1965년에 준공되어 연간 약 40만 톤을 소비함으로써 지역경제 발전에 크게 기여하고 있다.

석탄 소비시는 석탄연소량의 50%에 상당하는 1



▲ 성능개선전 집진기 운전상태



▲ 성능개선후 집진기 운전상태

일 700톤의 탄재(Fly ash)가 발생되는데 건설당시는 대기환경오염에 대한 특별한 규제가 없어 기계식집진기만 설치, 운영하여 오다가 '81년부터 대기분진배출에 대한 환경규제가 시작되어 기계식집진기를 철거하고 전기집진기를 설치, 운영하게 되었다.

대기분진배출에 대한 환경규제가 연차적으로 더욱 강화되고 있기 때문에 석탄화력발전소에서는 이에 상응하는 집진설비를 보강하지 않으면 석탄 혼소율을 조정하여 석탄소비량을 줄여야할 형편이 되었다.

이러한 현안문제를 발전소 자체로 기술개발하여 해결하게 됨으로써 대기오염방지 및 예산절감, 석탄소비증대 등의 성과를 얻게 되었다.

※ 대기분진배출 허용농도 규제의 변천

- '81년도 : 500mg/Nm³ 이하
 - '87년도 : 500mg/Nm³ 이하 → 400mg/Nm³
 - '89년도 : 400mg/Nm³ 이하 → 250mg/Nm³
 - '95년도 : 250mg/Nm³ 이하 → 100mg/Nm³
 - '99년도 : 100mg/Nm³ 이하 → 50mg/Nm³ 이하
- 로 강화 예정

〈표 1〉 전기집진기 설치현황

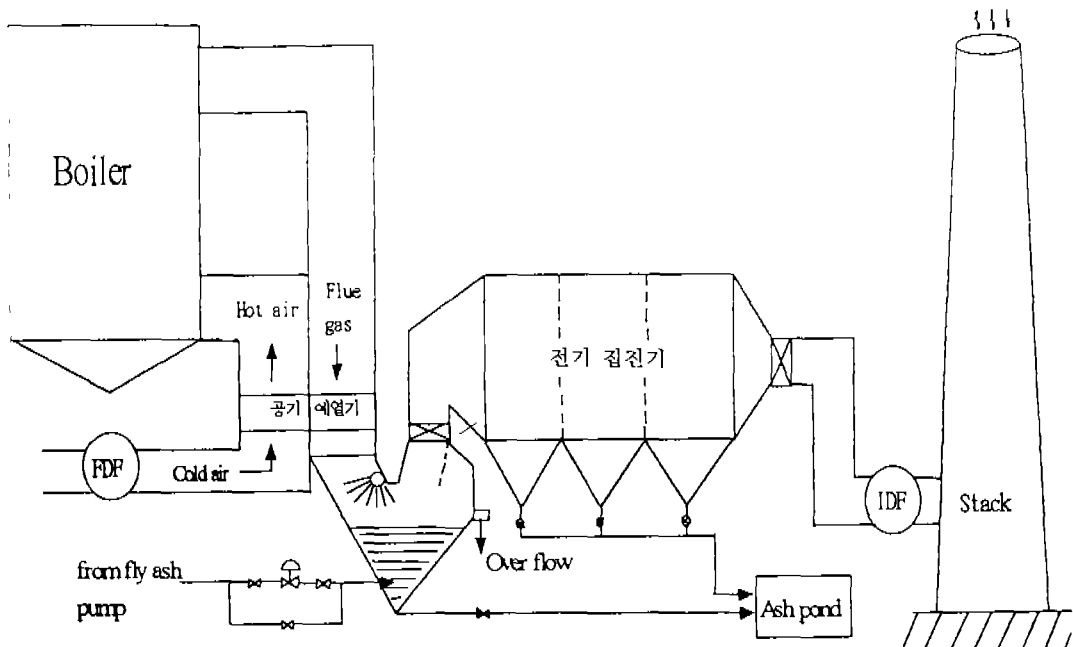
구 분	기설 집진기	신설 집진기
설치 연도	1981년	1987년
수 량	2기(#1-1, #2-1)	2기(#1-2, #2-2)
형 식	건식 수평류 옥외형	건식 수평류 옥외형
분진농도 설계치	400mg/Nm ³ 이하	120mg/Nm ³ 이하
당시 환경규제치	500mg/Nm ³ 이하	400mg/Nm ³ 이하
효 율	99.5%	99.88%
집진기 체적	8,352m ³	6,912m ³

2 당면문제

가. 기존 전기집진기 용량부족

'81년도 기존 전기집진기 설치당시의 분진배출 규제치는 400mg/Nm³ 이하였고, '87년도부터는 250mg/Nm³ 이하로 강화되었으며 혼소율 82% 운전시 분진배출 농도는 250~300mg/Nm³이었다.

대기환경규제가 연차적으로 강화되어 '95년도부터는 100mg/Nm³ 이하, '99년도부터는 50mg/Nm³ 이하로 되기 때문에 기존 전기집진기로는 설계성



〈그림 1〉 전기집진기 현장 설치도

능을 100% 발휘하여도 규제치를 초과하게 된다.

나. 석탄소비량 감소

현재 강원도 영서탄광은 정부의 석탄산업합리화 정책에 따라 석탄 채탄량 감소로 지역경제가 침체되어 주민들의 생존권 투쟁이 심각한 상태이며, 정부에서는 이의 해결책으로 연간채탄량 430만톤을 보장하였고 이에 따라 한전에서는 발전용 연료로 250만톤을 소비하도록 계획되어 있다.

영월화력에서는 연간 40만톤을 소비해야 되는데 집진기 용량을 증대하지 않으면 15만톤정도 밖에 소비할 수 없다.

다. 신형집진기 교체시 문제점

국내 전기집진기 전문제작사에서는 기존설비의 보장만으로는 100mg/Nm³ 이하로 유지가 불가능하며, 신형고효율 전기집진기로 교체할 것을 제의하였다. 그러나 신형고효율 전기집진기는 기존집진기 보다 용적이 크기 때문에 설치할 공간이 없으며, 설치비만 해도 100억원 이상 소요되고, 6개월 정도의 교체공사 기간중에 발전정지를 해야하는 어려움이 따른다.

또한 영월화력은 30년이 넘은 노후 발전설비이기 때문에 막대한 예산투자의 타당성 면에서도 고려되어야 할 것이다.

3. 설비개선

가. 관성력을 이용한 습식집진 호퍼 개발

앞에서 언급한 바와 같이 기존집진기의 성능을 향상시키기 위해서는 집진기 용적을 확대하는 방법이 있으나 현장 여건상 용적 확장공간이 없기 때문에 이 방법을 채택하지 못하고 다른 방법을 연구하게 되었다.

개선내용은 그림 2의 공기에열기(A/H)와 집진기 사이에 설치되어 있는 기존 "V"형 호퍼를 개조, 관성력 습식집진 호퍼를 만들어 Fly ash를 집진기 입구에서 기계식으로 다량 포집하는 방안이

며, 사전에 축적된 모형을 만들어 시험한 결과 Fly ash 총량의 50% 정도가 포집됨을 알았다.

상세한 구조는 그림 3과 같으며, 이 방법을 채택함으로써 전기집진기의 부담을 50% 정도 줄일 수 있어 결국 전기집진기 용적을 50% 확대한 결과가 되었다.

개선된 관성력을 이용한 습식집진 호퍼의 구조 설명과 집진특성은 다음과 같다.

1) 기존 공기에열기 하부 호퍼의 단면 확장

그림 3과 같이 기존 "V"형 호퍼의 출구측 단면을 입구보다 2배 이상 확장, 입구유속보다 출구유속을 1/2 이하로 감소시키고 호퍼 하부에는 물을 일정높이로 채운 구조로서 Fly ash가 호퍼에 유입되는 빠른 속도의 관성력에 의해 물에 흡착되도록 하고, 유출시는 속도를 급감시켜 Fly ash가 물에 흡착되는 시간을 주는 동시에 전기집진기로 유입되는 연소가스의 흐름을 균일하게 하였다.

공기에열기 하부 호퍼 출구유속 V2는

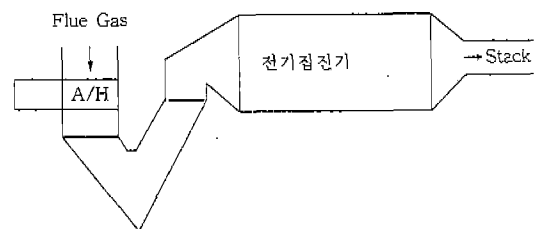
입구측 단면적 A1 : 14.88m²

출구측 단면적 A2 : 29.76m²

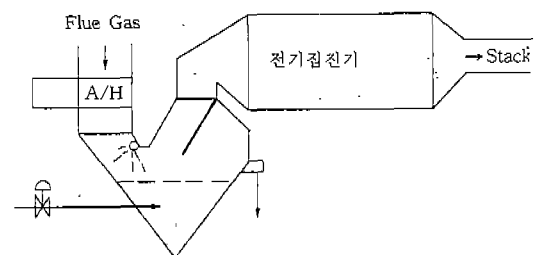
입구측 유속 V1 : 19m/sec라 할 때

$A1 \times V1 = A2 \times V2$ 식에서

$V2 = (A1 \times V1) / A2 = 9.5m/sec$ 가 된다.



<그림 2> 기존 공기에열기 하부 Hopper



<그림 3> 개선된 관성력 습식집진 Hopper

2) 호퍼 하부 충수 및 수위 자동조절

그림 3의 개조확대된 호퍼 하부에 일정수위로 물을 연속 공급, 유입하는 Fly ash를 물에 흡착시켜 연속 배출하게 하였다. 여기에 사용되는 물은 기존설비에서 운전되고 있는 Fly ash water를 사용하여 호퍼 수위가 자동 조절되도록 하였다.

3) 다공판 설치

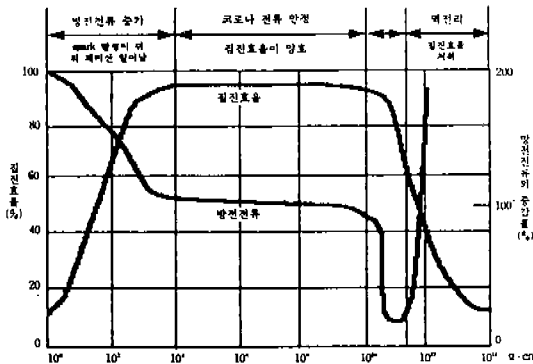
그림 3과 같이 호퍼 출구에 다공판을 설치, 호퍼에서 포집되지 못하고 전기집진기로 유입되는 Fly ash를 다공판에 충돌 낙하시켜 물에 흡착되도록 하였다. 또한 집진기로 들어가는 탄재의 흐름을 균일하게 하는 역할도 한다.

4) 탄재의 전기적 고유저항 저감

그림 4는 탄재의 전기적 고유저항과 집진효율과의 관계를 나타낸 그래프로서, 고유저항이 $10^4 \sim 10^{10} \Omega \text{cm}$ 사이에서 집진효율이 가장 좋은 것을 알 수 있다. 영서탄은 고유저항이 $10^{12} \Omega \text{cm}$ 로 높기 때문에 높은 집진효율을 얻기 위해서는 조질제가 필요하며, 조질제로는 수분, SO_3 , NH_3 , Na 등이 사용되고 있으나 영월화력에서는 탄재에 수분을 주어 고유저항을 저감하였고, 그림 4와 같이 호퍼 입구측 상부에 Water spray nozzle(2φ×20개)을 설치, 소내에서 사용하는 잠용수(7kg/cm²)를 공급하였다.

5) 포집된 탄재의 연속배출

물에 흡착포집된 탄재를 외부로 연속배출시키기 위하여 호퍼 하부에 그림 3과 같이 8인치 배관을



<그림 4> 분진의 고유저항과 집진효율과의 관계

하였고 밸브를 설치하여 배출유량 조절이 가능하도록 하였다. 배출되는 탄재는 기존 Ash pit line에 연결하여 Ash pond로 보내진다.

6) 오버 플로우 배관 설치

보일러의 연소가스 전량이 호퍼를 통과하므로 호퍼는 연도의 역할도 하고 있다.

따라서 호퍼 하부에 물을 채워 운전하는 상태에서 수위가 상승하면 연도를 막게 되는 위험이 있으므로 일정수위 이상으로는 절대로 상승하지 못하도록 충분한 크기의 Over flow관을 설치하여 외부로 방출되도록 하였다.

나. 방전선 신제품 개발

전기집진기의 방전선에는 높은 전압 50~60kV/12.5cm가 인가되고, 부식성 가스와 접촉하며, Rapping시 충격 및 진동에 의한 불꽃방전 등으로 단선현상이 많이 발생한다.

기존 방전선은 Spiral type으로서 재질은 SUS 316이고, 방전선 결이부 Hook와 Wire는 그림 5와 같이 서로 독립, 회전할 수 있게 결합되어 있다.

호기당 9,540개의 방전선이 6개의 Chamber로 나눠 고전압을 각각 걸고 있기 때문에 1개만 단선이 되어도 해당 Chamber는 운전할 수가 없게 되어 있다. 기존 방전선은 설계 및 제작 결함으로 인해 주 2회 정도 단선이 발생하여 집진기 운전을 정상적으로 할 수 없는 형편이었다.

개선된 방전선은 고리부분을 그림 6과 같이 진동흡수 구조로 하여 Hook에 Wire를 삽입, 용접으로 고정후 압착하여 Hook에서 Wire가 분리되는 것을 방지하였고, Hook에 Wire가 삽입되는 입구부분을 테이퍼 구조로 하여 진동에 의해 마모되는 것을 방지하였으며, Wire의 탄성을 보강, 진동폭을 적게하기 위하여 굵기를 2.5'~3'로 보강시켰고, Turn 수를 20% 증가시켜 코로나 효과를 증대시켰다.

다. 컨트롤 시스템 개선

기존 컨트롤 시스템은 연속적으로 직류전압을 공급하는 방식이었기 때문에 고저항탄의 미세한

분진이 집진판에 누적되어 역전리현상을 발생시켜 집진효율을 감소시키므로 높은 전압을 걸 수가 없었고 설비가 노후되어 트러블이 많았다.

개선된 컨트롤 시스템은 최근 개발된 집진기 전용 마이크로 컴퓨터(DY-900)로서 그 원리는 다음과 같다.

1) 최적 전압 공급방식 채용

집진효율을 저감시키는 주요인은 역전리 현상과 불꽃방전이다. DY-900은 전기집진기 운전중 불꽃방전이 발생하면 일정량 공급전압을 낮추고 그때 집진기에 공급된 전압의 크기를 기억하여 불꽃방전이 발생한 바로 직전의 전압까지 공급전압을 상승시켜 불꽃방전이 발생하지 않는 최대전압을 공급함으로써 집진효율을 최대로 유지시킨다.

또한 DY-900은 전기집진기를 최적 제어할 수 있는 표준전류와 전압의 곡선 프로그램을 내장하고 있어서 주기적으로 집진기의 운전전압 및 전류 곡선을 취득, 표준곡선과 비교하여 역전리현상의 유무를 검출하며, 역전리현상이 검출되면 집진기에 고저항 분진이 두껍게 누적되었음을 인지하고 자동적으로 펄스 하전방식으로 전환하여 최대 집진효율을 유지하게 한다.

2) 간헐 하전방식 채용

집진효율은 연소가스 중의 분진의 이온화 정도에 비례하며, 분진의 이온화는 전계의 세기에 비례하고, 전계의 세기는 공급전압의 크기에 비례한다. 반면에 추타시 분진의 제거율은 전계의 세기

에 반비례하므로 공급전압을 높게하면 집진판에 미세한 분진이 누적되어 역전리현상이 발생한다.

DY-900은 간헐하전(Pulse Energizing)으로 순간적으로 높은 전압을 공급하여 분진이 이온화될 확률을 증가시키고, 추타시에는 낮은 전압을 공급하여 분진의 제거율을 향상시켜 집진판 상태를 깨끗하게 유지시킨다.

그림 7과 같이 기존 전기집진기 Controller는 연속적으로 40kV를 공급하지만 DY-900의 간헐 하전방식은 1초에 6~30번까지 50~60kV 정도의 펄스전압을 공급하고 나머지 시간은 집진판에 부착된 분진이 자중에 의하여 이탈하지 않을 정도의 전압 30kV 정도를 공급한다.

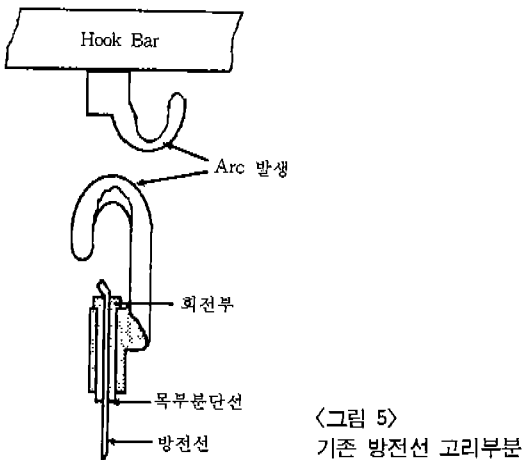
4. 설비개선 효과

가. 대기환경규제 강화대비 당면과제 해결

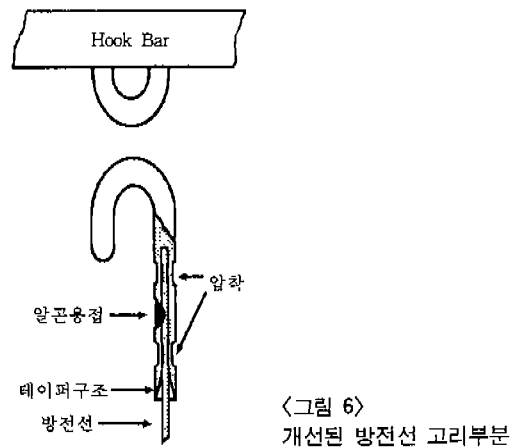
'95년도부터 분진배출 규제치가 100mg/Nm³ 이하로 강화되는데 개선전에는 혼소율 82%시 200~300mg/Nm³으로 운영되었으나 개선후는 50mg/Nm³ 이하로 유지되어 노후 석탄화력발전소의 고질적인 문제를 해결하였다(표 2).

나. 국내탄 소비증대로 지역경제발전에 기여 및 벙커 C유 수입대체

연간 영서탄광에서 채탄하는 석탄 430만톤중



<그림 5> 기존 방전선 고리부분



<그림 6> 개선된 방전선 고리부분

<표 2>

구분	출력	석탄혼소율	입구농도 (mg/Nm ³)	출구농도 (mg/Nm ³)
개선전	50MW	82%	30.743	259
개선후	50MW	82%	30.743	50 이하

250만톤을 화력발전소에서 소비하여 영월화력에서는 전기집진기의 성능개선으로 연간 40만톤을 소비할 수 있어 영서탄광의 지역경제에 기여할 뿐만 아니라 연간 80억원의 벙커 C유 수입대체 효과를 얻게 되었다.

다. 예산절감 및 공기단축

신형 고효율 전기집진기로 교체시는 100억원 이상의 예산이 소요되고 6개월 이상의 공사기간중에 발전소 가동중지가 수반되나 집진기 성능개선에 소요된 총비용은 6억6천만원이며, 이 공사를 발전소 계획정비 기간중에 시행하여 별도의 발전소 가동중지가 없었다.

5. 결 론

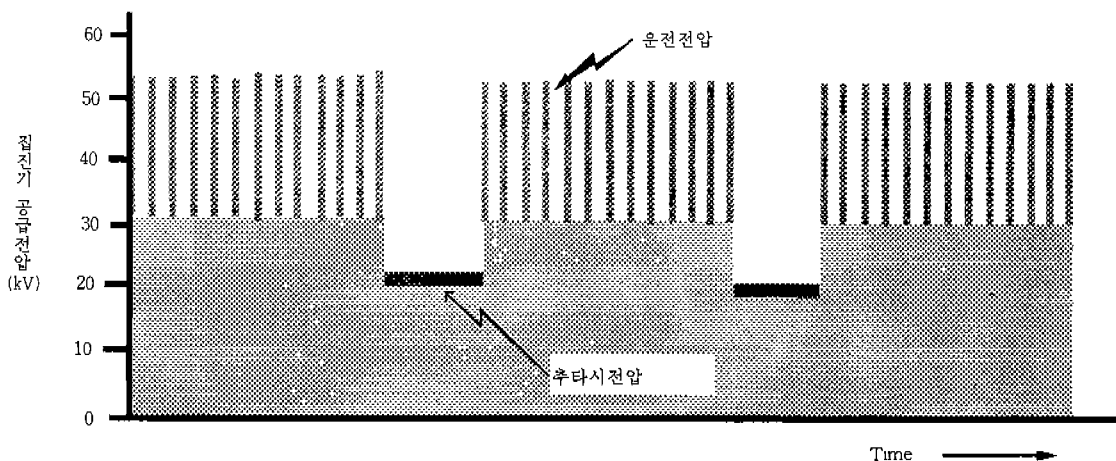
석탄을 연료로 사용하는 화력발전소에서 대기중에 배출하는 가장 주요한 환경 오염원은 석탄이 연소된 후 발생하는 탄재이며, 전기집진기를 경유

하는 동안에 99% 이상 제거된다.

그러나 분진배출 허용 규제치가 현재는 100mg/Nm³ 이하이고, '99년도부터는 50mg/Nm³ 이하로 강화되기 때문에 발전소를 운영하는 회사측면에서 보면 매우 심각한 문제가 되고 있다.

이번에 영월화력에서 시행한 집진기 성능개선의 의미는 노후된 기존 집진기를 교체하지 않고 설계치(400mg/Nm³ 2대, 120mg/Nm³ 2대)보다 훨씬 높은 집진효율(50mg/Nm³ 이하 유지)을 적은 예산을 투자하여 얻게 되었다는 점이며, 이에 따라 국내 탄 소비증대로 사양길에 있는 탄전업체의 경제침체를 막을 수 있고, 또한 발전용 벙커 C유 수입량 감소(연간 80억원) 및 대기환경 개선에 크게 기여하게 되었다.

전기집진기 설치시는 막대한 예산이 소요되므로 영월화력에서 개발한 모델을 더욱 연구발전시켜 노후된 석탄화력발전소의 집진성능 개선뿐만 아니라 신에 대용량 발전소 건설 및 배출분진성상이 석탄발전소와 유사한 시멘트 플랜트 등에도 적용되기를 기대한다.



<그림 7> 간헐하전 방식의 공급전압 파형