

# 에너지절약을 위한

## 전기설비 관리기술 ( V )

글/지 철 근(공학박사, 전기응용 기술사)

### 5. 전동기 설비

#### 5-1 전동기의 특성과 용도

전동기에도 여러 종류가 있으며, 각각 고유의 특성이나 특징이 있다.

한편 구동되는 기계축(부하)이 요구하는 토크특성에도 차이가 있으며 운전조건이나 제어방식, 환경조건에도 차이가 있다.

이와 같이 전동기와 부하의 조건을 충분히 인식하여 부하의 조건에 가장 적합한 전동기를 선정하는 데에는

① 요구되는 기능을 충분히 만족시키는 전동기 설치에 요하는 초기투자의 저감

② 전력비나 보수점검비 등 운전유지비의 저감

③ 부적합한 조합에 의한 여러가지 장애방지와 신뢰성 향상

등을 고려하여야 한다.

여기서는 대표적인 전동기의 특성과 토크특성, 일반부하의 토크특성과의 관계에서 전동기의 선정에 필요한 검토항목을 살펴 보기로 한다.

이는 어디까지나 부하와의 관계에서만 살펴본 조건이며 이외의 전동기의 사용환경조건에 따른 보호구조나 절연종별에 대해서는 생략한 것이다.

#### (1) 유도전동기

유도전동기는 회전자계의 속도(동기속도)보다도 적은 속도(이 차이를 슬립이라고 한다)에서 토크를

발생하고 동기속도에서 토크는 0이 된다.

이 점이 동기속도에서 토크를 발생하는 동기전동기와 본질적으로 다르며 엄밀한 의미에서는 정속도 전동기는 아니다.

〈표 5-1〉 3상유도전동기의 특징과 용도

종류	특 징		주 용 도
	장 점	단 점	
농 형	구조 간단 취급이 용이 값이 싸다. 직입시동도 가능	시동전류가 크다. 시동시 허용열용 량이 적어 시동속 도가 적은 것으로 중관성 부하시동 이 곤란.	일반산업용(표준 전동기로서 널리 쓰인다)
권 선 형	• 2차저항으로 시 동전류를 억제 하여 고시동 토 크를 발생할 수 있다. • 2차저항, 기타 제어장치를 포 함하여 속도제 어가 용이하다.	구조가 농형보다 복잡하여 고가의 활동링 브러시가 있기 때문에 부수 에 어려움이 있 다.	• 권상기, 펌프 • 송풍기 등 공조 설비용 • 중 관성부하용

#### (2) 직류전동기

직류전동기는 광범위한 영역에서 용이하게 정밀한 가변속운전이 가능하고 시동, 제어특성이 우수하여 고속도 조작운전에 최적의 성능이 있는 것으로서 널리

리 사용되어 왔다.

직류전동기는 여자방식에 따라 분권전동기, 직권전동기, 복권전동기, 타여분권전동기의 4종류로 분류된다.

어느 것이나 인가전압  $V$ , 전기자전류  $I_a$ , 전기내부저항  $R_a$ , 제자자속  $\phi$  회전수  $N$ 이라 하면, 그 특성은 다음식으로 표시된다.

$$\text{회전수 } N = \frac{K(V - I_a R_a)}{\phi}$$

토크  $T = K\phi I_a$

또한 토크는 부하전류에 비례한다.

직권전동기는 자속이 부하전류에 비례하는 것으로 회전수는 부하전류에 반비례하고 토크는 부하전류의 제곱에 비례한다.

복권전동기는 화동복권과 차동복권의 두종류가 있으나 일반적으로 화동복권이 사용되고 있으며 분권과 직권의 중간 특성을 가지고 있다.

직류전동기는 시동, 속도제어, 제동, 역전, 정지 등 5가지 기능이 쉽게 실현되기 때문에 그 용도는 주로 압연기, 제지기, 기종기, 권상기 및 공작기용으로 많이 쓰이고 있다.

### (3) 동기전동기

동기전동기는 주파수와 극수에 의하여 정하여지는 일정속도로 운전되며, 유도전동기에 비하여 최대토크가 크고 고속 대용량의 제작이 가능하다.

- 동기전동기의 장점

- ① 유도전동기에 비하여 효율이 좋고 공극도 크다.
- ② 역률, 효율이 좋기 때문에 운전경비가 경감된다.
- ③ 역률을 임의로 설정할 수가 있어 부하에 관계없이 100%로 할 수가 있으며 앞선 역률로도 할 수가 있다.

- 동기전동기의 단점

- ① 시동특성이 나쁘고 또 여자장치가 필요하다.
- ② 브러시가 있는 것은 보수가 필요하며 기기의 가격이 높다.

### (4) 부하특성에 상응한 전동기 선정

부하특성에 상응한 적당한 전동기의 선정예를 표 5-2에서 표시한다.

〈표 5-2〉 부하특성에 상응한 전동기 선정예

부하의 요구	적당한 전동기		용도
	교류	직류	
부하의 상태에 관계없이 완전하게 일정속도를 요하는 것.	동기전동기		시멘트, 석탄의 분쇄기, 대마력 공기압축기 송풍기
무부하로부터 전부하까지는 거의 일정속도를 요하는 것.	유도전동기	직권전동기	선박, 연색반
속도 조정가능, 각속도마다 전부하로부터 부하까지 거의 일정속도를 요하는 것.	권선형 유도전동기, 분권형 정류자전동기	직권전동기, 워드 레오나드 방식	엘리베이터 권상기, 기종기
속도를 수단계로 변화시킬 수 있으며 각 부하까지 거의 일정속도를 요하는 것.	다속도 유도전동기	상동	상동
부하의 증가에 따라 속도가 떨어지는 것.	직권정류자전동기	직권전동기	전차, 자동차
급격한 부하변화와 빈번한 역전 및 속도조정을 요하는 것.	사이리스터 방식, 일그너드방식		대형 분쇄 압연권상기

## 5-2 에너지 절약형 전동기

### (1) 고효율 전동기

고효율 전동기는 생산설비 중에서 넓은 범위에 걸쳐 사용되고 있는 저압 농형유도전동기의 효율을 보다 높게 한 것으로서, 전력절감의 효과가 기대되고 있다.

이 에너지절약형 전동기는 철심량을 증가시켜서 코어손실을 감소시키고 또한 도체의 단면적을 크게 하여 코일손실의 감소를 도모하고 있다.

더욱이 공극의 적정화나 표류부하손실을 경감시키기 위하여 고급철심재를 채택하고 있다.

고효율 전동기는 가동시간이 긴 설비일수록 경제적으로 유리하다.

그러나 초기투자비가 일반전동기에 비하여 고가이며 가격과 에너지절약비의 분기점은 3~5년 정도이다.

그리고 전원전압이 전동기의 정격전압과 대폭 다른 경우에는 효율에 크게 영향을 미친다.

그러나 효율이 높고 소비전력이 적은 것이 특징이다.

**(2) 극수변환 전동기**

극수변환 전동기는 1:2, 1:1.5, 2:3, 3:4 등의 단순변속이지만 3단, 4단의 유단 가변속 전동기로서 정출력, 정토크, 제곱저감 토크 등의 특성이 있다.

다른 가속전동기에 비하여 구조가 가장 간단하므로, 보수성이 우수하고 고속의 슬립이 적으므로 각종 용도에 따른 에너지 절약효과를 기대할 수 있다.

**(3) 고저항 농형전동기**

이 전동기는 기동빈도가 많고 단속적인 점두부하에 적당하고 기동토크는 범용의 것과 비교하여 20~30% 높아지고 기동전류는 10~20% 감소하므로 전원용량은 적게 할 수 있다.

기동시의 발생손실이 범용형에 비하여 적으므로 기동빈도가 높을수록 유리하다.

**(4) 권선형 전동기**

범용의 전동기에 비하여 기동시의 발생손실이 적으므로 고빈도 기동에 적합하다.

**(5) 가변주파수 인버터**

상용교류를 정류기에 의해서 정류하여 일정 전원을 만든 다음, 이것을 인버터부에서 다시 가변전압, 가변주파수의 교류전류로 변환하여 유도전동기나 동기전동기를 구동시키는 것으로서, 특히 최근 대형화가 시도되고 있는 펄스폭변조 제어방식의 경우에는 다음과 같은 이점이 있다.

- ① 정류기가 전파정류회로로 되어 있어 제어회로가 대폭 간단화 되었으며, 전원에의 고주파 영향도 감소되었다.
- ② 부품수가 대폭 감소되어 신뢰성이 향상되었다.
- ③ 저주파 영역에서는 파형이 개선되기 때문에 저속시의 토크특성이 양호하다. 그래서 특히 기설 유도전동기나 동기전동기를 가변속도로 운전하여 생에너지의 목적을 달성하려고 할 때 이 가변주파 인버터를 사용한다.

**5-3 에너지 절약 전동기설비계획**

철, 비철금속, 종이, 펄프산업 및 각종의 물처리설비, 기타 기계산업은 에너지로서 전력을 대규모로 소비하고 있으나 이 전력소비의 60%는 전동기를 구동하기 위한 것이다.

그러므로 전동기를 효율적으로 이용하는 것이 전

동력설비의 절력절감면에서 대단히 중요하다.

전동력설비에 있어서의 전력절감의 구체적인 착안점으로는 다음의 항목을 들 수 있다.

이들을 종합적으로 분석, 검토함으로써 고가인 전기에너지를 유효하게 활용하여 합리적인 사용상태를 실현할 수가 있다.

- ① 역률의 개선에 의한 전력요금의 절감
- ② 고효율기기의 도입에 의한 전력사용량의 삭감
- ③ 구동용량의 재검토에 의한 최적 효율 운전
- ④ 제어방식의 재검토에 의한 고효율 운전
- ⑤ 동력전달방식의 재검토에 의한 고효율 운전
- ⑥ 배전방식의 재검토에 의한 전력손실의 삭감
- ⑦ 안정전원 확보에 의한 전기기기의 성능유지
- ⑧ 공전방지에 의한 낭비전력의 삭감
- ⑨ 안전관리에 의한 성능유지와 장수명화

에너지절감의 대상은 천차만별한 것으로 간단히 논한다는 것은 매우 어렵다. 예를 들면 동일한 전동기에 있어서도 사용되는 설비대상에 따라 그 적용은 대단히 다르다.

한대의 전동기를 생각할 때, 다만 축출력을 얻는 것만을 필요로 한다면 가장 효율이 높은 전동기의 선정은 용이하다.

그러나 유량이나 입력을 제어하는 구동기인 경우에는 응답성, 정밀도, 빈도 등의 제약을 받는다.

또 전동력설비 중에는 타설비, 타구동기와의 협조, 속응성, 사고시의 안전 등은 물론, 구동기의 특성, 전원용량에도 충분한 검토가 필요하다.

이들의 에너지절감 계획은 각각의 설비 고유의 최적화법이 있는 것으로 개별로 검토하지 않으면 안되지만, 계획의 초기에는 전체를 검토하는 의미에서 일반적으로 고찰하는 것이 알기 쉽다.

**<표 5-3> 전동력설비의 에너지 절감계획의 검토사항**

항 목	내 용
단 체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전동기의 단체의 효율이 대표에</li> <li>• 부하율, 역률, 시동토크, 빈도 등이 계획의 요점</li> <li>• 고효율전동기, 적정용량의 전동기의 선정이 기초</li> </ul>
시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단일기능의 설비, 펌프, 송풍기로 대표된다.</li> <li>• 일반적으로 에너지절감이 가능</li> <li>• VVVF와 계장제어의 적용을 고려</li> </ul>
플랜트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시스템의 복합체, 보일러장치 등으로 대표된다.</li> <li>• 큰 에너지 절감과 자동화, 성력화, 품질개선 등의 실현</li> <li>• 타설비와의 운동, 응답성 또는 사고시의 대응이 중요</li> </ul>

표 5-3에서 에너지 절감계획의 검토사항의 기본적인 것을 표시하였다. 에너지 절감은 검토대상물과 검토방법에 따라 여러가지의 기준이 존재하며, 상이한 기준의 검토는 상이한 결과를 일으키기 쉬우므로 단제, 시스템, 플랜트 등의 각 기준으로 분리하여 생각 하는 것이 좋다.

### (1) 에너지 절약적 전동기설비

가장 널리 쓰이고 있는 유도전동기를 대상으로 에너지절감의 검토사항에 대하여 고찰한다.

전동력설비의 에너지절감은 전동기에 대하여 검토함과 동시에 부하측이 에너지절감의 가능성에 대하여 충분한 검토를 할 필요가 있다.

전동기에 유입하는 전력을 부하측이 요구하는 토크와 회전속도로써 결정되는 기계동력으로 변환되어 소비된다.

그러므로 에너지절감을 위한 검토는 부하측의 기계동력의 사용상태의 검토에서 순차로 에너지의 흐름을 표 5-4와 같은 방법으로 하면 된다.

〈표5-4〉 전동기의 에너지절감 검토항목

검토대상	검 토 항 목
부 하	① 부하토크를 저감시킬 수 있는가 ② 회전속도를 저하시킬 수 있는가 ③ 운전방법의 개선이 가능한가
결합방식	① 증감속도차의 손실을 저감시킬 수 있는가 ② 슬립의 손실을 저감시킬 수 있는가
전 동 기	① 부하율을 적절하게 할 수 있는가 ② 효율을 개선할 수 있는가 ③ 역률을 개선할 수 있는가

### (2) 적정 전동기용량 결정

전동기에 흐르고 있는 전류의 값에 따라 부하율을 판단하는 것이 일반적이지만, 여기서 주의하지 않으면 안되는 것은 전동기는 무부하전류분의 영향이 경부하로 될수록 커진다는 것이다.

부하율과 전류와의 관계를 그림 5-1에 표시하였다. 이것은 전부하전류에 대한 무부하전류의 비율이 큰 것일수록 영향이 크다.

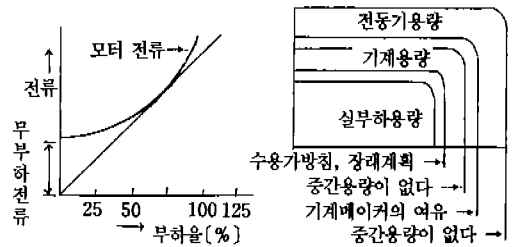
또 일반적으로는 출력이 적어질수록 무부하전류비율은 커지므로 출력이 적은 것은 충분한 주의를 하여야 한다.

전동기는 부하의 변동, 전압의 변동을 고려하여 정격출력보다 약간의 여유가 있는 것으로 운전하는

것이 좋다.

고효율전동기는 이러한 점을 고려하여 부하율 90% 부근에서 최고효율로 되도록 하고 있다.

전동기출력의 실정을 살펴보면, 여러가지 이유로서 2중, 3중으로 여유를 두고 있다. 즉 수용가 방침, 장래계획, 기기제작자측의 여유, 중간용량이 없을 때의 여유 등으로 실제의 부하율은 50~70%인 예가 많다 (그림 5-2참조).



〈그림 5-1〉 부하율과 전류 (그림 5-2) 전동기출력의 여유산정

이것은 전동기의 신뢰성 향상의 면에서도 실부하에 가까운 출력의 전동기로 할 필요가 있으며, 이와 같이 적정용량으로 함으로써 설비비를 절감할 수 있다.

전동기 용량산정은, 전동기의 사용조건에 따라서 연속사용, 단시간 정격, 반복사용 등의 경우로 분리하여 산정하고 있다.

연속사용의 경우와 같이 부하가 시간에 관계없이 일정한 경우에는, 부하기계의 효율의 오차, 부하의 변화비율 및 전원전압의 변동에 의한 온도상승 등의 여유를 고려하여 소요동력에 대하여 5~25% 정도 가산한 값을 정격으로 한다.

단시간정격의 경우에는 포화운동에 도달하기 전에 전원이 개폐되므로 동일한 출력의 연속정격인 전동기에 비하여 허용발생손실을 크게 할 수가 있으므로 대출력인 것으로 사용할 수 있다.

반복사용의 경우에는 운전시간 및 정지시간이 열적평형에 달하는 시간보다 짧고 실질적으로 일정한 부하가 반복된다. 그러므로 1주기중의 발생손실이 평균하여 발생하기 때문에 이 평균발생손실을 구하여 연속사용시의 부하 몇 kW의 손실과 같은 것인가 하는 것으로 정격을 정하고 있다. 이것을 손실평균법이라고 한다.

## 5-4 전동기의 제어시스템

### (1) 전동기 제어시스템의 특성

종래, 송풍기의 풍량제어나 펌프의 유량제어는, 전동기가 정속으로 운전되고 있는 것을 밸브 또는 댐퍼의 조정에 의하여 제어하였으나, 이 경우 전동기의 총동력은 떨어지지 않아서 효율이 낮은 구동시스템이 많았다. 그러나 부하용량의 시간적 변동에 대응하여 회전속도의 가변제어를 한다면, 한층 더 손실경감, 성력화를 도모할 수 있다. 최근에는 이러한 전동기의 속도를 가변하는 방법인 회전수제어방식이 선택되는 경우가 많아지고 있다.

정회전수 전동기를 사용하고 밸브에 의한 제어의 경우에는 밸브저항이 증가되므로 회전수제어에 비하여 양정이 증가하여 그만큼 전력을 많이 소비하게 된다.

전동기 제어시스템으로는, 교류전동기의 회전수제어방식, 가변전압, 가변주파수 인버터에 의하여 농형전동기에 인가하는 전압과 주파수를 변환시켜서 회전수를 제어하는 1차주파수 제어방식과 농형유도전동기에 과전류 커플링과 속도검출용 교류발전기를 직결하여 과전류커플링에의 여과전류를 제어하고 전동기로부터의 전달토크를 제어하여 부하측의 회전수를 넓은 범위에 걸쳐서 무단계로 제어하는 과전류 커플링제어, 농형유도전동기와 유체커플링을 조합시켜서 전달토크를 제어하여 회전수를 제어하는 유체 커플링제어, 유도전동기의 2차저항을 조정하여 토크 특성을 변화시키는 2차저항제어와 이외에 2차여자 제어, 사이리스터모터 제어방식 등이 있다.

### (2) VVVF

전동기의 속도를 제어하는 방법을 크게 대별하면, 기계적인 가변속장치와 전기적인 가변속장치로 나눌 수 있다. 또한 속도제어방식 중에서 가장 많이 보급되어 있는 직류레오나드방식, 가변속전동기와 가변전압, 가변주파수(VVVF) 제어 방식 등이 있다.

이들의 장단점을 종합 비교해 보면 결국 교류모터의 속도제어에는 VVVF가 가장 유리하다 (표 5-6 참조).

그러나 아직까지는 여타방식에 비해 고가이므로, 초기투자를 많이 요하게 된다. 따라서 VVVF를 설치시에는 부하조건과 운전시간에 따른 에너지 절약 효과가 투자비용에 따른 경제적인 면을 비교 검토하

여 결정해야 할 것이다.

〈표 5-5〉 전동기의 전기적인 가변속장치

전동기의종류	제어파라미터	주회로방식		
직류전동기	전기자전압제어	레오나드		
유 도 전 동 기	농 형	1차전압제어		
		1차 주파수 제어	타이 사이크로 컨버터	
			전압형 인버터	직류전압 가변 직류전압 일정
	전류형 인버터			
	과전류 계수제어			
동 기	권 선 형	1차전압제어		
		2차전력제어	저항제어	
			셀비우스	
		크레이머		
동 기 전 동 기	1차주파수제어	전압형 인버터	직류전압 가변 직류전압 일정	
			전류형 인버터	
			직 류 식	
동 기	무정류자 전 동 기	전기자전압제어	교류식	
				방형파출력
				정현파출력

그러나 지금까지의 VVVF 적용실태를 보아서 제곱 저감 토크부하(펌프, 팬, 블러우 등)에 적용시 VVVF적용에 의한 에너지 절감효과가 초과 투자분을 단기간(3~4년 이내)에 상쇄하고 있으며, VVVF 자체의 가격도 더욱 높아지고 있는 실정이다.

또한 높은 제어성에 의해 앞으로 유도전동기의 가변속장치는 VVVF가 주류를 이룰 것이 확실하다.

표 5-6에 VVVF의 구체적인 적용예를 표시한다.

〈표 5-6〉 일반 모터 속도제어장치의 장단점 비교

구 분 종 류	직류 레오나드 방 식	VS 모터	VVVF
성 능	가장 제어성능이 우수하여 고급 고정도용으로 사용된다.	표준기종으로 생산되고 있고 특수용도와 대용량에서는 소프트기술의 문제로 가격이 비싸다. 또한 효율이 낮고, 소용량에서만 사용되고 있다.	가장 최근에 개발 실용화된 제품으로서 교류모터 구동원으로는 가장 효율이 높고, 제어성이 뛰어나므로 앞으로는 직류모터의 영역까지 확대되고 있다.

구분 종류	직류 레오나드 방식	VS 모터	VVVF
에너지 절약 효과	원리적으로 가장 높은 효율을 가 지므로 에너지절 약 효과가 높으 나 장치자체의 가격이 비싸므로 투자시에는 이에 대해 종합적인 검토가 필요하 다.	효율이 낮아서 에너지 절약면 에서는 극히 불리 하다.	고효율 운전을 할 수 있어 에너 지절약효과가 높 고 특히 제곱저 감 토크부하에 적용하면 효과가 좋다.
보수 유지	브러시 등의 보 수가 어려워 가 장 난점으로 지 목되고 있다.	비교적 유지, 보 수가 쉬우나 분 해를 할 때는 일 반유도 전동기의 구조와는 달리 주의를 요한다.	교류모터를 그대 로 사용하므로 유지보수면에서 가장 유리하다. 또한 인버터 차 제도 HIC의 채 용으로 인한 고 신뢰성에 의해 거의 무보수화되 고 있다.
가격	직류기 자체의 가격도 비싸고, 레오나드장치 또 한 현재로서는 고 가이다.	주로 소형에만 적용되며 가격적 으로는 유리하 다.	현재로서는 고가 격이지만 점차 전자부품가격의 저렴화 추세로 안정되고 있다.
기타	현재로서는 서보기 능에서 독주하고 있으며, 앞으로 는 소형화, 고급 화에 주력제품이 될 것이다.	기중, 응용기술 등이 한정되어 있고 앞으로는 소용량에서만 한 정 사용될 것이 다.	향후 교류 모터 제어의 주류를 이룰 것이며 높 은 제어성과 에 너지 절약면에서 가장 기대되고 있는 방식이다.

〈표 5-7〉 VVVF의 구체적인 적용 예

부하 특성	산업 구분	기능	용도	구체적인 장치명	비고
	팬	환기	빌딩공조설비	블로어, 팬코일 유닛 냉각탑	
			냉동, 냉장고 온 도제어	냉동고, 냉장고	
			노내습도·온도제 어	건조로, 열풍로	
			건조기의 온도, 습도 제어	베니어단판, 어류, 해태 건조, 섬유가 공(염색)	
			배연, 환기설비 (흡진)	납땜장치, 도장 장(섬유가공)	
		측사공조, 기타	계사, 돈사	소음대 책, 팬 속도비 요주의	

부하 특성	산업 구분	기능	용도	구체적인 장치명	비고	
제 공 저 감 토 크 부 하	블로워	풍압 (부압 포함) 이용	Inflation법, Airing	폴리펄름 제조 기	하절기 풀가동 으로성 에너지 효과가 없음	
			흡착설비	베니어단판자동 선별적인 장치		
	금수	금유	상하수도펌프	탱크레스 펌프, 양 수(수중) 펌프		
			상기의 금수설 비(중수도)	분수장치, 풀, 유희설비	ELB 응용에 주의	
			상기의 금수설 비(레저)	냉각수 펌프	공조, 냉동장치, 각종 기계용	
			금유설비	NC, 프레스 등 각종 기계		
	유체이 송, 기타	기 구 동	-	액화가스 이송 설비, 쿨부용 노 즐압제어 약품 설비	섬유염색, 도장 장치, 약품혼합 기, 식육 주사 기	
				원심분리기 의 일부, 교반기의 일부	금속절삭분류분리 기, 제품저감특성 의 것	
	화 학 공 업 (화학 기계)	수지, 고 무, 피혁 제품제 조업	소재정 련, 정제 ·가공처 리	압착, 여과, 분 리, 혼합 등	압착기, 여과기, 각반기, 분리기, 혼합기, 분쇄기, 추출기 등	
				플라스크성형, 가 공	압축성형기, 사 출성형기, 압출 성형기 등	
섬유정 제 가공				잔사, 면사, 화 섬, 가공	권취기, 준비기 계, 편직기, 염 색기, 새염기	
금속제 품 제 조업	소재정 련 가공	압연, 절단, 권 취, 인신	압연, 절단, 권 취, 인신	압연기계, 절단 기, 권선기, 원 심주조기, 컨베 이어, 테이블		

### 바로잡습니다

지난 1월호 P48내용중의 협회  
창립 30년 기념행사 모범직원 수  
상자중 장순기(회원관리직원)가  
누락되었음을 바로잡습니다.