

전기에너지절약을 위한 조명시스템 개선과 전동기 고효율화

용인송담대학
전기과
교수 유상봉

I. 서 언

1997년 12월 1일 일본 교토에서 열린 기후변화 협약 제3차 당사국 총회에서 참가국들로 하여금 온실가스 배출량을 일정량 이하로 줄이도록 강제하는 의무조항 채택이 어느 정도 가능성이 높아지면서 세계 각국에 비상이 걸려있는 실정이다.

이 기후변화 협약이 앞으로 국제법적 강제력을 갖게 될 경우 주로 석탄, 석유, 가스에 의존하던 각국의 산업은 구조변혁이라는 대변혁을 맞아야 한다.

에너지의 대부분을 수입에 의존하면서도 에너지 다소비 산업이 많은 우리나라로서는 치명적인 타격이 될 수 밖에 없다.

우리와 에너지 사정이 비슷한 일본의 경우 이러한 조치와 관련하여 2010년까지 온실가스 방출량을 1990년 대비 5% 감축하겠다는 방침과 함께, 이의 실천방안으로 원자력발전소 20기를 증설하겠다는 계획을 1997년 10월 6일 발표하였다.

미국의 클린턴 대통령도 1997년 10월 1일 온실가스 감축을 위한 “현실적이고 구속력 있는 규제”

를 실현시키기 위해 노력하겠다고 밝혔으며, 일본의 선언보다 더욱 강력하게 오는 2010년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 15% 감축시키도록 협약 의정서가 채택되어야 한다고 주장했다.

전문가들에 의하면 선발개도국의 대표적인 우리나라가 앞으로 미국, 일본, EU등 선진국들이 개도국들을 통제하기 위한 표적으로 삼을 수 있다고 전망하고 있으며, 아울러 예견되는 협약 의정서가 채택될 경우 그동안 관망 상태에 있었던 우리나라는 치명적인 타격을 받으리라고 전망하고 있는 실정이다.

그러면 이러한 기후변화 협약을 둘러싼 세계적 상황이 1997년에 와서 긴박하게 전개되었는가 점검해 볼 필요가 있다. 그러나 아쉽게도 기후변화 협약의 태동은 오래전이었으며, 수년전부터 세계의 각 선진국들은 개도국들에 대하여 경고해 왔었다.

그럼에도 불구하고 우리나라는 철강산업, 유화산업등 에너지 다소비 업종이 번성하여 GNP대비 에너지소비 탄성치가 1을 넘어가는 가파른 곡예를 하고 있었다.

- 기후변화협약

지구온난화에 의한 기후변화의 심각성을 경고한 것은 1896년 유럽의 언론이었다. 이는 1950년대부터 과학자들 사이에서 논란이 시작되었으며, 이 같은 논란은 1992년 기후변화에 관한 UN 기본협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)이 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O)로 인한 기후체계의 변화를 최소화하기 위해 채택되어 본격화 되었다. 우리나라는 1993년 12월 47번째로 가입하였으며, 1998년 7월 현재 171개국이 가입하였다.

이 협약의 주요 내용은 선진국의 조기 대응과 개도국의 지속적 에너지소비 증가를 일부 인정하고 있다. 이에 관련한 국제회의는 계속적으로 열렸으며 1997년 12월 교토회의에서 개도국의 자발적 참여방안 채택이 당사국의 강력한 반대로 실패하였다. 우리나라를 포함한 개도국들은 앞으로도 계속 자발적 참여를 전제로 할 것이나 선진국들의 압력은 더욱 거세질 전망이다.

- 우리나라의 온실가스 현황

우리나라의 CO₂ 배출량은 '90년 65.2백만TC에서 '95년 101.2백만TC로 1.5배 증가하였다. 2010년에는 이의 2배로 증가할 전망이다. 구성비는 에너지부문이 82.4%이고, 산업공정 17.1%, 폐기물, 농업순이며, 산림에서 흡수하는 양은 5.5%이다.

- 전기에너지와 온실가스

발전부문의 CO₂ 배출량은 원자력발전이 확대되더라도 빠른 속도로 증가하여 2020년에는 1995년의 3배 수준인 65백만TC로 이는 전체 에너지 부문 CO₂ 배출량의 32.6%에 달한다.

이에 대한 대책으로는 열병합발전, 고효율기기, 수요관리, 신재생에너지 등이 있다.

- 대응방안

선진국의 의무조항 이행압력에 대한 대응책으로는 재정 및 기술지원을 전제로 하면서 조기 이행을 지연하고, 아울러 내부적으로 최악의 경우에 대비한 시나리오와 집행계획을 수립하는 것이다.

- 전기인의 대응방안

조기 이행지연에 관한 사항에 대하여는 그 불가피성을 이론적으로 뒷받침하고, 내부적으로 최악의 상황에 대하여 열병합발전, 고효율기기, 수요관리, 신재생에너지 등의 도입을 활성화시키고, 아울러 공정개선과 저에너지 소비구조로의 산업개편에 앞장서야 할 것이다. 아울러 명심할 것은 전기인이 담당하고 있는 부문이 총 온실가스절감량의 최대 10%에 달한다는 점이다.

여기에서는 이러한 대응방안의 하나로 조명부문과 전동기부문의 효율향상에 대하여 언급하고자 한다.

우리나라의 전력사용량중 조명부문과 전동력부문이 차지하는 전력사용량의 비중은 80%에 이르고 있으며 이 부분의 에너지절약 10%는 결국 전력량 8% 절감과 동일하다. 여기에서는 이러한 관점에서 조명시스템의 개선과 전동기의 고효율화에 관하여 기술하고자 한다.

II. 조명시스템의 개선

우리나라의 조명부문 전력소비량은 170억 kWh로 전력 총 사용량의 20% 수준이며, 이중 조명전력 사용의 구성은 형광등이 60%, 백열등이 20%



수준으로서 특히 상업용 형광등이 전체의 30%를 차지한다. 한편, 조명효율을 10% 향상할 경우 총 에너지의 절약율은 0.5%로서 조명효율을 30% 향상할 경우 총 에너지의 1.5%가 절약된다. 우리나라 조명시스템의 종합효율은 선진국에 비하여 20% 정도 낮은 수준으로서 이를 선진국 수준으로 향상시키면 매우 많은 양의 에너지를 절약할 수 있다.

그러나 국내의 경우 외국에 비하여 고효율 제품의 개발 및 보급을 위한 제도적인 뒷받침이 부족하여 고효율 제품의 생산을 위한 기술개발 지원실적이 미비한 실정이다. 국내의 실정은 조명업체가 매우 영세하며, 지원 및 관리체계가 미비한 등의 문제로 인하여 조명부문의 효율향상을 위하여는 종합적인 시책의 추진이 필요하였다. 이러한 배경에 의하여 산업자원부에서는 고효율 조명시스템의 개발 및 보급을 위하여 꾸준히 지원을 하였다. 그 예로 26mm 형광램프의 개발을 완료한데 이어, 16mm 형광램프의 개발을 직관형 및 환형에 적용하고 있다.

선진 외국의 경우 고효율 조명기기의 보급을 위하여 다양한 종류의 지원제도를 시행하고 있으며, 미국의 경우 전자식 안정기, 전구식 형광등, 고반사 등기구에 대하여 Rebate 제도를 시행하고 있으며, 현재 국내에서는 전자식안정기에 대하여 이를 시행하고 있다. 아울러 미국은 최저효율제를 시행하여 저효율 재래식 안정기의 생산을 금지 시킨바 있다. 또한 1992년에는 National Energy Conservation & Policy Act를 제정하여 1995년 후 저효율 형광램프의 생산을 금지시키는 조치를 취하는 등 조명기기의 효율향상을 위하여 다양한 방법을 강구하고 있다. 유럽에서는 형광등의 슬림화가 보편화 된 실정이고, 일본에서도 형광램프의

슬림화를 추진중에 있다.

그러나 우리나라의 조명부문 연구지원 및 제도 시행은 아직 선진국에 비하여 취약한 실정이며, 연구개발자금의 지원확대, 우수인력양성, 최저효율제의 시행등이 숙제로 남아 있다.

특히 조명의 시스템화가 진전되어야 하며, 여기에는 디밍형스위치의 적용, 인체감지스위치의 확대적용, 자연광활용방안 연구 등이 포함되어야 한다.

가까운 일본의 경우 조명학회가 중심이 되어 이러한 연구가 활발히 진행되고 있는 점을 감안하면 우리나라도 이에 대한 대책을 서둘러야 할 필요가 있다.

선진국의 경우 무전극 램프에 관한 기술개발에도 박차를 가하고 있는 점을 고려하여 이에 대한 대책도 수립하여야 한다.

여기에 무전극 램프에 관한 내용을 간단히 소개한다.

고주파 무전극 방전 현상의 발견은 이미 100여 년전에 알려졌으나 본격적으로 연구가 시작된 것은 1970년대 중반부터로써 고주파 스위칭 기술과 전력용 반도체의 발전에 의하여 일반 조명용 광원으로 개발하여 상품화에까지 이르고 있으며, 1990년대 들어서 미국, 네델란드 및 일본등지에서 개발 및 상품화가 급속도로 진행되고 있다.

무전극 램프는 전자유도법칙에 의해 외부에서 내부가스를 방전시켜 발광하기 때문에 램프 내부에 전극이 존재하지 않는다. 따라서 기본적으로 방전공간 내부에 흑화 및 가스오염의 주된 원인이 되는 전극이 없으므로 종래의 램프에 비해 수명이 길고 유지 보수면에서 큰 잇점이 있다. 그러나 무전극 램프는 램프 시동시부터 안정점등까지 방전의 임피던스가 크게 변화하므로 이에 따라서 점등

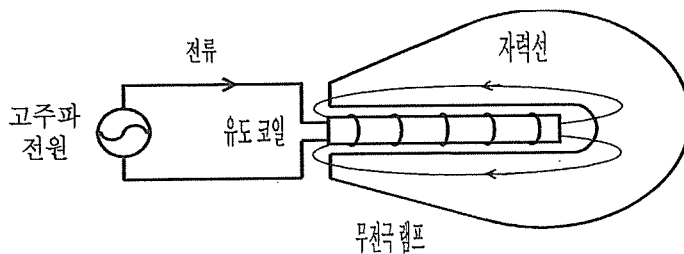
회로의 전압, 전류의 피크치가 크게 변화하기 때문에 램프 시동 및 안정한 점등을 만족하는 구동회로가 요구된다. 또한 무전극 램프 점등회로의 동작주파수는 코일에서 플라즈마로 흐르는 에너지 결합효율을 고려해서 결정해야 하는데, 동작주파수가 1.5MHz에서 결합효율이 90% 이상이 되므로 무전극 램프의 구동에는 동작주파수가 1.5MHz 이상의 고주파 전압이 필요하게 된다.

현재 무전극 램프의 구동회로에는 대부분 선형 전력 증폭기가 이용되고 있으나 낮은 변환 효율로 인하여 스위칭 타입의 인버터로 대체되고 있다. 그러나 통상의 PWM 인버터는 스위칭 소자의 스위칭 손실로 인하여 1.5MHz 이상의 주파수에서는 동작시킬 수 없으며, 무전극 램프 구동용으로 고주파 스위칭이 가능한 영전압 스위칭(Zero Voltage Switching) 방식의 인버터를 적용하여, 램프의 점등전과 점등후에 램프의 등가회로를 구하고 이를 인버터에 적용하여 시동 및 안정점등의 조건

을 구한다.

무전극 램프 점등의 기본원리는 다음과 같다.

(그림 1)에서 나타낸 바와 같이 무전극 램프의 점등에는 무전극 램프의 내부에 설치된 유도 코일 권선에 램프의 방전 개시전압을 넘는 고주파 고전압을 인가하면, 코일에 흐르는 고주파 전류에 의한 고주파 자계가 고주파 전계를 유기시키면, 이 전계에 의해서 내부의 전자가 가속되고 가스분자가 여기되어 자외선이 발생하게 되고, 발생된 자외선은 발광체 내면에 도장된 형광체에 부딪혀 가시광선으로 변환되어지며, 무전극 램프는 점등하게 된다. 램프 시동 전압을 넘는 고주파 고전압에 의하여 유도 코일의 축 방향의 전계에 의한 정전 결합형 E급 방전이 개시되면 직각 방향의 전자 유도 전계에 의한 전자 유도형 H방전이 이행되어 무전극 램프가 점등된다. 따라서 무전극 램프의 점등회로는 다음의 조건을 만족하여야 한다.



(그림 1) 무전극 램프 점등원리도

- 1) 램프 시동에 필요한 고주파 고전압을 유도코일에 인가할 때 스위칭 소자의 전압, 전류 스트레스를 소자의 정격내로 억제하여야 한다.
- 2) 램프의 점등시에 있어서 정격 출력을 얻을 수 있어야 한다.
- 3) 무전극 램프의 방전 플라즈마가 갖는 부성 저항 특성에 의한 불안정성을 제거하여, 램



프를 안정 점등하도록 한다.

- 4) 고주파 동작에 있어서도 고효율을 얻을 수 있는 회로구성을 갖는다.

Ⅲ. 전동기의 고효율화

전기에너지의 사용의 편리함으로 인한 가정, 상업, 산업부문에서의 전력수요가 폭발적인 증가 추세 일로에 있고 이에 따라 에너지원의 96% 이상을 계속 외국에서 수입해야 하는 국내 실정으로 볼 때 에너지절약기술개발의 필요성이 절실히 요구(1995년 2,988만kW에서 2010년 6,564만kW로 예상)되고 있다.

전동기는 크게 유도전동기, 동기전동기, 직류전동기, 선형전동기, 특수전동기 등으로 구분할 수 있으며, 전기에너지원을 이용하여 회전력을 얻는 기술로서 기술개발의 응용분야가 광범위하여 기술적 파급효과가 큰 기술이다.

전동기의 에너지절약형으로 추진시 가격과 기술의 양자조합의 측면에서 보급형의 기술개발이 필요한 실정이다.

기술적 측면에서 보면 설계 및 해석의 기반기술의 낙후로 인한 국내 독자적 설계기술 확보 시급과 국내의 기존 생산라인은 대부분 외국기술 도입에 의한 것으로 제품판매를 위한 생산기술에만 치중하고 있다.

비용적 측면에서 보면 국내의 고임금에 따라 판매가의 인건비 비중이 30~40%로 증가. 대기업의 일부는 저임금 국가로 생산라인의 이전을 추진중이거나 검토 중이며 현재 무분별하게 수입되는 소형 단상전동기의 중국산 가격은 국내 생산가의 50% 수준이다.

이러한 상황을 가만하면 에너지절약형 설계기술

확보에 따른 고부가가치화 산업으로 전환 필요함을 알 수 있다.

전력소비율이 가장 큰 유도전동기는 단상과 3상으로 구분되며 산업용의 대부분은 3상으로서 전체 전력소비의 40% 정도를 점유하고 있으며 3상 고효율 유도전동기의 경우는 국내 기술개발 경험이 있으나, 고압(출력 50HP 이상)인 경우의 기술개발이 필요하고, 단상 유도전동기의 경우는 주로 가전제품 취부용으로 사용됨으로 인해 기술개발로서 가전제품의 고효율화를 달성하기 위한 기초적이며 핵심적인 역할이 가능하다. 국가경쟁력 향상과 에너지이용합리화 차원에서 모든 생산 기기의 자동화가 절실하며, 이를 위한 각종 고성능 특수전동기의 수요가 증대되고 있다. 특수전동기의 경우 회전자에 권선이 없는 영구자석형 전동기 또는 리터턴스 전동기, 회전자 손실을 최소화한 브러쉬 없는 전동기 등이 있으며, 영구자석 전동기는 선진국에서 회토티 자석이 상용화 되어 있고, 착자 기술 및 설계·제어기술이 확보되어 있는 상태이나, 국내의 경우 자석재료를 수입하고 있으며 착자기술은 초보 단계이다.

특수전동기의 대부분은 해외 제품이나 기술에 의존하고 있고, 특히 '한국-일본'간에 무역수지 불균형을 이루는 요인이 되는 요소부품에 해당하며, 시급히 해결하지 않으면 안될 부분이며 또한, 국내의 공작기계 부분의 상품화 기술 개발력은 상당한 발전을 했으나, 주요 부품은 수입에 의존하고 있다(수치제어부분에서 40%에 달하고, 금액으로는 약 50% 수준임).

선형전동기의 경우, 종래 시스템의 고속화 및 고강성화 한계 탈피가 가능하고, 고속전철 등 국내 환경의 변화로 대용량 고속 추력 기기의 수요가 증대되고 있다.

고효율 3상 유도전동기라 함은 일반 전동기보다 손실을 20~30% 정도 감소시켜 전체 효율이 4~10% 정도 상승되는 전동기를 말하며, 일본이나 구미 등지에서는 10여년전부터 시판되고 있다. 고효율형 전동기는 기존 일반형 전동기와 외형 치수는 동일하지만 효율의 극대화로 우수한 절전효과가 있고 낮은 온도상승과 저진동 및 저소음 효과가 있어 제품의 수명이 연장되며 운전비용의 저감으로 경제성 효과가 큰 특성을 지니고 있다. 국내에서는 '96년 1월 KS규격의 효율이 2~3% 정도 상승되었고, '92년 12월 한국산업규격(KSC-4202)에 일반용 저압 3상 유도전동기의 50HP 이하에 대하여 고효율 기준이 신설됨에 따라 일반형

과 고효율형으로 이원화하여 운영하고 있다. '97년 현재 효성, 현대중공업 등에서는 고효율 3상 유도전동기 제품을 생산하여 내수용으로 연간 3,000~5,000대, 수출용으로 연간 10,000~12,000대를 판매하고 있으며, 내수용은 제품가격이 일반 전동기보다 30~40% 정도 고가이므로 보급이 미흡한 실정이고 수출용은 고효율 전동기 사용의 무화를 추진하고 있는 미국, 캐나다 등에 공급하고 있다. 전폐형 농형 삼상유도전동기(220V, 4극)에 대한 국내회사 제조품과 KS 규격에 정해진 출력(1.5~37kW)의 일반형 및 고효율형 전동기의 효율치의 비교를 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 일반형과 고효율형 전동기의 효율치

출력(kW)	일반 전동기 효율 (%)		고효율 전동기 효율 (%)	
	제조품 평균	KS 규격	제조품 평균	KS 규격
1.5	79.3	78.0	84.7	85.8
2.2	82.8	81.0	88.0	87.6
3.7	84.5	83.0	89.4	89.2
5.5	86.3	85.0	90.7	90.3
7.5	87.3	86.0	91.0	91.0
11.0	88.4	87.0	91.8	91.8
15.0	89.3	88.0	92.5	92.2
18.5	89.5	88.5	92.8	92.6
22.0	90.0	89.0	93.3	92.8
30.0	90.6	89.5	93.4	93.0
37.0	91.3	90.0	93.5	93.2

일반산업용 유도전동기의 국내 생산기술은 선진국과 동등한 수준에 있으나 설계기술 및 재료의 자급도는 많이 뒤떨어지고 있으며, 고효율 전동기

는 대기업에서 일부 개발 생산하고 있고 일부 중소기업에서도 개발중에 있으나 핵심기술은 외국의 기술도입에 의존하고 있는 실정으로 철심, 절연물

등 중요 자재는 수입하여 사용하고 있다. 최근 새로운 해석 또는 설계기술이 대학에서 연구되고 있으나 아직 산업계에서 응용될 단계에 이르지 못하고 있는 실정이다. 미국에는 NEMA 규격, 캐나다의 전력청 규격, 일본의 JEM 규격 등에는 고효율 전동기의 용량별 고효율치가 규정되어 있고 고효율 전동기의 효율에 따른 보상(Rebate)제도를 실시하였으며 '97년 이후 최최효율제를 도입하여 일반전동기의 생산, 유통을 금지시키고 있다. 선진국의 생산기업에서는 고품질 철심재료 등의 신재료 구입이 용이하고 컴퓨터를 이용한 최적설계기술이 확보되어 있다.

고효율 3상 유도전동기 기술개발사업의 사후보급이 활성화되면 현재 25~35% 정도 고가인 고효율 유도전동기 가격이 일반전동기보다 15% 정도 상승하는 수준까지 대폭적으로 가격이 인하될 것으로 전망되어지고 고효율 3상 유도전동기를 사용할 때의 투자비 회수기간은 운전시간에 따라 차이가 있으나 운전시간이 1일 12시간인 경우 투자비 회수기간이 0.6~0.9년으로 충분히 경제성이 있으며, 고효율 3상 유도전동기 기술개발이 종료되어 실용화되고 수요증가로 대량 생산체제가 구축되면 가격상승율이 15% 이하로 낮아지기 때문에 경제성은 더욱 높아질 것으로 전망된다.

고효율 3상 유도전동기의 사용시 정량적인 에너지절감효과 분석을 위해서는 시간대별 발전단가, 전동기의 운전시간 등을 고려하여 효과 분석이 이루어져야 하나, 개략적인 효과는 아래와 같이 추정이 가능하다. 산업용 3상 유도전동기에서 소비되는 전력은 총전력 소비의 38% 정도로서 단일 품목으로 가장 많은 전력을 소비하는 기기이며, 3상 유도전동기의 효율을 약 5% 정도 향상시켜 전량 개체하면 전체 전력소비량의 1.9% 전력을 절

감할 수 있다. 고효율 3상 유도전동기의 확대보급 시 구매자 입장에서는 초기 투자비용이 증가되지만 단기간내에 회수가 가능하여 경제적 이득이 있으며, 생산자 입장에서는 품질의 고급화 및 고효율화에 따른 국제 경쟁력 강화의 기회가 되고, 전력회사의 입장에서는 전원개발계획의 축소에 따라 발전소 건설비용 지출이 절감되는 등 국가 전체적으로 막대한 기대효과가 예상되어진다.

미국, 캐나다를 중심으로 일반형 전동기의 생산 금지에 따라 고효율 전동기의 생산이 활성화되고 있으며, 국내에서도 현재 고효율 3상 유도전동기의 보급과 관련한 노력이 정부의 주도하에 경주되고 있는 실정이다. 전동기분야는 '93년부터 정부 주도의 연구사업으로 저압 3상 유도전동기(5HP, 20HP)에 대한 기술개발을 추진하였으며 해석 설계기술, 자성웨이 이용기술, 절연기술, 가공조립기술, 다이캐스팅생산기술, 철심코어의 열처리기술, 무방향성 전기강판기술, 고효율 유도전동기 규격 정비에 대한 내용으로 산·학·연 18개 기관이 참여하였으며, 기업주도 연구사업으로는 단위과제의 성격으로서 에어컨용 Brushless DC모터, 선형 펄스모터 및 컨트롤러, 유도전동기의 보급방안, 고온 초전도 모터의 설계 및 제작 등을 내용으로 기술개발이 추진되었다.

전력변환기술의 발달과 산업이 고도화, 에너지 절약화됨에 따라 기존에 사용되고 있는 가정용 및 산업용 전동기의 고효율화 기술개발을 주안점으로 두어 신기술이 접목된 차세대 고효율 전동기의 개발을 기본 추진원칙으로 하며 추진에로서는 저효율의 단상전동기(효율 : 35%)를 다른 형태의 전동기(효율 : 80%)로 대체하는 방안을 강구하고 전동기 사업단을 위주로 한 핵심기술의 제안, 검토 및 종합분석을 바탕으로 효율적 기술개발 추진

전략 수립이 요구된다.

요소기술별 추진 기본원칙으로서 기반기술은 전기적 해석기술 및 최적화 설계기술을 중심으로 하여 진동소음 해석 및 설계기술과 철손측정 및 해석기술이 최적화 설계기술 개발을 위한 보조역할을 수행하여 전체적인 차세대 전동기의 고효율화를 위한 종합적 개발체계를 구축하며, 생산기술은 가공조립기술을 중심으로 다이캐스팅 개선과 시험평가기술을 종합화함으로써 현재의 가격을 유지하면서 최적 설계기술을 이용한 최대효율 설계로서 개발된 기술을 생산기업에 보급 또는 확산하여 고효율 전동기의 생산 및 판매를 자발적으로 유도하고자 한다.

향후 10년동안 전동기분야의 에너지절약기술 제고를 위해 기존의 저압 3상 유도전동기에 대한 기술개발 경험과 분산화된 단위기술을 종합화하여 에너지절약 효과가 큰 고압 3상(50HP 이상) 및 단상 유도전동기에 대한 효율향상 제고가 필요하며 또한, 고성능 고풍력 기기가 일본 등의 선진국에서 수입이 점점 늘어남에 따라 직류전동기, 동기전동기, 선형전동기 및 특수전동기(펄스전동기 등)의 독자적인 국내기술의 확보가 무역수지를 크게 개선할 수 있을 뿐만 아니라 이에 대한 고효율의 기기개발로서 기존의 저효율기기를 대체할 수 있는 기술개발 체계를 구축하는 것이 바람직하다.

