

거래용 전력량계의 적용과 동향 (4)

글/이 창 균

한국전력공사 거제지점 배전부장

전기는 생산·공급하는 전력회사와 사용·소비하는 수용가 사이에 전기사용량을 계량하여 요금을 부과하는 장치로 전력량계를 수용가에 부설하여 부하에서 소비하는 전기에너지를 측정하고 있다.

앞으로의 전력환경과 전력량계는 수요 우선 관점에서 통상 전기요금제도와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 아울러 검침의 편리성이나 공정성과 관련해서 발달할 것이다.

본지에서는 전월에 이어 계기회로 오결선 벡터해석과 전자식 전력량계 등에 대하여 살펴보고자 한다.

VI. 계기회로 오결선 벡터해석

VI-1 고장회로의 전력 계산

전력량계의 오결선에는 여러 가지가 있을 수 있지만 단독계기보다는 변성기부 계기에서 많이 발생하게 된다. 대표적인 사례로 변성기부 계기인 경우 전압회로 및 전류회로의 결상, 전압회로 및 전류회로의 극성반대, 상순이 바뀐 경우등을 생각할 수 있다.

오결선시의 오차율을 계산하기 위하여는 정상회로의 공칭전력에 대한 고장회로의 측정전력을 비교하여 다음과 같은 보정계수(C)를 식으로 표시하여 계산한다.

$$C = \frac{P}{Pf}$$

여기서, P : 정상결선시 측정전력

Pf : 오결선시 측정전력

따라서, 계량오차율(e)은 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$e = \frac{1-C}{C} \times 100 [\%]$$

가. 3상 4선식의 경우

그림 1은 3상4선식 3소자 전력량계의 전압회로

및 전류회로의 오결선 상태를 가정하여 각 소자 별로 계량되는 값을 벡터도에 의하여 계산한 것으로 ①은 정결선, ②는 전류회로 극성반대, ③은 전압회로 극성반대인 경우이다.

① $I_1 V_{1-0} \cos \theta$

정회전하는 구동토오크 발생

② $I_1 V_{1-0} \cos (\theta - 180) = -I_1 V_{1-0} \cos \theta$

역회전하는 구동토오크 발생

③ $I_1 V_{0-1} \cos (\theta - 180) = -I_1 V_{0-1} \cos \theta$

역회전하는 구동토오크 발생

나. 3상 3선식의 경우

그림 2는 3상3선식 2소자 전력량계에서 전압회로 및 전류회로의 오결선 상태를 벡터도로 해석한 것으로 ①은 정결선, ②는 전류회로 극성반대, ③은 전압회로 극성반대로 접속된 경우이다.

① $I_1 V_{1-2} \cos (\theta + 30)$

정회전하는 구동토오크 발생

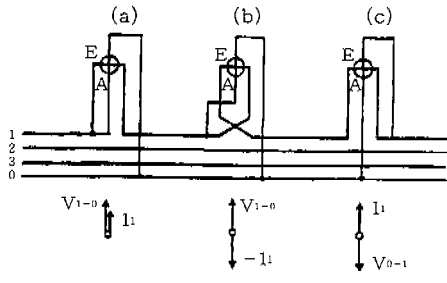
② $I_1 V_{1-2} \cos (\theta - 150)$

역회전하는 구동토오크 발생

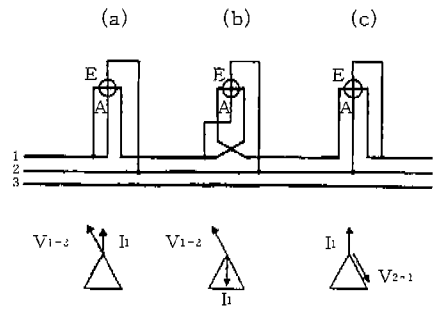
③ $I_1 V_{2-1} \cos (\theta - 150)$

역회전하는 구동토오크 발생

VI-2 고장회로의 종류



<그림 1> 3상4선식 오결선 회로도



<그림 2> 3상3선식 계기의 벡터도

회로도	유효전력량계	무효전력량계
<p>전압회로 1번 개방</p>	<p>$P_F = 2 \cdot I \cdot V_V \cdot \cos \phi$ $C = 1.5$</p>	<p>$P_F = I \cdot V_d \cdot [\cos(\phi - 90) + \frac{1}{2} \cos(\phi - 30)] = I \cdot V_d \cdot \frac{3}{2} \sin \phi$ $C = 2$</p>
<p>전압회로 1번 개방</p>	<p>$P_F = 2 \cdot I \cdot V_V \cdot \cos \phi$ $C = 1.5$</p>	<p>$Q_F = 2 \cdot I \cdot V_d \cdot \sin \phi$ $C = 1.5$</p>
<p>전압회로 1번 극성반대</p>	<p>$P_F = 1 \cdot I \cdot V_V \cdot \cos \phi$ $C = 3$</p>	<p>$Q_F = 1 \cdot V_d \cdot \sin \phi$ $C = 3$</p>

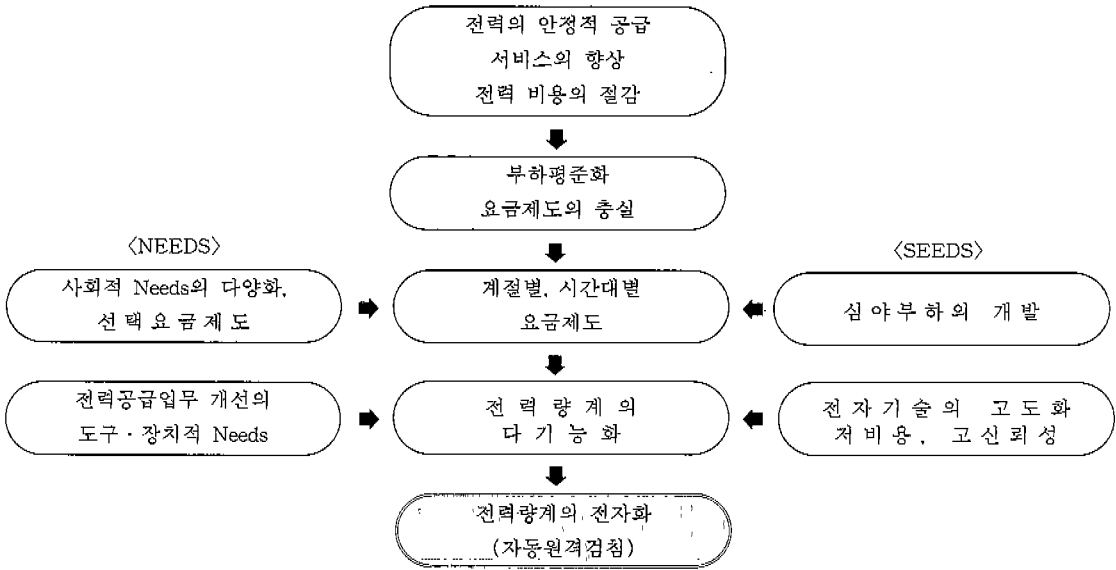
<그림 3> 변성기부 계기회로의 오결선 사례

전력량계와 변성기의 조합 결선에서 발생하는 오결선 고장회로의 대표적인 예를 그림 3에 나타내고 있다.

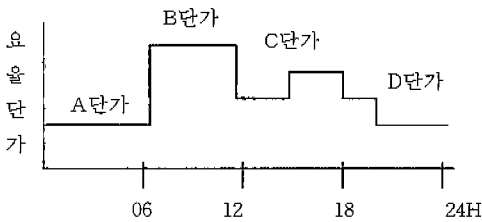
Ⅶ. 전자식 전력량계

1. 필요성

현재 거래용으로 사용하고 있는 전력량계는 대부분이 기계식으로 기능이 단순할뿐 아니라 실시간요금제도(Real time)시행이 불가능하고 계기구조상 원판 회전에 따른 축수의 마찰과 경년변화에 의해 정밀도가 낮아져 점차 생산이 감소하는 추세에 있으며, 가격도 비싸지는 경향이 있으므로 기능이 다양하고 저렴한 전자식 전력량계를 적용함



<그림 4>



<그림 5> 시간대별 요금

으로써 다양한 요금제도의 시행 및 정확한 수요예측을 하고 또한 자동원격검침을 시행하여 고객에 대한 서비스수준 향상을 도모할 필요성이 있다.

한편, 세계의 전력량계 시장도 전자식 전력량계로 변천하는 추세에 있으며 구미 각국에서는 이미 실용화되고 있다. 우리나라에서도 1992년부터 하계 부하조절을 목적으로 계약전력 5,000kW 이상의 부설대상 고객에 대하여 전자식 전력량계로 대체하였으며, 1994년부터는 고압이상으로 수전하는 고객의 계량장치는 전자식으로 부설하고 있다.

이와같이 전력량계의 전자화 필요성을 살펴보면 그림 4와 같이 요약할 수 있다.

2. 기본원리

전자식 전력량계는 전압과 전류를 각각 계수화시켜 마이크로프로세서 또는 전자회로에 의해 전력량을 연산하고 이를 표시장치를 통해 나타낸다.

전압, 전류를 각각 $e(t)$, $i(t)$ 라 하고, 역률을 $\cos \theta$ 라 하면

$$e(t) = K_e \cdot e_m \sin \omega t$$

$$i(t) = K_i \cdot i_m \sin (\omega t - \theta)$$

로 된다. K_e 와 K_i 는 각각 변압비, 변류비이다.

일반적으로 전력량은 다음식으로 표시된다.

$$W(t) = \int_0^t P dt$$

$$= \int_0^t \frac{1}{T} \int_0^T e(t) i(t) dt$$

이를 계수치로 표시하면 다음식과 같다.

$$W(N) = \sum_{n=0}^N E(n)I(n)$$

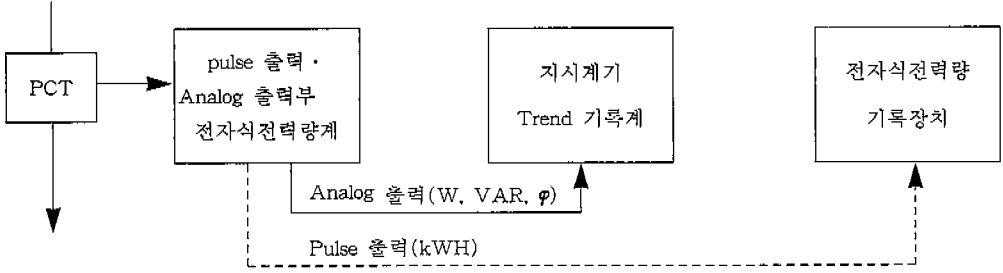
그러므로 사용전력량은 동시에 계수화된 전압과 전류를 곱하고 이를 누적시켜 구할 수 있다.

3. 주요기능

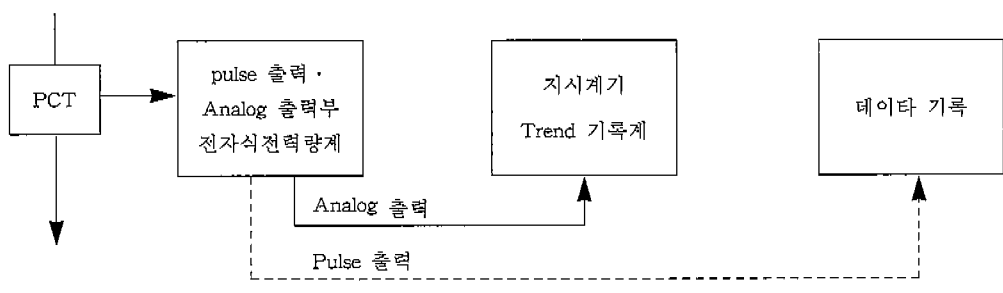
(1) 측정항목

- 유효전력량(kWH) : 양방향 측정
- 수요전력 (kW) : Block, Rolling Demand 측정
- 무효전력량(kVARH) : 進相무효전력 및 遲相

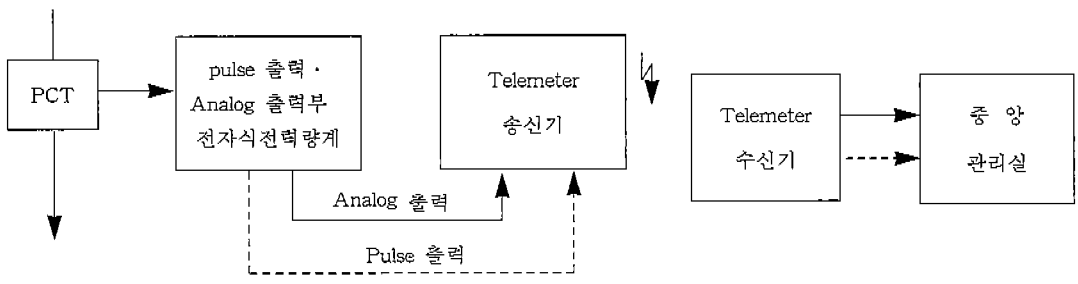
[전력량의 기록과 Analog 감시]



[전력량, Analog의 기록과 감시]



[전력량과 Analog의 원격감시제어]



<그림 6> 전력량의 기록과 감시제어

무효전력 구분 측정

- 역률(Cosφ)
- 일별, 주별, 월별 전력사용량 현황(측정항목 별 15분간격 자료)

(2) 시간대별 계량

그림 5와 같이 4종류 전력요율 설정이 가능하고 1일 8번까지 시간대 변경이 가능하여 시간대별 (T.O.U : Time of use) 계량이 가능하다.

- (3) 수용가 전력사용 현황을 중앙에서 원격검침 및 조정

(4) 전력량의 기록과 감시제어

전자식 전력량계는 콤팩트한 고정밀도 계기로 Pulse 출력과 Analog 출력을 이용하여 전력량의 기록과 감시제어 등 그림 6과 같은 기능을 가지고 있다.

4. 특성

- (1) 유효전력량계, 무효전력량계, 타임스위치, 보조릴레이, 계량펄스출력, 부하기록 등의 기능이 1대에 내장된 다기능 복합전력량계이다.

- (2) 전화선을 이용하여 검침센터에서 원격검침 시행이 가능하고 요금 변경시 중간검침이 불필요하여 요금제도 변경시 시간대 변경 조정이 가능하다.
- (3) LCD(Liquid Crystal Display : 액정표시장치)를 이용하여 디지털 표시창으로 표시를 단순화하고 다양한 정보를 출력할 수 있다.
- (4) 수용가별 전력사용현황이 매 15분 간격으로 기록되고 저장되어 별도의 장치없이 정확한 수급조절 요금제도 시행 등 부하관리가 가능하다.

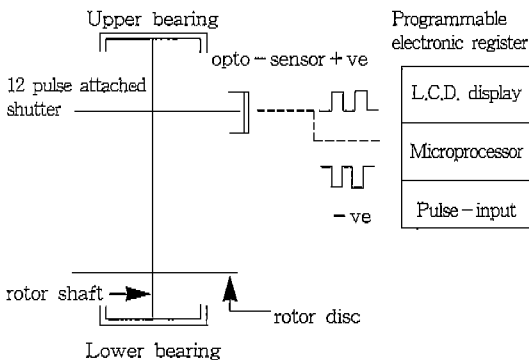
5. 구조 및 원리

(1) 구조

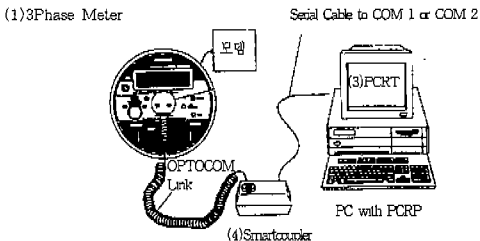
그림 7은 전자식 전력량계(TM-900)의 구조를 개략적으로 표시한 것이다.

(2) 원리

그림 8은 1993년 7월부터 계약전력 5,000kW 이상의 부설대상 고객에 실용화하고 있는



<그림 7> 전자식 전력량계 구조



<그림 8> 전자식 전력량계 운영 구성장비

General Electric사의 전자식 전력량계를 운영하기 위한 구성장비를 나타내고 있다.

- ① 전자식 전력량계(3Phase Meter) : 전력사용량 측정(kW, kWh, kVARH, Cosφ)
- ② 통신모뎀 : 계기 측정자료 원격통신 데이터 전환장치
- ③ PC(Notebook) : 현장계기 설치시 S/W 입력장치 및 현장검침 이용장비
- ④ 접속장비(Smart coupler) : Meter와 PC 연결장치

동작원리는 Opto-Sensor와 Pulse Generator에 의해 발생한 펄스를 기록하는 두가지 방법이 있고 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 역방향 회전이 금지된 보통의 전자식/기계식 전력량계와 마찬가지로 순방향 회전만을 기록한다.
- 순방향과 역방향 회전 모두를 기록하며 양수만을 등록한다.

이와같은 계기의 장점은 보통의 전자식/기계식 전력량계에는 적용되지 않는다. 즉, 기계식 전력량계의 연속변압과는 달리 셔터(shutter)와 축(shaft)이 기계적으로 연결되지 않았기 때문에 마찰이 없고 영구적일 수 있다.

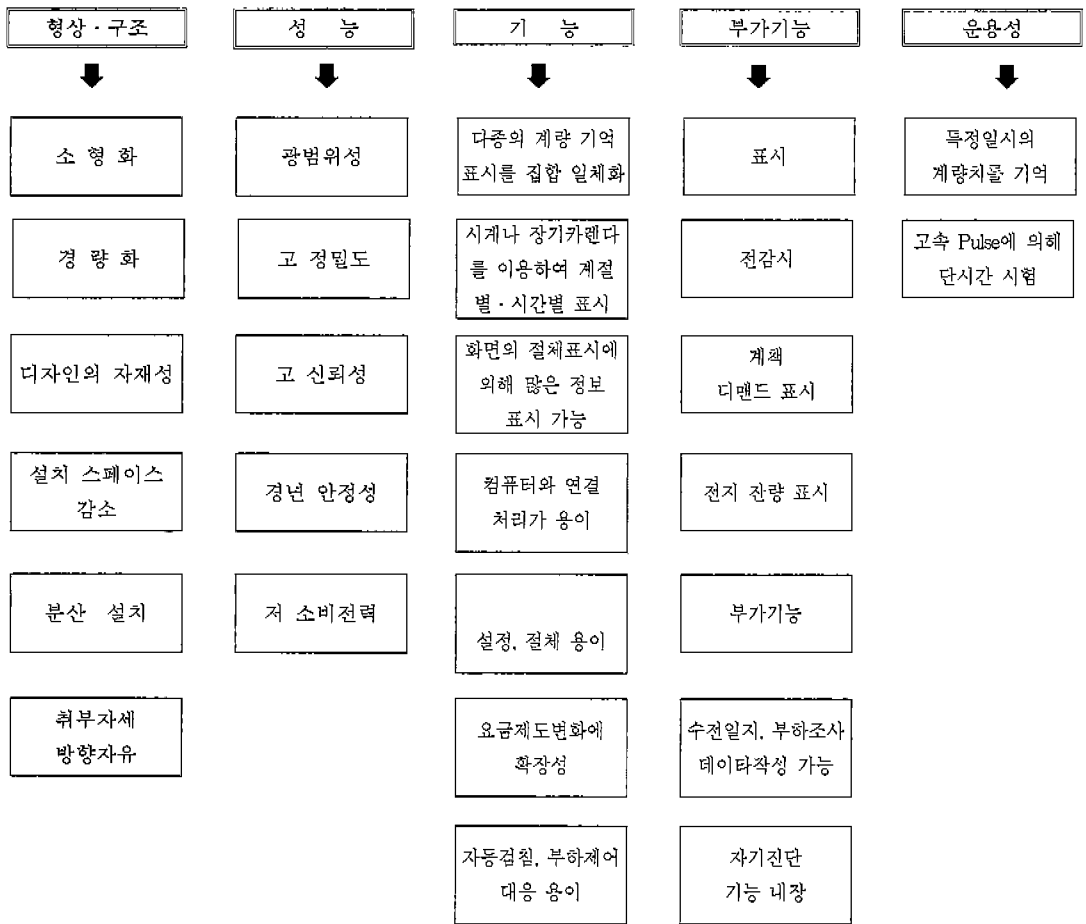
셔터가 1회전당 12펄스를 제공하도록 설계되었기 때문에 상수를 결정하기는 쉬우며, 측정수치는 소수 대신 모든 수(whole number)가 될 수 있다.

6. 전자식 전력량계의 장점

전자식 전력량계의 사용상 장점은 대전력 수용가의 전력량 원격검침에 따른 검침 고지서 발부시간의 단축, D/M부 기계식 전력량계에 비해 설치공간 절감 및 계기비의 경제성, 요금제도의 변경가능, 피크부하의 억제에 따른 전력수급 여유의 확보 및 배전자동화 시스템의 미래형 설계로 인한 재투자의 방지 등을 들 수 있으며 이들 장점을 열거하면 다음과 같다.

(1) 업무운영 향상

- 경량화로 이상표시 가능
- 상바퀴, 월간 계량치 급감 검출가능



<그림 9> 전자화에 의한 MERIT

- 최대전류, 역률표시(진상분 포함) 가능
- 검침표의 프린트 아웃 기능 추가기능
- 원격검침용 출력가능

- 오차변화 감소에 따른 정기검정주기 감소

(2) 고객서비스 향상

- 전월, 전년사용량 표시가능
- 요금제도 표시가능
- 사용량의 경향표시가능
- 보다 경제적인 전기사용 방법의 제시
- 소형 수려한 제품의 사용

7. 사용시의 기대효과

(3) 전력량계 성능향상

- 초광범위형 정밀계기 가능
- 선식, 정격전압 등이 달라도 사용가능한 계기화

- 요금시간대의 설정이 용이하다.
- 무효전력의 시간대별 계량 및 역률관리가 가능하다.
- 수용가 전력소비 형태를 고려한 개별 계약이 가능하다.
- 신요금제도 도입에 필요(하계수급조절요금제도, 부하차단 요금제도 등)
- 전화선을 이용하여 수시로 원격검침이 가능하다.
- 업종별 전력소비 형태 변화를 분석, 부하 예측에 반영이 가능하다.

- 검침과 동시 요금고지서 발부로 요금회수 기간 단축이 가능하다.
- 별도의 타임스위치 및 최대수요전력계가 불필요하다.
- 전력의 합리적사용 및 원가절감방안을 구체적으로 제시 가능하다.
- 수용가 정전통계 유지 및 대응방안 강구에 이용이 가능하다.

전력량계의 전자화에 의한 MERIT를 구분하여 보면 그림 9와 같다.

8. 자동원격검침

가. 목적

자동원격검침이란 검침원이 호별 방문을 하지 않고 사무실 등 원격지에서 가입자의 전화기, 전력선, 유선망 등의 통신매체를 이용하여 직접검침하는 방식으로 실시간(Real Time)요금제 등 다양한 요금제도를 고객이 선택할 수 있도록 하고, 고객별 전력사용량을 정확히 기록하여 부하를 예측하고 관리하는 종합적인 시스템으로 그림 10과 같이 요약할 수 있다.

나. 원격검침시스템의 필요성

원격검침은 검침 자체로는 현장에서 직접 검침하는 것보다 비용이 과다하게 소요되어 경제성 측면에서 실용화하기에 불리한 것이 일반적이나 고도정보사회의 도래와 더불어 전력사업의 주변환경여건이 변함에 따라 다양한 요금제도를 도입하여 전력수요를 정확히 예측하고 경제적인 전력공급으로 고객의 Needs에 부응하기 위하여 다음과 같은 원격검침의 필요성이 요구되고 있다.

- 검침에 필요한 인건비 상승대책
- 옥내설치 전력량계의 검침으로 해소
- 세계적인 자동화 추세
- 에너지 손실요인 개선
- 수동검침의 비능률 해소
- 인력검침에 따른 오류 등 휴면에라 방지
- 수용가 방문검침에 따른 불편해소

다. 전화선을 이용한 원격검침시스템 개요

원격검침시스템은 "다음의 4가지 주요부분으로 구성되어 있다.

- 중앙장치(Computer)
- 통신전송로(전화선, 전력선, CATV전송망, 광케이블, 무선 등)
- 전송단말기(전송방식별)
- 전력량계(원격검침용)

원격검침을 위해서는 단말기를 이용하여 계량값을 통신으로 전송하기 위하여 전자식 전력량계가 같은 특수한 기능의 전력량계가 필요하다.

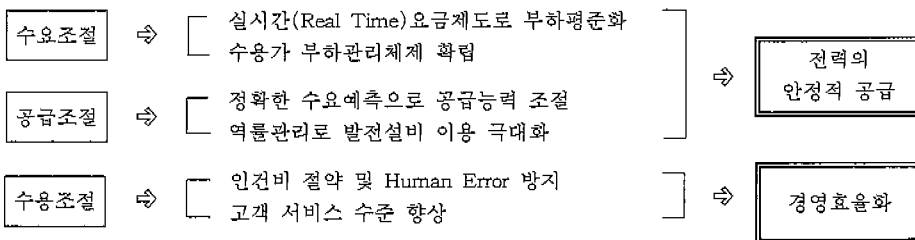
그림 11은 전화선을 이용한 원격검침시스템의 개략적인 구성도와 주요기능을 표시하고 있다.

라. 원격검침의 장점

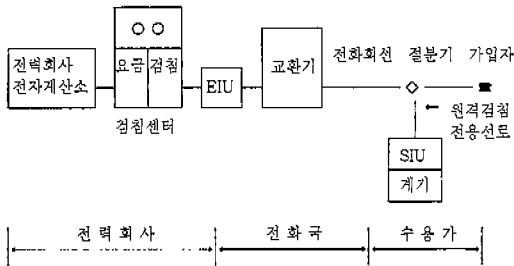
원격검침시스템을 적용시 전력회사, 수용가 및 국가적인 측면에서 각각의 장점을 열거하면 다음과 같다.

(1) 전력회사

- 무인검침으로 인력절감
- 검침능률 향상
- 정확한 검침
- 신속한 사용량 및 최대수요 확인



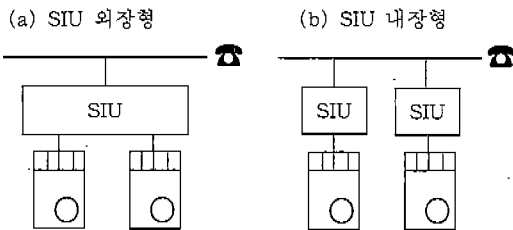
<그림 10>



[주요기능]

- 검침센터 : 계기용단말과 검침데이터등을 송수신하는 전산기, 단말장치
- EIU (Exchange Interface Unit : 교환기 정합장치)
- ▶ 검침센터로부터 검침명령 수신, 계기용단말 호출, 검침수행
- ▶ 검침결과를 검침센터로 전송
- SIU (Subscriber Interface Unit : 계기용 단말장치)
- ▶ 검침센터와 검침데이터를 송수신하는 수용가 단말장치
- 절분기 : 가입전화회선과 원격검침용 전용회선을 분리하는데 사용

<그림 11> 전화선을 이용한 원격검침시스템



<그림 12> 미터용 단말의 접속

(2) 수용가

- 검침원을 가장한 범퇴로부터 해방
- 개인의 프라이버시 보호
- 검침에 신뢰

(3) 국 가

- 통합고지로 국민생활 편리
- 정보화사회 발전에 기여
- 행정력 절약

마. 원격검침 단말설비의 구성

(1) 미터용 단말의 접속형태

수용가 계기용 단말장치를 SIU형태별로 구분하면 그림 12과 같이 외장형과 내장형으로 구분된다. 검침센터와 검침데이터를 송수신하는 수용가 계기용 단말장치(SIU)를 형태별로 비교하면 표 1과 같다.

(2) 계량기 적산치 센서방식(반전자식)

기계식 전력량계의 아날로그 레지스터 또는 회전축차로부터 디지털 형태의 신호출력으로 바꾸는 장치를 추가한 형태의 계기로 이용방식에 따라 계기의 사용량표시 지점을 위치로 파악하여 직접 관독하는 방식인 위치검출식(직독식)과 계기회전판에 펄스발생장치를 부가하여 회전수에 의해 발생된 펄스값을 계수회로에 측정보관하는 회전수 검출방식(펄스식)으로 구분된다.

계량기 적산치 방식은 그림 13과 같이 펄스식과 직독식으로 구분된다.

계량기 적산치 센서방식을 펄스식과 직독식 방식으로 나누어 각각의 장단점을 비교하면 표 2와 같이 구분할 수 있다.

6. 전자식전력량계에 요구되는 성능 및 구조

(1) 계기의 사용조건에 관계된 성능 및 구조

- ① 전원상태의 변질 및 이상에 대응
- ② 부하의 변화에 대응
- ③ 계기의 성능을 유지하기 위한 대응

(2) 계기의 사용하는 환경조건에 관계하는 성능 및 구조

- ① 온도조건에 대응
- ② 습도조건에 대응
- ③ 전자환경에 대응

(3) 계기의 운영상 제약에 관계한 성능 및 구조

- ① 계기의 시험, 점사·검정에 대응한 성능 및 구조
- ② 사용자가 수용가에 설치해서, 장기간 무보수 운전하는 것에 대응한 성능 및 구조
- ③ 수리에 대응한 성능 및 구조

VIII. 결 론

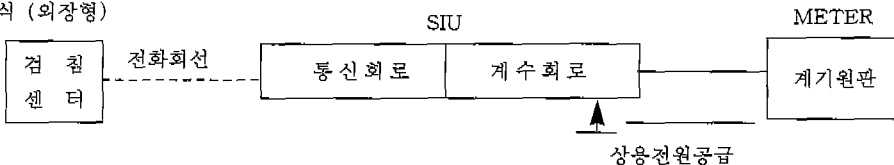
<표 1> S. I. U 형태별 비교

구분	S. I. U 내장형	S. I. U 외장형
장점	<ul style="list-style-type: none"> ● 계기 설치, 유지 및 관리 용이 ▶ 계기 이상시 교환 용이 ▶ 1수용 1계기로 배관배선 간단 	<ul style="list-style-type: none"> ● 아파트, 연립주택 등 다계기 부설 수용에 유리(다계기용 S. I. U 부설) 부가기능 추가시 계기만 변경
단점	<ul style="list-style-type: none"> ● 부가기능 추가시 계기변경 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> ● 계기설치 및 유지관리의 어려움 ▶ S. I. U와 계기간 배관, 배선이 복잡 ▶ S. I. U부설고착 불만요인 ▶ S. I. U별도함 제작 부설 ▶ S. I. U와 계기공급업체가 다를 경우 책임회피 우려

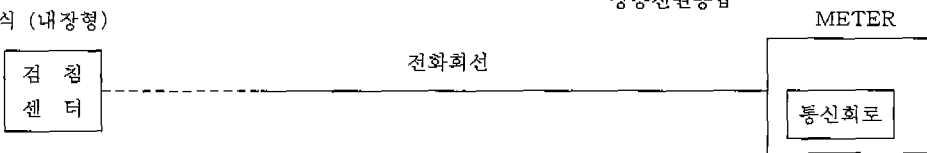
<표 2> 펄스식과 직독식의 비교

구분	펄스식	직독식
검출방식	<ul style="list-style-type: none"> ● 계량기 Register 회하위 숫자차에 Magnet 삽입 펄스발생 검출 	<ul style="list-style-type: none"> ● 각 숫자차의 감지기관 삽입 계량값 직접검출 방식
장점	<ul style="list-style-type: none"> ● 계기구조 및 회로가 비교적 간단 ● 부가기능 추가 용이(수요관리형) ● 경년변화에 따른 계량값 차이 발생 가능성 적음 	<ul style="list-style-type: none"> ● 직접 판독으로 검침신뢰도 우수 ● 별도의 상시전원 불요(정전지 검침 가능) ● S. I. U 계량기 내장형으로 관리운영이 편리
단점	<ul style="list-style-type: none"> ● 현장 계량값과 펄스값 차이 발생 가능 ● 지침 조정장치 별도 필요 ● 별도의 조작전원 또는 메모리 대책 필요 - Back-up Battery 	<ul style="list-style-type: none"> ● 계기구조 및 회로가 비교적 복잡 ● 경년변화에 따른 계량값 차이 발생 가능

(a) 펄스식 (외장형)



(b) 직독식 (내장형)



<그림 13> 계량기 적산치 센서방식

이상에서 살펴본 바와 같이 전자식 전력량계는 복합적인 기능이 내장된 계기로 전력의 수요·공급조절 및 수용조절이 가능한 다기능을 가지고 있어 부하관리에 유리하며, 또한 정밀도면에서 기계식보다 우수하여 확대 적용의 필요성은 인정되지만 거래용 전력량계는 우선 신뢰도가 가장 중요하므로 기술적인 측면에서 보다 완벽한 제작이 요구된다.

전기요금을 공정하게 산출하기 위하여는 정확한 계량에 의해서 가능하며, 전력회사와 일반 수용가

간의 전력거래에 중요한 신뢰관계를 유지하는 것이 진정한 봉사라고 할 수 있으며, 전력사용의 합리화도 가능하다.

따라서 거래용 전력량계의 전자화로 자동원격검침이 실용화되면 전력회사는 인력검침으로 인한 Human Error를 방지할 수 있고, 무인검침으로 수용가는 프라이버시의 침해나 검침을 가장한 강도, 절도 등의 위험요소로부터 보호받을 수 있어 보다 편리하고 안전한 전기에너지를 사용할 수 있을 것이다.