

Ignitron 水銀整流器의 失弧現象

李 哲

1. 緒 言

Ignitron의 點弧子에 電壓을 印加하면 水銀이 接하고 있는 部分의 어떤 結晶面에서 陰極點을 發生하여 이 陰極點과 點弧子 上部 端子間에 arc를 發生하고 次로 主陽極이 arc放電을 誘發하여 點弧를 完了한다.

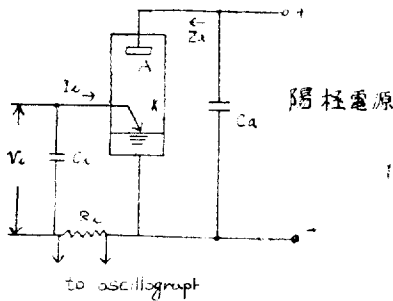
即 點弧가 되려면 첫째 陰極點이 發生하는데, 둘째 陽極과 陰極間을 破壞하는 두 條件이 必要하며 첫째 條件이 滿足되어도 둘째 條件이 滿足되지 않으면 失弧하게 된다. 또 이 두 條件이 具備되더라도 輝點이 永久히 保存되지 못하면 역시 失弧하므로 輝點을 永久히 維持하여야 한다는 것도 點弧의 必須條件이 되는 것이다. 即 陰極은 正規의 運轉狀態에서 陰極點으로 因하여 그 自身 電子를 放出하고 있으며 陽極으로 arc가 通하는 期間에 어떠한 原因으로 陰極點이 없어지면 電子放出도 없어지고 整流器로서의 機能을 消失하게 된다. 上記와 같이 點弧現象은 二重放電現象으로서 各各의 條件을 따르 考證하는 것이 點弧機構나 失弧機構를 究明하는 데 必要한 것이다.

2. 陰極 輝點의 性質

御所氏는 陰極 輝點의 性質을 究明하기 위하여 다음과 같은 實驗을 하였다.

가. 御所氏의 實驗

點弧子 回路의 電流 및 點弧子와 陰極間의 電壓波형은 $V_i=200V$, $C_i=0.5\mu F$, $R=100\Omega$ 의 回路條件으로 接



接 續 回

韓電 企劃部 運營企劃課

續하여 陰極線 oscillograph에 (A)와 같이 觀測되었다. 點弧極을 投入하여 觀測하면 3個의 不連續點 a, b, c가 있고 一定 回路條件에서 投入速度를 바꾸면 a b間은 不變이고 b, c間의 時間 τ' 가 變化하며 速度가 速을 때에는 τ' 가 길고 速度가 遅에 τ' 는 짧아 ignitron과 같이 點弧子가 水銀속에 담겨있는 境遇 $\tau'=0$ 이며, c部分이 a, b間에 나타난다. V_i 는 a, b間에서는 約 10V로서 I_i 에 關係없이 一定하고 b에서 急히 零과 c에서 zero가 된다고 報告되어 있다.

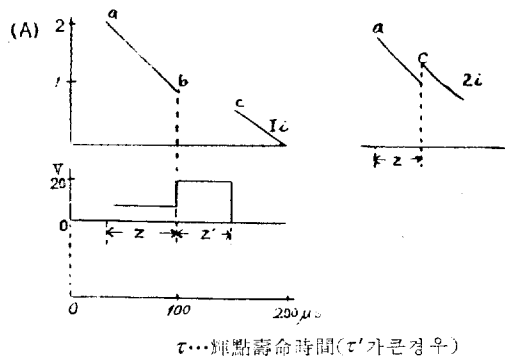
以上과 같은 實驗結果로부터 다음과 같은 陰極點 發生 機構를 생각하고 있다.

點弧子 先端과 陰極間의 空隙의 長이에 따라 水銀의 表面張力과 點弧子 半導體 表面의 微少 突起에 의하여 생기는 點接觸部에 電流가 集中되어 電界強度가 얼마든지 크게 생기며 電界放出에 의한 破壞를 豫想하고 있다. 따라서 點弧子回路에 電流가 흐르며(a點), 이 電流로 水銀蒸氣가 發生하고 點弧子는 漂遊狀態가 되어 點弧子와 陰極間에 微少 arc만 이 있게 된다는 것이다. 即

$$I_i = \frac{V_i}{R_i} e^{-\frac{t}{C_i R_i}}$$

에 따라 減衰하고 點弧子와 陰極間의 arc의 特性과 回路條件에 따라 定해지는 曲線 下部에 相當하는 値가 되면 arc가 消滅하고(b點), 一時 開放狀態가 되는 同時에 V_i 는 C_i 의 端子電壓까지 上昇하고 τ' 後 다시 V_i 는 zero가 된다(c點), 이때 C_i 의 殘留電荷에 의한 電流가 흐르는 것으로 생각된다. 따라서 arc時間 即 輝點 壽命時間은 a, b間의 τ 로서 回路의 時定數 $C_i R_i$ 를 바꿈으로 變化시킬 수 있다.

나. 陰極點의 運動
이와같이 發生한 陰極點은 水銀面上을 0.5~1.5 m/s의 速度로 끊임없이 活潑하게 移動하고 있으며 이는 蒸發하는 水銀의 反動에 의한 것으로 생각된다.



τ ...輝點壽命時間(τ' 가 큰 경우)

水銀槽에 anchor 라 불리는 M_0, W 를 添加하면 固定된다. 陰極點이 anchor 로 向하는 理由는 突出한 anchor 周圍에 局部的으로 增加한 蒸氣密度에 起因하여 陰極點이 固定되는 것은 ion 衝擊에 의하여 噴出하는 水銀蒸氣에 의한다. 調節係數라고 하는 것이 他部分보다 적고 小 energy 로 arc 를 維持한다고 Rothstein 氏가 說明하고 있다. 그러나 大容量에서는 이 方法으로도 固定이 困難하고 實用이 안된다.

다. 陰極點의 溫度

陰極點의 溫度는 測定法에 의하여 結果가 一定하지 않고 250°C에서 300°C까지의 値로 생각된다. "Martí"와 "Winograd"氏가 發表한 Brown Boveri Laboratory 에서의 測定値는 287°C이었다. 그러나 이는 局部的에 지나지 못하고 水銀 陰極面 全體로서는 60~150°C 程度이다.

라. 陰極點의 電流密度

陰極點의 電流密度는 約 4,000 A/cm²에 達한다. 陰極點은 高電界에 의한 冷陰極 放出이라 불수 있음으로 陽ion의 正空間電荷에 의하여 強電界를 維持하려면 어느 限度 以上の 放電電流를 常時 通하여 놓을 必要가 있다. 即 陰極點을 維持할 수 있는가 없는가는 水銀 arc 固有의 特性和 陽極回路의 條件에 따라 定해지는 것이며 이 最少維持電流의 値는 溫度나 水銀蒸氣壓에 의하여 若干 다르나 普通 自由陰極點에서 5A, 固定陰極點에서는 0.5A 程度이다. 또 陰極電流가 瞬間的이라도 끊어지면 陰極點은 直時 消滅한다.

3. 點弧電壓(水銀蒸氣中的 放電開始電壓)

陰極點이 생기지 않는 境遇 水銀整流器의 陽極과 陰極間의 放電을 시키기 위하여서는 相當히 높은 電壓이 必要하다. 一般的으로 arc 放電을 始作하는데 必要한 電壓 V_a 는 氣體의 壓力과 電極間의 距離 d 의 積의 函數로써

$$V_a = f\left(\frac{pd}{T}\right) \quad \text{但 } T = \text{絕對溫度}$$

이것이 Paschen의 法則이다. 20°C에서와 水銀 蒸氣壓 $p=0.0912 \text{ mmHg}$, $d=100 \text{ cm}$ 라 하여도 $pd=0.12 \text{ mmHgcm}$ 이며 數千 volt의 高電壓을 加하여서도 放電하기 困難하다. 壓力이 적은 境遇 氣體分子의 密度가 적으니라 電子와 氣體分子와의 衝突機會가 적으므로 有効한 電離을 시키기 위해서는 高電壓으로 電子速度를 높일 必要가 있다. 上式의 p/T 는 分子密度에 比例하니라 放電開始電壓 V_a 는 分子密度와 電極間의 距離에 比例한다. 水銀蒸氣中的의 放電開始電壓이 極히 높음으로 水銀整流器를 動作시키는 데는 어떤 方法으로든지 水銀陰極에 陰極點을 만들어 주어야 한다.

4. 陰極 輝點의 發生

Ignitron은 水銀 陰極中에 固定 點弧子를 남기고 이 에 電流를 加하여 點弧시키고 있으며 可動部分이 없이 電流를 흘러 陰極點을 만들게 되므로 交流 每 cycle마다 點弧가 되고 點弧極을 省略할 수 있다. 點弧子는 炭化元素와 炭化矽素와의 混晶體로 만드므로서 耐熱, 耐弧性, 機械的 強度가 높고 抗濕性도 커서 長期의 使用에 견딜 수 있다. 電流 點弧子의 構造는 逆圓錐形으로 되어 있고 水銀과의 接觸面에서 點弧의 安定을 期할수 있도록 되어 있다. 이곳에 數A~數10A의 電流를 通하면 (普通 5~40A) 電界放出에 의한 破壞로 陰極 輝點이 發生한다.

5. 失弧現象

點弧子에 電流를 通하여도 點弧하지 않는 境遇로서 여러 條件을 考察할 수 있으며 그 原因과 機構를 들어 보기로 한다.

가. 點弧子 電流가 너무 적은 境遇 點弧子에 電流를 通하더라도 電壓이 너무 낮으면 點弧子 電流가 적으므로 陰極에서의 電子 放出量이 적고 輝點을 發生치 못한다.

나. 陰極까지의 距離가 멀어진 境遇 空隙의 길이가 적을수록 放電開始電壓이 낮고 따라서 陰極과 陽極 間隙이 클 때는 點弧極이 있어야 할 것이다. 이는 Paschen의 法則 $V_a = f\left(\frac{pd}{T}\right)$ 에서 알 수 있다.

다. 水銀蒸氣의 壓力이 電子와 氣體擴散에 不適當 할 때

水銀 蒸氣壓을 適切한 값으로 維持하는 것이 安定한 整流作用을 行하는데 必要하다. 運轉中の 水銀蒸氣壓은 普通 $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ mmHg}$ 程度이나 蒸氣壓이 낮아지면 電壓降下가 커지고 電弧가 不安定하여진다. 水銀蒸氣壓의 크기를 定하는 것은 水銀蒸氣를 加熱하는 電弧電流와 이를 冷却하는 外殼의 溫度이다. 冷却를 有効하게 하면 할수록 큰 負荷電流를 通할 수 있는 것은 一般 電氣機器와 같으나 溫度의 制限은 絕緣物의 劣化限度에 의한 것이 아니고 水銀 蒸氣壓을 適當한 値로 하기 위하여 必要한 것으로서 이 점이 水銀整流器의 特異한 性質이다.

器內의 蒸氣壓은 一定치 않고 運轉中の 陰極 蒸發面에서 蒸氣壓이 가장 높고 冷却面에서 가장 낮다. 그 間에서 蒸氣壓은 複雜한 壓力分布를 가진다. 또한 時間的으로 一週期마다 電弧의 點弧로 蒸氣壓이 周期的으로 變化하고 起動後 長時間의 溫度變化로도 徐徐히 變化한다. 溫度가 너무 높으면 蒸氣壓이 커지고 過剩의 水銀 蒸氣는 陽極 近傍에서 逆弧의 發生 原因이 된다. 溫度가

너무 낮으면 蒸氣壓이 낮아 arc 가 不安定하고 失弧되기 쉬움다.

라. 逆電流에 의한 陰極點 消滅

點弧子에 의하여 陰極點을 維持하는 ignitron 에서는 點弧子電流로서 普通 5 A 以上을 必要로 하고 그 以下의 僅少한 電流에서는 陰極點을 維持하기가 困難하다. 한 便 點弧子電流가 安定하다 하더라도 負荷電流가 斷續하고 逆電壓이 커지면 點弧子電流를 增加하든가 다른 適當한 方策을 講究치 않으면 陰極點을 安定하게 維持할 수 없다. 特히 ignitron 은, 各 tank 의 陰極點에는 每 cycle 마다 必然的으로 負荷電流가 斷續하여 흐르므로 陰極點 安定問題가 重要하게 된다. 陽極電流이 消滅直後 主陽極에 나타나는 逆電壓에 따르는 逆電流가 陰極點을 維持하는 點弧子電流의 相當部分을 吸收함으로써 陰極點消滅을 가져오는 것이다 생각되고 있다. 點弧子電流가 크든가 冷却을 適當히 한 경우 陰極點이 一層 安定하게 되는 것은 모두가 殘留 ion 에 의한 逆電流가 적어지는 까닭이다.

마. 點弧子 結晶이 破壞되었을 때

Ignitron 에 있어 가장 큰 問題는 그 心臟部의 役割을 하는 點弧子の 壽命이다. 點弧子の 結晶이 破壞되면 導電이 되지 않으며 表面이 平滑치 않고 두께도 고르지 못하므로 點弧가 不確實하여진다.

바. 水銀이 酸化되든가 不純物이 混入하여 點弧子の 結晶面에 amalgam 이 생겨 水銀에 젖었을 때

사. 水銀의 蒸發 動搖 등으로 水銀面의 位置가 달라지고 ignitor 의 適當한 位置에 水銀面이 없을 때

負荷가 急激히 增加하면 이에 따라 水銀의 蒸發이 많아지고 그 反作用으로 水銀面에 動搖를 주게 되어 失弧된다. 陰極點은 運轉中 點弧子の 周圍를 巡回하여 생기는데 ignitor 의 適當한 位置에 水銀面이 없으면 失弧한다. 實際 運轉에서 이 原因에 의한 失弧는 어느程度 不可避한 것이나 水銀面의 變動으로 ignitor 의 抵抗이 變化하여도 水銀과의 接觸面의 電流密度를 一定하게 하면 失弧를 防止할 수 있다.

아. 陰極點이 振動, 陰極水銀의 不足 等 機械的 原因으로 消失할 때

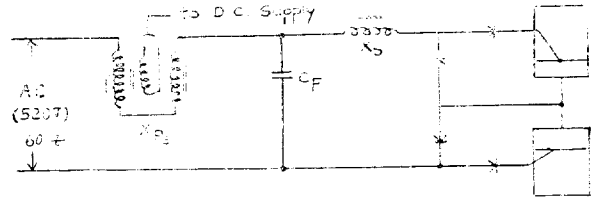
자. 點弧子の 溫度가 낮든지 높을 때 點弧子 自體의 溫度는 ignitron 本體의 溫度에 의하여 定해지며 內部의 水銀 蒸氣壓의 適當치 않은 傾로 因하여 失弧하기 쉬움다 이를 調整하는 것이 冷却의 目的이며 이러한 見地에서 보면 最適值가 30~40 C 로서 負荷變動이 많은 電鐵用 整流器에서는 入口溫度 20~30 C, 出口溫度 35~45 C 로서 溫度差가 15 C 以下가 適當하다.

차. 不安定한 電壓이나 低電壓

카. 眞空度 劣化

타. 點弧子回路 閉閉器의 開路

6. Westinghouse Ignitron 點弧子 回路와 位相制御의 影響



失弧現象에 있어 位相制御가 어떻게 影響을 미치고있는가를 考察하기 위하여 위의 點弧子 回路를 보기로 한다.

이 回路는 供給變壓器 移相 reactor(X_{PS}), 發火 capacitor(C_F), 飽和 reactor(X_S)와 點弧子의 陰極間의 單相 bridge 로 連結된 두 個의 ignitron 으로 되어 있다. 우선 回路의 動作을 正의 半波와 負의 半波의 두 境遇로 나누어 보기로 한다.

a. 正半波

充電電壓의 正의 半波에서, capacitor 는 移相 reactor 를 통하여 한 方向으로 充電된다. 이 capacitor 電壓은 selenium 整流器와 點弧子와 直列로 된 飽和 reactor 에 繼續 供給된다. 飽和 reactor 는 hysteresis 曲線이 急激히 꾸부러지는 parmalloy 와 같은 材料를 쓴 hipernik 鐵心으로 된 toroidal 型의 reactor 이다. 따라서 이 reactor 는 매우 큰 impedance 를 갖으며 이 reactor 를 통하여 電流를 흐르지 못하게 한다. 이 期間에 capacitor 는 放電할 수가 없기 때문에 이 半波의 大部分을 통하여 比較的 완만한 比率로 充電을 繼續한다.

發火 capacitor 에 貯藏된 energy 가 飽和 reactor 를 飽和시키는데 充分한 量이 되면 reactor 는 hipernik 鐵心의 特性에 따라 突然 飽和되고 impedance 는 아주 적은 값으로 墜한다. 이 때 capacitor 의 放電은 ignitor 抵抗에 制限을 주게 된다. 點弧子의 實効抵抗은 낮기 때문에 capacitor 放電은 急激히 끝어 버린다. 따라서 이 回路는 낮은 平均值로 電流를 받아들이고 높은 電力을 傳達하게 된다.

b. 負半波

負의 半波사이애 capacitor 는 反對方向으로 充電되고 整流器는 反對方向의 點弧子가 發火토록 한다.

移相 reactor 의 直流 制御捲線에 1 A 가 흐르면 이 reactor 는 거의 完全히 飽和되고 AC impedance 는 적다. 制御電流를 zero A 로 減少시키면 이 reactor 의 交流 impedance 는 增加하고 點弧子 pulse 에 相當하

는 delay 를 가져오며 capacitor 는 더욱 늦게 充電 된다. 位相變換 reactor 의 制御捲線에 1A 가 흐르면 點弧子 pulse 는 供給變壓器의 二次電壓보다 180° lag 한다. 따라서 二次電壓을 主陽極電壓에 對하여 적당한 位相關係를 가지게 할 수 있다. 이와같이 位相을 變化 시키면 直流出力을 加減할 수 있다. 이러한 方法으로 陰極 輝點이 發生하는 時間이 delay 된다면 電流는 늦어 질 時間까지 delay 되며 直流端子에 나타나는 平均電壓은 ignitor pulse 와 陽極電壓이 同相인 경우보다 적어 진다. Ignitron 의 運轉途中 急激히 負荷가 增加한다면 가 負荷의 變動이 甚한 境遇 位相制御에 의하여 陰極輝點 發生時間을 delay 시킨다면 全體의으로 電弧電流가 不完全하게 되며 逆方向의 電壓이 걸리는 期間에 가서

는 陰極으로 向하는 逆電流가 陰極點을 保持하는 點弧 電流를 吸收하여 失弧가 이룬다고 생각된다. 移相用 variac 變化에 따른 位相變化 및 直流出力 電壓을 보기 위하여 移相 reactor 의 直流 捲線에 直列로 電流計를 連結하고 variac 의 位置에 따른 直流 捲線電流 整流器 出力電壓을 記錄하였으며 그 結果는 다음과 같다. 여기서 位相差는 直流 捲線電流에 對한 位相差를 表示한 Westinghouse 의 圖表를 利用하였다.

Variac 變化에 따른 位相變化와 直流 出力電壓(無負荷時)

日時: 1957. 5. 3. 22 시 50 분 測定者: 筆者
 室溫 25°C. 補助變壓器 電壓 210V
 冷却水 溫度 43°C

Variac의 位置	移相 Reactor DCA	整流器出力電壓	位 相 差	% D.C.V.	備 考
0	0	520 [V]	55 [°]	58 [%]	Misfire Indicator Lamp 의
20	0.1	530	55	58	明暗은 電流에 比例하여 밝
40	0.2	540	53	60	어짐
60	0.3	600	49	66	
80	0.4	660	42	74	
100	0.5	700	33.5	84	
120	0.6	720	25	90	
140	0.7	720	17	96	
160	0.8	720	10	98	
180	0.9	720	4.5	100	
200	1.0	720	0	100	

點弧子 回路의 整流器出力電壓에 있어서 phase shift 特性 의 phase control 効果

위의 data 를 통하여 variac 位置와 移相 reactor 의 直流捲線 制御電流는 正比例하며 出力電壓도 漸次 增加하다 어느 值 以上이면 一定值가 되는 것을 볼 수 있다. 主陽極回路와 補助回路의 位相差가 없도록 하면 失弧指示 lamp 의 輝도가 높고 電流에 比例하여 漸次 밝아지는 것이 觀測되었다. 또한 冷却水 溫度는 短時間內에 上升하며 이로 미루어 水銀蒸氣壓이 位相差가 적어질수록 短時間內에 增加하는 것을 알 수 있다. 位相差를 10° ~ 20° 로 하여 起動 運轉한 경우 水銀蒸氣壓이 낮은 期間에 arc 가 不安定하게 된다는 것은 indicator 로서 觀測할 수 있었고 失弧現象이 屢번하였던 것이 位相差를 0° 로 하여 全然 發見할 수 없었다는 것으로 미루어 이러한 位相差가 주는 영향이 失弧에 미치는 것과의 對한 關心을 기우려야 한다는 結論도 얻을 수 있는 것이다.

7. 失弧防止策

위에 言及한 失弧現象에 對한 對策으로서 考慮될 수

있는 몇가지에 對하여 생각하여 보면

가. 適當한 溫度維持

冷却問題에 注意하여 過冷 過熱을 避하는 것이 첫째로 重要な 點이다.

나. 補助陽極의 使用

Ignitron 整流器에서는 點弧子 가가이 補助陽極이 設置되어 있고 이것은 點弧子에서 만드러지는 陰極輝點을 確實히 成長시켜 保持시키기 위한 것이다. 補助陽極의 位置가 陰極輝點에 가까울수록 點弧電壓이 적어질 수 있으며 그 作用이 確實하여진다. 即 點弧子의 負擔이 가벼워지고 壽命을 延長할 수 있다. (Ignitron 의 壽命은 眞空度와 點弧子의 壽命으로 決定되나 眞空度는 一般적으로 使用開始後 一定 期間內에서는 clean up 現象으로 오히려 좋게 된다. clean up 現象은 內部 gas 가 arc 放電을 할때 그 ion 化 作用으로 器壁에 吸着되고 漸次 gas 壓力이 낮아지는 現象이다).

다. 溫度調節 및 水銀蒸氣壓의 增進

負荷電流가 徐徐히 增加되면 槽內 水銀蒸氣壓이 漸次

커져 電子 및 ion 擴散이 適當하게 되어 電弧電流가 安定되고 失弧가 없게 된다. 그러나 負荷가 적은 경우 蒸氣壓이 낮아 電弧電流가 不安定하게 된다. 蒸氣壓이 낮은 것은 負荷電流에도 關係되나 溫度에 의하여도 變化하는 것으로 電子 및 ion의 熱運動을 活潑히 하기 위하여는 出口溫度 40°C 以上이 되도록 하며 이와같은 方法으로 arc 를 一定하게 할 수 있으면 失弧防止의 對策으로 생각할 수 있다.

- 라. 移相用 variac의 調整
 起動時 電流 電壓의 位相差가 없도록 移相用 variac 를 調整하면 失弧防止가 된다는 것은 上述한 바와 같다.
- 마. 失弧後 再點弧 不能時의 對策
- a. Spare ignitor의 使用
 - b. 點弧子에 瞬間的으로 過電流를 흘림.
 - c. 振動을 줌으로서 陰極水銀面과 ignitor의 相對的 位置를 變更시킴.
 - d. 點弧子 두 個를 並列로 使用

8. 結 言

Ignitron의 失弧現象을 究明하기 위하여 水銀 arc의 特性에서 出發하여 點弧現象을

- (1) 輝點의 發生
- (2) 陽極 陰極間의 破壞
- (3) 輝點의 維持

의 세가지로 나누어 생각하였고 失弧에 對한 原因을 究

明하는데 重點을 두었다. 이에 對한 對策으로서 補助陽極을 使用하는 것이 가장 確實한 方法이라는 것을 考慮할수 있었으나 筆者가 經驗한 失弧現象은 移相用 variac의 影響에 의한 것으로 이를 調整함으로써 解決할수 있었다. 그 外의 方法中 spare ignitor를 쓰는 境遇 冷却水調節 以外는 ignitor에 어떤 無理를 加하게 되는 結果가 될 可能性이 있다고 생각되었다.

(1963年 7月 22日 接受)

參 考 文 獻

- 1) 日本 電氣學會誌 (1941-9) 技術綜說
久保：水銀整流器의 定格 p. 499.
- 2) // (1943-10) 論文
大久保：Ignitron의 並列運轉 p. 729.
- 3) // (1944-7) 特輯論文
鐵製 水銀整流器에 關한 諸問題 p. 200~233.
- 4) 日本 電氣學會誌 (1953-9) 論文
星合, 相川：水銀陰極點固定에 關한 實驗的研究 p. 976
- 5) // (1954-3) 論文
御所：點弧子型 放電管의 點弧現象 p. 271.
- 6) // (1956-10) 論文
池田：水銀整流器 陰極點 濼減現象 p. 1188.
- 7) 電氣學會 大學講座：水銀整流器
- 8) Westinghouse Instruction Book.

可 鍛 鑄 鐵 專 門 製 作

營業種目

鐵道車輛用品	一般車輛用品
水道用品	電氣用品
暖房用品	船舶器用品

美 進 工 業 社

代表 白 仁 壽

釜山市釜山鎮區凡一洞 890 電話 ③ 0662