

유도전동기의 에너지절약 운전

• 자료제공/에너지관리공단

전동기는 각 부분에서 전원으로부터 공급된 전기 에너지의 일부가 열에너지로 전환되어 전동기 내부에서 소비된다. 이 전동기 출력 측에서 동력으로 사용할 수 없는 에너지를 손실이라 한다.

손실이 크면 전동기의 온도상승이 높게 되고 절연 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 불필요하게 전력을 소비하게 된다.

이와 같은 입력과 출력의 비(比)를 전동기의 효율이라고 한다.

$$\begin{aligned} \text{효율} &= \frac{\text{출력}(P_0)}{\text{입력}(P_1)} \times 100 \\ &= \frac{\text{출력}(P_0)}{\text{출력}(P_0) + \text{손실}(W)} \times 100\% \text{ 으로 표시된다.} \end{aligned}$$

효율을 향상시켜 전력 절약을 도모하기 위하여는 위의 식(式)에서 손실을 가능한 저감시키는 것이 좋다는 것을 알 수 있다. 전동기 내부에서 발생하는 손실에는 고정손실, 부하손실, 표유부하손실(Stray load loss) 등이 있다.

고정손실은 철손·기계손으로 부하의 대소에는 관계없이 일정하다고 간주할 수 있는 손실로서 무부하시(예를 들면 공운전시)에도 발생하는 것을 말한다.

부하손실은 부하의 대소에 따라 변하고, 전동기의 입력전류에 의하여 전동기 내부에서 발생하는 손실로서, 1차 저항손실(1차동손)과 2차 저항손실(2차동

손)이 있다.

표유부하손실은 부하시에 도체(고정자 권선, 회전자 권선)나 철심에서 발생하는 손실로 부하손실에 포함되지 않는 것이다.

동손(P_{cu})은 고정자 및 회전자 반도체에 전류가 흐름으로써 발생하는 주열(Joule Heat)손실로 1차동손 P_{cu1} 과 2차동손 P_{cu2} 의 합이다. 이 손실은 전류의 2승에 의하여 변하고 무부하에서는 적지만 전부하에서는 전동기 전손실 반이상의 비율로 증대된다.

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} = m_1 \cdot I_1^2 r + m_2 \cdot I_2^2 \cdot r_2 (W)$$

여기서, m_1, m_2 : 일차, 이차의 상수

I_1, I_2 : 일차 및 이차전류(A)

r_1, r_2 : 일차 및 이차저항(Ω)

손실 P_1 은 주로 고정자와 회전자의 적층(積層)철심에 자속(magnetic Flux)이 통과함으로써 발생하는 자속밀도에 비례하는 히스테리 손실 Ph 와 와전류 Pe 가 발생한다. 히스테리 손실은 주파수에 비례하며 와전류 손실은 주파수의 2승에 비례하여 증가한다.

이 손실은 부하에 비례하여 변화되지 않고 항상 일정하다.

$$P_1 = P_h + K_1 \cdot B^{1.6} + K_2 \cdot (t \cdot f \cdot B)^2 (W/kg)$$

여기서, f : 전원주파수(Hz)

B : 자속밀도(Tesla)

t : 철심재료의 판두께(mm)

K_1, K_2 : 정수

표유부하손실의 발생인자는 여러 갈래로 걸쳐 있는데 슬릿누설자속에 의한 고정자 권선에 발생하는 와전류 손실, 간극의 공간고주파 자속에 의한 손실, 회전자가 스큐(skew)된 전동기에 있어서 스큐-슬릿누설 자속에 의한 손실 등의 손실의 합으로 부하의 크기에 따라 변화한다.

기계 손실은 전동기의 베어링이나 냉각용 팬에 의한 마찰손실 풍손실이다. 이 손실은 전동기내의 마찰, 통풍저항을 극복하는데 필요한 에너지로 나타내어지고 부하의 변화에 대하여 불변이다.

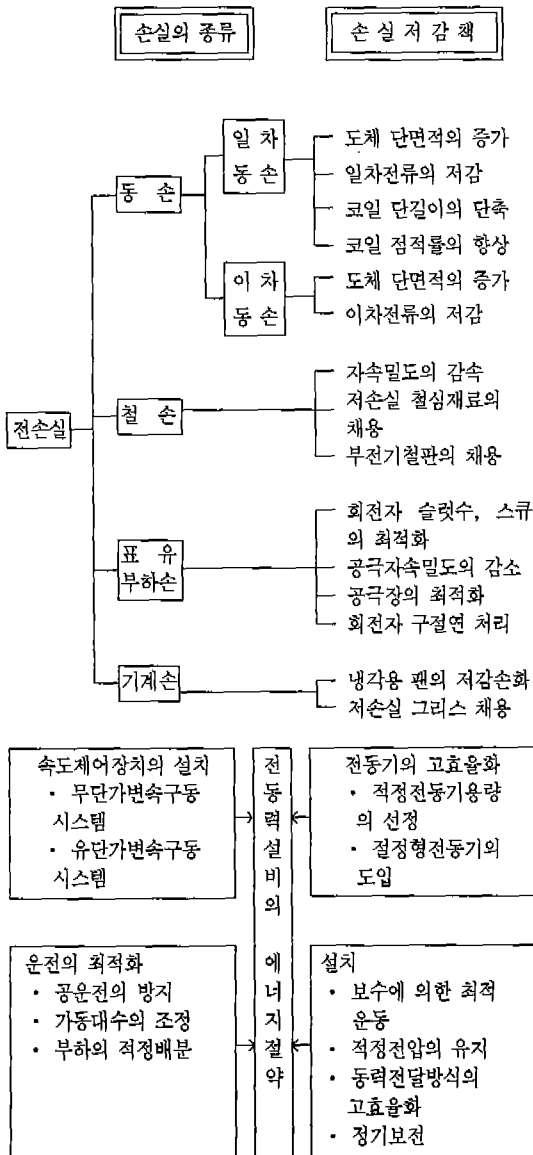
일반적으로 마찰손실은 회전속도에 비례하고 풍손실은 회전속도의 3승과 회전체의 대표치수(회전체의 외경 등)와의 곱한 것에 비례한다.

일반적인 효율향상, 즉 손실저감시책에 대하여 주

요한 것을 추출하여 아래에 표시하였다.

지금까지 논술한 효율향상 시책의 주요한 것을 함하여 경제성을 고려할 경우, 현재의 기종에 대하여 전체손실에서 약 30%를 저감할 수 있고 효율은 3~6% 향상할 수 있다. 다음에 논술한 조건을 고려하지 않고, 더욱더 철심 적후(積厚)증가, 도체 단면적 증가를 시키면 1~1.5%의 효율개선이 가능하다.

<주요 손실저감 시책>



<표1> 전동기의 표준출력

단위 : kW		
0.4	22	200
(0.55)	30	(220)
0.75	37	250
(1.1)	45	280
1.5	55	300
2.2	75	315
3.7	90	(335)
5.5	110	355
7.5	132	(375)
11	(150)	400
15	160	(425)
18.5	(185)	450

(주) 1. ()내의 출력은 가능한 한 사용하지 말 것
2. JEM 1188에 의함

또한 앞으로 새로운 재료, 기술의 개발에 따라 더욱더 효율개선의 가능성은 있다.

에너지 절약을 위한 전동기의 선정과 적용

전동기의 용도는 극히 넓고 각종 용도에 적합할 수 있도록 많은 종류·형식·용량의 것이 제작되고 있다. 선정에 대하여는 그들의 특징을 충분히 알고 제일 효과적으로 사용할 수 있도록 하는 것이 포인트이다.

전동력 응용 설비에 있어서 전력절감의 구체적 착안점으로서의 다음 항목을 들 수 있다.

-전동기 출력의 선정

전동기의 효율과 역률의 부하율에 의한 일반적 경향은 효율의 정격출력의 80~100% 부하에서 운전하는 것이 제일 좋고, 역률은 경부하로 되면 급격히 적어지기 때문에 출력의 선정에 있어서는 그 적정화가 문제가 된다.

어떻게 하여 같은 일을 최적 특성의 전동기로 행하여 절전을 할가하는 적극적인 노력이 앞으로 더욱 필요하다. 예를 들면 대용량 전동기 1대로 전달장치를 연결하여 많은 작용을 하게 하거나 각각의 기능마다 최적의 소용량 전동기로 분담시키는 등 그 사용실태에 상응하는 합리적인 운용이 필요하다.

전동기의 출력에는 표 1에 표시된 바와 같이 표준치가 있기 때문에 가능한한 표준출력을 사용하는

<표 2> 정격전압의 추천치

정격전압	200V	400V	3kV	6kV	10kV
정격출력[kW]	37이하	300이하	1000이상	2000이상	10000이상

출처 : 전기협동연구지 VDE 0530 Teil 1

것이 중요하다.

- 전원전압의 선정

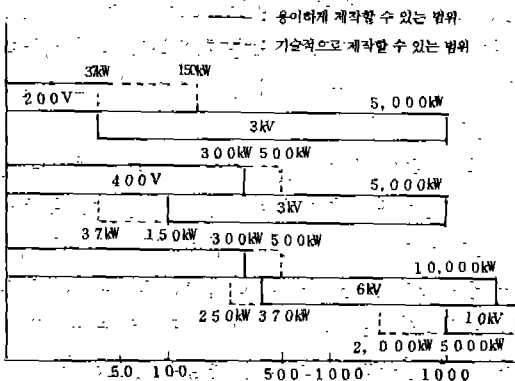
전동기의 출력에 대하여 정격전압을 어떻게 선정 할까는 전동기의 기능을 정확하게 발휘하게 하기 위한 것만이 아니고 전동설비(전원, 배선, 제어기기 등)를 경제적으로 설치 운영하기 위한 것도 대단히 중요하다.

3상유도전동기의 정격출력과 전원전압의 관계는 그림 1과 같다.

표 2에 정격전압의 추천 장려수치를 나타내었다.

그림 1에 있어서 150kW 이하에는 200볼트급 400볼트급이 제작가능한데 양자의 특성 차이는 전연 없고 가격면에서도 차이가 별로 없다. 그러나 300kW 정도까지의 전동기를 동일 공장에서 사용할 수 있는 경우에 있어서는 400볼트급 방안이 배전선 크기를 적게할 수 있고 또한 배전손실을 감소할 수 있기 때문에 유리하다.

다음으로 효율에 관하여 생각해 보면 소용량 전동기에 너무 높은 전압(고압)을 채용하면 절연 내력(耐力)을 높일 필요가 있어 필연적으로 전동기가 대형화되어 비경제적이 될 뿐만 아니라 대형화에 따른



<그림 1> 3상유도전동기 정격출력과 전압의 관계

<표 3> 부하의 회전속도의 예

기 회 명	극 수의 적용
펌 프	4극이 제일 많이 사용되고 있으나 2극의 경우도 있음
컴 프 레 서	4극, 6극의 벨트를 사용 6극, 8극, 10극의 직결이 많이 사용되고 있음
팬 블 로 어	2극, 4극이 많이 사용되고 있으나 최근에는 8극 이상의 직결로 저소음화 되는 경향이 있음
밀 크 랫 사	6극, 8극 및 10극이 많이 사용되고 있음

철손실의 증가, 도체점적률의 감소에 의한 동손실의 증가, 개방 슬릿 채용에 의한 유부하 손실의 증가 등으로 효율이 저하된다. 한편 대용량 전동기는 너무 낮은 전압(저압)을 채용한 경우에는 선의 최적 감은 회수의 선정이 곤란하게 되어 효율이 저하된다.

- 회전속도의 선정

일반적으로 전동기의 회전속도(극수)는 상대기계의 회전속도나 전달장치의 감속비 등을 고려하여 선정하는 것은 당연하나, 전동기의 극수에 의한 효율·역률의 상이함에 대하여도 고려하는 것이 중요하다.

동일정격출력의 전동기에 있어서는 2극·4극의 효율이 가장 높고 6, 8, 10으로 극수가 많아짐에 따라 효율은 낮아진다.

역률은 동일 정격출력에 있어서는 극수가 많아짐에 따라 낮아진다. 역률이 낮다는 것은 배전계통 전체로 보아 큰 선로 손실을 초래할 뿐만 아니라 전압강하의 요인이 되어 손실이 증가한다.

표 3에 대표적인 부하의 회전속도(극수)의 적용을 참고로 나타내었다.

- 최적 구동방식의 선정

전동기는 산업용의 동력원으로서 제일 많이 사용되고 있는데, 회전속도가 1000~3000rpm으로 고속의 것이 표준품이기 때문에 실제로는 부하를 구동시키는 경우에는 어떤 수단에 의해 소요 회전속도를 감속하여 사용하는 것이 대부분이다.

전동기의 동력을 부하에 전달하는 방법에는 기어 연결, 직결, 벨트결기, 체인결기 등의 방식이 있다.

<표 4> 각종 감속방식의 특징

종류	전달효율(%)		감속 범위	가격	메인트먼스(정비유지)			
	구 성	총합			스페 이스	조정	내한 경성	보수
기어	표준전동기 × 감속기 (약85)(95~98)	○ 80	○ 900	△	○	○	○	△
	AP15kW, 150rpm	~83	~5	싸다	폼팩트함	간단	○	운환유의교환
직결	다극전동기	× 50	× 900	×	×		○	○
	40P15kW, 150rpm	~55	~176	비싸다	사이즈름	간단		
벨트	표준전동기 × 벨트 (약85)(90~98)	△ 77	× 900	○	△	×	×	×
	4P15kW, 150rpm	~83	~100	싸다				
체인	표준전동기 × 체인 (약85)(5~98)	○ x80	× 900	○	△	×	△	×
	x4P15kW, 150rpm	~83	~150	싸다				

전달효율로서는 직결이 100%로 제일 좋고, 이차기어연결, 체인 결기, 벨트 결기의 순으로 되는데 효율의 면에서 구동방식을 선정하는 때에는 전동기를 포함한 종합효율의 비교가 필요하다.

표 4에 각종 방식에 있어서는 비교를 나타내었다.

이 예를 보면 직결방식이 반드시 효율이 높다고는 말할 수 없다. 구동방식은 부하기계의 조건에 따라 결정되고 전동기 측면에서 결정되는 것은 아니지만 최적 구동방식을 고르는 것이 필요하다.

-부하에 상응하는 전동기의 선정

전동력 응용설비에 있어서 전력 절감을 검토하는 경우의 착안점은 즉각 효력이 있는 전동기의 효율 향상(예를 들면 도시바의 골드모타의 사용) 외에 전동기에 의하여 구동되고 있는 기계를 충분히 조사하여 그 용도에 대한 최적 전동기를 선정함으로써 전력을 절감하는 것이 중요하다.

전동력 설비의 에너지절약을 실시하는데 있어서 구동기계에 최적한 특성·기능을 가진 것, 신뢰도가 높고 보수·점검이 용이한 것, 호환성이 있고 값이 싼 것, 설비비 및 운전비가 적고 투자금액을 단기간에

<표 5> 전동기선정 체크리스트

분류	체크항목	점검포인트	
전동기 특성의 선 정	(1)구동기계의 시동특성, 운전특성, 토크특성	평균치 이외에 순간 요구되는 최대치도 확인할 것	
	(2)환 경	(a)보호방식(JP)	방수, 방진, 방·부, 방폭 등
		(b)주위조건	온도 습도, 고온 등
	(3)운 전 방 법	(a)시동·가속	시동방식·시동시간·부하 GD ² 등
		(b)정지	제동방식, 정지정도, 회수 등
		(c)시동빈도	회수 등
		(d)듀티사이클	연속, 반복, 역전, 인칭 등
		(4)제어방식	속도제어의 유무 등 가변속도의 경우는 변속범위와 특성 등
	전동기 용량의 선 정	(1)여유율	여유율을 이중, 삼중 잡지 않았는가
		(2)소용량으로의 분담	기능마다 분담시켜 합리화 할 수 없는가
전압의 선 정	(1)전원전압	고압인가, 저압인가, 전압변동, 전압 불평형은 없는가	
	(2)단자전압	전동기 용량과 전압의 관계는 적정한가	

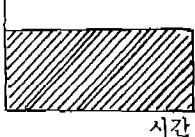
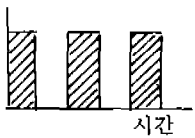
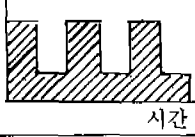
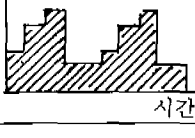
회수할 수 있는 것 등의 전제조건을 고려하여 전동기의 선정을 추진한다.

전동기를 선정하는 일반적인 수순을 표 5에 나타내었다. 동력설비에서 보다 큰 에너지 절약효과를 얻기 위해서는 부하에 적합한 전동기를 선정함은 물론, 구동기계, 전원, 보전 등에 대해서도 가능성을 검토하는 것이 중요하다.

-운전 패턴에 상응하는 전동기의 선정

부하의 운전상황은 일정 부하 연속사용의 정속운전을 비롯하여 반복부하의 단속운전, 연속운전 가변속운전 등 다양하게 걸쳐 있다. 이들의 대표적인 운

〈표 6〉 패턴에 의한 체크리스트

사용의 명칭	운전패턴 예	해 설	검토사항	에너지 절약 방법
연속 사용		실질적으로 일정한 부하에서 전동기가 열적 평형에 달하는 시간 이상으로 계속 운전되는 경우	<ul style="list-style-type: none"> • 용량 선정은 적절한가 • 부하동력을 저감할 수 없는가 • 효율이 높은 절전형 전동기를 채용할 수 없는가 • 운전시간을 단축할 수 없는가 	절전형 전동기
반복 사용		실질적으로 일정한 부하의 운전 시간 및 전압이 인가되지 않은 정지시간을 1주기로 이것을 반복사용	<ul style="list-style-type: none"> • 시동시에 부하저감을 할 수 없는가 • 다빈도 사용에 의한 온도상승, 기계 강도는 문제없는가 	고빈도 전동기가 변속구동
반복 부하 연속 사용		실질적으로 일정한 부하의 운전 시간 및 무부하 운전기간을 1주기로 이것을 반복시키는 사용	<ul style="list-style-type: none"> • 불필요시 정지할 수 없는가 • 회전속도를 변경하여 부하를 저감할 수 없는가 	가변속구동 고빈도전동기
변속도 반복 부하연속사용		2개 이상의 다른 회전속도 각각에 대응하는 일정한 부하의 운전기간을 1주기로 이것을 반복시키는 사용	<ul style="list-style-type: none"> • 각각의 회전속도에 대한 전동기 용량은 적절한가 • 운전방법을 개선할 수 없는가 	극수변환전동기 가변속구동

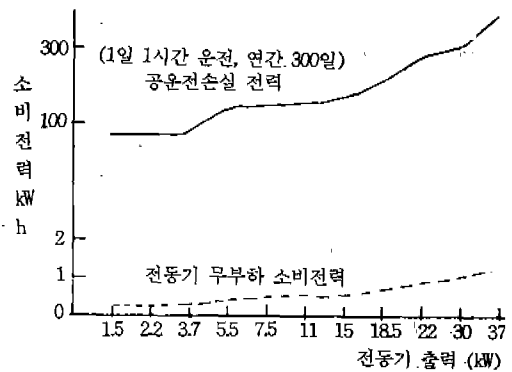
전 패턴을 정리하여 표 6에 나타내었다. 전동설비에 있어서는 이들 패턴에 상응하는 에너지절약 효과가 큰 전동기를 선정하는 것이 포인트가 된다.

구체적인 예로서 팬 펌프에 대한 에너지절약을 위한 전동기 선정의 일례를 표 6에 표시했다.

—공운전과 경부하운전의 방지

종래 작업을 하지 않을 때에도 전동기는 무부하 또는 경부하로 운전을 하게 한다는(아이들링) 사용방법이 통례였다. 그러나 전력 절약의 관점에서 유효한 작업을 하지 않는 비생산 기간에 있어서는 전동기를 정지하게 하는 것 등으로 절전을 도모하는 것이 실시되고 있다.

공운전 방지 대책으로서 무부하가 되면 자동정지되게 하든가 또는 경보하는 장치를 부착한다, 재료의 운반이나 보내는 방법을 자동화한다, 작업자가 조작하기 쉬운 위치에 스위치를 설치하고 열심히 끈다, 부착용 등의 처공구를 연구개선하여 준비시간을 단축한다 등이 있다. 이들의 자동화 생력화가 전기사용합리화의 유효한 수단이 된다.



〈그림 2〉 공운전의 전력손실

다만, 시동·정지의 빈도가 너무 많으면 시동시에 있어서 손실이 많아지든가 전동기의 온도상승의 영향이 커지기 때문에 충분한 빈도의 검토가 필요하다.

부하의 성질상 높은 빈도의 간헐운전이 필요한 경우는 시동시의 손실발생이 적고 온도 상승을 억제할 수 있는 High Torque·High slip 고빈도 모터가 최적이다.

에너지 절약	체 크 함 목	최 적 전 동 기
· 고효율기기의 채용	· 용량은 적정인가 · 부하율은 70~100%로 되어 있는가	절전형전동기
· 단속운전	· 불필요시 정지하고 단속운전 할 수 없는가 · 전동력설비가 고빈도 시동에 견딜 수 있는가	고빈도전동기
· 유단변속제어	· 풍속 · 유량이 유단(2단, 3단 등)변속할 수 없는가	풍수력용2승저감 토크 특성 극수 변화전동기
· 무단변속제어	· 운전패턴을 바꾸어 가변속하여 에너지절약을 할 수는 없는가	가변속전동기
· 부하용량의 다시 보기	· 부하동력을 저감할 수 없는가	

그림 2에 전동기의 출력별 공운전시의 손실전력을 표시하였다. 1일 1시간의 공운전이 있다고 하고, 1년간의 가동일수를 300일로 하면, 15kW의 경우에 있어서는 $0.85kW \times 300 = 174kWh$ 의 전력손실량이 된다.

—전원의 안정화

전동기의 명판에 표시되어 있는 정격전압, 정격주파수에 있어서 최적의 특성을 얻을 수 있도록 설계 제작되고 있기 때문에 명판 표시 이외에서의 사용은 피하고 또한 전압 및 주파수의 변동에 대해서도 피하는 것이 보다 효과적인 전력절약이 된다.

따라서 공급전원의 전압, 주파수의 변동은 효율, 역률의 저하와 연결되기 때문에 주의할 필요가 있다.

전압 변동과 주파수 변동은 규격에 있어서 실용상 지장이 있어서는 안되는 허용범위로서 전압변동은 정격주파수에서 $\pm 10\%$, 주파수 변동은 정격전압에서 $\pm 5\%$, 두가지가 변동하는 경우 각각의 변동은 상기의 범위내에서 양변화의 백분율의 절대값 합이 10% 이내 등과 같이 규정되어 있다.

전압과 주파수가 정격 이외로 운전되는 경우, 전동기의 효율, 역률이 변화하여 소비전력을 증가시킬 뿐만 아니라 다른 제반특성도 영향을 받는데, 그 변화 정도는 개개의 조건에 따라 다르다. 효율좋은 전동기를 운전하기 위해서는 정격전압, 정격주파수에서 사용하는 것이 바람직하고 변동폭이 전압에서 $\pm 5\%$, 주파수에서 $\pm 3\%$ 를 초월하는 경우에는 대책을 강구할 필요가 있다.

특성치는 정격전압, 정격주파수에 있어서의 값으로, 전압, 주파수가 변동되면 그 특성치도 변화한다.

3상전원에서 나온 단상부하는 전동기 입력단자에서 전압불평형이 가능한한 적게 되도록 충분히 배려하여 분해할 필요가 있으며, 전압불평형이 3.5% 일 경우 약 20%정도 전동기 손실의 증가뿐만 아니라 전동기의 이상 가열, 소음, 진동의 증가라고 하는 나쁜 영향의 원인으로도 된다.

또한, 사이리스타 응용장치나 아크로가 가까이 있는 경우에는 고조파의 영향으로 손실이 증가하기 때문에, 전동기 단자에 그 영향이 미치지 않도록 어떠한 대책을 강구할 필요가 있다.

—보전의 추진

전동기는 일반적으로 보수가 적은 것이 좋은 것이지만 수명을 연장하여 장기간 효율적인 사용과 신규 교체시의 필요사항 보조를 위하여 정기적인 점검을 하는 것이 필요하다.

기본적인 전동기의 보수는 정기검사와 위험상태를 미연에 방지하기 위한 개선이다. 점검항목은 윤활, 통풍로 확보를 위한 오물, 불순물의 제거, 전동기와 부하의 조정, 부하상황의 수정, 벨트, 커플링, 부차 볼트 조임 등이다.

이들의 점검에 따라 불필요한 손실의 증가를 없게 하여 효과적인 운전을 할 수 있게 하여 에너지 소비를 감소시킬 수가 있다.

[출처 : 에너지관리 '94.12월호

: 한·일 에너지절약 기술세미나 자료중에서]