

電力系統에서의 에너지 소비 節減 方案

朴 鍾 根

서울대학교 電氣工學科 教授

1. 電力消費 節減의 必要性

○最近 經濟成長을 훨씬 넘는 에너지소비증가

총 에너지 증가율

	'80~'85	'86~'89	'89
경제성장률	6.2%	11.2%	6.7%
총에너지소비증가율	4.5%	9.7%	8.4%

○특히 電力消費 增加率は 높다.

전력소비증가율

	'86~'88	'89	'90(1/4)
	12.8%	10.6%	17.4%
()	(21.2)	(23.1)	(27.9)

() 내는 상업 서비스 전력증가율

○에너지 해외 의존도의 심화

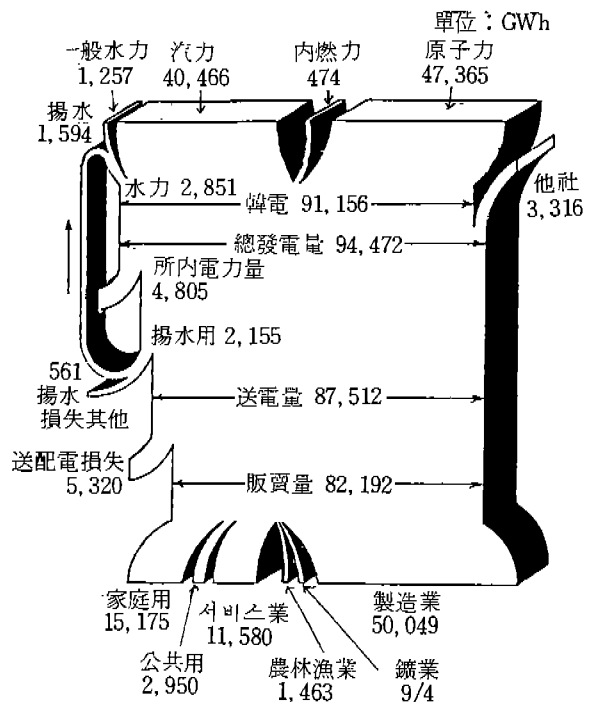
	'73	'79	'85	'87	'89
해외 의존도	55.5%	73.4%	76.2%	80.0%	85.5%

○위와 같은 에너지 소비증가로 보아 에너지 소비절약이 크게 요구되고 있으며, 특히 전력부

분의 에너지 절감이 기대된다.

2. 電力消費現況

(1) 전력수급 종합도 (1989)



- 소내 전력량 : 4,805[GWh]
- 양수용 전력량 : 2,155[GWh]
- 송배전 손실 : 5,320[GWh]
- 최종 전력량 : 82,192[GWh]
- 산업용 : 63.9% 상업용 : 17.6%
- 주택용 : 18.5%

- 정결성, 편의성, 고효율성 유지(소비자)
- 생산성 유지(제조업자)
- 신뢰성 유지(공급자)
- 절약의 대상
 - 전력생산부문
 - 전력수송부문
 - 전력사용부문
 - 전력저장부문

(2) 용도별 전력소비

용도별 전력소비 (1989)

용도	조명	동력
구성비 (%)	18.1	81.9

※ 산업부문에서의 절전 가능성이 많다.

(3) 절약의 조건 및 절약의 대상

- 기본개념 : 전력의 생산 및 소비의 합리성 추구, 즉 에너지 이용효율의 향상을 함축
- 절약의 조건 :

3. 電力生産 및 供給

(1) 발전효율 향상

- 기존의 발전방식은 거의 발전효율 한계도달 (40% 수준) 이론상 가능 효율 53%
- 대체발전기술(연구개발 단계)

대체 에너지 源別 技術開發 內容

源別	生産 에너지 類型	利用 分野	事業 內容
太陽熱	熱(溫水, 蒸氣)	住宅 및 商業用 에너지	住宅·建物の 冷暖房 利用技術을 開發하는 事業
太陽光	電力	落島·奧地의 電力供給.	太陽光으로 經濟單位 發電技術을 開發하는 事業
바이오 에너지	가스 燃料(메탄) 液体燃料(알콜)	産業用(酒釀, 畜産 廢棄物 등), 輸送用(메탄올 등)	各種 바이오매스(生物資源)을 에너지化하는 事業
廢棄物 에너지	熱(溫水, 蒸氣) 가스 燃料(메탄 등)	住宅, 商業用, 産業用 및 發電 에너지	可燃性 都市 및 産業廢棄物을 에너지化하는 事業(集團 에너지 供給事業과 連繫推進)
石炭利用 技術	液体燃料(COM, CWM 및 石炭液化) 石炭가스	産業用 및 發電 에너지	石炭을 附加價値가 높은 燃料로 轉換하여 이용하는 技術을 開發하는 事業
小水力	電力	發電 에너지	국내 小水力 資源을 최대한 활용하도록 與件을 造成하는 事業
風力	電力	落島·奧地의 電力供給	風力資源으로 經濟單位 發電技術을 開發하는 事業
水素 에너지	가스 燃料(水素)	全部門 에너지	물로부터 水素를 生産 및 利用하는 技術을 開發하는 事業
燃料電池	電力+熱 (熱併合 시스템)	發電 에너지 및 商用건 물의 冷暖房 에너지	水素와 酸素를 利用한 고효율의 新發電技術을 開發하는 事業
海洋 에너지	電力	發電 에너지	潮力, 波力 및 海水溫度差를 利用한 發電技術을 開發하는 事業

* 대체에너지開發促進法 施行令에 따른 地熱을 포함하여 10個 대체 에너지 源임

※ 규모 및 경제성 극복의 문제

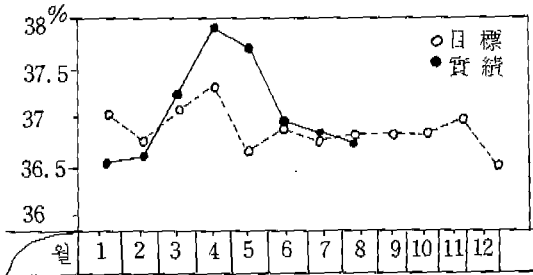
- 규모 : 연료전지 유망
- 경제성 : 경제성 전망

國際油價	大規模 普及 對象分野
\$25/Bbl 수준	太陽光, 風力과 小水力을 이용한 發電, 石炭 슬러리로 石油代替 및 廢棄物의 에너지 資源化
\$30/Bbl 수준	바이오 에너지의 燃料化
\$40/Bbl 이상	太陽熱 發電

○ 열병합 발전, 복합 사이클 발전, MHD 등

(2) 경제급전

○ 열효율 향상 (1986년)



※ 적정 운전대수 결정

- 대용량기 부하율 제고

○ 수화력 협조, 핵연료 사이클, 최적보수계획

(3) 전력전송손실 절감 및 자동화

○ 송·변·배전현황 (1989년) (표 1 참조)

- 손실률은 거의 포화수준
- 전력계통 전압수준 표준화
- 신송전기술 (UHV 송전, 초전도 송전 등)

○ 전력계통의 자동화

- 배전자동화 : 하계 전력량 자동조정

※ 하계 전력절감 가능량 60만kW 수준

- SCADA : 정전회수 및 시간단축

(4) 수요관리 및 부하관리

○ 수요관리

전력공급비용과 전력절약 투자비용 비교

공급 내용	절약 비용
전력확대 투자비용 6.36(\$/MMBTU)	효율적 냉장고 개선을 위한 투자비용 20.5(\$/MMBTU)

- 단위당 투자비용이 적은 것을 선택

- 환경효과

- 절약 프로그램의 예

이태리 정부

- 정부운영 공급회사에 실질적인 절약 프로그램 도입

- 원자력 및 대도시 에너지 위원회 (ENEA) 전력위원회 (ENEL), 석유 및 가스회사 (ENI)가 에너지 절약 프로그램을 이행토록 유도.

· ENEA는 정부의 자문, 정보제공, 교육훈련에 책임 있음.

· 따라서 정부운영 조직기관은 사실상 정책 형성을 위해 정부 역할을 인계받고 있음.

에디슨 전력회사 (남캘리포니아)

· 전기온수기 사용 수용가에 대해 회사부담으로 온수기 단열설치 실시

· 100가지 종류의 절약 촉진 프로그램 추진

· 노후 냉장고 환불제도 (50\$에 구입해서

<표 1>

區 分	1971	1976	1981	1989
송전선총연장 (km)	27,403	28,497	48,604	98,990
변전설비용량 (kVA)	4,409,165	8,794,750	21,263,700	47,156,700
배전선총연장 (km)	85,381	207,262	330,811	565,950
송변전손실률 (%)	5.8	5.6	4.0	3.4
배전손실률 (%)	5.6	4.9	2.7	2.7
총송배전손실률 (%)	11.4	10.5	6.7	6.1

폐기처리)

- 1981년 5,600대의 노후 냉장고 수집 폐기로 전력절약효과 거양(발전용량 증설 불필요)

TVA 전력회사

- 1982년 전체 수용가의 30% (70만 가구) 에너지 무료진단
- 30만 가구: 무이자 용자 → 에너지 절약 촉진화

○부하관리

- 전력요금정책
- 전력저장기술

4. 電動力の 에너지 節減

(1) 電動機 單体的 損失

○誘導電動機의 損失

- 鐵損: 철심의중 자속의 변화에 기인 히스테리시스손+와류손

$$K_1 \frac{V^2}{f} + K_2 V^2 \text{ [W/kg]}$$

V: 전원전압 f: 전원주파수

K₁, K₂: 비례상수

- 機械損: 軸과 브러시의 摩擦損
팬과 回轉子 회전에 의한 風損

- 銅損: 1차 및 2차 捲線에서의 동손

$$m_1 I_1^2 r_1 + m_2 I_2^2 r_2$$

I₁, I₂: 1차 2차 相電流

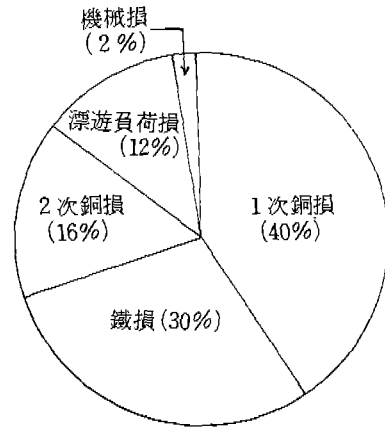
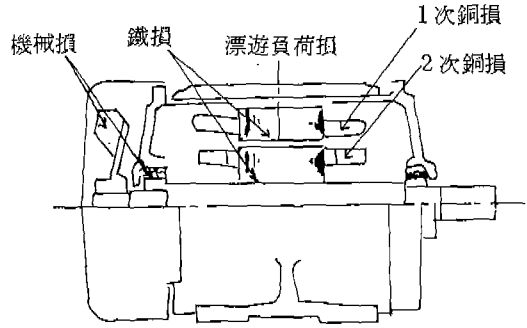
m₁, m₂: 1차 2차 권선의 相數

r₁, r₂: 1차 2차 권선의 抵抗

- 브러시 손: 브러시 내부 저항에 기인
- 漂流損: 漏泄磁束 및 기타 金屬部分의 鐵損

○直流通電動機의 損失

- 유도전동기와 유사
- 電機子反作用을 없애기 위한 補極이나 補償 권의 銅損
- 勵磁에 필요한 동손
- 정류를 위한 Switching 損



△ 籠形 誘導電動機의 損失分析

○전동기 손실의 저감대책

- 기계손
 - 베어링 및 구리스 선정에 주의
 - 팬을 소형화
- 鐵損
 - 고급 珪素강판의 사용과 철심 두께의 증가
- 1차 및 2차 銅損
 - 捲回數의 最適化(銅量의 증가, 철심 두께의 증가 및 空隙의 크기를 고려)

(2) 전력설비관리

○負荷管理

- 부하 토크와 회전수 저감

$$P = T \cdot N / 973 \text{ [kW]}$$

P: 전력소비, T: 토크(kg·m), N: 회전수(rpm)

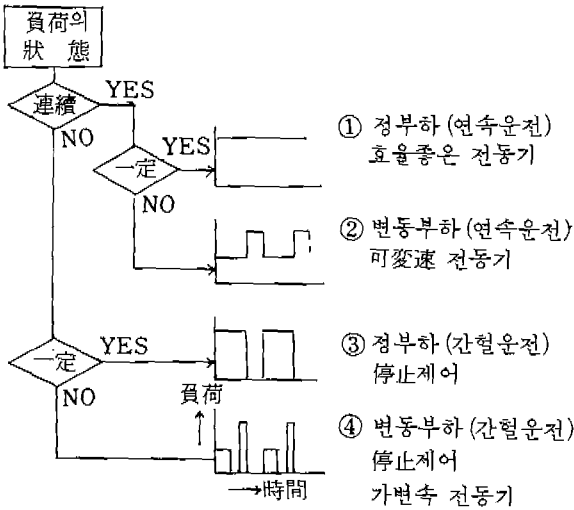
- 運轉方法의 개선

각종 에너지 저장기술의 비교

貯藏 기술	貯藏			특성			立地 환경		편익		적용시기	
	대상에너지	에너지밀도	저장효율	저장규모	저장기간	환경보전	안전성	운전시스템	운전특성	수명		건설단가
양수발전	전기 (위력에너지)	1.4wh/kg (양정 500m)	65~75%	대용량 (7,100만kWh)	日~週	A	A	약간 복잡	분단위 응답	35년정도	I	상업화
축전지	전기 (화학)	35wh/kg (현재)	65~75%	소용량 (1만kWh)	일	A	A	간단	순시응답 가능	1,500회 (10年)	I	"
		430~780Wh/kg	65~75%			B	B	약간 복잡	同上	30년정도	III	10년 이내
Flywheel	전기 (기계)	30~90Wh/kg	60~70%	소용량 (1만kWh)	분~시간	B	B	同上	同上		III	5~10년 이내
초전도자석	전기	~1200Wh/kg	85~90%	중, 대용량 (1,000만kWh)	분~주	B	C	"	"	"	III	15년 이내
압축공기	전기 (기계)	22Wh/kg	60~80%	소용량 (100만kWh)	일~주	B	B	복잡	10분 단위 응답	20년이상	I	10년 이내
축열	열	60kcal/kg (용융염)	70~80%	소, 중용량 (100만kWh)	일	A	A	적용시스템에 따라 다름	분단위 응답	10~20년	II	대부분 상용화, 대규모는 5년 이내
		13Wh/kg	70~80%	동상	일~주	A	A	약간 복잡	同上	10년이상	I	10년 이내
화학반응이용	열	202~1,450 kcal/kg	70~80%	"	시간~주	B	B	동상	"	동상	-	"
		~285kcal/kg	-	"	동상	A	B	"	"	"	-	15년 이내
금속수소화물	수소	~2,600 kcal/kg	70~75%	"	"	A	A	"	"	5년이상	II	15년 이내

註: 1. 입지환경특성: A: 전혀 문제無, B: 설치에 따른 배려필요, C: 대체에 많은 검토 요.

2. 건설단가 (6시간저장) I: 450 \$ / kW, II: 900 \$ / kWh 이하, III: 900 \$ / kW 이상.



- 適正容量에서의 운전

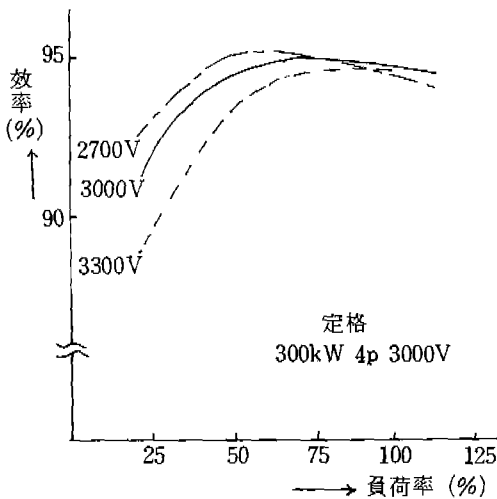
- 실부하에 가까운 출력의 전동기를 사용

○ 電源管理

- 電源의 안정화

- 電壓 및 주파수의 변동은 效率 및 力率의 저하

- 電동기의 단자電壓과 효율



○ 配電方式의 管理

- 配電線路의 電壓손실을 고려하여 電동기의 定格電壓을 선정한다. 3상 3線식 線路의 全電力損失은 아래와 같다.

$$P = \frac{P_r^2 R}{V_r^2 \cos^2 \theta_r}$$

V_r : 受電端 電壓

$\cos \theta_r$: 수전단 역률

P_r : 수전단 전력

R : 電線 1條의 저항

○ 運轉管理

- 力率의 개선

- 進相用 콘덴서의 설치

- 負荷率을 全負荷 부근에서 운전

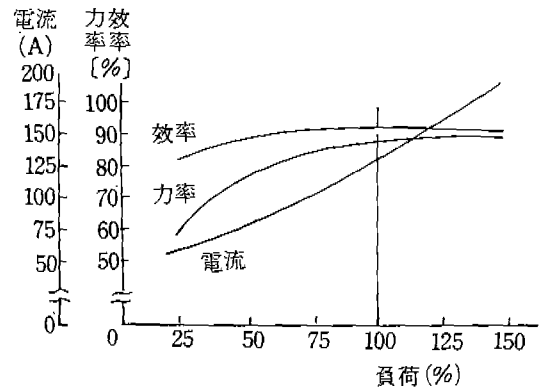
※ 기대효과는 電壓손실 절감, 品質 및 생산성 향상, 電費의 감소 등이다.

- 負荷率의 最適化

- 부하율이 적을 때는 출력이 적은 電동기를 사용, 定格부하 부근에서 운전
- 尖頭 부하시 電동기의 複數 運用이나 용량이 다른 電동기의 運用

- 效率과 力率

- 75~125[%] 負荷程度에서 운전



○ 速度制御에 의한 에너지 절감

$$N \propto Q, P \propto N^3$$

N : 회전수 Q : 流量 P : 소비전력

$$N[80\%] \rightarrow P[50\%]$$

- 極數제어 電동기 채용

- 1차 電壓을 바꾸는 법

- 슬립을 바꾸는 법

- 1차 주파수를 바꾸는 법

- 始動頻度가 높은 電동기

- GD^2 가 큰 電동기의 경우 가변주파수 인

버터를 사용한다.

〈표 2〉

전기기기용 효율에 대한 검토

項 目	檢 討 項 目
(1) 高效率 器機의 開發製作	製品價, 技術開發
(2) 高效率 器機의 採用	整流器, 變速發電機, 制動, 電燈等
(3) 使用條件에 적합한 機 種의 選定	容量, 環境, 運轉頻度, 方式, 設備方式, 形式等
(4) 機器에 最高效率을 낼 수 있는 負荷條件을 考慮	負荷의 輕重에 따라 效率이 變한다 無負荷 空轉, 勵磁는 全部損失
(5) 精確한 使用	規定電壓의 變動, 不平衡이 없을 것, 使用條件, 環境條件
(6) 系統에서의 損失減少	低負荷 電動機 및 變壓器 등의 交換 可否
(7) 配電損失의 減少	力率, 電線 굵기, 길이, 電流減少 接觸抵抗

생산공정에 대한 검토

項 目	檢 討 內 容
個個 機械設備效率	效率을 저해하고 있는 요인의 排除, 舊式設備의 檢토
生産系로서의 設備 效率	抵抗, 不均衡의 배제, 潛在浪費要素 排除
工程組合의 問題	設備의 개선, 工程不均衡의 개선, 工程短縮
人的 要素	作業標準化 및 簡略化, 副資材의 선택
操業安定	計裝自動, 省力化, 品質向上, 量産化

5. 照明에서의 에너지 節減

(1) 에너지 절약형 조명설계

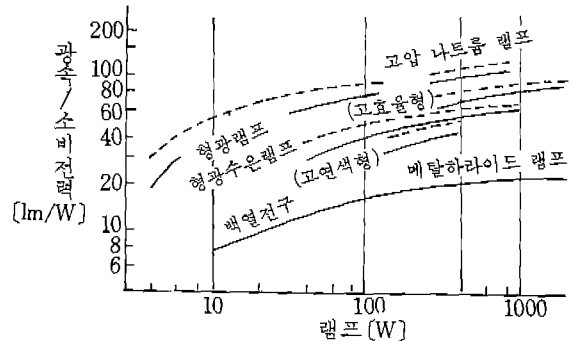
○우수한 조명의 요건분류(표 2 참조)

○조명설계 요건

- 適正水準의 照度결정
 - 한국공업규격(KS A3011 조도기준)
 - 일반작업 750~1,500룩스
 - 정밀작업 750~2,000룩스
- 電力의 적정화
 - 20(W/m²) 이하로 정함.

우수한 조명의 요건	비율(%)	
	명시 조명	장식적 조명
1) 조도(충분한 밝음)	25	5
2) 광속발산도 분포(밝음에 차이가 없다)	25	20
3) 정반사(눈부심을 제거한다)	10	0
4) 그늘(적당한 그늘)	10	0
5) 분광분포(광색이 좋고, 방사열이 적을 것)	5	5
6) 심리적 효과(기분이 좋다)	5	20
7) 미적 효과(등구의 배치, 기구의장이 좋다)	10	40
8) 경제성(효율을 고려한 경제설계와 보수경비의 검토)	10	10
총 비 율	100	100

- 평균조도의 계산 및 소요등수의 결정
- 高效率光源 및 器具의 採用
- 쾌적성과 효율을 고려



- 합리적인 조명방식
 - 배광방식 조정(직접, 간접, 확산조명형)
 - 조명기구의 배치조명(전반, 국부, 병용 조명방식)
 - 건축화 조명방식 조정
- 효율적인 照明制御방식의 채용
 - 자연광의 최대이용
 - 밝은 내장재의 채용
 - 등기구 점멸방식의 제어

(2) 조명 시스템의 효율적 운전

○고효율화

- 용도에 적합한 고효율 램프의 이용

· 白熱電球의 형광등 교체

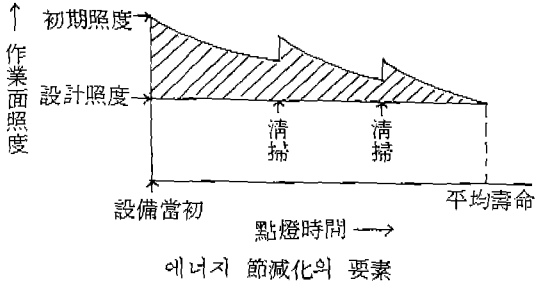
- 램프의 청소 및 교환

○ 에너지의 회수

- 反射자에 의한 反射光의 이용
- 照度器具에 의한 放散熱의 回收

○ 스케줄링과 에너지의 節減

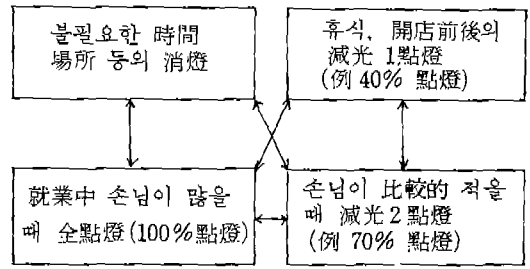
- 스케줄 제어에 의한 낭비시간의 조명정지
- 適正한 照度制御에 의한 전력절감



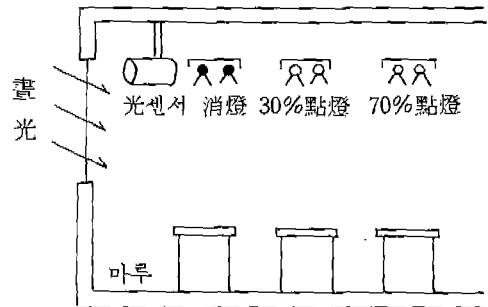
	照明 시스템 例	空調 시스템 例
高効率化	1) 용도에 적합한 高効率 램프의 채용 2) 램프의 청소, 교환	1) 效率이 높은 空調 시스템의 채용 2) 效率이 높은 熱交換器의 채용 3) 可變速制御에 의한 低負荷運轉時의 효율향상
에너지 回收	1) 反射자에 의한 反射光의 利用 2) 照度器具에 의한 放散熱의 回收	1) 熱交換에 의한 排氣 에너지의 回收 2) 發電制御에 의한 電力 回收
自然力의 利用	1) 太陽光의 利用	1) 外氣에 의한 建物の 外氣冷房 2) 外氣에 의한 電機機 械室의 風冷 冷却
環境의 改善	1) 밝은 內裝材의 채용	1) 斷熱材使用에 의한 負荷의 低減 2) 室內溫度設定의 再調整에 의한 負荷輕減 3) 動力傳達部의 傳達損失 低減
스케줄링과 에너지 節減	1) 스케줄 制御에 의한 낭비시간 照明的정지 2) 區間照明的의 채용 3) 타임스케줄 運轉의 채용	1) 蓄熱運轉을 위한 夜間電力의 채용 2) 系統細分化에 의한 낭비, 空調의 低減 3) 타임 스케줄 運轉의 채용 4) 峯數制御

- 레벨 制御

· 레벨 제어의 일례

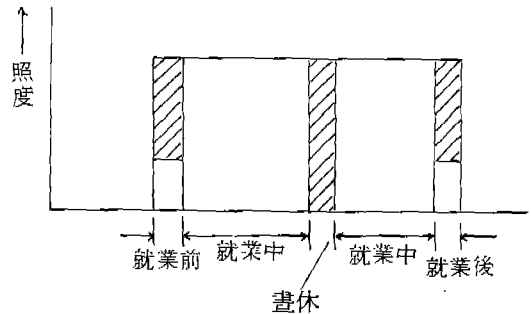


- 光 센서에 의한 자동제어



- 時間制御에 의한 전력절감

· 취업전 減光 및 晝休時間의 消燈



6. 맺음말

- (1) 새로운 개념 "에너지이용 효율향상" 도입
- (2) 효율향상, 환경개선, 소비절약등을 포함한 적극적 전력 에너지 절약정책 수립의 필요.
- (3) 기술개발에 의한 장기적이고 원천적인 에너지 절약방안의 구축
- (4) 에너지 재소비형 경제, 사회 시스템화 실현