

電線工業에 있어서의 自動制御 및 計裝設備의 現況과 展望

朴 元 根

- 目 次
1. 電線의 製造工程
 2. 自動制御의 現況과 展望
 3. 計裝設備의 現況과 展望
 4. 其 他

1. 電線의 製造工程

(1) 熔 銅

電氣銅을 용해로에 장입하여 電氣導體로서의 사용효율이 높도록 하기 위하여 전기적 특성(導電率)을 저하시키거나 다음 공정의 기계적 특성(可塑性)을 저하시키는 원소인 砒素(As.)나 안티몬(Sb.)등을 허용범위 이내로 除去하여 壓延작업이 가능한 棹銅(Wire Bar)으로 만드는 작업공정이다.

(2) 壓 延

熔銅에서 만들어진 棹銅을 加熱爐에서 연속 가열하여 다음 공정인 伸線작업을 할 수 있도록 Wire Rod를 만들어 내는 공정이다.

(3) 酸洗(Pickling)

압연공정에서 완성된 Wire Rod를 받아서 전기분해를 통하여 Wire Rod의 표면에 있는 酸化銅을 除去하는 작업공정이다.

(4) 伸 線

금속의 塑性을 이용하여 入口는 넓고 出口는 좁은 형상의 Die를 지나게 하여 강제로 잡아당겨 여러 Diameter의 裸銅線을 만들어 내는 과정으로 濕式冷間伸線이 보통이다.

(5) 軟 化

伸線은 冷間加工이므로 加工硬化를 받아 硬度가 높아지므로 이 높은 硬度의 것을 再結晶은도 부근에서 가열하여 외부응력에 의한 硬化를 제거하고 展性を 크

게하는 작업공정으로, 이에는 軟化時 공기와와의 접촉에 따른 酸化를 防止하기 위하여 眞空속에서 실시하는 眞空軟化와 伸線작업이 완료된 즉시 한 Line으로 電氣의 誘導加熱에 의해 軟化하는 방식이 많이 쓰이고 있다.

(6) 錫 鍍

通信 Cable의 局內 Cable 전화기와 Radio의 Jumper 선들은 사용온도에서 단자와 단자, Cable과 Cable의 접촉에 뱀질하여 사용하므로 뱀질이 잘 되도록 錫의 鍍金을 하는 것으로, 이에는 용해로에 錫을 용해시켜 그 속을 동선이 통과한 후 Die를 통하게 하여 도금을 하는 熔融鍍金(동선표면의 銅과 錫이 금속결합으로 합금이 되는 것임)과 電解槽 內에서 直流에 의한 이온화경향으로 동선표면의 銅이온과 錫이온이 이온결합으로 합금되어 도금되는 電氣鍍金이 활용되고 있다.

(7) 撚線(Stranding)

撚線은 도체의 사용목적에 따라 여러 가닥의 단선을 적당한 핏치에 의하여 합쳐 꼬아서 만든 素線의 집단으로, 同一한 素線徑으로 同心圓狀의 층으로 연선되며 각층의 연선방향은 서로 반대이다.

(8) 押出(Extruding)

P.E 및 P.V.C 등의 熱加塑性 樹脂原料를 注入하여 Cylinder內에서 회전하는 Screw에 의해 압축부로부터, 다시 계량부로부터 전진시켜 Screw와 Cylinder 사이의 간격이 좁아져 壓力과 Band Heater로부터 열에 의해 용융되기 시작하여 압축부가 끝나는 지점에선 완전 용융되어 반대 방향으로 작용하는 背壓에 의해 저항을 받아 품질이 均一化되어 다이로 통하여 니플 속으로부터 나와 선재에 피복되는 작업이다.

(9) Enameled Wire 製造工程

심선 Bobbin에 권취된 경동선을 연화로에 보내어 軟化시켜 軟銅線으로 만든 다음 塗布시켜 Oven에서 Baking하여 완성함.

2. 自動制御의 現況과 展望

(1) 速度制御

a. DC Motor의 속도제어

이 DC Motor는 最近 半導體의 발전에 힘입은 精巧한 制御裝置에 의해 速度精度가 높고 速度調整範圍가 넓은 特性에 따라, 押出機의 主모터 및 中伸線機의 卷取用 모타로서 Thyristor-Reonard System에 의한 電機子 電壓制御로 Speed Control이 이뤄지고 있다.

b. 1차 Thyristor 制御 誘導電動機의 速度制御

이는 농형 유도전동기의 2차저항을 높게 하면 부하토크가 변하면 속도가 급격히 변화하는 垂下特性을 이용하여 단자전압을 바꾸어 토크 특성을 변화시켜 속도제어를 하는 방식으로(그림 1 참조), 1차전압의 조정에는 Triac을 사용하여 그 Gate를 제어하는 방식이 速度精度를 향상키 위한 Speed Feedback 回路가 附加되어, 速度精度가 높고(Load변동 0~100%에 대하여 최고속도의 $\pm 1\%$) 또한 速度調整範圍가 극히 넓은 長點에 따라(60Hz에서 0~130 ORPM) 押出機의 引取用 및 卷取用으로 널리 사용되고 있는 실정이나, low Speed에서는 운전효율이 나빠지는 결점 때문에 되도록이면 400RPM이하로는 운전하지 않은 경향이 있다. (그림 2 참조)

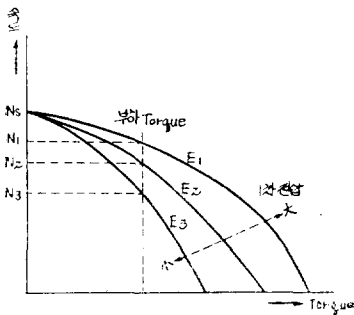


그림 1. 고저항 2차회로 유도전동기의 전압에 의한 특성변화

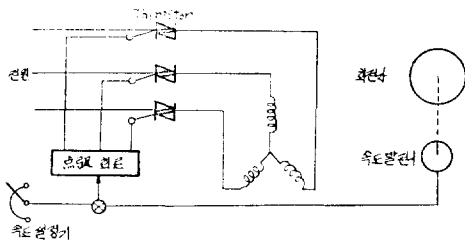


그림 2. 1차 Thyristor 제어유도전동기 간이회로

c. 渦電流 Coupling에 의한 速度制御

이는 周知하는 바와 같이 三相誘導電動機와 Load와 의 사이에 電磁 Coupling을 설치하여 그의 DC Exciting Voltage를 변화시켜 그림 3과 같은 Speed-Torque 特性을 얻는 것으로, Coupling만으로는 加減速이기 때문에 Speed Feedback回路가 附加된 自動定速制御裝置에 의하여, 速度 高精度가 要하지 않은 小形 押出機 및 卷取速度制御에 가격이 저렴하다는 長點을 이용하여 활용되고 있다.

물론 이 방법도 저속에서는 효율이 나빠지는 결점 때문에 되도록이면 저속 운전을 피하고 있으며, 輕負荷時 速度制御가 원활치 못한 결점도 있다.

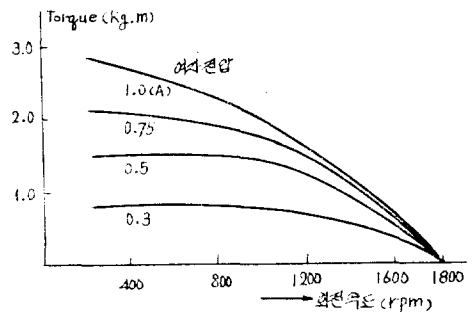


그림 3. 渦電流 Coupling 速度-Torque 特性의 一例

d. 交流整流子모타에 의한 速度制御

교류정류자모타 중에서 전선 제조설비에 주로 사용되고 있는 것은 슈라계형 三相分巻 정류자전동기로서 그 구조는 유도전동기와 마찬가지로의 1차권선을 회전자에 마련하고 슬립링과 브러쉬를 통하여 三相電源에 접속하며, 2차권선은 고정자에 마련되어 各相의 양단 단자가 합하여 6개 나와 있어, 이 6개를 전부 단락하던 단순한 유도전동기로서 회전자지만, 이 전동기에는 회전자에 직류전동기와 마찬가지로의 정류자권선 즉 調整 卷線이 마련되어 있고 一相當 한쌍의 브러쉬가 붙어 있어, 이 브러쉬를 통하여 정류자권선에 의하여 브러쉬간에 발생한 전압을 2차권선에 가하여 2차 여자하는 방식으로 브러쉬開度를 바꾸어 2차에의 여자전압을 변화시켜 속도 제어를 하는 것으로, 定速度特性이며 속도제어범위도 비교적 넓고 全速度 범위에서 효율이 좋아 燃線機의 구동용이나 速度發電機에 의한 Speed Feedback System으로 速度精度를 높여 小용량 押出機의 구동용 속도제어에 활용되고 있다.

(2) 定出力制御와 卷取制御

a. 卷取機의 力學

Cable을 권취하는 경우 張力을 일정히 해야만 제품 특성을 양호하게 유지할 수 있으므로, 전선제조공업에서의 卷取(Winding) 작업은 극히 중요한 과정이다.

이 때 권취 속도 V 가 일정이라면 張力 一定이므로 張力 \times 速度로 표시되는 卷取 Power는 一定이 되지 않으면 안되므로 定出力으로 구동하면 되는 것이다.

선속도를 $V(m/s)$, 張力を $T(N)$, 권취반경을 $r(m)$ 전동기토크를 $\tau(N \cdot m)$, 회전수를 $N(rpm)$, 전동기출력을 $p(w)$ 라하면 $V=2\pi r \cdot N/60(m/s)$, $\tau=r \cdot T(N \cdot m)$, $P=V \cdot T$ 에서 $P=2\pi N/60 \cdot \tau$ 의 관계가 되어 선속도 V 가 일정이라면 권취하여 r 가 커짐에 따라 이에 반비례하여 전동기 속도를 낮추고 이에 비례하여 Torque를 증가시켜 권취하게 되는 것이다.

b. DC MOTOR에 의한 卷取制御

직류전동기는 界磁가 일정하면 그의 토크는 전기자전류에 비례하고, 또 그 속도와 전기자의 逆起電力이 비례하므로 권취반경의 비가 1:5~1:7 정도까지는 이 관계를 이용하여 定張力制御를 양호하게 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{즉 } T &= \tau \cdot I/r = K \cdot \phi \cdot I_a \cdot 2\pi \cdot 1/V \cdot N/60 \\ &= 2\pi K/60 \cdot I_a/V \cdot \phi \cdot N = 60 \cdot E_m/V \cdot I_a(N) \end{aligned}$$

여기서 K : 電動機定數, ϕ : 界磁磁束, E_m : 電機子起電力, I_a : 電機子電流로 되어 E_m 을 선속도 V 에 비례시킨 張力 T 는 전기자전류 I_a 에 비례한다. 또 T 및 I_a 를 일정히 制御하고 E_m 을 선속도 V 에 비례시킨 양호한 상태의 권취가 행하여 진다는 원리하에 그림 4와 같이 선속도 V 에 전동기기전력을 비례하도록 界磁를 制御하고 張力 T 에 맞추어 전기자전류 I_a 를 設定하여 그 誤差分을 DC-CT로 검출하여 Current Feedback System에 의해 一定電流制御를 Thyristor Reonard 方式으로 行하는 例가 中伸線機의 卷取制御에 널리 實用되고 있다.

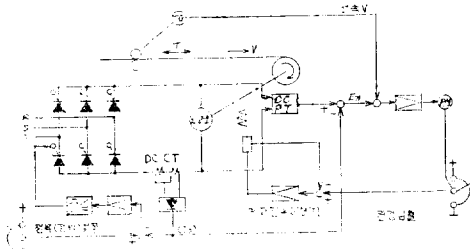


그림 4. DC MOTOR에 의한 卷取制御

c. 토크모타에 의한 卷取制御

前記된 바와 같이 高抵抗 2次回路를 갖는 유도전동기는 垂下特性을 가지고 있어 少의 定出力特性이 그다지 넓지 않은 경우 및 精度를 그다지 要하지 않은 경우등에는 적당한 전압을 선정하여 전동기 단자에 인가하는 것으로 太伸線의 卷取制御 및 押出 Line의 卷取制御, 燃線 Line의 卷取制御에 誘導電壓調整器와 調合되어 現저 널리 쓰이고 있다. 근래에는 동일한 原理이기는 하지만 電壓調整裝置가 正·逆接續의 S.C.R

式 또는 Triac 式化되어 Synchro 角度檢出器의 Cable Position 검출신호에 의하여 권취속도가 自動으로制御되는 方式이, 生産性向上의 일환으로 押出 Line의 권취제어에 점차 그 용도가 넓어져 가고 있는 실정이나, 이 때는 特別히 1차 Thyristor제어 유도전동기가 半導體化된 電壓調整裝置의 精度維持를 위하여 的으로 사용되고 있음은 물론이다.

(3) 張力制御(Tension Control)

前項의 권취제어에서도 卷取徑의 변화가 큰 경우나 張力의 값 自體가 미세하여 기계적 損失分の 補償이 상대적으로 크게 되는 경우에는, 高精度가 얻어지도록 직접 張力을 검출하여 제어할 필요가 있는 바, 그림 5는 그의 實例로서 Tension-Roller의 變位를 差動變壓器로써 電氣信號로 變換시켜 引取機用 DC Motor 制御裝置의 Input Signal로 동작하여, 電機子電壓을 조정하여 DC Motor의 Speed를 조정함으로써 따라서 Line의 Tension을 一定值로 유지시켜 주는 내용을 표시하고 있다. 물론 이 때 Tension-Roller는 진동할 위험성이 있으므로 그 固有振動數를 충분히 취하고 適當한 Damper 등으로 自動制御系의 安定化에 注意할 필요가 있음은 물론이며, 이 Tension Control 方式을 이용하고 있는 電力 Cable 제조설비인 C.C.V(Catenary Continuous Vulcanization)機의 작업공정을 살펴보면 다음과 같다. 즉 押出機에 의하여 鍊연물을 吹拂하고, 數 10(m)나 되는 기단간 경사진 加硫管의 가운데를 통하여 加硫를 행하며, 이 加硫官은 一定張力을 유지하도록 Catenary Curve로 되어 있고 그 内部에는 差動變壓器가 설치되어 있어, Cable Tension 변화에 따른 Cable의 위치變位를 檢知하여 電氣信號로 變換시켜 引取機 구동용 DC Motor의 制御信號로서 Input하여 Cable Tension의 強弱에 따라 DC Motor의 Speed를 Thyristor Reonard System에 의해 조

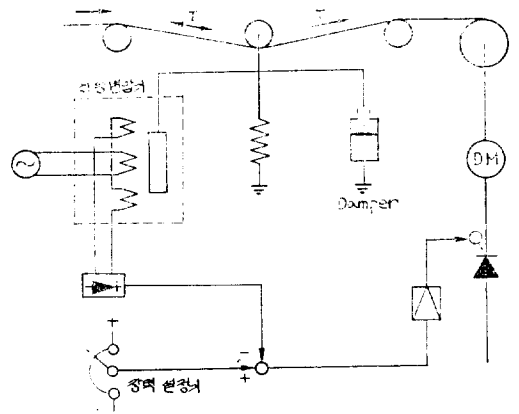


그림 5. 差動變壓器에 의한 張力制御 一例

정함으로써 Cable Tension이 일정치가 되도록 한다.

(4) 變位制御

電線製造 Line에서는 재료의 變位에 따른 Tension의 변화가 일어나지 않도록 卷取함이 필요하기 때문에 그림 6과 같은 Dancer Roller를 설치하고 Tension을 附加해 주는 Weight를 적당히 붙여, Dancer Roller의 변위가 어느 일정 범위에 있도록 권취하는 방식이 伸線작업 과정(특히 中伸線)에서 널리 채용되고 있는 바, 이 때 Dancer Roller에는 Synchro 角度檢出器가 부착되어 Dancer Roller의 位置變位를 電氣信號로 변화시켜 권취용 DC MOTOR의 制御信號로서 Input하여 卷取速度를 制御하는 방식이다.(Thyristor Reonard System에 의함은 물론이다)

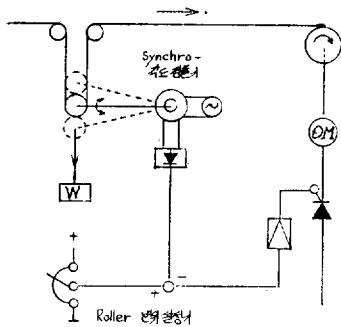


그림 6. Synchro 角度檢出器에 의한 變位制御一例

(5) 溫度制御

전선제조공업에서의 온도제어는 押出作業工程이나 Enameled Wire의 제조공정에서 등 그 活用途가 광범위한 바, 어느 경우에서나 測溫個所에 熱電對(Thermo Couple)등의 溫度檢出器를 꽂아 놓고 自動溫度調節器에 의해 측온개소의 검출된 온도와 設定溫度와의 差에 의하여 Heater에의 電力供給을 電磁開閉器에 의해 ON-off하는 방식이 대부분이나, 근래에는 Heater에의 供給電力을 設定溫度와 測溫個所 檢出溫度와의 偏差量에 比例하여 Thyristor로 供給하는 比例制御 溫度制御方式도 一部 精密級 押出機에 점차 사용되고 있다. 測溫個所의 溫度檢出에는 비교적 高溫까지의 檢出이 용이한 熱電對(Thermo Couple), 특히 800°C이하의 범위에는 鐵-콘스탄탄이과 크로멜-알루멜이 널리 活用되고 있으며, 酸性場所나 1,200°C의 높은 온도의 장소에는 크로멜-알루멜이 널리 쓰이고 있으며, Pt-100, 50, 25 등의 測溫抵抗體도 일부 活用되고 있다.

한편 전선제조용 押出機나 Enameled Wire제조등에 活用되는 自動溫度調節器로는 制御感도가 Full Scale의 0.3%이며 精度가 ±1%의 것이 널리 채용되고 있는 실정이다.

(6) 制動制御(Brake Control)

a. DC Motor의 制動에는 電機子 回路에 저항기를 접속하고 모터를 정지시켰을 때 慣性에 의한 회전력으로 電機子起電力을 발생시켜 制動電流를 흐르게 함으로써 制動力을 얻는 發電制動方式이 간단하고 저렴하여 널리 채용되고 있는 실정이다.

b. Induction Motor의 制動에는 主電源의 차단과 함께 1차권선에 直流를 공급하여 회전자에 起電力을 발생시켜 2차전류 즉 制動電流를 흐르게 함으로써 制動力을 얻는 방식이 비교적 중용량이하에서 채용되고 있는 실정이나, 회전자에 전력손실에 따른 온도상승이 뒤따르므로 始動빈도가 빈번한 설비에는 사용되지 않고 있다.

c. 1차 Thyristor制御 Induction Motor의 制動에는 Thyristor 三相分中 二相分만을 點孤시켜 電流를 흘리는 것으로 이 중에서 直流分이 磁界를 형성하여 일반 Induction Motor의 直流勵磁에 의한 發電制動과 同一한 效果의 Brake가 걸리게 되는 것으로, off Sw를 누르면 減速動作은 즉시 행하여지고 主回路는 잠시 閉路를 維持, 모타가 정지될 즈음에 내장의 Timer가 동작하여 주회로를 개방토록 되어 있다. 특히 이 Brake 방식은 정지시 零速度부근까지 큰 制動力이 얻어지고, 모타본체나 Thyristor에 일체 손을 가함이 없이 點孤回路에 一部 손을 가함으로써 간단히 행하여 지기 때문에 在來의 切換回路등은 일체 사용됨이 없이 完全無接觸化의 利點이 있어서 押出 Line의 引取機 및 卷取機 구동용 1차 Thyristor 제어 Induction Motor의 制動方式으로 널리 쓰이고 있다.

(7) 活用되는 自動制御 器具

a. 位置, 變位, 移動, 通過檢出

1) 기계적인 접촉검출이 용이한 곳은 대부분 Limit Switch가 사용되고 있음은 물론이며,

2) 計尺器回路등에는 Lead Switch나 高周波發振形의 近接 Switch(Proximity Switch)가 채용되고 있는 실정이며,

3) Taping Machine의 Tape斷紙 檢出用으로서는 유화카드물이나 Photo-Transistor등의 光導電性을 이용하고 있다.

b. 壓力의 檢出

물론 이때는 Pressure Switch가 사용되어 伸線機등의 伸線油 供給 安全用이나 精密機械類의 윤활유 공급 安全용으로 活用되고 있다.

c. 液位의 檢出

이에는 Float의 浮力을 이용하여 液位의 변동에 따라 Micro Switch를 ON-OFF하는 Float式 및 液內에,

電極을 설치하여 液位에 따른 電極間의 短絡回路로써 高感度の Relay와 結合하여 一定水位을 유지토록 Pumping을 ON-OFF하는 Level Switch式이 Enameled Wire제조공정에서 冷却水 供給에 널리 사용되고 있다

d. 速度, 回轉數의 檢出

回轉時의 遠心力을 이용한 遠心力 Switch가 高速燃線機에서 Soft-Start의 일환으로 채용되고 있으며, Speed Feedback용 速度發電機에 의해(물론 速度發電機의 出力電壓은 速度에 비례하여 線型的으로 發生되어야 함은 물론이다) 速度가 檢出되어 制御回路에 Input하여, 위험속도에 달했을 때 Thyristor의 點弧回路를 차단하여 過速을 보호하는 System은 DC Motor Controller에서 널리 채용되고 있는 실정이다.

e. Synchro 角度檢出器

이는 Synchro 制御變壓器의 일종으로서 電氣的 中性軸으로부터 機械的 回轉角度的 變位를 電氣的 出力信號로 線型的으로 變換發生시켜, 이를 Thyristor 點弧制御回路에 Input시켜 點弧位相을 制御하여 DC 또는 AC 主回路 出力電壓을 調整하는 것으로 伸線機 卷取用 DC Motor 또는 押出 Line의 引取用 및 卷取用 DC Motor나 1차 Thyristor 制御 Induction Motor에 變位制御에 의한 速度制御에 널리 쓰이고 있는 檢出器이다.

f. 差動變壓器

이 差動變壓器는 2차측을 각각 整流시켜 差動的으로 合成, 電氣的 中性軸으로부터의 Core의 機械的 變位를 位相辨別의 DC 電氣信號로 변환시켜 電線製造設備에서는 押出 Line의 外徑測定器 및 C.C.V Line에서의 Cable Position Sensor로서 Thyristor의 點弧制御回路에 Input시켜 그 출력전압의 조정으로 Tensioning Capstan의 Speed를 Control해주어 Line의 張力을 一定히 유지하는 중요한 檢出器로서 활용되고 있다.

이상과 같이 電線製造設備에 현재 활용되고 있는 각종 自動制御 System을 살펴 보았지만, 向後 지속적인 Power Electronics의 발전과 더불어 그의 응용은 先進제조설비에도 더욱 확대될 것으로 전망되며, 설비 Operating의 無人化추세에 따라 Sequence 制御도 현재의 Magnetic Contactor에서 無接點 Sequencer나 또는 Programable Controller에 의한 Automation化가 一部 기대되는 바이다.

3. 計裝設備의 現況과 展望

電線製造工業은 石油, 化學, 鐵鋼工業 등과는 달라 可燃性의 原材料를 사용하는 일이 그렇게 많지 않아서 火災, 爆發이 위험성이 별로 없어 計裝設備는 거의 電氣化 또는 電子化되어 있는 실정므로 이러한 현상은 向後에도 큰 變化는 없을 것으로 展望된다.

현재 活用되고 있는 Air로서는 4kg/cm² 정도의 것이 Air Regulator Set에서 淨化되어 機械裝置 Brake용과 押出 Line의 印刷前段에서 被覆絶緣物의 除濕用으로서 Wiper에 활용되고 있으며, 0.2~2.0 kg/cm² 정도의 것이 C.C.V. Line에서 加硫管內의 適正水位를 維持하는데 活用되어 指示調節計의 設定値에 대한 現水位의 偏差를 空氣式의 差壓傳送器(Differential Pressure Cell Transmitter)로 檢出하여, 그 偏差量에 比例하여 Air가 0.2~1.0 kg/cm의 범위에서 Control Valve에 調整供給되어 Valve의 開度を 調整하여 加硫管內의 給水量 즉 水位를 設定値로 維持하는데 活用된다.

4. 其 他

지금까지 電線製造工業에 있어서의 自動制御 및 計裝設備의 現況을 중심으로 하여 展望을 대략 살펴 보았지만, 制御系에 活用되고 있는 要素 特히 Power Electronics素子나 精密制御回路의 大部分이 國産化가 되지 않거나 國産화된 것 중에서도 그 信頼度로 보아 活用을 주저하며, Power Electronics 産業分野에의 참여 업체도 中小企業性을 면치 못하는 現實인 바 人力難 또는 人件費의 昂騰에 對備한 自動화를 위해서 그리고 제한 Plant 設備의 高級化내지는 品質向上을 통한 國際競争力 強化를 위해서 Power Electronics産業에 對한 大企業참여와 國家의 政策的 支援이 積極적으로 있어야 되리라 믿는다.

參 考 文 獻

Power Electronics와 電動力制御(古賀高志著)..