GOVP1199804715

최종보고서

100

# 變壓器 絶緣油 劣化센서를 利用한 診斷技法 開發

Joint Research Study Concerning Diagnosis method for Transformer Insulation oil using the Degradation Sensor.

研 究 機 關

財團法人 韓國電氣研究所

科 學 技 術 處

# 提　出　文

科學技術處 長官 貴下

本 報告書를 國際 共同 研究 課題인 "變壓器 絶緣油 劣化센서를 利用한 診斷 技法 開發" 研究의 最終報告書로 提出합니다

1996 年　9 月


主管研究機關名 : 韓國電氣研究所

研究責任者 : 全　永　甲

研究員 : 金　光　化

姜　東　植

宣　鐘　好

李　佑　暎

柳　喜　錫

趙　國　熙

國際共同研究機關 : 日本電力中央研究所

研究員 : 쿠니카쥬 이즈미(泉)

다카하시(高橋), 호리(掘)

參與企業 : 江南精工(株)

張　河　麟

崔　行　植

서울유일 Eng Co.

姜　昌　遠

# 要 約 文

## 1. 題 目

變壓器 絶緣油 劣化센서를 利用한 診斷技法 開發

## 2. 研究 期間 : 1992年 11月 - 1996年 9月 (4년간)

## 3. 研究目的 및 重要性

本 研究의 4年間에 걸친 國際共同研究는 1, 2次 年度에서는 劣化 센서에 대한 諸般 特性과 絶緣油 劣化 센서를 利用한 計測器 開發에 主眼点을 두어 研究하였고 3, 4次 年度에서는 變壓器 絶緣油 劣化센서의 自體 特性과 適用 方案에 대하여 研究하였다.

國內에서 開發된 絶緣油 劣化 診斷裝置와 本 研究의 相對國인 日本 電力中央研究所의 絶緣油 劣化裝置와 比較試驗하므로써 보다 改善된 絶緣油 劣化센서 計測裝置(PCS Instrument)를 開發 製作한 後 그 性能을 比較 檢討하였다. 在來의 方式인 絶緣油를 採取하여 實驗室에서 化學的인 分析方法(耐壓, 酸價, 가스 分析 등)과 電氣的 分析 方法인 絶緣油 劣化센서에 의한 方式과 比較 分析한 結果에 의하여 電氣的인 方法에 의하여 "良" "不良"을 判定할 수 있는 方法을 摸索할 수 있었다. 研究 結果 지금까지 絶緣油를 變壓器에서 샘플링하여 分析한 測定値보다 本 研究 方式에 의한 測定値가 感度가 좋을 뿐만아니라 一貫性과 再現性이 旣存의 方法보다 상당히 우수함이 밝혀졌다. 本 研究는 旣存의 化學的인 分析方法을 電氣的인 分析법으로 對替함으로써 試料 廢棄에 따른 公害 誘發을 防止할 수 있을 뿐만 아니라, 隋時로 變壓器의 絶緣油를 監視하여 變壓器 고장으로 인하여 發生되는 電力損失 및 原價 損失을 대폭 줄일 수 있다.

## 4. 研究開發의 內容 및 範圍

가. 絶緣油 劣化센서의 物理的 特性 硏究

나. 絶緣油 劣化센서의 電氣的 特性 硏究

- 絶緣油 劣化센서의 V-T-I 및 DC 2 KV 特性

- 絶緣油 劣化센서의 自體 漏泄電流 特性

다. 絶緣油 劣化 診斷裝置의 開發(KERI-CRIEPI)

라. 絶緣油 劣化 比較試驗 (KERI-CRIEPI)

마. 絶緣油 劣化센서의 適用方案 및 劣化 判定 基準案 提示

## 5. 硏究結果 및 活用에 대한 建議

本 硏究의 主要 硏究結果는 다음과 같다.

가. 絶緣油 劣化센서의 物理的 特性을 調査한 結果 測定 對象인 絶緣油 보다 월등히 優秀함이 밝혀졌다.

나. 絶緣油 劣化센서의 電氣的 特性을 試驗한 結果 V-T-I(電壓-溫度-電流) 特性 및 DC 2 KV 特性을 調査한 結果 試料 10개에 대한 漏泄電流値는 그 差異가 거의 없음을 알 수 있었고, 劣化 센서 自體 漏泄電流 및 센서 表面에서의 漏泄電流가 거의 發生하지 않음을 알 수 있었다.

다. 絶緣油 流動試驗에서 流動에 따른 變化가 없음을 알 수 있어 센서의 動作機能이 絶緣油의 不純物 粒子를 蓄積하는 것이 아니라 通過되는 現象임을 알 수 있었고, 新油와 劣化油의 센서 漏泄電流値는 그 差異가 確實히 드러남을 알 수 있었다.

라. 絶緣油 劣化 檢出裝置(PCS Instrument)를 當所(韓國電氣硏究所 : KERI)와 相對國 硏究機關(日本電力中央硏究所 : CRIEPI)와 共同 開發하여 比較 試驗을 完了하였다.

마. 絶緣油 劣化 센서의 現場適用方案을 檢討하였고, 劣化判定에 따른 基準案을 提示하였다.

바. 本 硏究의 追後 硏究課題로 絶緣油 劣化센서를 利用한 온-라인 診斷 方式을 開發하여 實際 現場에 適用할 수 있는 方式을 마련하여야 할 것이며 配電用 變壓器에 適用될 수 있도록 規格 制定이 뒤 따라야 할 것이다.

# 여 백

# SUMMARY


1. SUBJECT

Joint Research Study Concerning Diagnosis method for Transformer Insulation oil using the Degradation Sensor.

2. PERIOD : NOV. 1992 ~ SEP. 1996 (4 years)

3. OBJECTIVES AND SIGNIFICANCE OF THE STUDY

During 4 years it has been studied the performance of PCS(Porous Ceramic Sensor). In first 2 years it was suggested the basic data for characteristics of PCS and PCS instruments and second 2 years it was examined the leakage current of base ring and connection parts and the characteristics of V-T-I and DC 2 KV. This paper shows close relationship with the acid value and the breakdown voltage of the transformer insulating oil. The condition of transformer insulating oil in use can be checked by the PCS portable instrument developed by Korea(KERI) and Japan(CRIEPI). It is preliminary concluded that by the leakage current of PCS it can be checked the transformer oil condition.

By replacement of existing method it can be checked the oil condition from 'good' 'attention' 'bad' by electrical signal using

PCS instrument. It is confirmed that the leakage current in porous ceramic is changed sensitively according to the new oil(NO) and the degradation oil(DO). In this paper it is suggested to check oil condition by electrical signal using PCS(Porous Ceramic Sensor) system developed by KERI. It is very important to keep constant values and reappearance quality for the same condition for evaluation of sensor's performance.

## 4. CONTENTS AND SCOPE OF THE STUDY

A. Investigation of the basic physical characteristics of PCS.

B. Investigation of the basic characteristics of V-T-I and DC 2 KV and self leakage current for the sensors.

C. Investigation of the basic characteristics of oil flow for the sensors.

D. Investigation of the comparison test for the PCS instrument made in Korea(KERI) and Japan(CRIEPI).

E. Suggestion of the evaluation level of transformer oil by the leakage current of the PCS.

## 5. RESULTS AND CONTRIBUTION OF THE STUDY

The main results of the study are as follows :

A. It is clarified that ionized transformer oil caused by the expansion of temperature increase the leakage current of porous ceramic sensor.

B. It is certificated that the leakage current of other parts of the porous ceramic is very small compared with the porous body.

C. It is clarified that the leakage current in porous ceramic is changed sensitively according to the new oil(NO) and the degradation oil(DO).

D. It was compared to check PCS instrument made in KERI and CRIEPI.

E. It was suggested the evaluation level of the leakage current of PCS checking transformer oil condition.

F. In future it is needed to establish the industrial standard of PCS attachment process in making transformer.

# 여 백

# 目　　次


第 1 章　序 論 ..... 11

第 2 章　絶緣油 劣化 Mechanism ..... 20

第 1 節　絶緣油 劣化 生成物 ..... 21

第 2 節　Impurity Particle과 Breakdown과의 關係 ..... 23

第 3 章　絶緣油 劣化 센서 ..... 36

第 1 節　劣化 센서의 開發 ..... 36

第 2 節　劣化 센서 設計 및 特性 ..... 41

第 3 節　劣化 센서 電界 및 抵抗 特性 ..... 49

第 4 節　劣化 센서의 電氣的 特性 ..... 58

第 4 章　絶緣油 劣化 測定用 計測器 開發 ..... 74

第 1 節　槪要 ..... 74

第 2 節　센서 信號 處理 ..... 78

第 3 節　測定裝置의 回路圖 比較 ..... 92

第 5 章　絶緣油 劣化試驗 ..... 101

第 1 節　KERI 側 試驗 ..... 101

第 2 節　CRIEPI 側 試驗 ..... 139

第 6 章　劣化센서를 利用한 診斷 技法 ..... 150

第 1 節　大型 變壓器(154 KV級 以上)에의 適用 ..... 150

第 2 節　中 小型 變壓器 (22.9 KV級 以下)에의 適用 ..... 160

第 3 節　絶緣油 劣化 判定基準案 ..... 167

第 7 章　結 論 ..... 174

參考文獻 ..... 176

附　錄 (1) Flux-2 d에 의한 電界 解析 ..... 181

(2) 絶緣油 劣化 測定 裝置 回路圖(CRIEPI) ..... 201

(3) 計測器 畵面 構成 및 測定 프로그램 ..... 207

대한민국국회도서관장서

# 第1章 序 論

電力 使用의 增大로 電力機器中 電力用 變壓器의 需要가 增大함에 따라 電氣絶緣油의 使用量이 增加되어 가고 있는 趨勢에서, 實際 絶緣油의 劣化防止를 爲하여 여러 方案이 開發되어 使用中에 있다.

우선 電力用 變壓器 事故 및 燒損을 最大한 減少시키는 方案으로 現在는 絶緣油 試驗을 酸價 測定, 耐壓 및 Gas分析 試驗을 通하여 實施하고 있으나 絶緣油 劣化로 因한 燒損事故는 줄지 않고 있는 實情이다.

變壓器 絶緣油가 優秀하다는 前提하에서 絶緣의 基本設計가 優秀하고 適切한 것일지라도 絶緣油의 各種 要因에 因한 經年變化 즉 絶緣油의 劣化를 면치 못한다. 그리고 그 劣化 程度를 測定하는 方式이 現場에서 卽刻 測定하여 그 狀態를 把握하는 方式이 아니라 대개가 오랜 時間이 經過된 後 實驗室에서 化學的 分析 내지 Gas 分析에 依한 方法으로 測定되어 現場性이 뒤떨어지고 正確度가 問題가 되어지고 있다.

韓國電力公社 硏究調査에[(1)(2)(3)(4)] 依하면 配電線路上에서 變壓器에 依한 事故가 全體事故의 50%를 차지하며, 變壓器 事故中 自然劣化로 因한 事故가 74% 以上을 차지하고 있어 年間 莫大한 設備 燒損과 함께 電力 損失을 일으키고 있다.

이에 對한 對策으로 現在 運轉中인 配電用 變壓器의 絶緣油 劣化 狀態를 現場에서 檢出할 수 있는 Sensor를 開發, 現在의 變壓器 外函에 測定端子를 設置하여 運轉함으로써 現場에서 卽刻 絶緣油의 劣化 狀態를 檢出할 수 있도록 그 方案을 提示하고, 實際 模擬 設備를 通하여 그 可能性을 立證할 수 있는 資料를 提示하는데 이 硏究의 目的이 있다.

本 硏究의 絶緣油 劣化 Sensor는 絶緣油의 經年 變化에 따라 派生되는 生成物(Sludge, $H^+$(酸價), 其他 化合物…)[(5)]을 把握하여 그것을 監視할 수 있는

裝置를 말한다. 그리고 Sensor 開發에 따른 槪念 定立과 絶緣耐壓, 酸價, Impurity Particle 形狀 및 크기 等과 電氣的 特性의 相關關係를 考察하였다. 이 開發된 Sensor에 依하여 絶緣油의 劣化 狀態를 電氣的인 測定單位〔nA〕로 分析하여 劣化 程度를 把握할 수 있다.

絶緣油의 試料는 이미 實線路에서 使用되어 오고 있던 新油의 絶緣油로써 國內 M社의 나프탄 系列(나프탄 含有量 : 40%)絶緣油를 使用 하였으며, 試驗用 變壓器는 22.9KV/220V 單相 20KVA 柱上變壓器와 劣化탱크에 依한 加速劣化 試驗을 實施하였다.

本 硏究 課題에서는 주로 絶緣油의 劣化 程度만을 感知할 수 있는 劣化센서 測定用 計測器를 韓日 共同 國際 硏究로 開發하여 現場에서 使用할 수 있도록 하였다.

本 國際 共同硏究課題의 相對國인 硏究機關 現況과 硏究 結果를 簡略하게 紹介하면 다음과 같다.

(1) 相對國 硏究機關 紹介

(財)日本電力 中央硏究所는 1954年 創立된 日本 第一의 綜合電力硏究機關으로 電氣事業의 運營에 必要한 電力技術 및 經濟에 관한 硏究調査, 試驗 및 綜合調整 機關이다. 日本電力會社의 電氣事業 一般業務를 能率化 시키는데 그 目的이 있다. 運營費는 日本電力會社의 電力賣上總額의 0.2%(1987년도 273億엔)와 기타 硏究費로 充當하고 있다. 日本 도쿄에 소재한 管理本部 外에 아래와 같은 試驗 硏究機關을 두고 있다.

- 泊江 硏究所
- 俄孫子 硏究所
- 橫須賀 硏究所
- 經濟 硏究所
- 原子力 情報 센타 및 赤城試驗 센타

(2) 相對國 研究그룹 紹介

日本電力中央 研究所 所屬 橫須賀 研究所는 東京근교 요코스카에 위치하여 주로 送配電 系統의 電力機器 및 Cable에 關聯된 研究를 하고 있다. 本 研究를 수행하고 있는 부서는 電力部 機能材料 研究팀으로 팀장 쿠니카쥬 이즈미(泉邦和 50세) 이하 6명의 研究員이 本 研究外 7個 課題를 研究하고 있다.

研究員 전원이 日本의 우수한 大學에서 碩士 以上의 學力을 가지고 있으며 주로 電力機器에 對한 絶緣協助, 센서류 開發, 電力用 變壓器에 關聯된 研究 試驗 등이 그들의 研究內容이다.

이즈미(泉) 팀장은 多年間 美國에서 電力機器에 關聯된 研修를 遂行한 바 있고, 現場 經驗이 豊富하며 韓國에 대하여 상당히 好意的인 意見을 가지고 있는 人物이다. 이 팀에 所屬한 호리(掘), 다카하시(高橋) 두 사람이 주로 本 研究를 遂行하였다.

(3) 相對國의 共同研究 役割 및 研究結果

- 相對國 共同研究 課題名

  Ceramic 센서를 利用한 變壓器 絶緣油 劣化 診斷裝置의 開發

- 研究責任者

  橫須賀 研究所 電力部 機能材料 팀

  팀 장 : 研究主幹 泉邦和

- 研究期間 : 1993年 4月 ~ 1997年 3月(4年間)

- 研 究 費 : 5,000萬엔 (4년간)

- 研究內容 : 變壓器 絶緣油 中에 設置한 Ceramic Sensor의 高性能化, 同 센서를 利用한 變壓器 絶緣油 劣化診斷 裝置의 開發

- 研究結果

  • 配電用 變壓器(6KV/210V, 20KVA) 2臺중 1臺에 韓國電氣研究所에서 제공한 세라믹 센서를 設置하여 負荷返還法에 의한 變壓器 加速劣化 實驗을 實施(1994年 5月부터)

  • 直流高電壓 發生裝置(10KV) 1臺 제작(1993年)
    Ceramic 센서의 抵抗測定用 電源裝置

  • 計測解析 System 開發
    센서의 特性 解析用 퍼스날 컴퓨터 System(1993年)

(4) 共同研究 機關과의 協力實績

變壓器 絶緣油 센서 技術 關聯 KERI-CRIEPI 協議內容

| 協議日字 | KERI | CRIEPI |
|---|---|---|
| 93. 4/12<br>~4/15<br>(日本) | - 變壓器 絶緣油 열화센서개발 背景 및 絶緣油 劣化메카니즘 說明<br>- 計測器 開發關聯 業務協議<br>- 絶緣油 V-T-I 曲線 작성<br>- 絶緣油 劣化센서 2개를 KERI가 CRIEPI에 提供 | 左 同 |
| 94. 1/28<br>~2/2<br>(韓國) | - 計測時 電源노이즈 關聯協議 노이즈 필타 設置<br>- 新油에 대한 校正曲線<br>- IC Chip 回路 設計<br>- 變電所 測定 Line | 計測器 測定端 Eqaulizer사용<br>左 同 |
| 94. 11/24<br>~11/27<br>(日本) | - 資料提供<br>• 센서 開發 關聯<br>• 絶緣油 劣化測定開發 關聯<br>• 實驗結果<br>(模擬設備裝置)<br>(劣化센서 V-T-I 曲線)<br>(劣化센서 校正特性) | - 資料提供<br>• CRIEPI측 劣化센서 測定<br>• 變壓器 壽命診斷 計算方法<br>• 實驗結果<br>(劣化센서 V-I特性)<br>(공기중의 漏洩電流特性)<br>(絶緣油 중의 漏洩電流 特性)<br>(電極變形에 따른 漏洩電流 特性) |

| 協議日字 | KERI | CRIEPI |
|---|---|---|
| | - 變壓器 絶緣油 壽命 및 事故 關聯<br>- 絶緣油 劣化診斷 計測器 仕樣檢討<br>(KERI-CRIEPI)<br>- 計測時 노이즈 除去問題 | 左 同 |
| 95. 2/24<br>~2/26)<br>(韓國) | - 絶緣油流動 速度 關聯<br>- 絶緣油 劣化센서 表面漏洩電流관련<br>- 資料提供<br>• 變壓器 絶緣材料<br>• 絶緣材料의 壽命考察<br>• 測定裝置의 H/W & S/W 開發<br>• 實驗結果<br>(劣化탱크 長期試驗結果)<br>(試料變壓器 長期試驗 結果)<br>(6개월간의 센서 漏洩電流,<br>耐壓, 酸價, CO가스 變化) | - 表面漏洩電流 測定方案 提案<br>- 資料提供<br>• 計測裝置 Outline 및 回路圖<br>• 實驗結果<br>(Hottest Coil 計算)<br>(絶緣油 劣化센서 漏洩電流計算)<br>(100$\mu$m, 83℃ V-I特性)<br>(250$\mu$m, 87℃ V-T特性)<br>(4개월 후의 V-T-I特性, 漏洩<br>電流, 가스, 酸價, 體積抵抗,<br>耐壓, tan$\delta$ 變化) |
| 95. 8/22<br>~8/26<br>(日本) | - 絶緣油 劣化 測定器 回路圖 檢討<br>- KERI에서 硏究된 內容 說明<br>• PCS 表面漏洩電流 및 自體<br>漏洩電流 試驗結果 說明 | - 絶緣油 劣化센서 漏洩電流 測定<br>• 韓國産 新油와 日本産 新油에<br>대한 漏洩電流 測定<br>• 計測器 比較 測定<br>• PCS 初期値 測定 方法 |
| 96. 1/25<br>~1/26<br>(韓國) | - PCS 附着 現場 s/s 訪問<br>• 劣化計測器 比較實驗<br>• 데이터 分析 및 討議 | - 1995년도 CRIEPI 데이타 提供<br>• 長期 劣化試驗 結果<br>• 劣化 PCS 實驗 데이타 |
| 96. 8/6<br>(日本) | - PCS 計測器 仕樣 檢討<br>- 變電所 試驗 데이터 檢討 | - PCS 計測器 特性 把握<br>- PCS 特許權 關聯 檢討 |

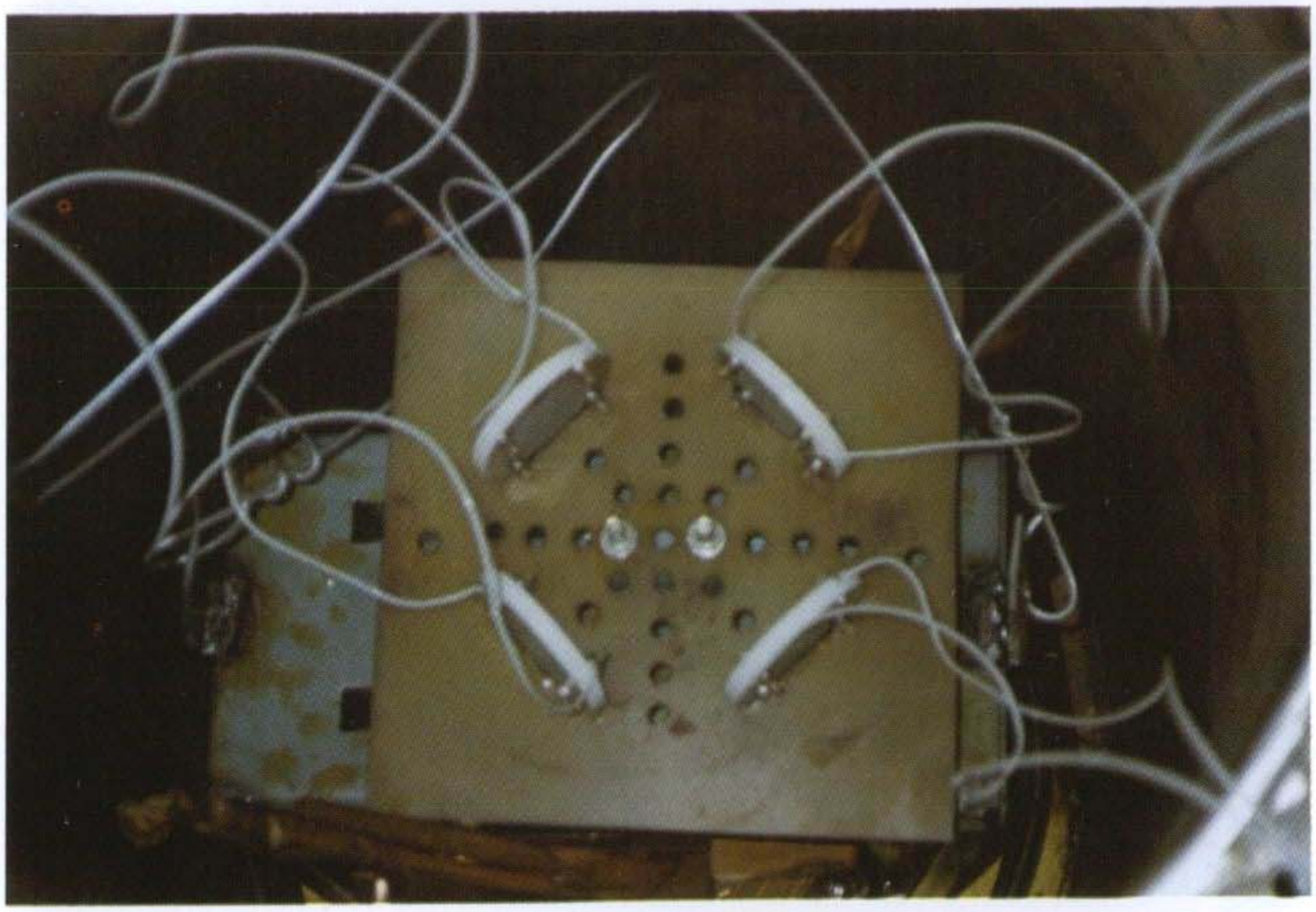
以上과 같이 本 硏究課題의 槪要를 紹介하였다.

硏究結果 旣存의 測定値와 本 絶緣油 劣化센서의 測定値와는 相當한 類似性을 나타내어 變壓器 絶緣油를 活線狀態에서 1次 診斷할 수 있는 手段으로 本 絶緣油 劣化센서를 利用할 수 있을 것으로 思料된다.

앞으로 本 絶緣油 劣化 센서 및 測定方法을 韓國電力公社側에서 擴大 普及할 수 있는 方案이 마련되어야 할 것이며, 絶緣油 劣化센서를 旣存 使用하고 있는 變壓器 뿐만아니라, 絶緣油 劣化센서를 變壓器 製造 工程時 附着시킬 수 있는 方案을 마련한후 이것에 관련된 規格 制定을 서둘러야 할 것으로 생각된다.

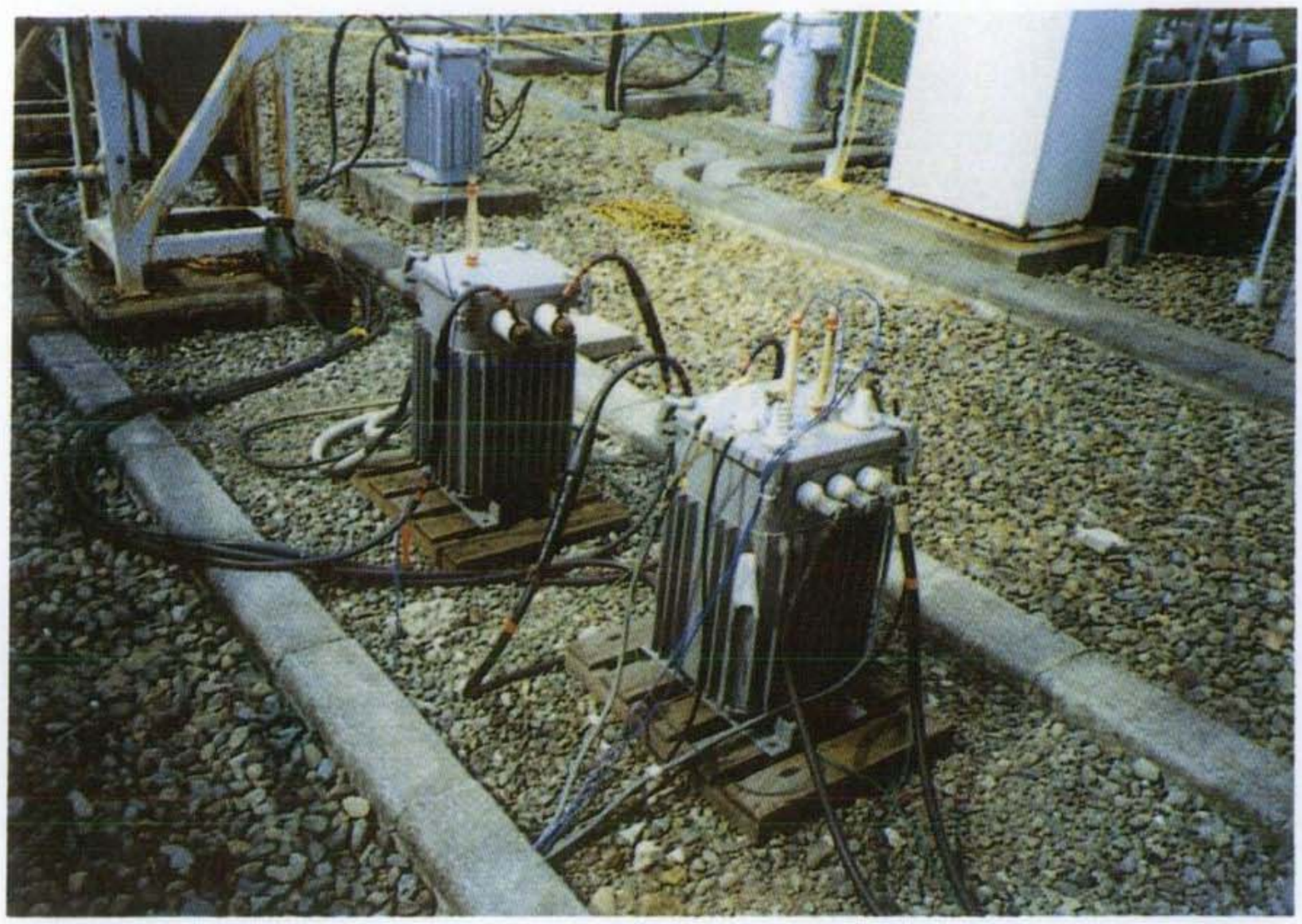
그림 1-1의 (a)와 (b)는 韓國電氣硏究所에서 使用된 設備를 나타내고 그림 1-2의 (a)와 (b)는 日本電力中央硏究所에서 使用되고 있는 設備를 나타낸다. 그림 1-3은 韓國電氣硏究所에서 開發한 絶緣油 劣化 測定器이고 그림 1-4는 日本電力 中央 硏究所에서 開發된 絶緣油 劣化 測定器이다. 本 方式에 의한 分析 方法은 韓國, 美國, 日本 等의 國際 特許를 획득하였다.

(a) 試驗設備 外觀

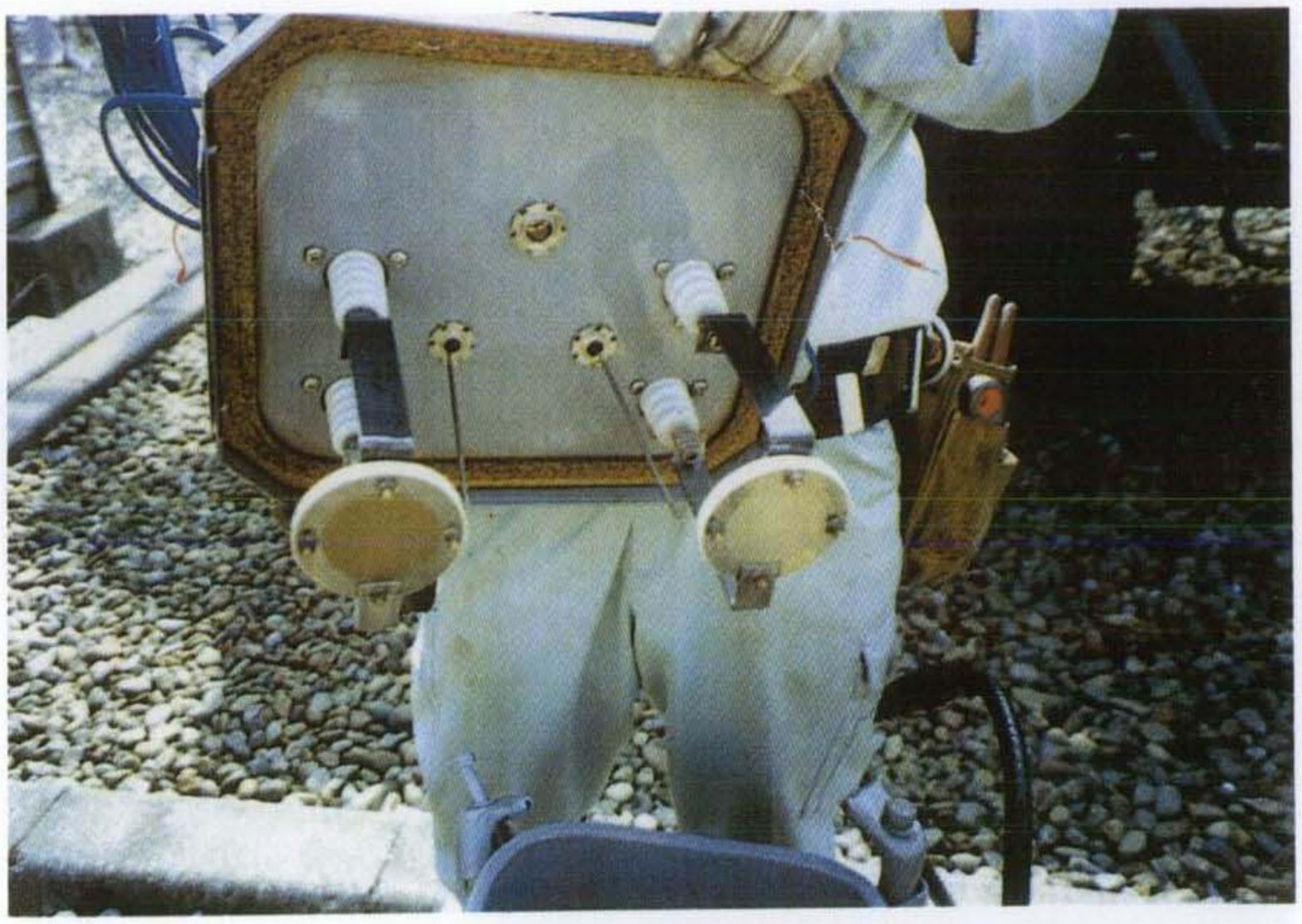


(b) 劣化센서 附着

그림 1-1 韓國電氣研究所 試驗裝置



(a) 試驗設備 外觀



(b) 劣化센서 附着

그림 1-2 日本電力 中央 研究所 試驗裝置

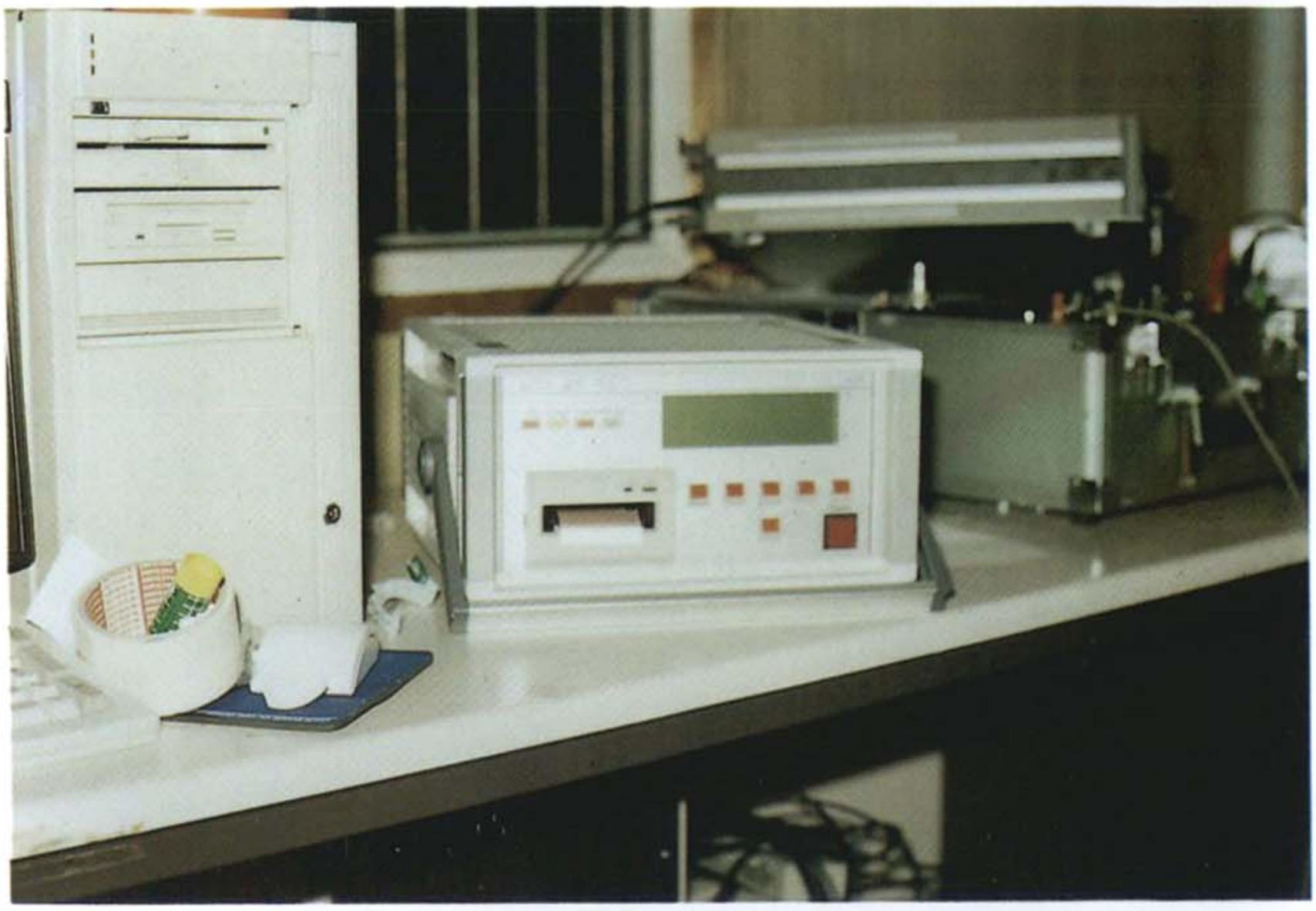


그림 1-3 韓國電氣研究所에서 開發된 測定器

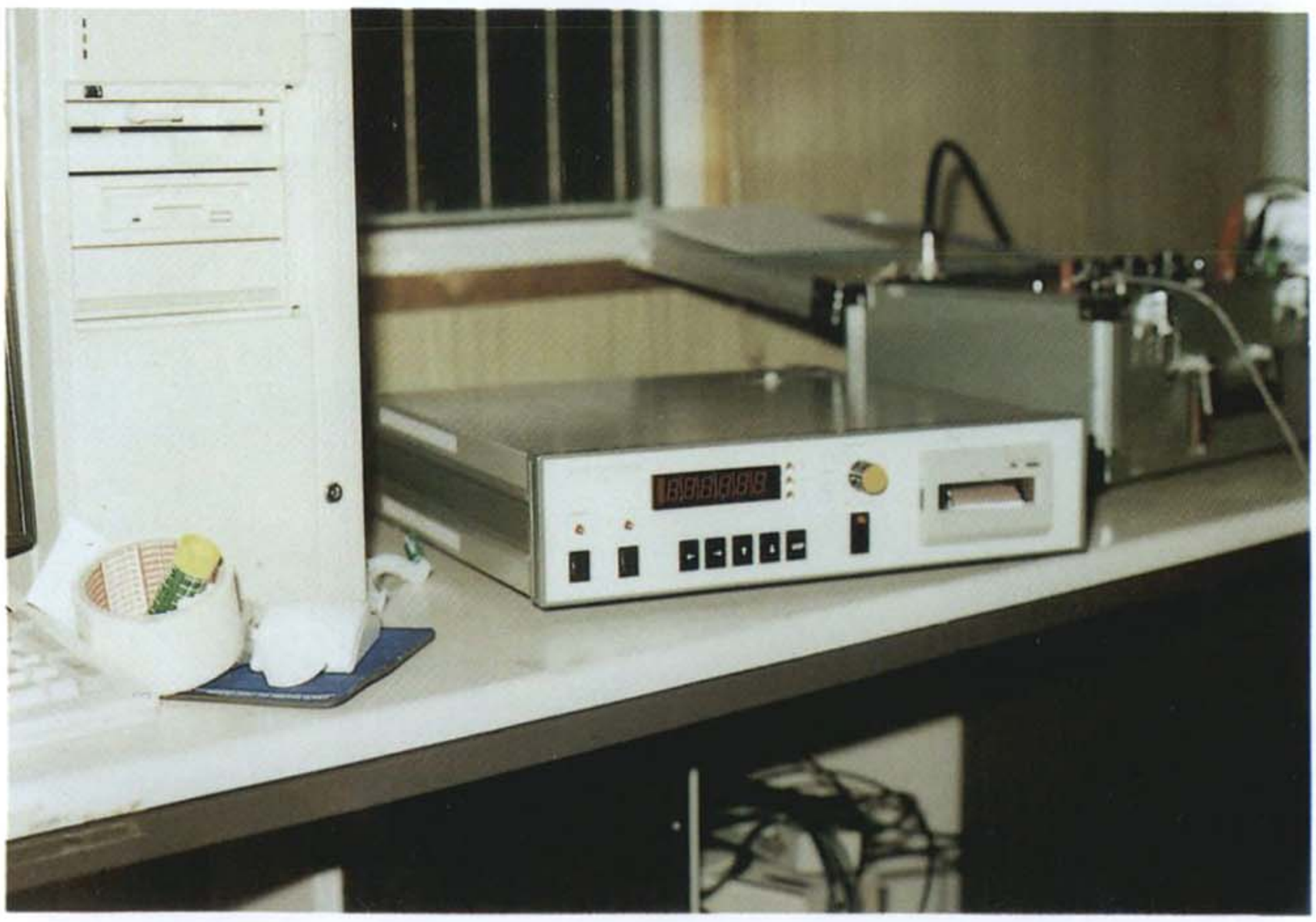


그림 1-4 日本電力中央研究所에서 開發된 測定器

# 第 2 章　絶緣油 劣化 Mechanism

絶緣油는 使用中 溫度, 金屬의 自觸作用(Autocatalysis) 및 其他 不純物의 汚染과 光線 特히 紫外線에 依한 劣化 促進 作用으로 絶緣油의 主成分인 Hydro-Carbon이 1次 酸化 및 分解되어 여러가지의 劣化 生成物을 生成하게 된다. 絶緣油는 Base Oil이 Naphtenic Series이거나 Paraffinic Series의 Crude Oil이라도 모두 Aliphatic, Cyclo-Aliphatic, Aromatic Hydro-carbon의 混合物로 이루어져 있다.

이들 分子들은 酸素와 反應하여 ROH, RCHO, RCOR, RCOOR′, RCOOH를 각각 生成하는데, 이 反應은 主로 Auto-oxidation(自動酸化)으로 알려진 Free-Radical Chain Mechanism(自由基連鎖反應)에 의하여 다음과 같이 進行된다.

□ Free Radical 生成

$$2RH \xrightarrow{O_2} 2R^0 + H_2O$$

□ Hydroperoxy Radical 生成 및 Propagation Reaction

$$R^0 + O_2 \longrightarrow RO_2^0$$
$$RO_2^0 + RH \longrightarrow R^0 + RO_2H$$
$$RO_2H \longrightarrow RO^0 + O^0H$$

□ Termination Reaction

$$R^0 + R^0 \longrightarrow RR$$
$$RO_2^0 + RO_2^0 \longrightarrow ROH + R'COR'' + O_2$$

위의 反應中 Propagation Reaction 過程中 Chain-Carrying Reaction이 일으나며 Oxygen Consuming Step(酸素消耗段階)는 Hydroperoxy Radical Formation Step이 된다. 그리고 以外의 生成物은 Hydro-Peroxide의 Rearrangement 또는 Subsequent Reaction에 依해 發生된다.

以上과 같은 反應을 綜合해 보면 油溶性 劣化 生成物인 ROOR′, ROH, RCHO, RCOR′, RCOOH, RCO, O, RCOOH, RCOOR′, $(RCOO)_a$ M이 生成되고 油不溶性으로 Alkane, Alkene類, $CO_2$, CO, $H_2$等의 Gas 成分과 最終 分解 生成物인 Carbon等의 Sludge가 生成되어 Power Factor의 上昇, Acid 成分, 그 以外의 Ionizable Species의 增加에 따라 絶緣耐壓의 低下를 가져온다.

## 第 1 節 絶緣油 劣化 生成物

絶緣油는 變壓器의 電氣的 絶緣과 冷却作用에 重要한 役割을 擔當하고 있으나 使用中 溫度, 水分, 酸素 等의 影響을 받아 劣化하여 絶緣耐力 및 冷却能力이 低下하게 되므로 變壓器 燒損의 原因이 된다. 現在는 絶緣油 劣化 防止 對策으로는 補修 點檢時 一定 年數를 經過한 變壓器의 絶緣油만 採取하여 絶緣破壞 電壓 試驗을 實施後, 그 結果에 따라 交替 또는 濾過하고 있다. 그러나 絶緣油는 劣化하면 絶緣破壞電壓, 酸價, 體積抵抗, tan$\delta$, 安定度, 粘度, 引火點, 색깔 等에 影響을 미치므로 이것들을 測定하면 劣化의 程度를 判定할 수 있으나 以上의 要素들은 서로 獨立的인 變化를 나타내므로 絶緣破壞電壓 또는 酸價測定 等의 單一試驗 結果에 依하여 良否를 判別한다는 것은 危險하다.

그리고 絶緣油의 化學分析을 調査한 結果, 絶緣油의 劣化는 2價 以上의 原子價를 가지는 鐵(2價, 3價), 銅(1價, 2價)等이 劣化 促進性이 있다는 것을 많은

研究者들에 依하여 研究되었다.(表 2.1) 이와같은 現象은 鑛油가 酸化할 때 反應되는 生成物로 自觸作用(Auto-Catalysis)에 依하여 發生되며 微量의 水分으로도 精製油가 酸性反應을 促進시킨다는 것이 밝혀졌다.

위와 같이 劣化 生成物이 生成되면 全酸價를 增加시키고, 劣化로 因해 生成된 Sludge성 酸化 生成物은 絶緣油의 粘度 및 比重을 增加시켜 熱擴散을 沮害하여 部分 過熱을 일으켜 變壓器 燒損의 原因이 되며, 油溶性 酸化 生成物中 特히 Ester, 金屬비누 等과 같은 親水性 酸化 生成物을 生成하여 絶緣破壞電壓을 低下시키고 Gas상 酸化 生成物이 發生되어 變壓器 燒損 및 爆發의 原因이 된다.

**表 2-1 絶緣油 劣化와 金屬의 影響**

| 研 究 者 | 絶緣油의 酸化를 促進하는 金屬 | 絶緣油 劣化에 無影響인 金屬 |
|---|---|---|
| Heyden U. Typke | 銅, 酸化銅, Brass(2種金屬이 組合한 경우) 銅+鐵〉 銅+鉛〉 鉛+亞鉛〉 銅+Aluminum〉 銅〉 酸化銅 | 錫, Aluminum, 亞鉛 |
| Stager | 銅, Brass | Nickel, 鐵, 錫 Aluminum, 鉛 |
| Rodman and Mande | 銀, Cr, Mn | 水銀, 鉛, Cobalt Banadium |
| Norlin | 靑銀, 鐵 | 亞鉛 |

그림 2-1에서 보는 바와 같이[5][6][7][8] 全酸價가 0.2가 되면 Sludge性 不純物 生成圈으로 絶緣 破壞電壓이 低下되어, Filter 等 物理的 方法으로는 絶緣性能을 回復시킬 수 없으므로 卽時 交替하여야 한다. 絶緣油의 劣化 程度는 絶緣破壞電壓만 低下되는 境遇에는 雨水 및 濕氣가 外部로 부터 侵入한 것이 大部分

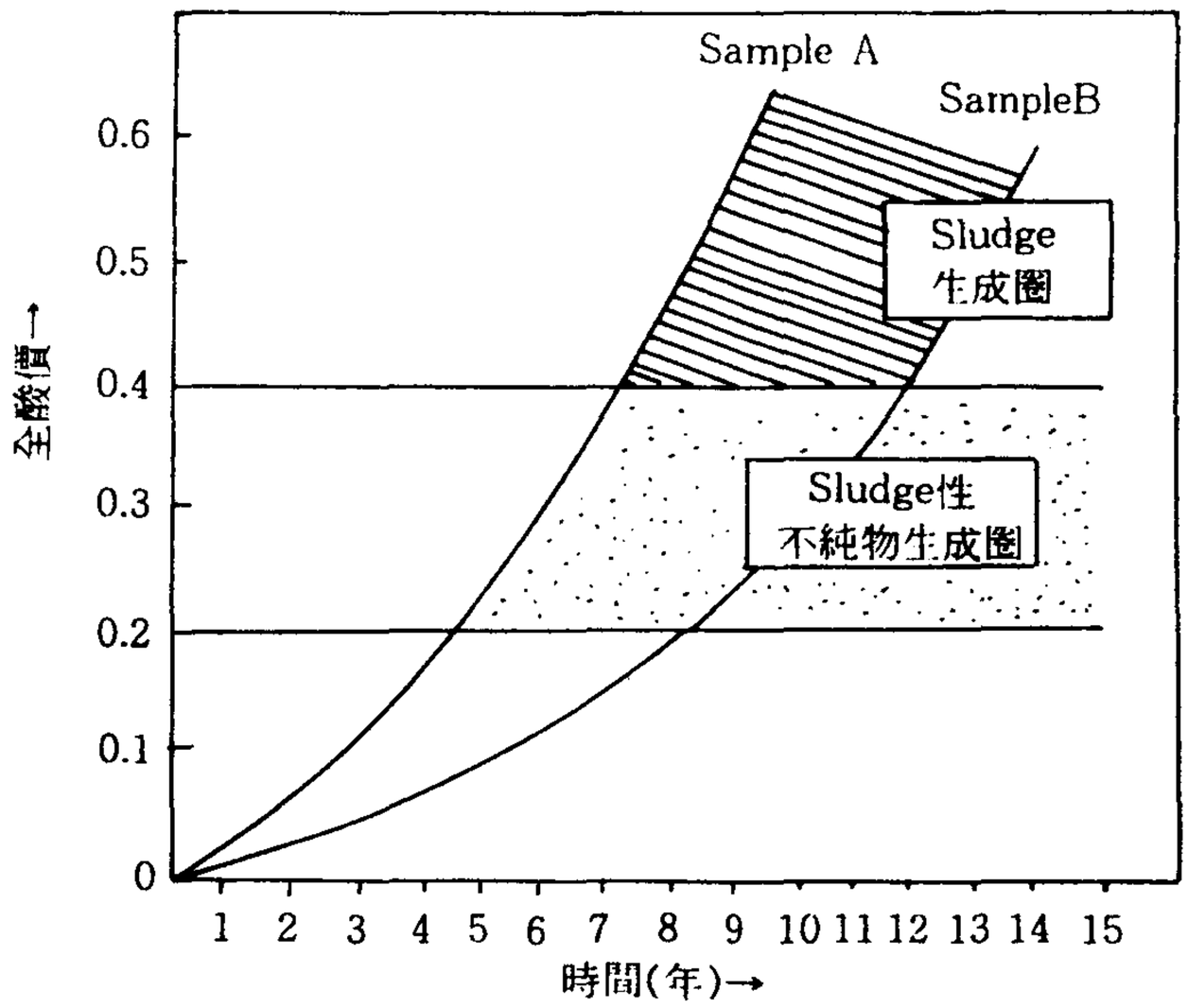



그림 2-1 全酸價와 Sludge 生成과의 關係

이므로 그 原因을 除去하여 絶緣破壞電壓을 上昇(30KV以上)시킨 後 使用해야 한다. 그러나 全酸價가 0.2以上으로 上昇되었을 境遇에는 卽時 絶緣油를 交替하여야 한다. 또한 交替 時期를 豫測하기 위해서는 週期的으로 試驗하여야 하며 酸化 安定度 試驗을 實施하여 交替時間을 豫測할 수도 있다.

## 第2節 Impurity Particle과 Breakdown Voltage와의 관계

Kamal Miners[9] 硏究에 依하면 Iron Particles(그림 2-2), Copper Particles 그림(2-3), Cellulose Particles(그림 2-4)이 絶緣破壞電壓에 미치는 影響을 調査한 바 있다. 여기서 Iron, Copper 및 Cellulose 等을 汚染된 變壓器油에서 採取하여 試驗을 行한 結果 대체로 印加電壓의 크기에 相當한 關聯이 있음을 그림 2-2에서부터 그림 2-4를 통하여 알 수 있었다.

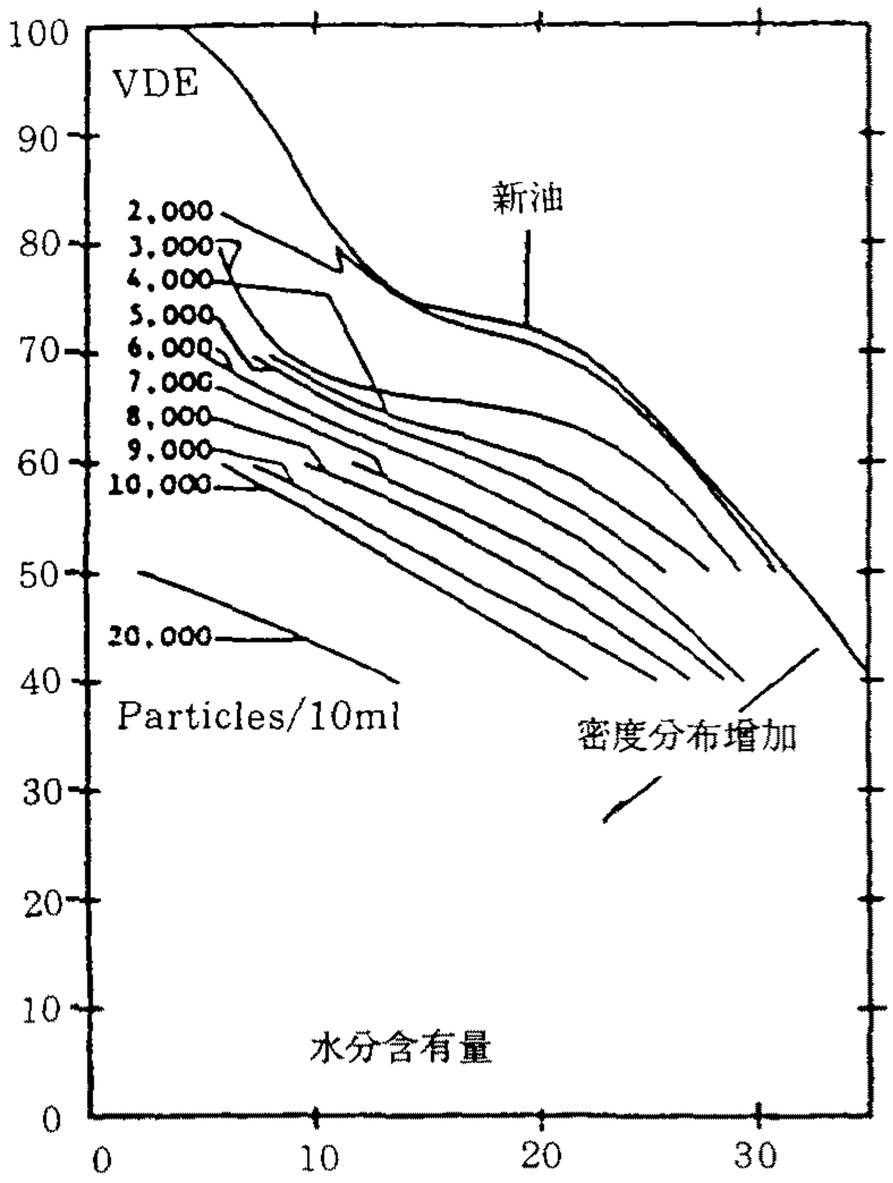



그림 2-2

Particle Size 45 $\mu$m에서의 Iron Particles과 VDE의 相關關係 (VDE : Verband Deutscher Electotechniker)

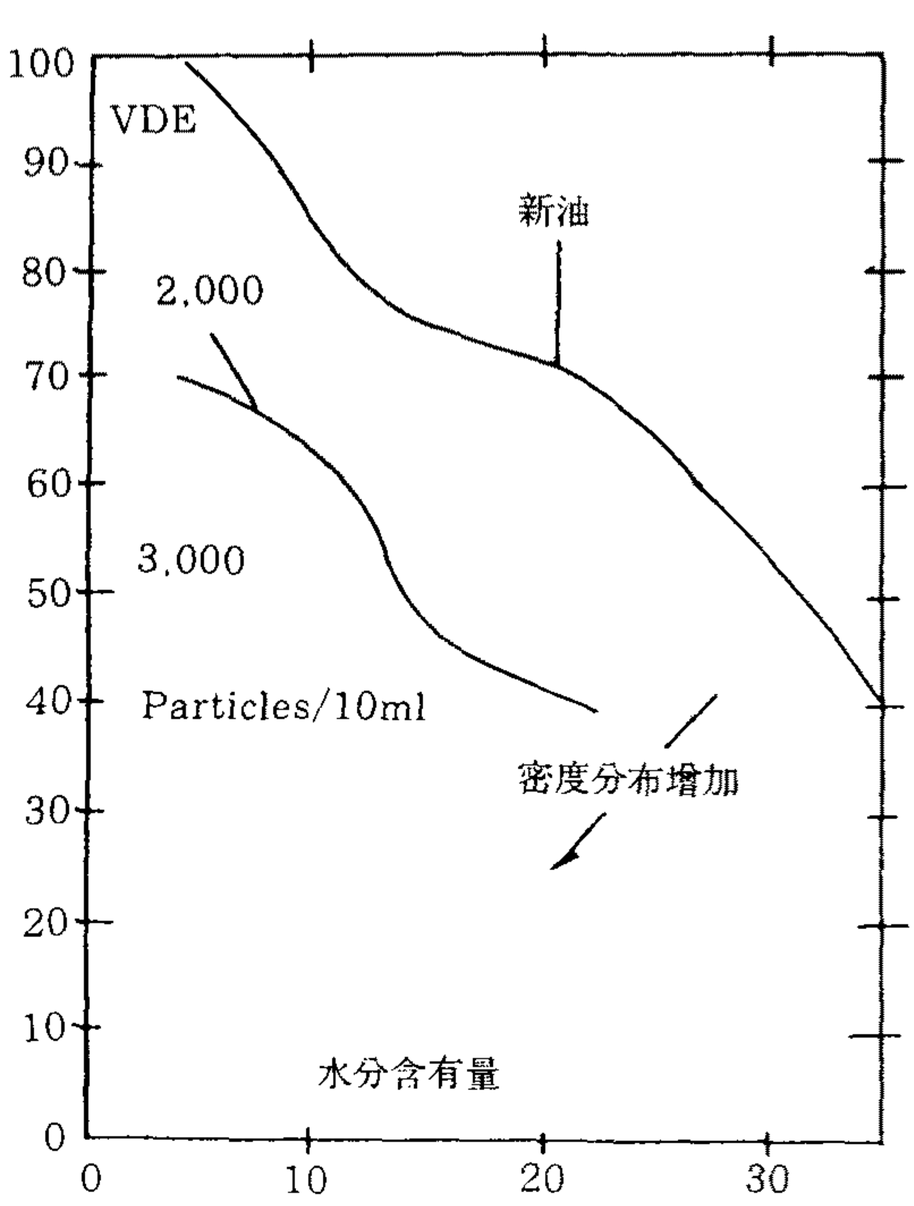



그림 2-3

Particle Size 45 $\mu$m에서의 Copper Particles와 VDE의 相關關係

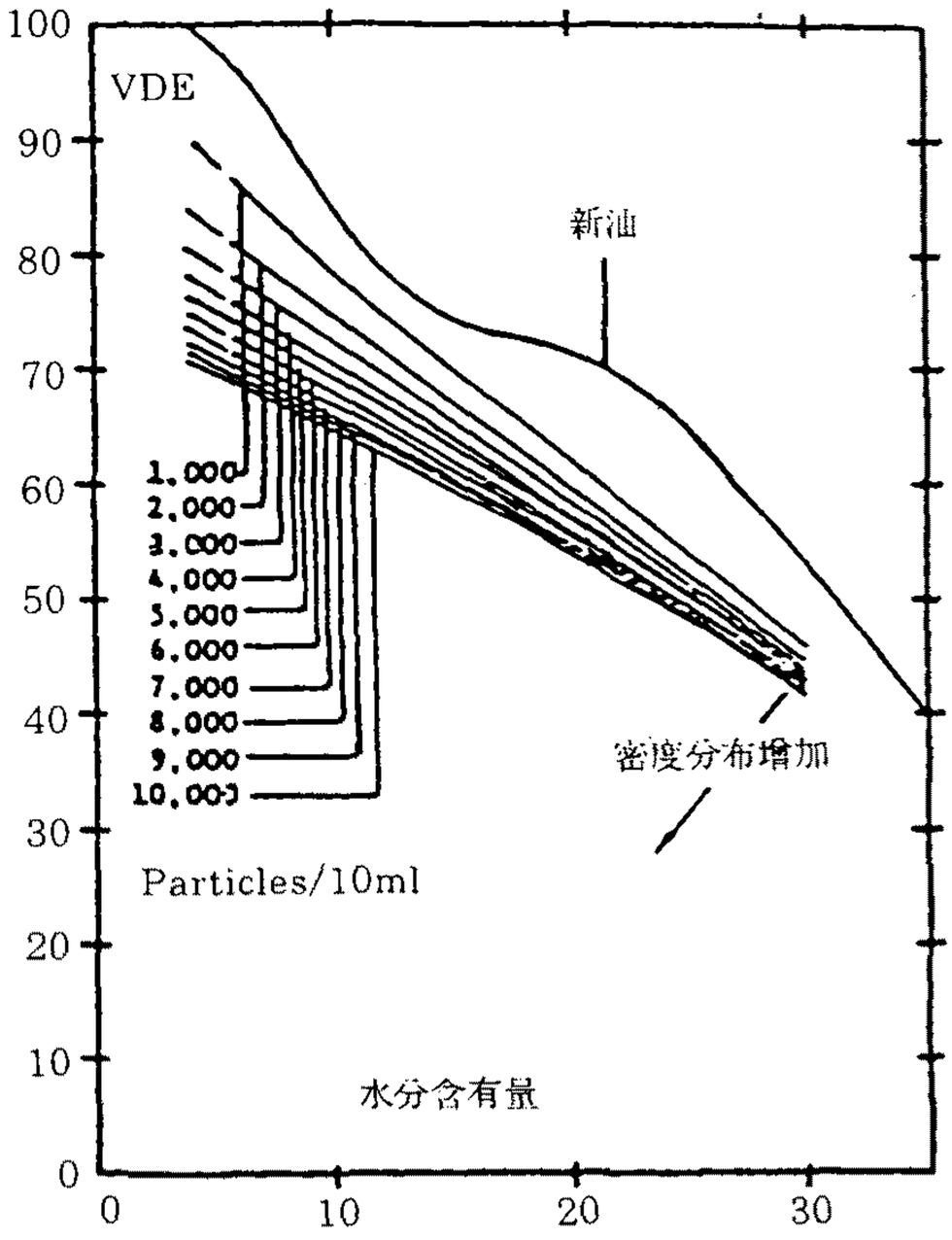



그림 2-4

Particle Size 45 $\mu$m에서의

Cellulose Particle와 VDE와 相關

關係

M. Ikeda外 3[(10)]人의 報告에 依하면 一般的인 電氣絶緣油에서 25-50〔$\mu$m〕 Size의 Impurities 숫자(N)와 印加 電壓과는 다음과 같은 關係가 있음이 實驗 結果 밝혀졌다.

$$E = -1.58 \log_{10} N + 11.89 \qquad (2\text{-}1)$$

그리고 新油와 濾過된 絶緣油의 Breakdown Voltage - Impurities 關係를 Graph로 나타내면 그림 2-5와 같다.

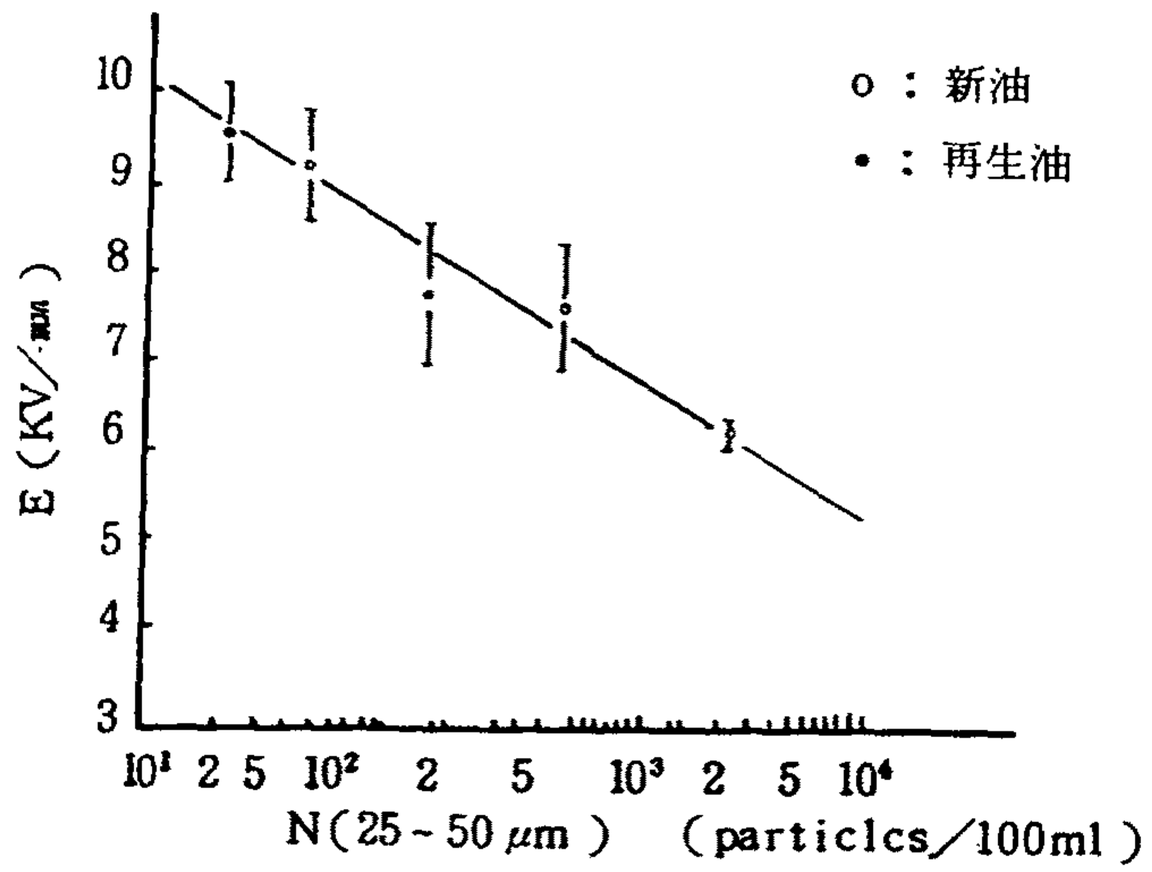



그림 2-5 Breakdown Voltage-Impurity Number의 關係

그리고 Particle Number(Particles/100㎖)와 Particle Size와의 關係도 糾明되어 있다.

이와같은 現象은 電氣絶緣油에 있어서 Carrier의 移動度[11]와 많은 關聯이 있다고 본다. 즉 解離 Ion $A^+$ 와 $B^-$는 電氣傳導 Carrier는 다음과 같다.

$$A^+B^- \rightleftharpoons A^+B^- \tag{2.2}$$

Ion性 分子 $A^+B^-$ 는 液體의 構成分子로 變壓器 製作中 混入된 不純物 또는 劣化生成物로 發生되어 電壓이 印加되었을 때 Breakdown을 일으키는 要因이 된다. 물론 이와같은 現象은 溫度에 따라 絶對的인 影響을 받는다.

E.O.Forster[12][13]는 Hydrocarbon액(本 硏究에서의 絶緣油 成分임)에서의 電氣 傳導性을 試驗하였다. 그림 2-6와 같이 두 Gap사이에 電壓을 變化시켜 가면서 電流密度〔$A/cm^2$〕를 測定하였다.

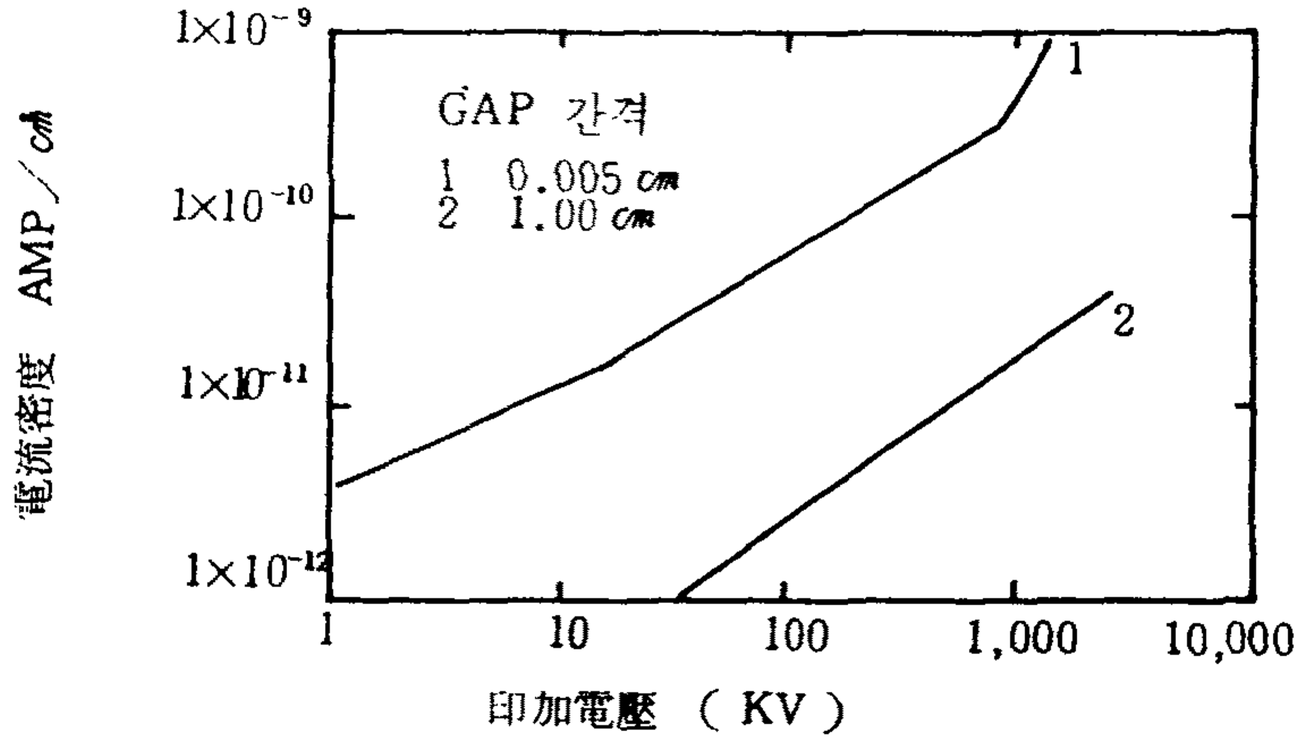



그림 2-6 絶緣油 電流密度 測定

위와 같은 여러 資料로 보아 劣化가 進行中인 絶緣油 中에는 導電性粒子들이 增加 되어가고 있음이 分明하다.

즉 絶緣油 中에 微量 含有된 黃銅 硫黃分과 變壓器 內部의 裸銅과의 化學反應으로 導電性의 黃化銅이 銅帶 表面에 生成되고 이것이 어느 두께가 되면 떨어져 나가 기름속을 떠돌거나 絶緣 構造材의 表面에 落下 堆積된다. 이러한 現象은 그림 2-7과 같이 熱에 依한 絶緣油 分解와 不純物 混入에 依하여 絶緣 破壞를 일으키는 劣化 Process로 이루어진다.

그림에서 點線 內의 Sensor感知는 本 硏究에 開發하고자 하는 Sensor 檢出方法으로 Impurity Particle量과 劣化된 絶緣油의 相關關係에 依하여 劣化를 測定하고저 한다.

油不溶性 成分으로는 絶緣油의 劣化에 따른 難溶性의 Asphaltic 成分, Free Carbon, Trace Metal 成分, 絶緣紙 微細破片 等을 생각할 수 있는데 油中에 淨遊하고 있는 成分은 PSA, Turbidimeter에 依한 粒度分布, 絶對量 等을 알 수 있으며 ICP, AA에 의한 Trace成分도 定量할 수 있다.

그림 2-7 絶緣油 劣化 Process

또한 DSC에 依한 Asphaltic 또는 Free Carbon의 分析도 行할 수 있으면 Particle의 Morphology, Distribution, 絶對量 等을 漏洩 電流와 聯關하여 檢討할 수 있다.

不純物 粒子(Impurity Particle)와 破壞電壓(Breakdown Voltage)과의 關係는 Particle의 種類 및 數量과 破壞電壓의 關係를 外國에서 試驗된 資料를 中心으로 檢討하고 本 硏究의 PSA 分析 結果를 例示한다.

## 1. 不純物 粒子가 破壞電壓에 미치는 影響

1978年 K.N Mathes와 J.M Atkins(GE Co.)가 發表한 硏究 論文[14] (Influence of Particles and Partial Discharges and Breakdown in Oil)에 依하면 絶緣油의 破壞電壓은 그 系統電壓이 AC이건 DC이건간 Particles(不純物 粒子)로 因하여 그 크기가 影響을 미친다고 하였다.

絶緣油의 Breakdown은 Particles의 成長과 함께 Corona 放電, 其他 影響을 주는 要因에 對하여 考察하였다. 그리고 Particle 크기도 작은것이 50〔Å〕~200〔Å〕, 큰것이 $10^3$〔Å〕~$10^5$〔Å〕(1~100$\mu$m)까지 되는 것으로 밝혀 내었다. 여기에는 使用된 測定器는 美國의 Royco Instruments에서 製作한 Royco Counter로 絶緣油내의 Particles을 2~300〔$\mu$m〕까지 測定하엿다.

ASTM D1816에 따라 破壞電壓을 印加했을 때의 Particles Size Range를 測定한 結果 表 2-2와 같다. 表 2-2에서 各 成分은 Arc가 發生된 大型 變壓器의 成分을 分析한 資料로써 導電性 成分과 非導電性 成分의 破壞電壓을 比較해 본 結果 導電性 成分의 破壞電壓이 훨씬 낮음을 알 수 있다. 表 2-3은 SEM (Scanning Electron Microcopy)으로 分析한 成分의 百分率 分布를 나타내고 있다.

表 2-2 Particle 密度(個數/100㎖)와 破壞電壓의 關係

| 크기(μm) / 狀態 | 2~5 | 5~8 | 8~11.5 | 11.5~40 | 40~300 | 破壞電壓 (KV) | 備 考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 新 油 | 4,598 | 1,901 | 1,046 | 639 | 42 | 32.5 | Filter하기 前 狀態 |
| Iron 成分이 包含된 絶緣油 | 640,835 | 29,966 | 60,874 | 64,693 | 41,534 | 18.0 | 導電性 |
| Silicon成分이 包含된 絶緣油 | 90,065 | 23,435 | 10,496 | 5,981 | 398 | 24.6 | 非導電性 |
| Carbonite 成分이 包含된 絶緣油 | 430,000 | 70,000 | 80,000 | 84,800 | 4,990 | 21~25.5 | 〃 |

表 2-3 Particle 分布 百分率

| 크기(μm) / 成分 | 2~5 | 5~8 | 8~11.5 | 11.5~40 | 40~300 |
|---|---|---|---|---|---|
| 鐵粉(Iron) | 30 | 46 | 10 | 13 | 1 |
| 銅(Copper) | 6 | 2 | 2 | 73 | 17 |
| Wood Fibers | 4 | 1 | 2 | 19 | 74 |

Canada IREQ에서 試驗한 資料[15](Evaluation of In-Service Transformer Oil Condition From Various Measurements)에 依하면 Particles의 數量과 Breakdown Voltage와의 點分布圖를 그림 2-8에 나타내고 있다. 여기에

서는 2〔$\mu$m〕 以上의 粒子 個數만 測定한 것으로 ASTM D 1816D에 依하여 試驗하였다.

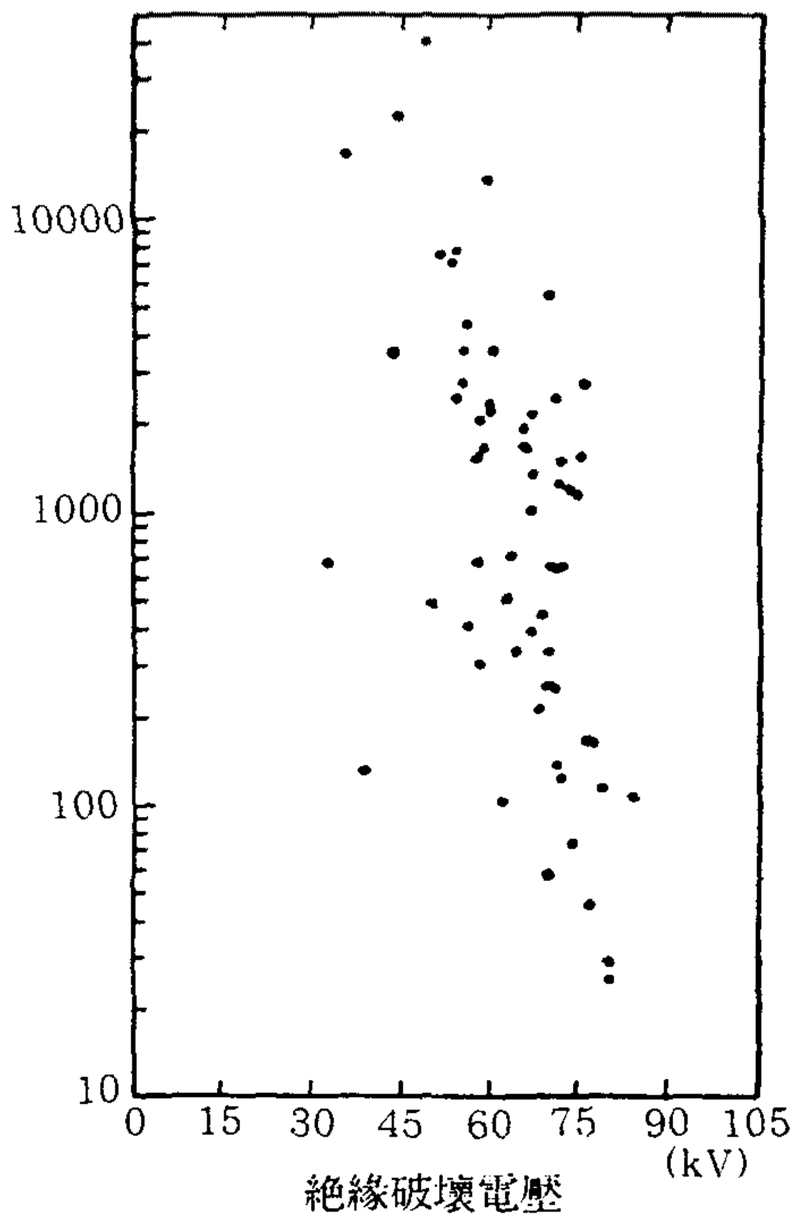



그림 2-8 2 [$\mu$m] 以上의 Particle 數量과 絶緣破壞電壓과의 關係

그림 2-8과 같이 總 Particle 數는 絶緣破壞電壓의 크기에 많은 影響을 주고 있음을 알 수 있다. 여기서 使用된 試料는 全部 使用中인 Transformer Oil로써 誘電體 損失(tan $\delta$)은 水分 含有量과 化學特性에 따른 Particles의 密度에 많은 關聯이 있음이 여러 試驗 Data에서[16] 밝혀졌다.

## 2. PAS(Particle Size Analyzer)試驗

經年變化에 따른 導電性 Particle의 濃度 試驗은 IREQ[17](캐나다 硏究機關)에서 施行한 바에 따르면 그 粒子의 크기가 300〔μm〕 以上을 超過하지 않는다.

Cu : 14.3ng/mℓ

Fe : 19.2ng/mℓ

이러한 分析은 ICP, AA에 依한 Trace 分析 뿐만 아니라 DSC에 依한 Asphaltic 또는 Free Carbon 成分의 分析도 行할 수 있다. Italy Genoa大學의 Molinari 敎授가[18] Paricle의 Morphology Distribution 絶對量等을 漏洩전류와 聯關시켜 檢討한 바 있다.

그림 2-9에서 表示된 3.0mm, 4.03mm는 試料속에 含浸된 電極 Gap間 距離로써, 測定된 漏洩電流値를 點으로 나타내었을 때의 關係曲線이다.

1987年 韓國電氣硏究所(KERI)에서 絶緣油에 對한 PSA試驗을 實驗한 結果 다음과 같은 Data를 얻었다.[19]

○ 試驗 機器 : HIAC Series 4100(6 Channel)

○ Channel Setting (Particle Size)

表 2-4는 그림 2-10의 PSA 分析값을 表로써 나타낸 것으로 3回에 걸쳐 試料를 採取하여 分析한 結果 粒度 크기와 個數가 全般的으로 增加됨을 알 수 있다.

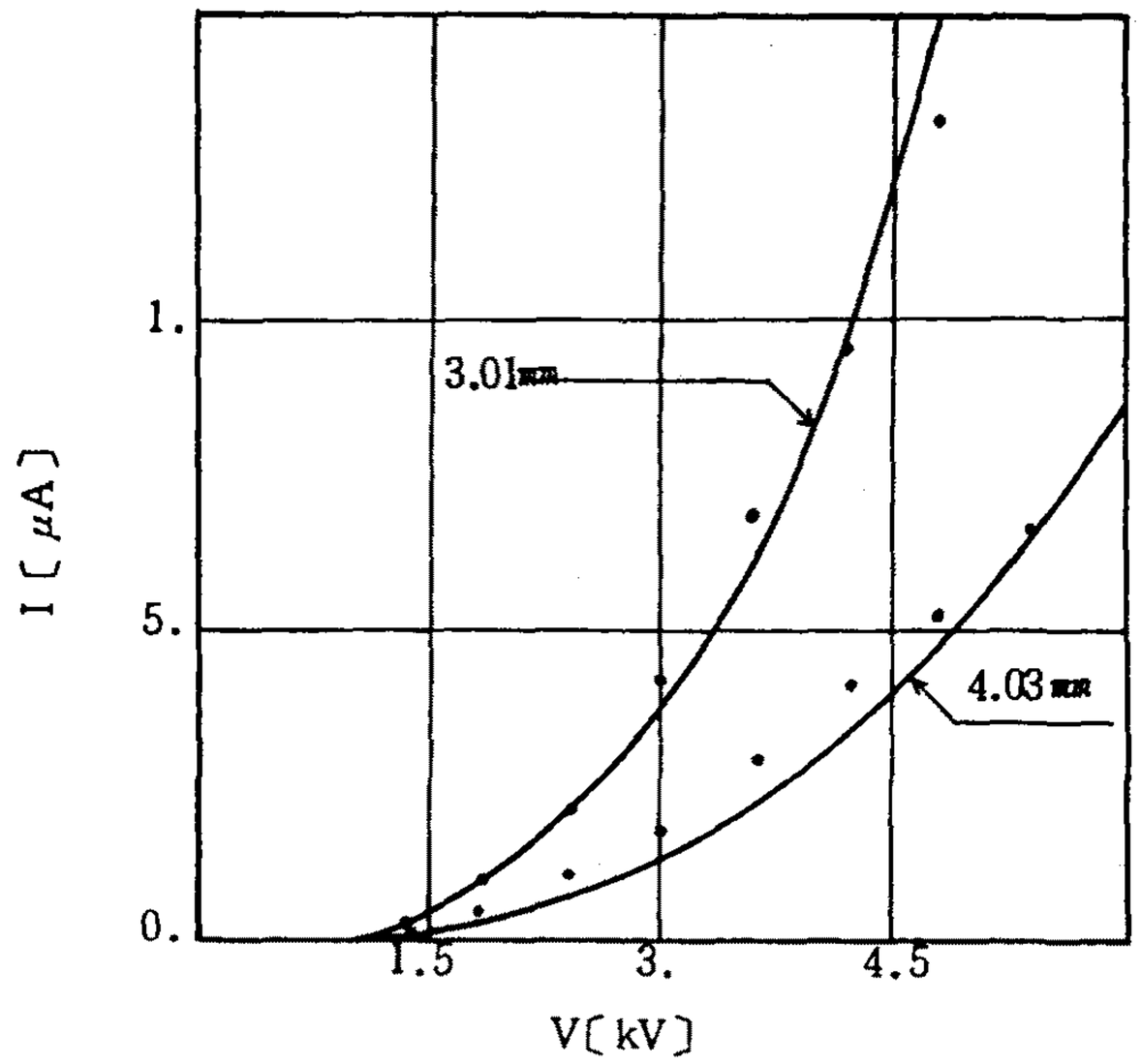



그림 2-9 Nickel Particles을 含有한 絶緣油의 漏洩電流-印加電壓 試驗

지금까지 實驗 및 資料[20]를 綜合하여 檢討해 본 結果 Particle의 粒子크기가 新油에서는 5〔μm〕 以下이었으나 輕年 變化에 따라 Max 250〔μm〕 Size까지 粒子가 成長됨을 알 수 있었다.

#1 : 5 ~ 15〔μm〕

#2 : 15 ~ 25〔μm〕

#3 : 25 ~ 50〔μm〕

#4 : 50 ~ 100〔μm〕

#5 : 100 ~ 150〔μm〕

그림 2-10은 PSA分析 Data 값으로 DIFF는 Particle 數量, CUM은 Particle의 累積量으로 다음과 같은 狀態로 그 粒子가 增加됨을 알 수 있었다.

表 2-4 Particle 變化 集計表

| 數量試料 採取日 / Size | Particle 變化 集計表 | | | 備 考 |
|---|---|---|---|---|
| | 86 12/15 | 87 1/8 | 87 2/26 | |
| 5 ~ 15 | 816 | → 895 | → 4184 | 增加趨勢 |
| 15 ~ 25 | 1556 | → 1705 | → 4611 | 〃 |
| 25 ~ 50 | 5956 | → 6611 | → 5747 | 〃 |
| 50 ~ 100 | 8939 | → 9281 | → 9456 | 〃 |
| 100 ~ 150 | 372 | → 341 | → 682 | 〃 |
| 總 Particle 數 | 17639 | → 18833 | → 24680 | 〃 |

그림 2-10은 表 2-4의 Particle 크기에 따른 Particle 數를 나타낸 것으로 劣化된 絶緣油는 그 Particle 크기가 거의 50~100〔μm〕에서 分布되어 있음을 알 수 있었다. 이러한 資料에 의거 그림 2-11의 그래프가 作成되었는데, 여기서 Aging 1은 新油 絶緣油를 100℃에서 加速劣化를 30日동안 시킨후 Aging 2段階, Aging 3段階로 約 1個月 單位로 PSA 分析을 한 結果를 그래프로 나타내었다.

따라서 本 硏究課題에서 絶緣油 劣化센서의 Pore Size는 平均 100~200〔μm〕로 만들어 發泡하였으며 導電 通路를 構成시키기 위하여 電極과 電極 사이는 Open Pore Type로 하였다.

| $T_1$ (12/15) | | | $T_2$ (1/8) | | | $T_3$ (2/26) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HIAC/ROYCO | | | HIAC/ROYCO | | | HIAC/ROYCO | | |
| 06/25/87 18:01:24 | | | 06/25/87 18:03:15 | | | 06/25/87 18:05:16 | | |
| SAMPLE ID = 012015 | | | SAMPLE ID = 000108 | | | SAMPLE ID = 000226 | | |
| | DATA | | | DATA | | | DATA | |
| CH# | DIFF | CUM | CH# | DIFF | CUM | CH# | DIFF | CUM |
| 1 | 0000816 | 0017639 | 1 | 0000895 | 0018833 | 1 | 0004184 | 0024680 |
| 2 | 0001556 | 0016823 | 2 | 0001705 | 0017938 | 2 | 0004611 | 0020496 |
| 3 | 0005956 | 0015267 | 3 | 0006611 | 0016233 | 3 | 0005747 | 0015885 |
| 4 | 0008939 | 0009311 | 4 | 0009281 | 0009622 | 4 | 0009456 | 0010138 |
| 5 | 0000372 | 0000372 | 5 | 0000341 | 0000341 | 5 | 0000682 | 0000682 |
| 6 | 0000000 | 0000000 | 6 | 0000000 | 0000000 | 6 | 0000000 | 0000000 |

그림 2-10 PSA 分析 記錄

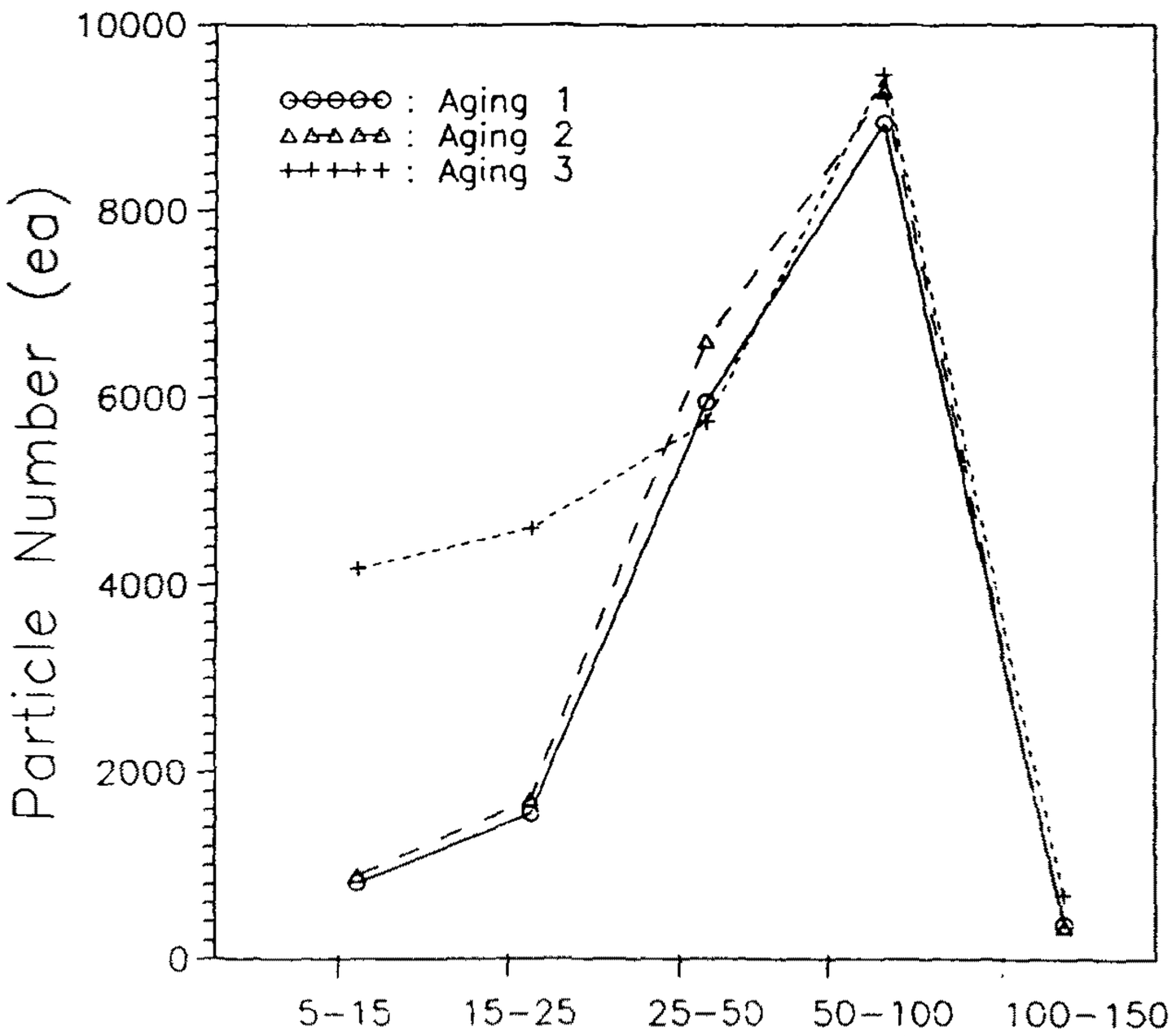



그림 2-11 劣化油의 Particle Size와 Particle數와의 關係

# 第 3 章　絶緣油 劣化 센서

## 第 1 節　劣化 센서의 開發

本 硏究에서는 劣化生成된 油不溶性分(Free Carbon, 其他 導電性 Impurity Particle)의 機械的 固着과 特定 劣化 生成物의 吸着에 따른 센서의 電氣的 特性을 利用하여 다음과 같이 Sensor 開發 理論의 根據로 삼았다.

센서 基本材料인 特定 物質을  吸着하는 Adsorbents와 機械的 固着에 利用할 수 있는 Porous Materials은 無機, 有機, 金屬 等의 材質로 構成될 수 있으나 絶緣油의 主成分이 炭化水素이므로 매우 强力한 溶劑로 作用하여 一般 有機材料가 溶解, 溶出되어 使用이 不可能하며. 金屬材料 또한 電氣良導體이므로 本 硏究에서는 Sensor 材料로 Ceramic 材料에 限하여 考察 하였다.

이와같이 特定物質의 吸着 또는 機械的 固着을 利用한 Sensor는 吸着 觸媒作用의 化學 Sensor의 一種으로 分類될 수 있다.

즉 濕度를 測定하는 境遇, 吸着水 氣體成分의 電導現象을 利用한 電導率 變化量은 Gas 分子의 物理 吸着, 化學反應, 固體中의 Gas 分子 成分 侵入의 順序로 變化된다.  이와같이 지금까지 一般的으로 利用되고 있는 Resistor Type의 Chemical Sensor로는 Oxygen Sensor[21](一名 酸素 Sensor)와 濕度 Sensor, Transformer Oil 中 水素 Gas 成分을 分析하는 Hydrogen Gas Monitor 等이 알려져 있다.  一例를 들면 Transformer에서 發生된 Gas를 分析하는 方法[22]으로서 그림 3-1과 같이 Membrane를 거친 Gas가 Porous Electrodes에 接觸하게 되면, 兩極사이에 發生되는 抵抗値의 變化量으로 Gas 成分이 分析된다.

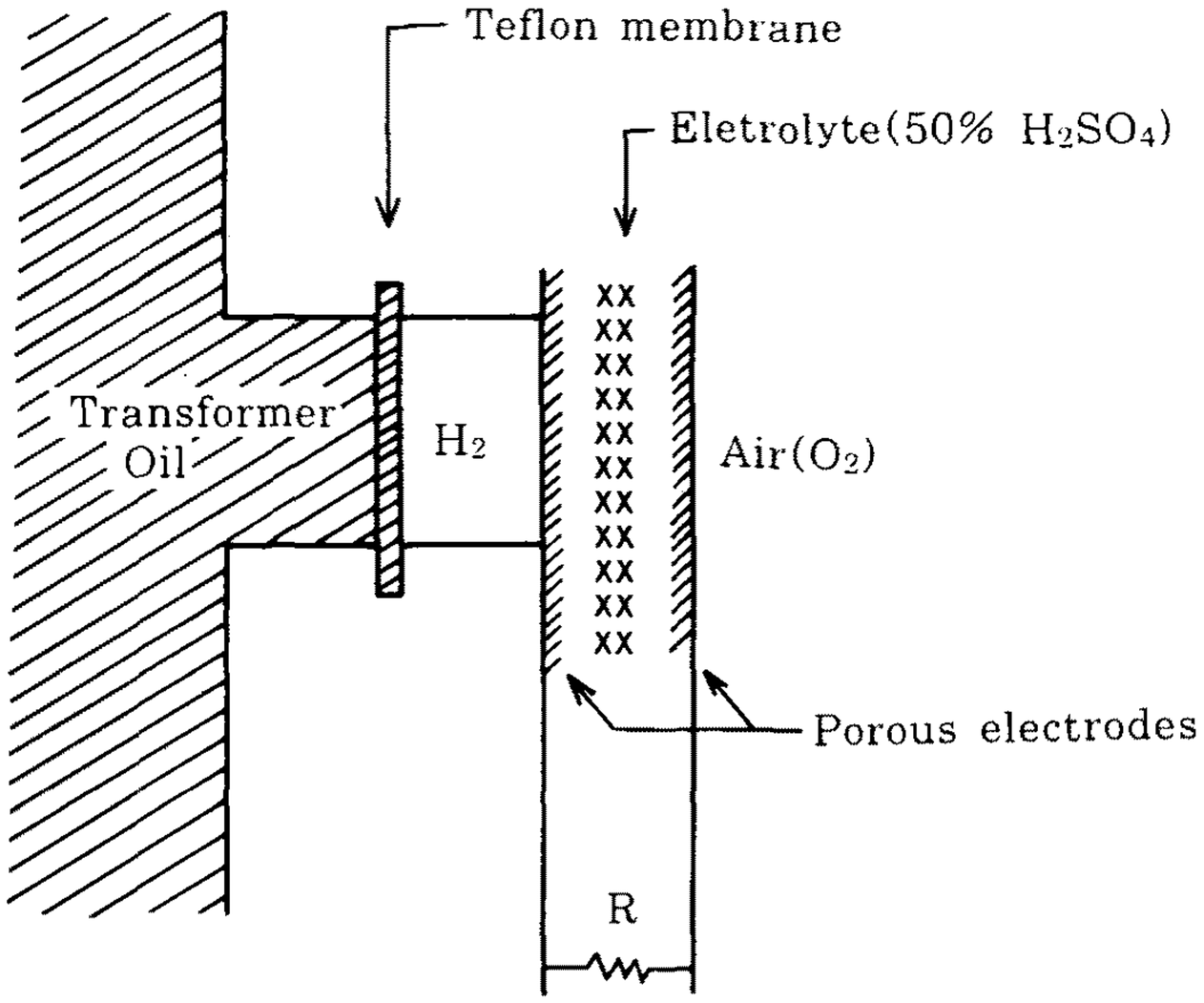



그림 3-1 Transformer Gas 分析原理

위와 똑 같은 原理로 本 硏究에서는 Transformer Oil 속에서 固體粒子相의 物質을 吸着劑인 Porous Glass[23] 또는 Porous Ceramic[24][25]에 吸着되도록 하여 極間사이의 抵抗을 測定하도록 하였다. Sensor 材料의 主要 構成 要素인 Porous Ceramic은 그 細孔 特性을 利用하여 吸着劑로 使用할 수 있는데 吸着劑로 使用時에는 吸着 效果, 物質 移動 效果, 細孔의 形象, 細孔의 크기 및 그 連結組織에 依해 여러가지 技能을 가진다.

多孔體는 細孔徑의 크기에 따라 20〔Å〕以下 分子程度의 크기를 吸着할 수 있는 Micropore Size의 吸着劑와 20〔Å〕~500〔Å〕의 細孔徑을 가진 Mesopore 吸着劑 그리고 500〔Å〕 以上의 細孔徑을 가진 Macropore 多孔體로 나눌수 있으며 構成材料에 따라 Ceramic 多孔體를 그림 3-2와 같이 나눌 수 있다.

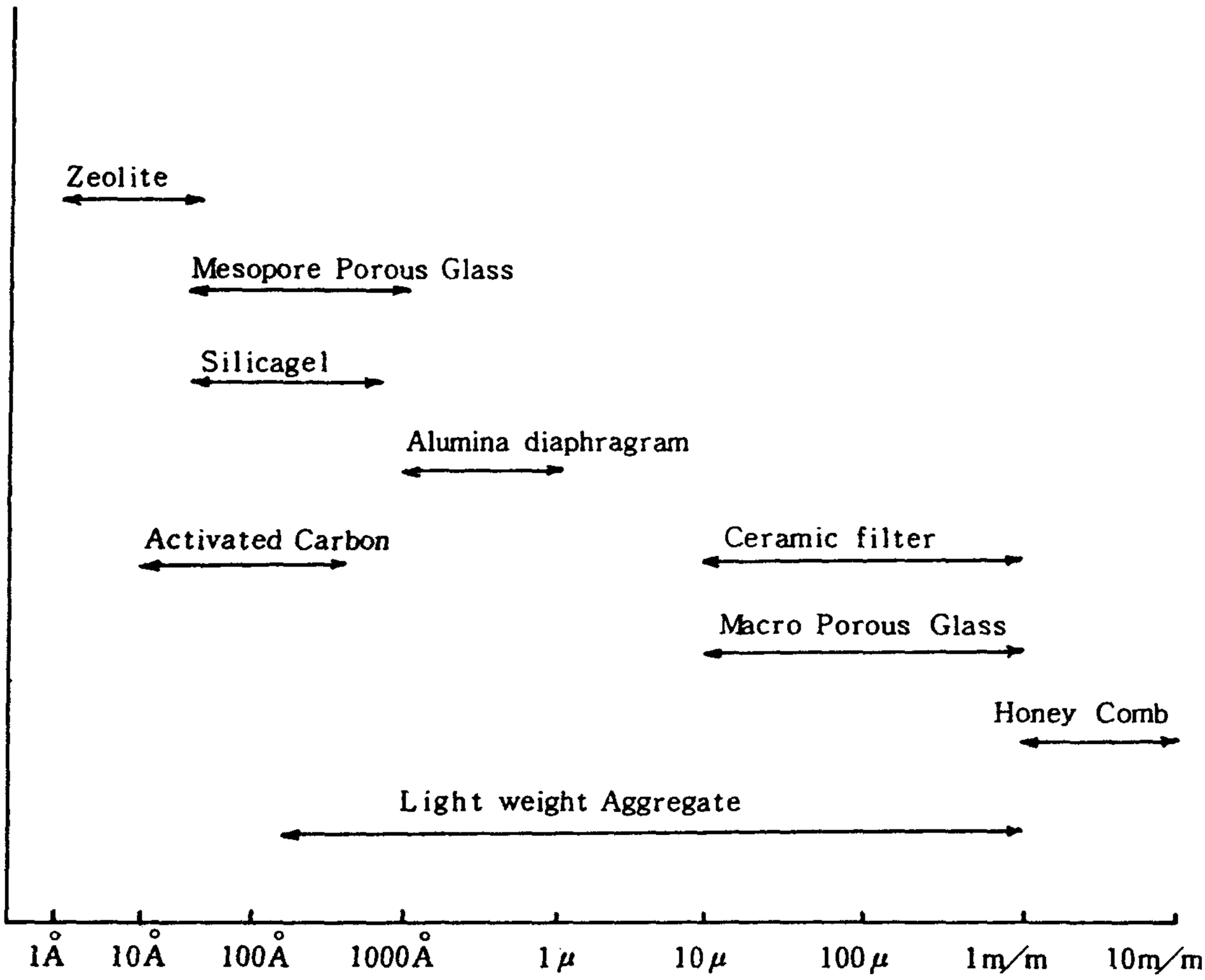


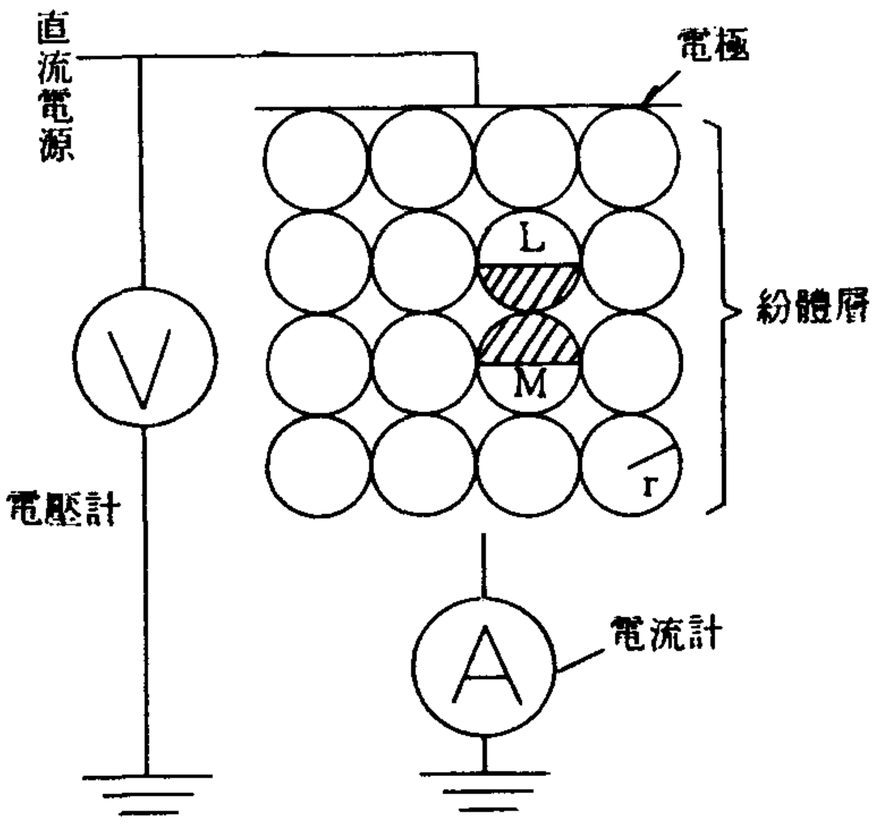

그림 3-2 吸着劑 分類表

그리고 Ceramic 多孔體의 Sensor 材料 特性은 크게 두가지로 나누어 생각할 수 있는데, 分子 程度 크기의 特定 劣化生成物을 吸着하여 吸着 多孔體의 電氣的 特性을 變化시키는 Molecular Sieve形 Sensor 材料가 있으며 以外의 吸着劑 成分의 Sensor 材料로서 $\gamma$-Alumina를 들 수 있다.

Sensor 材料로써 電荷密度가 적고 移動度가 적은 狀態에서 어떤 電氣的 原因뿐만 아니라 熱的 및 化學的 原因에 의하여 導電通路를 形成하기 위하여 그림

3-3과 같이 紛體層 Model[26][27] 을 利用하여 導電量의 變化를 일으키는 吸着材料를 選擇할 수 있다.

여기서 Sensor의 單位距離當 두 電極 사이에 떨어진 距離를 平行한 두 電極의 單位面積으로 計算하여 Conductance를 計算한다.



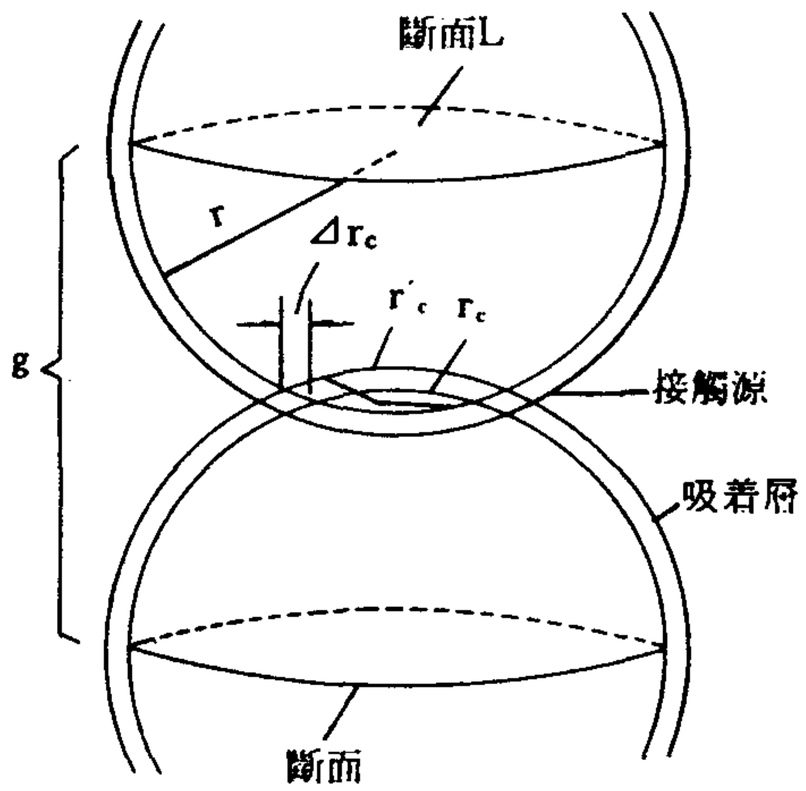




그림 3-3 理想紛體層 Model　　그림 3-4 Conductance g 要素

그림 3-4에서 隣近한 두 層의 平行斷面 LM間에 걸리는 導電率 $\sigma_1$은 Conductance g를 要素로 하는 直列, 竝列 接續을 構成하고 있음이 明確하다.

즉 直列에서 $\frac{1}{2r}$ 個, 竝列로 $\frac{1}{(2r)^2}$ 個가 接續되므로 $\sigma_1$은 다음과 같이 表示된다.

$$\sigma_1 = g\frac{1/(2r)^2}{1/2r} = \frac{g}{2r}(\mho/cm) \qquad (3\text{-}1)$$

여기서 Conductance g는 粒子漏洩 抵抗 $R_f$와 LM間의 粒子 實體抵抗 $R_c$의 竝列 接續으로 構成된다. 먼저 $R_c$를 생각해 보면 接觸點에서 發生되는 接觸抵抗과 接觸面에 存在하는 酸化物 被膜抵抗의 合으로 나타낼 수 있다.

接觸抵抗은 그림 3-4에서와 같이

$$R_s = \frac{1}{2r'_c} \cdot \frac{1}{\sigma_s}(\Omega) \qquad (3\text{-}2)$$

로 나타낼 수 있다.

여기서 $\sigma_S$는 粒子 實體의 導電率(℧/cm), $r_c'$는 接觸面의 有效半徑$=r_c+\triangle r_c$로 된다.

그리고 接觸面에 存在하는 酸化物 被膜, 즉 吸着分子層의 抵抗은

$$R_b = \frac{\rho_b}{\pi r'^2_c}(\Omega) \qquad (3\text{-}3)$$

($\rho b$ : 境界層 單位 面積當 抵抗 $\Omega$-$cm^2$)

가 된다. 따라서 $R_c = R_s + Rb$는 다음과 같이 나타낸다.

$$R_c = \frac{1}{2r'_c\sigma_s} + \frac{\rho_b}{\pi r'^2_c}(\Omega) \qquad (3\text{-}4)$$

단, 여기서 $r'_c$는 溫度가 낮은 接觸部에서 水分子 吸着(Capillary Condensation)을 無視하는 境遇 $r_c$가 되며, 溫度가 높은 水分子 吸着인 境遇 增加分 $\triangle r_c$가 加하여 진다.

다음 表面漏洩抵抗 $R_f$는, 粒子 表面의 film 導電率 $\sigma_f(V)$로 보아 다음 式과 같이 計算된다.

$$R_f = \frac{\ln(2r/r'_c)}{\pi \sigma_f} \quad (3\text{-}5)$$

따라서 그림 3-3에서 表示된 理想 紛體層의 導電率 $\sigma_1$은 다음 式과 같이 表示된다.

$$\sigma_1 = \frac{r'_c/r}{1+(2\sigma_s\rho_b/\pi r'_c)}\sigma_s + \frac{\pi/2r}{\ln(2r/r'_c)}\sigma_f \quad (3\text{-}6)$$

즉 構成되는 Parameter는 r, $r'_c$, $\sigma_s$, $\sigma_f$, $\rho_b$임을 알 수 있다.

위의 境遇는 Sensor의 導電性 固着部分을 完全 球型인 吸着 材料를 使用한 式이나 內部構造가 不規則한 Porous Ceramic인 境遇에도 Shape Factor를 導入함으로써 補正이 可能하며 또한 Porous Ceramic의 氣孔內에 粒子가 成長되어 永久的인 導電通路가 만들어질 때도 이와 같은 理論을 適用할 수 있다.

## 第2節 劣化 Sensor 設計 및 特性

前章의 Impurity Particle 實驗과 위의 開發 根據에 依하여 Sensor의 Pore Size 直徑이 300〔$\mu$m〕 以內로 發泡되어야 함을 알 수 있고, 導電通路를 構成하기 위해 Open型 粉體層 通路를 構成해야 함을 알 수 있다.

Sensor의 Void Volume에 導電成分 粒子의 生成量과 時間에 對한 變化量은 Sensor의 漏洩電流 變化率과 經年變化된 絶緣油의 酸價値와 耐壓値의 時間에 對한 變化率과 같도록 하기 위하여 式(3-7)과 같은 式을 假定한다.

또한 式(3-7)을 式(3-6)에 代入하면 다음과 같은 式을 만들 수 있다.

$$\frac{d(\sigma_1)}{dt}\,(\text{Sensor}) \approx \frac{d(A \cdot V)}{dt}\,(\text{絶緣油}) \approx \frac{d(D \cdot S)}{dt}\,(\text{絶緣油}) \qquad (3\text{-}7)$$

A · V : 酸價値(Acid Value)

D · S : 耐壓値(Dielectric Strength)

여기서 $\sigma_1$의 時間에 對한 變化率을 求하려면 連續的인 試驗 Data를 얻고난 後 위의 關係式을 適用하면 Sensor의 氣孔體積을 求할 수 있다.

## 1. Sensor 設計 및 특성

### 가. Porous Ceramic

本 硏究課題에서 選擇한 材料인 Porous Ceramic 材料는 Pore Size를 100〔$\mu$m〕 ~ 200〔$\mu$m〕으로 製作하였다. 그림 3-6은 센서 外觀을 平面部와 側面部로 나누어 寫眞 撮影한 것이다.

- ○ Material : Porous Ceramic
- ○ Pore Type : Porous Ceramic Open Packed
- ○ Mean Pore Size : 100~200〔$\mu$m〕(SEM 寫眞 그림 3-5)
- ○ 센서 外徑 : 78〔m/m〕
- ○ 센서 두께 : 9〔m/m〕

포러스 세라믹(Porous Ceramic)을 使用하는 境遇 그 材質 特性은 다음과 같다.

材　質 : 98% $Al_2O_3$

熱膨脹係數 : 6.5 - 8.5 × $10^{-6}$/℃

比　重 : 0.75 - 0.85

氣孔率 : 75 - 85%

$$\text{氣孔率} = \frac{V_3}{V_1 + V_2 + V_3} \times 100(\%)$$

$V_1$ : Volume of Ceramic Materials

$V_2$ : Volume of Pore Part

$V_3$ : Open Pore

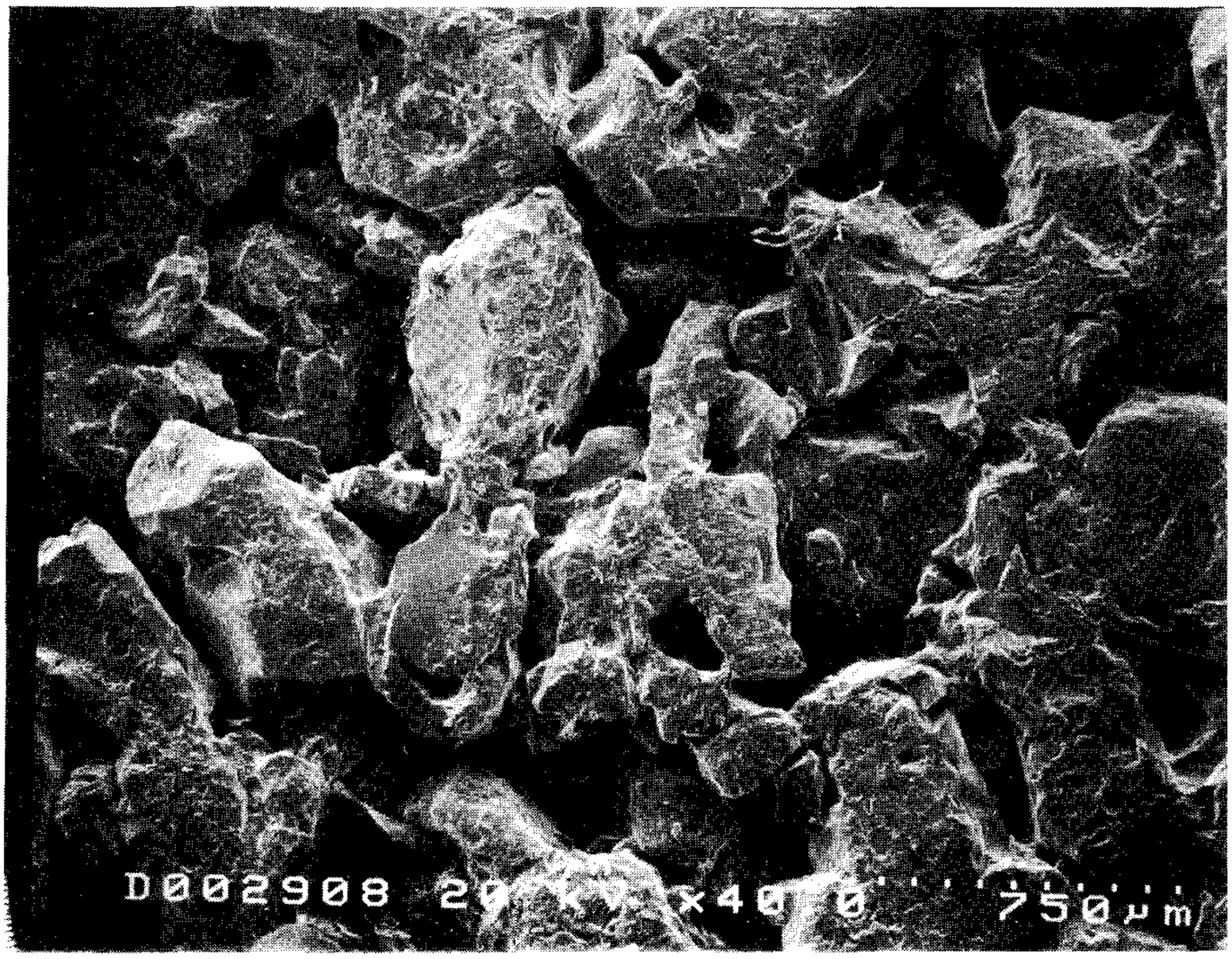
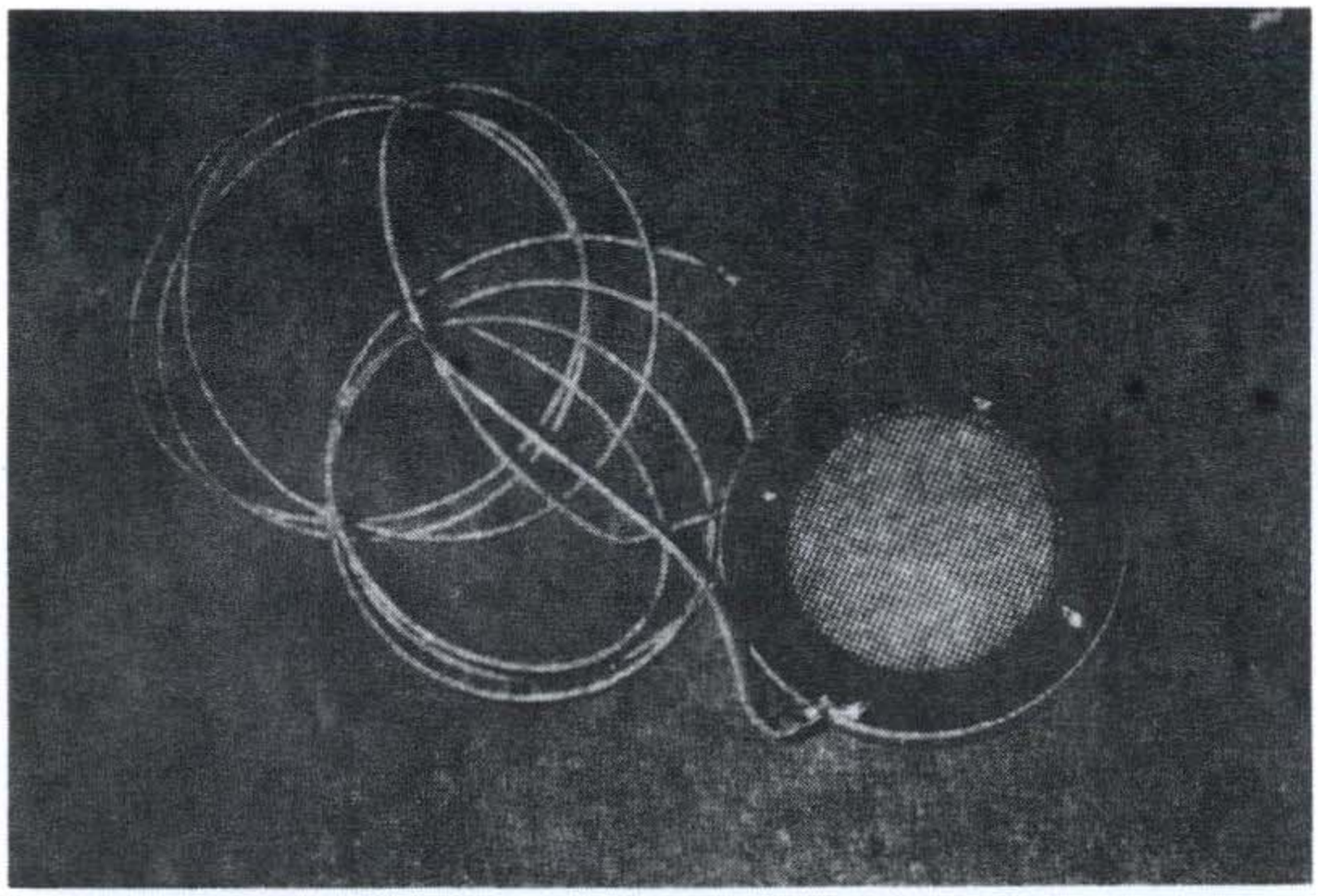
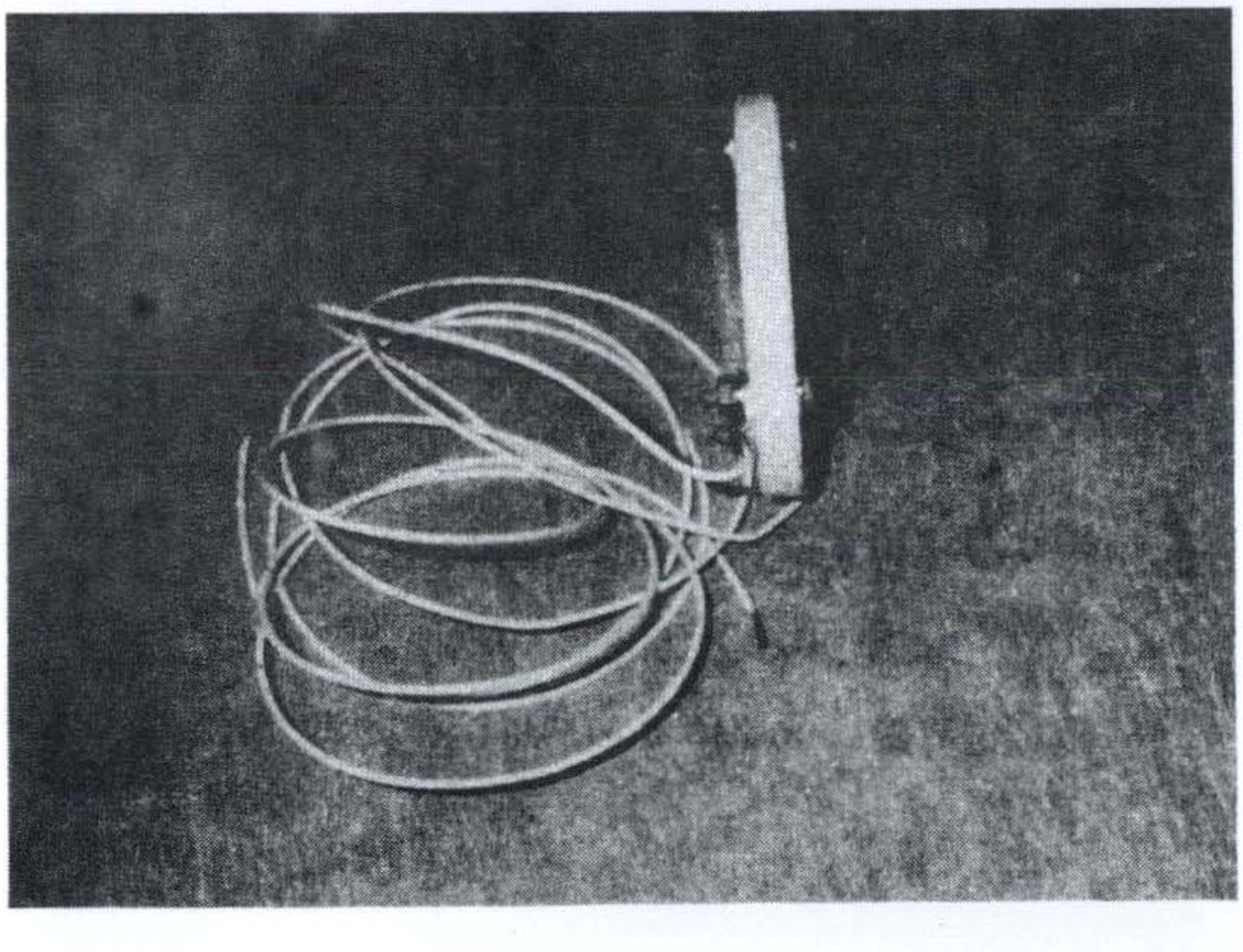



그림 3-5　SEM에 依한 劣化세라믹 센서 斷面(III)(150 μm×40倍)



(a) 센서 平面部



(b) 센서 側面部

그림 3-6 센서 外觀

### 나. Base Ring

Base Ring의 基本 材料는 Alumina 96%짜리 White Ring으로 國內에서는 S社에서 製作한 것을 使用하였으며, 그 特性은 表 3-1과 같다.

表 3-1 Base Ring 仕樣

| | | | |
|---|---|---|---|
| 物 性 | Alumina 含量 | % | 96 |
| | 吸水量 | % | 0.1 이하 |
| | 比重 | | 3.1 ~ 3.4 |
| 機械的 特性 | 硬度 | Moh's | 9.0 |
| | | Rockwell HRA | 87 |
| | | KNOOP GPa | 11.1 |
| | 壓縮强度 | $Kg/cm^2$ | 22500 |
| | 屈曲强度 | $Kg/cm^2$ | 2600-3500 |
| 熱的特性 | 連續加熱 安全 使用溫度 | ℃ | 1600 |
| | 熱膨脹係數 | $\times 10^{-6}$/℃ | 7.2 |
| | 熱電導率(25℃) | Cal/cm · sec · ℃ | 0.05 |
| 電氣的 特性 | 體積固有抵抗 | Ω · cm | $< 10^{14}$ |
| | 絶緣破壞電壓 | KV/mm | 14 |
| | 誘電率 | 1 MHz 25℃ | 9.6 |
| | 誘電體力率 | 1 MHz tan δ | 0.0003 |

위와 같은 Alumina Ceramic를 Alumina 含量別, 絶緣物 種類別로 Graph를 그려 比較하여 보면 다음과 같다.

(1) Alumina 세라믹의 性質

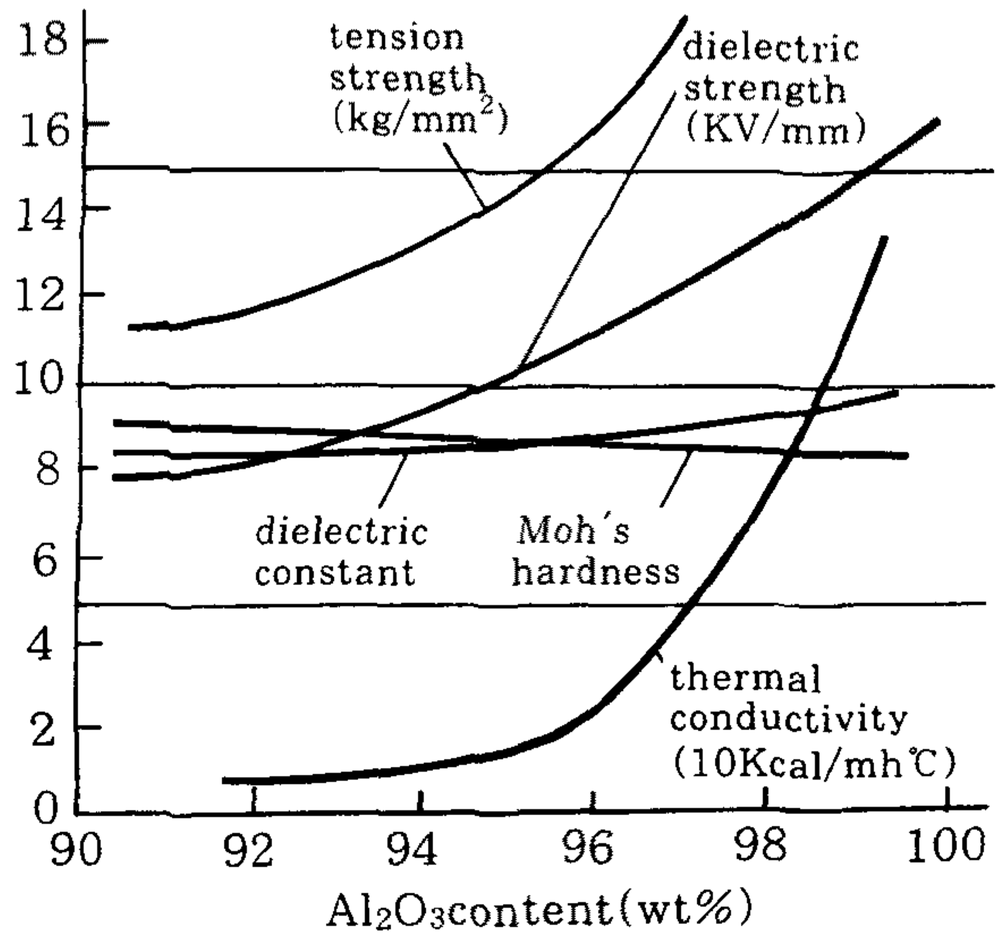



그림 3-7 Alumina 세라믹 性質 比較

(2) 誘電正接(tan δ)

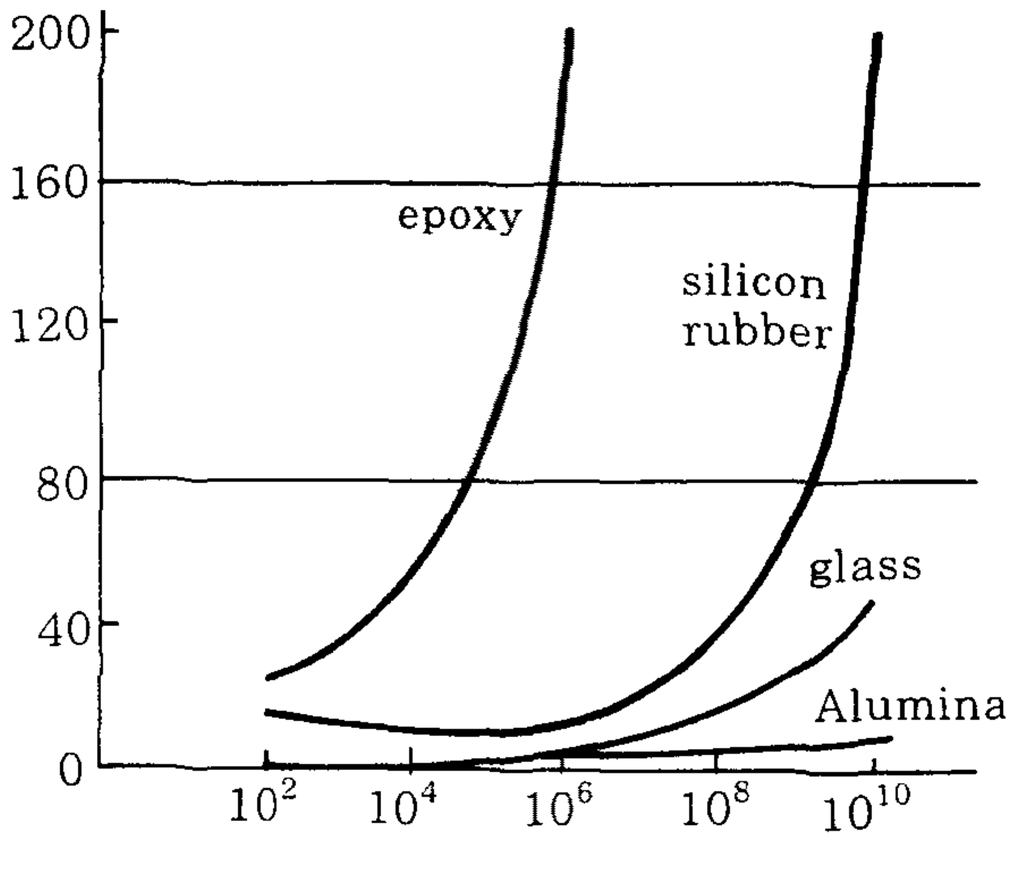



그림 3-8 誘電正接(tan δ) 比較

(3) 體積 抵抗率

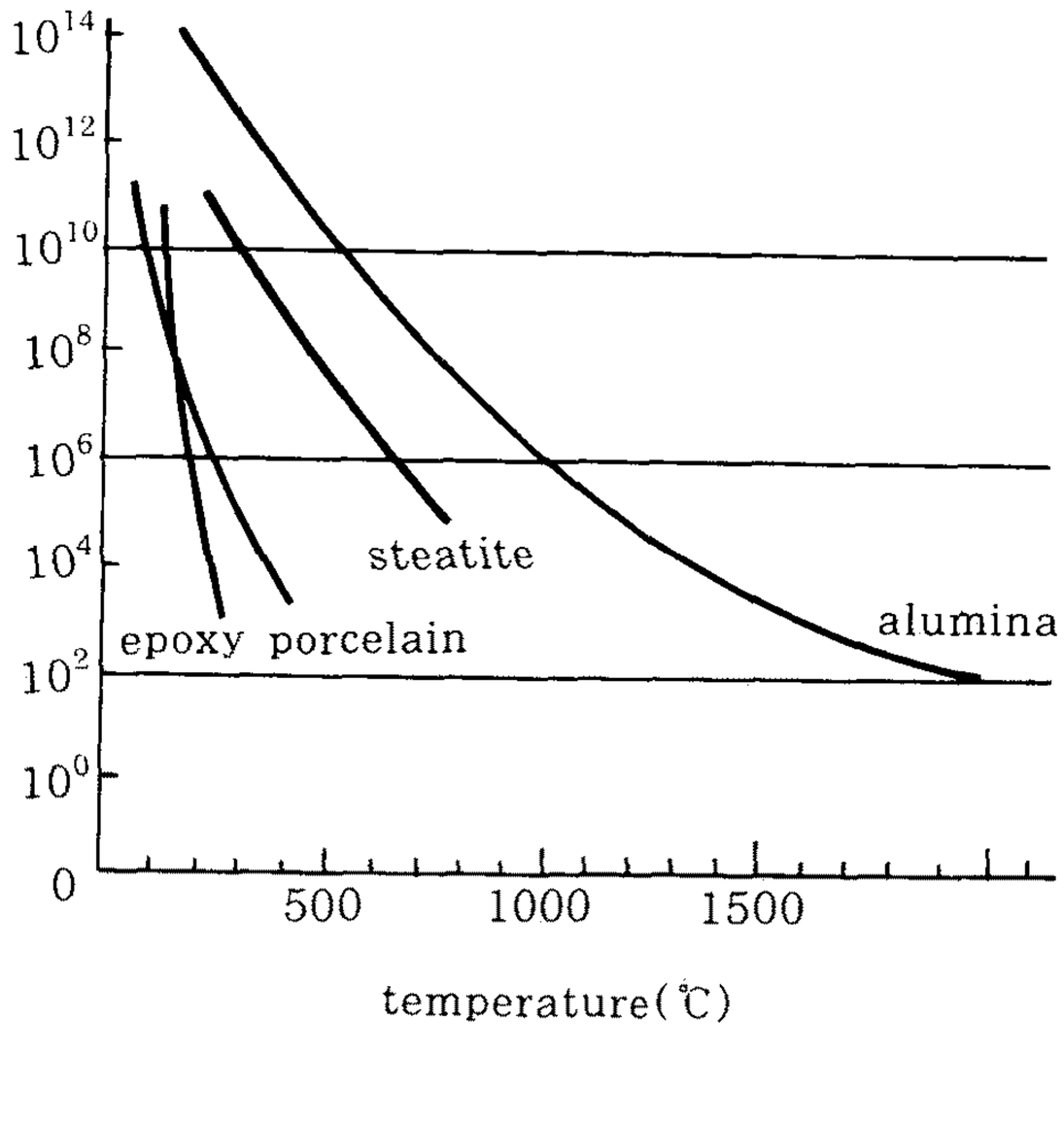



그림 3-9 體積 抵抗率 比較

## 2. 센서 構成圖

그림 3-10에서 2個의 圓形電極(3) (3a)의 材質은 스테인레스鋼, 또는 에칭(Etching) 鍍金된 스테인레스鋼으로 하며 1m/m×1m/m의 메쉬(Mesh)를 가진다.

메쉬의 加工은 電子빔으로 에칭(Etching)하여 表面이 매우 매끄러워야 하며 리드線(7)과 圓形電極(3) (3a)間의 接着은 絶緣볼트를 堅固히 固定시킨다. 絶緣볼트의 材質은 耐熱性이 强한 FRP 또는 테프론(Teflon) 材質을 使用하며, 使用中 弛緩作用이나 絶緣油 成分에 의한 分解作用이 없어야 한다.

絶緣油 劣化測定 센서(1)의 센서支持基板(2)의 支持孔(5)에 一定크기의 氣孔(6)을 가진 포러스材質部(4)를 挿入하고, 그 兩端에 圓形電極(3) (3a)을 상기

센서지지기판(2)에 接着劑로 接着하고, 圓形電極(3) (3a)의 兩側에 리드線(7)를 볼트조임하여 變壓器의 外部에 設置한 터미날端子에 連結한다.

絶緣油 劣化測定 센서(1)는 電力用 變壓器 또는 配電用 變壓器 製造時 센서(1)을 內藏시켜 製造한 後, 리드線(7)을 變壓器 外壁 適當한 位置에 設置한 터미날 端子(8)에 連結한다. 따라서 絶緣油 劣化測定 센서(1)의 漏洩電流를 測




그림 3-10 센서 模型圖

定하기 위한 計測器는 따로 携帶用으로 製作하거나, 遠隔監視 시스템을 利用한 計測시스템을 製作하여 變壓器의 劣化 程度를 測定할 수 있도록 한다.

그러므로, 本 硏究의 絶緣油 劣化測定 方法에 使用되는 絶緣油 센서(1)는 絶緣油의 油中에 設置되기 때문에 耐酸性 및 耐久性이 좋아야 한다.

上記와 같이 形成된 絶緣油 劣化測定센서(1)의 Porous材質部(4)에 吸着된 不純物 導電粒子는 電氣回路를 構成시킨다. 즉 絶緣油 劣化測定 센서(1)의 圓形電極(3a)에 一定한 直流電壓(1)을 加하였을때 電流計(A)의 電流變化値를 測定하므로 不純物 導電粒子의 通過量을 알 수 있었고 이 通過量의 電氣量에 依하여 絶緣油의 經年變化를 알 수 있다.

## 第3節 劣化센서의 電界 및 抵抗 特性

### 가. 劣化센서의 電界分布 및 저항치 計算

絶緣油 劣化센서의 主 材料는 氣孔 세라믹으로 構成되어있어 氣孔 세라믹에 대한 製造過程을 理解하지 않으면 안된다. 氣孔 세라믹은 alumina, silica, titanic, magnesia 등 여러가지의 無機材料로 製造되나, alumina($Al_2O_3$)를 選擇한 理由는 이 材質이 面心立方인 Corundum 構造를 가지며, 특히 耐化學性이 優秀하기 때문이다. 또한 mullite質은 化學的 에칭(Etching)에 의해서 glass상, cristobalite상을 蝕刻하면 針狀(needle-like)을 形成한다.

製造方法으로는 通常의 alumina를 ball-mill하여 slurry狀態의 colloid로 만들어서 市販되고 있는 polyuretane(略稱 PUF)에 含浸過程(infiltration process)을 거쳐 乾燥 後, 一般 alumina 製造 工程에 따라 製造한다. 含浸時 알루미나 Powder가 PUF벽에 均一하게 塗布되지 않으면 强度上에 問題點이 發生된다. 이러한 問題點을 解消시킬 수 있는 方案으로 PUF와의 附着力이 强한 物質을 添加시켜야 한다. 따라서 PUF 表面의 임계 계면장력을 낮출 수 있는 水溶液으로 alumina 粉末을 코팅(coating)하여 附着力을 높이고 粘度와 表面조도에 依存하고 있는 速度를 자유롭게 퍼지게 해야 한다.

이와같이 絶緣油 劣化센서 自體가 浸狀으로 製作되어 있어 絶緣油 劣化센서 自體에 電壓을 印加 시키면 그림 3-11과 같은 형상의 絶緣油 劣化 센서는 Base Ring을 中心으로 兩極板에 Mesh 電極이 接觸되어 있다.

그림 3-12는 劣化센서의 Base ring과 Mesh 電極사이에 있어서 유한 요소법을 이용한 電界解析 結果를 나타낸다. 電界의 크기는 平均電界(V : 印加電壓, G : 電極간 거리)로 규격화한 전계집중계수($f=E/(V/G)$)로써 나타내고 있다. Base ring 자체는 유전율 9.5, 絶緣油 유전율 2.2, 氣孔세라믹 유전율을 9.0으로 하여 센서에 DC 2kV를 印加하였을 때의 電界分布를 計算하였다.

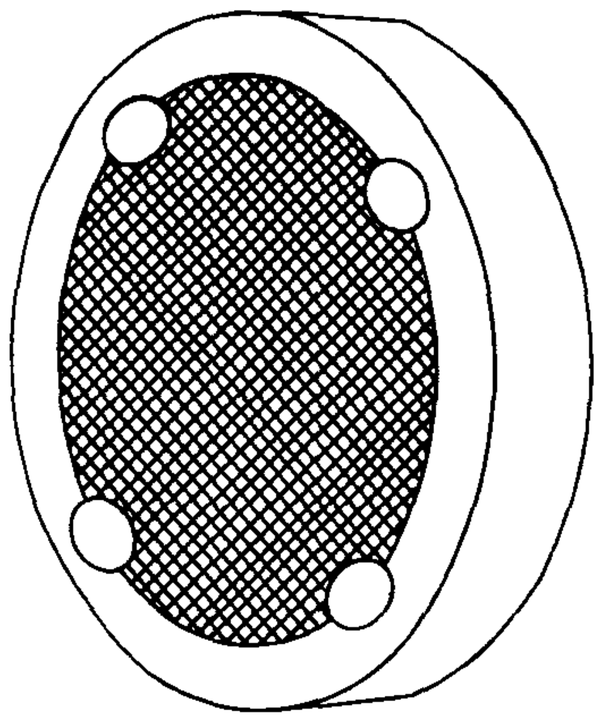


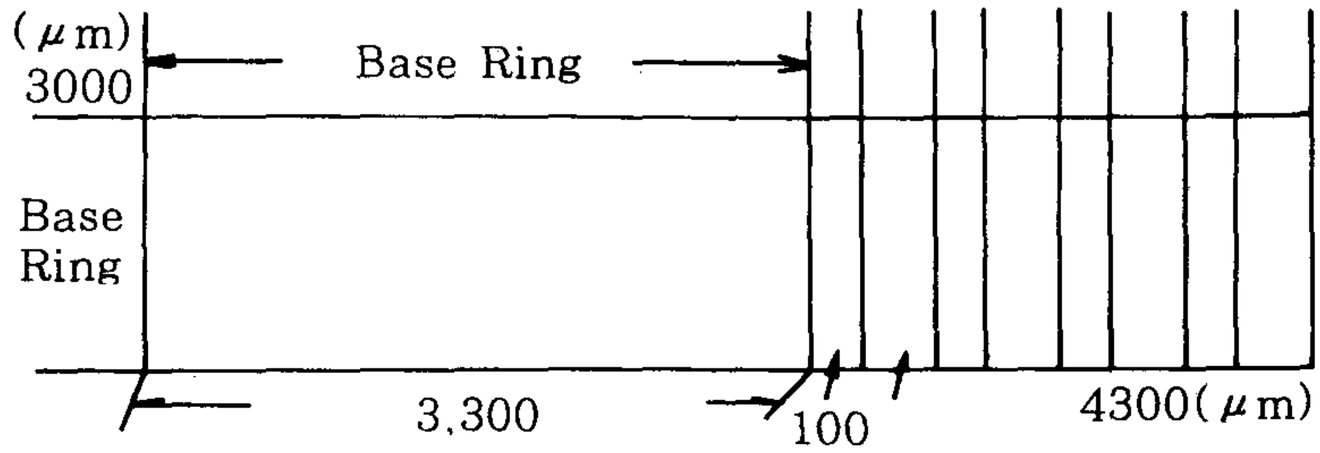
그림 3-11 絶緣油 劣化센서의 外形

電界分布 計算時 프로그램상의 容量不足으로 劣化센서의 一部分에 대한 디멘죤을 實物 크기의 1/3로 縮小하여 計算하였다. 그림 3-12(a)는 센서의 크기를 나타내는 상면도를 나타낸 것으로 Base ring 길이는 3.3(mm), 絶緣油 통로 100($\mu$m), 氣孔 세라믹 150($\mu$m)로 하였고, Base ring 뚜께는 3.0(mm)로 하여 計算하였다.

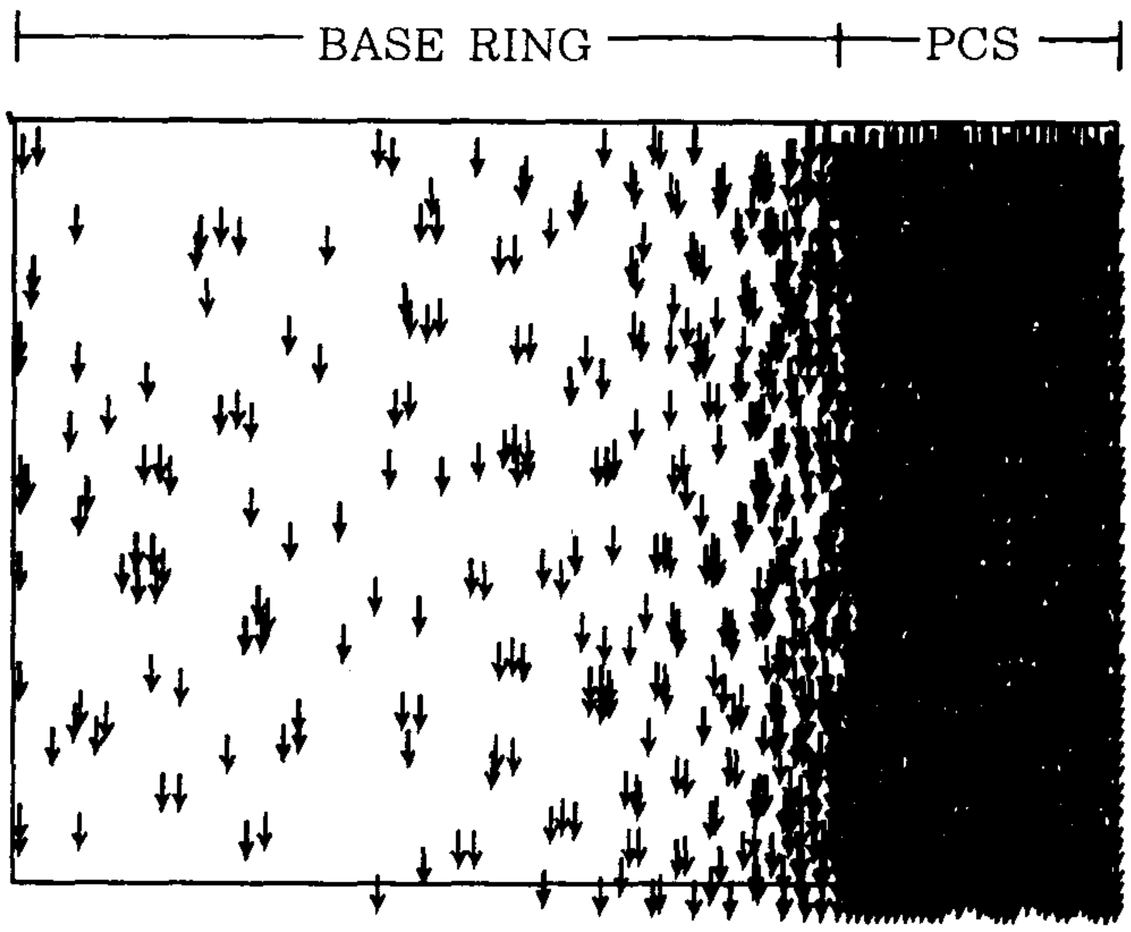
計算 結果 그림 3-12(b)에 나타낸 바와 같이 Mesh 電極에 전부 電界가 集中됨을 알 수 있다. 附錄 (1)은 이와 같은 電界 分布圖 計算을 하기 위한 Flux·2d에 의한 電界解析 프로그램을 作成하기 위한 PCS 計算 資料를 수록하여 놓았다. 附錄 그림 1은 劣化센서의 동전위 분포도(V/m)를 나타내고 附錄 그림 2는 劣化센서의 電界 密度를 tan 성분과 normal 성분으로 區分하여 나타낸다.

### 나. 絶緣油 劣化 메카니즘과 센서와의 關係

絶緣油 劣化센서는 Porous 直徑이 100 - 200(μm)의 氣孔 크기로, 絶緣油가 劣化되었을 때 發生되는 不純物 微粒子가 150(μm)의 크기로 成長될 때 絶緣油가 劣化센서를 吸收-通過되는 메카니즘은 다음과 같다.




(a) 絶緣油 劣化센서 計算 디멘죤




※ : PCS : Porous Ceramic Sensor

(b) 絶緣油 劣化센서 電界分布圖

그림 3-12 絶緣油 劣化센서 電界計算

(1) Free Radical 生成

$$2RH \xrightarrow{O_2} 2R^0 + H_2O$$

絶緣油 속에 包含된 RH가 酸素와 接觸되면 自由機인 Free Radical $R^0$ 가 發生되면서 水分子인 $H_2O$가 發生된다.

이것의 生成 原因은 水素 元素가 RH로 分離되어 酸素인 $O_2$와 結合되어 發生되며 거의 氣體化된 $R^0$ 成分은 絶緣油 속을 부유하면서 다른 酸素 成分과 結合하려 한다. 그 크기는 初期狀態에서 거의 5(μm)以下의 極微한 分子狀態에서 絶緣油 劣化센서의 氣孔 사이로 通過된다. 이 때 測定되는 센서의 漏洩電流는 거의 10(nA)以下로 完全 絶緣體에 가깝다.(絶緣油 溫度 60℃)

이때 만약 氣孔 속에서 水分子가 存在하면 RH계열은 活發한 化學的 反應이 發生되어 絶緣油 劣化센서에는 큰 漏洩電流가 發生된다.

(2) Hydroperoxy Radical 生成 및 Propagation Reaction

$$R^0 + O_2 \longrightarrow RO_2^0$$

$$RO_2^0 + RH \longrightarrow R^0 + RO_2H$$

$$RO_2H \longrightarrow RO^0 + O^0H$$

絶緣油의 劣化가 더욱 進展된 境遇로써 Free Radical인 $R^0$가 酸素와 接觸되면 ROH, RCHO, RCOOR′, RCOOH등을 生成하는 데, 이 反應은 주로 自動酸化(Auto-Oxidation)로 알려진 反應을 말한다. 이 過程에서는 絶緣油가 거의 劣化되어 있지 않는 狀態로써 그 不純物 微粒子의 크기가 50(μm) 程度가 되어 絶緣油 劣化 센서의 氣孔 속으로 通過된다. 이 때 初期條件에서 充分한 絶緣狀態를 維持하고 있는 한 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流 크기는 대략 50(nA)以下로 測定. (絶緣油 溫度 60℃)

(3) Termination Reaction

$$R^0 + R^0 \longrightarrow RR$$

$$RO_2^0 + RO_2^0 \longrightarrow ROH + R'COR'' + O_2$$

絶緣油가 劣化되어 마지막으로 飽和되는 過程으로 油溶性 劣化生成物인 ROOR′, ROH, RCHO, RCOR′, RCOOH, RCO, RCOOH, RCOOR′, $(RCOO)_nM$이 生成되고 油不溶 成分으로 $CO_2$, CO, $H_2$ 등의 가스 性分과 Carbon등의 Sludge가 生成되어 絶緣油 劣化가 促進된 狀態에서 酸價 및 耐壓特性에 影響을 미친다. 그 原因은 이온화된 不純物이 增加되기 때문이다.

이 過程에서 絶緣油 劣化로 因한 不純物 粒子의 크기는 100(μm) 以上으로 크짐을 그림 2-11에서 알 수 있고, 그 粒子는 센서를 通過하는 메카니즘을 지닌다. 이때 센서의 전기적 特性은 絶緣油 溫度 60℃에서 대략 100(nA) 以上으로 增加 되어감을 試驗 結果 알 수 있었다.

다. 劣化센서의 動作 메카니즘

이와같이 絶緣油가 通過하는 메카니즘을 그림 3-13에 나타낸다. 그림에서 氣胞사이로 通過하는 不純物 微粒子는 溫度 上昇으로 因하여 發生되는 絶緣油 流動效果로 어느 程度의 壓力을 받아 不純物 微粒子를 밀어낸다.

즉 氣孔 세라믹에 吸收된 絶緣油는 그 氣孔 크기에 맞추어 不純物 微粒子가 流動되는 瞬間 不純物 微粒子가 捕獲된다. 이 때 電界가 印加되면 전기적인 直竝列 回路가 構成된다.

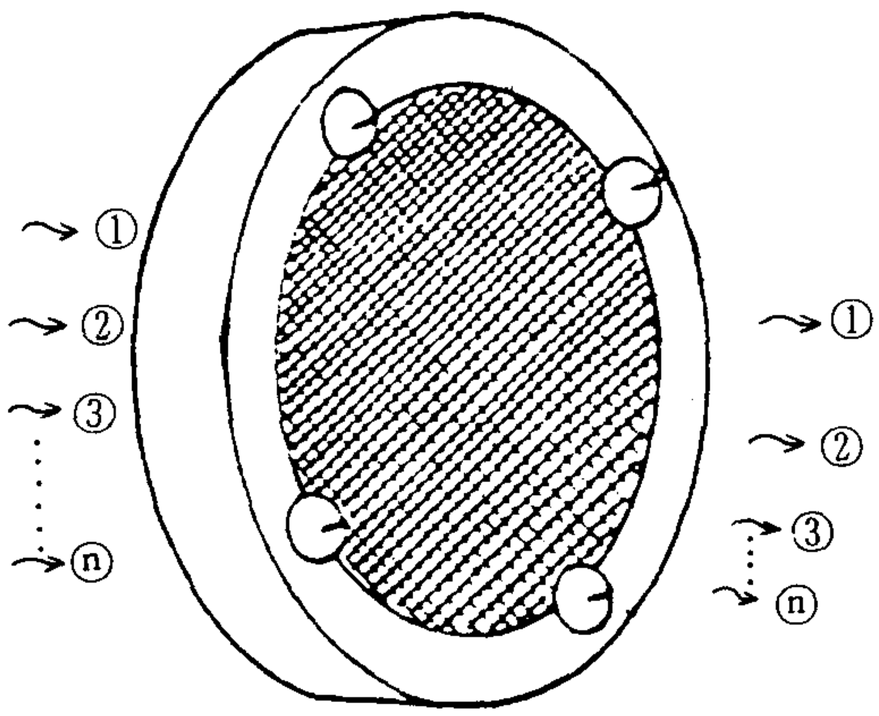



그림 3-13 絶緣油 通過 메카니즘

絶緣油 劣化센서의 直竝列 構成 回路를 그림 3-14에 나타낸다. 初期狀態에서 絶緣油 劣化센서의 抵抗은 매우 큰 狀態에 있고, 그 絶緣油 劣化가 繼續되면 센서의 氣孔사이로 直 竝列回路가 構成된다. 그림에서는 그 過程을 차례대로 나타낸 것으로, 通過되는 絶緣油가 심하게 劣化되면 센서의 抵抗이 매우 낮아져 센서 사이에는 큰 電流가 흐른다.

그림 3-14는 絶緣油 劣化센서의 電極과 氣孔 세라믹 사이의 抵抗成分을 전기적 回路로 構成시킨 것으로 메쉬 電極의 망 사이는 抵抗成分이 存在하여 電極과 電極 사이는 竝列回路가 構成되고 메쉬 電極과 電極사이는 直列回路를 構成하고 있음을 알 수 있다. 메쉬 電極의 망 面積이 $1mm^2$이므로 그 絶緣面積을 무수히 가지면서 竝列回路를 構成하고 있다.

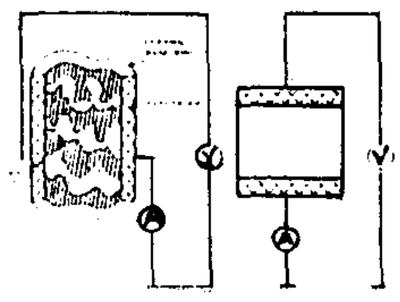
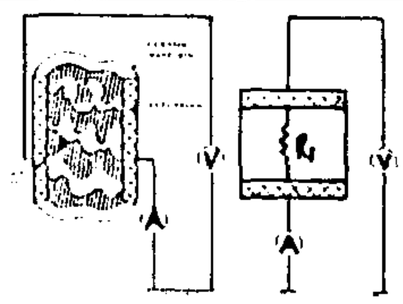
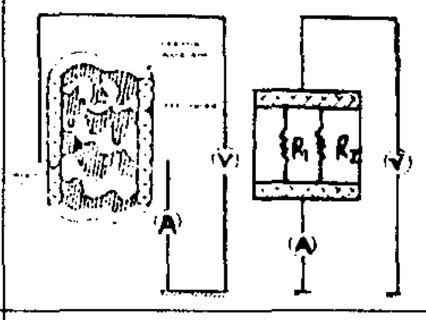
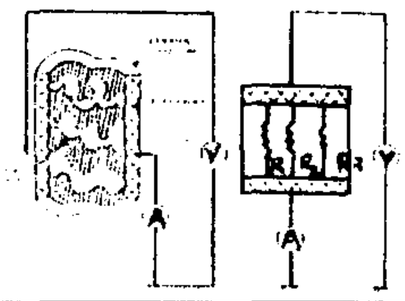
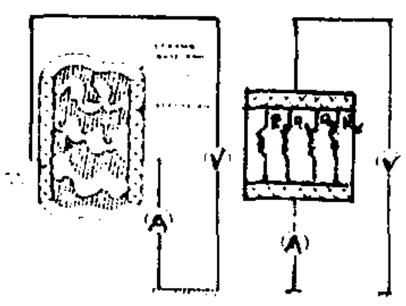
| 順位 | 回　　路 | 計　算　式 | 劣化程度 | 備　　考 |
|---|---|---|---|---|
| 1 |  | $\mu A_0 = \frac{V}{R_0}$ | (良好)<br>↓<br>(要注意)<br>↓<br>(不良) | μA : 센서의 漏洩電流<br><br>V : 印加電壓 (DC, 一定)<br><br>R : 센서의 抵抗値 |
| 2 |  | $\mu A_1 = \frac{V}{R_1}$ | | |
| 3 |  | $\mu A_2 = \frac{V}{R_1 + R_2}$ | | |
| 4 |  | $\mu A_3 = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3}$ | | |
| 5 |  | $\mu A_4 = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$ | | |

그림 3-14　絶緣油 劣化센서 導電回路

絶緣油 劣化센서의 製造上 電極과 氣孔세라믹 사이는 약간의 갚이 發生된다. 이 갚 사이는 絶緣油가 通過되며, 똑같은 條件에서 一種의 絶緣回路를 構成하고 있다.

(1) 電極 表皮 抵抗의 計算

絶緣油 劣化센서의 表面은 SUS로 에칭되어 表面이 매우 미끄럽고, 電極 自體가 導體인 同時에 網사이에 絶緣油가 流入된 絶緣體로 構成 되어있다. 이 경우 網의 r는 竝列抵抗으로 다음과 같은 式(3-8)으로 表示 할 수 있다.

$$r = \Sigma \frac{r_1 \times r_2 \times r_3 \times \ldots r_n}{r_1 + r_2 + r_3 + \ldots\ r_n} \qquad (3\text{-}8)$$

以上과 같은 式에서 表皮 抵抗 R가 計算된다.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

여기서 絶緣油의 固有抵抗 ρ 는 $1.5 \times 10^{13}(\Omega\,\mathrm{cm})$, SUS Plate의 이격 距離는 9(mm), 1個의 網面積은 $1(\mathrm{mm}^2)$으로 計算할 때 1個 網에서 計算되는 絶緣油 劣化센서의 抵抗은 다음과 같이 計算된다.

$$R = 1.5 \times 10^{13} \frac{0.9}{0.1 \times 0.1} = 1.35 \times 10^{11}\,(\Omega)$$

絶緣油 劣化센서 直徑 52mm에서 그 面積이 $2122(\mathrm{mm}^2)$이 된다. 이것을 근거로 網의 개수는 槪略的으로 2122개로 計算되며, 센서의 氣孔率은 80% 보아 1700개가 직렬로 接續되고, 나머지 422개가 병렬로 接續됨을 알 수 있다. 따라서 直列 接續時 抵抗은 $2.3 \times 10^{14}(\Omega)$이 되고, 竝列 接續時 抵抗은 $0.6 \times 10^{14}(\Omega)$이 된다. 이때 印加電壓 DC 2 KV를 加하였을 때 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流는 다음과 같이 計算된다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2\times10^{3}}{2.3\times10^{14} + \frac{1}{0.6\times10^{14}}} = 0.009(nA)$$

以上과 같은 式의 計算 結果는 周圍 條件이 이상적(理想的)인 絶緣 條件에서 計算된 式으로 絶緣油 劣化센서의 絶緣狀態가 거의 完璧한 絶緣體임을 나타내어 준다.

(2) 電極의 지지기판의 表面抵抗計算

지지기판(Base ring)의 表面抵抗 計算은 먼저 單位面積當 表面抵抗을 計算한 後 지지기판의 원둘레를 곱하여 計算할 수 있다.

絶緣油 劣化센서의 지지기판 表面은 完全 絶緣體인 세라믹 材料로써 매우 미끄럽고, 電極과의 間隔이 9mm로 圓形 形態의 電極으로 構成되어 있다. 이 境遇 抵抗 分布 r는 直列로 構成된 것으로 보아 다음과 같은 式(3-9)로 表示할 수 있다.

$$r = \Sigma\ r_1 + r_2 + r_3 + \ldots r_n \qquad (3\text{-}9)$$

以上과 같은 式에서 表皮 抵抗 R가 計算된다.

$$R = \rho\frac{L}{S}$$

여기서 絶緣油의 固有抵抗 ρ는 $1.5\times10^{13}$ Ωcm, SUS Plate의 離隔 距離는 9(mm), 1個의 導電 面積을 $1(mm^2)$으로 計算할 때 1個當 計算되는 絶緣油 劣化센서의 기판 表面抵抗은 다음과 같이 計算된다.

$$R = 1.5 \times 10^{13} \frac{0.9}{0.1 \times 0.9} = 1.5 \times 10^{12} (\Omega)$$

絶緣油 劣化센서 直徑 78cm에서 그 원둘레 2πR을 計算하면 245mm로써 그 抵抗은 $1.5\times10^{12}\times245(\Omega)$, 즉 $3.67\times10^{14}(\Omega)$이 된다. 따라서 印加電壓 DC 2 KV를 印加하였을 때 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流는 다음과 같이 計算된다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2 \times 10^3}{3.67 \times 10^{14}} = 0.005(nA)$$

以上과 같은 式의 計算 結果는 周圍 條件이 理想的인 絶緣 條件에서 計算된 式으로 絶緣油 劣化센서의 絶緣狀態가 거의 完璧한 絶緣體임을 나타내어 준다.

## 第 4 節 劣化센서의 電氣的 特性

어떤 絶緣體에 氣孔이 發生 되었을 때 그 絶緣體 自體의 漏洩電流 測定은 성극비(Polalization Index)에 의하여 判定되는 데 특히 케이블의 P.I는 自然的으로 發生되는 極微한 氣孔 사이로 微弱한 部分放電에 의하여 電流가 發生되는 것을 檢出하기 위하여 周圍에서 흘러나오는 漏洩電流를 가드링(Guard Ring)을 利用하여 막아 주어야만 測定이 可能하다. 즉 自然 發生的인 氣孔인 境遇에 適用되는 것으로, 本 氣孔세라믹에서 適用하는 原理와는 差異가 있다.

本 絶緣油 劣化센서는 위와는 反對 原理로 絶緣體 自體에 무수한 기공(氣孔)을 人爲的으로 만들어 놓아 絶緣油가 通過할 때 導電性 物質을 吸着-通過되는 瞬間에 電源을 (DC 2 KV)印加 하므로써 發生되는 電流値를 測定한다.

즉 앞에서도 言及된 바와 같이 劣化센서의 兩 電極 사이에 무수한 針電極으로 構成된 메쉬 電極이기 때문에 이 電極 사이에 電界分布가 集中되어 다른 곳으로 漏洩되는 電流는 微弱하다.

그림 3-15는 케이블과 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流 測定 原理를 比較試驗한 것으로 케이블인 境遇 그 氣孔이 自然發生的으로 나타나는 微弱한 크기인 데 比하여 絶緣油 劣化센서인 境遇 무수한 氣孔을 人爲的으로 發生시켜 놓은 것이다.

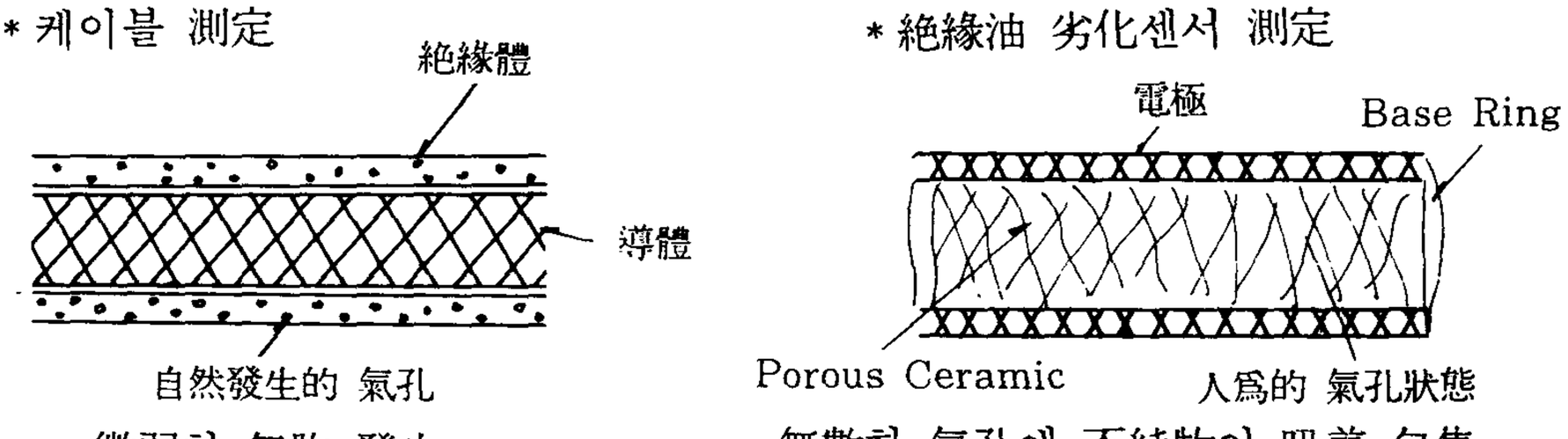



그림 3-15 氣孔의 測定原理 比較

센서의 電氣的 特性을 實驗하기 위하여 眞空脫氣脫濕裝置 속에 絶緣油 劣化센서를 裝着한 後 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流値가 5(nA)以下로 내려갈 때 까지 眞空脫氣脫濕 作業을 繼續 한다. 그림 3-16은 이러한 試驗過程을 Block Diagram으로 나타내었다. 앞으로 센서가 現場에 設置되기 前이나 量産 段階에 들어가면 꼭 이와같은 過程을 거치지 않으면 안된다. 즉 大氣 중의 濕氣나 水分이 섞인 空氣가 센서의 氣孔 사이로 浸透되면 그 初期値 電流가 상당히 높게 올라감을 確認하였기 때문에 이러한 전처리 過程을 거쳐야만 한다.

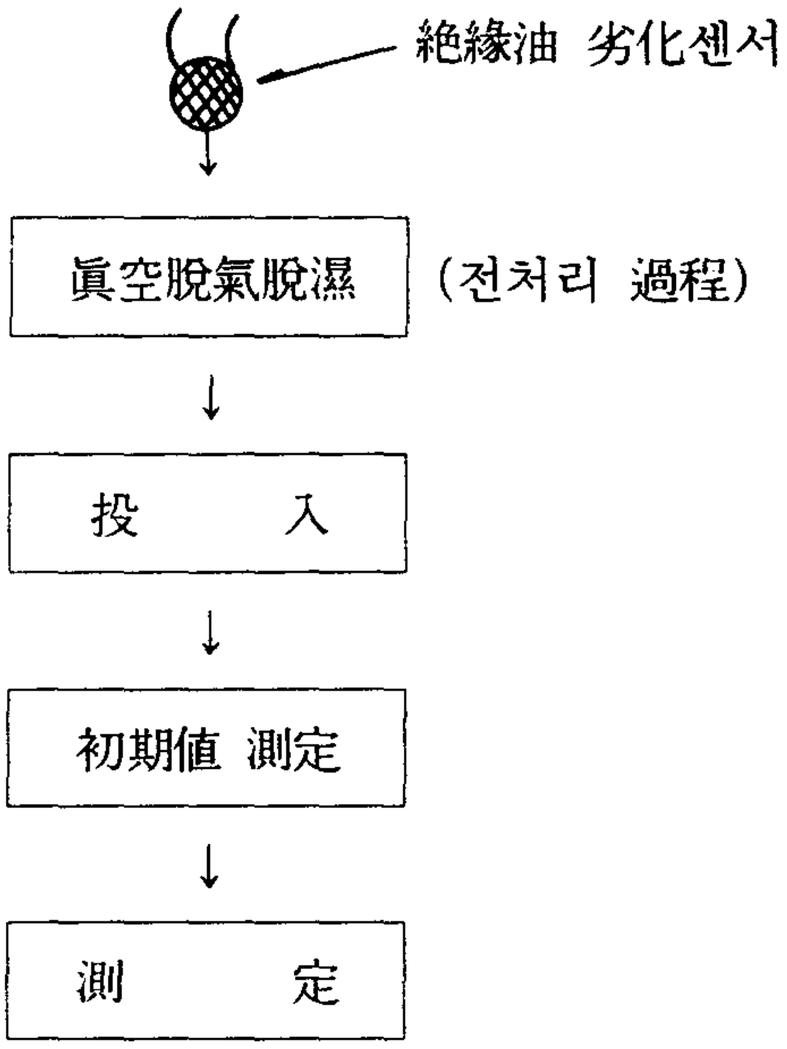



그림 3-16 絶緣油 劣化센서 전처리 過程

그림 3-17은 眞空 脫氣 裝置의 외관을 나타낸것으로 裝置 內部에 Heater 熱線이 취부되어 있어 濕氣 및 空氣속의 不純物을 眞空에 의하여 脫氣 脫濕 하도록 되어 있다.

이와 같은 裝置를 利用하여 劣化센서의 V-T-I 特性과 DC 2KV 特性을 구하였다.

(가) 眞空펌프 排氣速度 : 550L/Min

(나) 眞空펌프 容量 : 220V, 0.9 KW

(다) 眞空챔바 溫度셋팅 : 70 - 90℃ (自動 溫度 調節 裝置)

(라) 絶緣油 劣化센서 터미날 : DC 5 KV 高壓 붓싱部

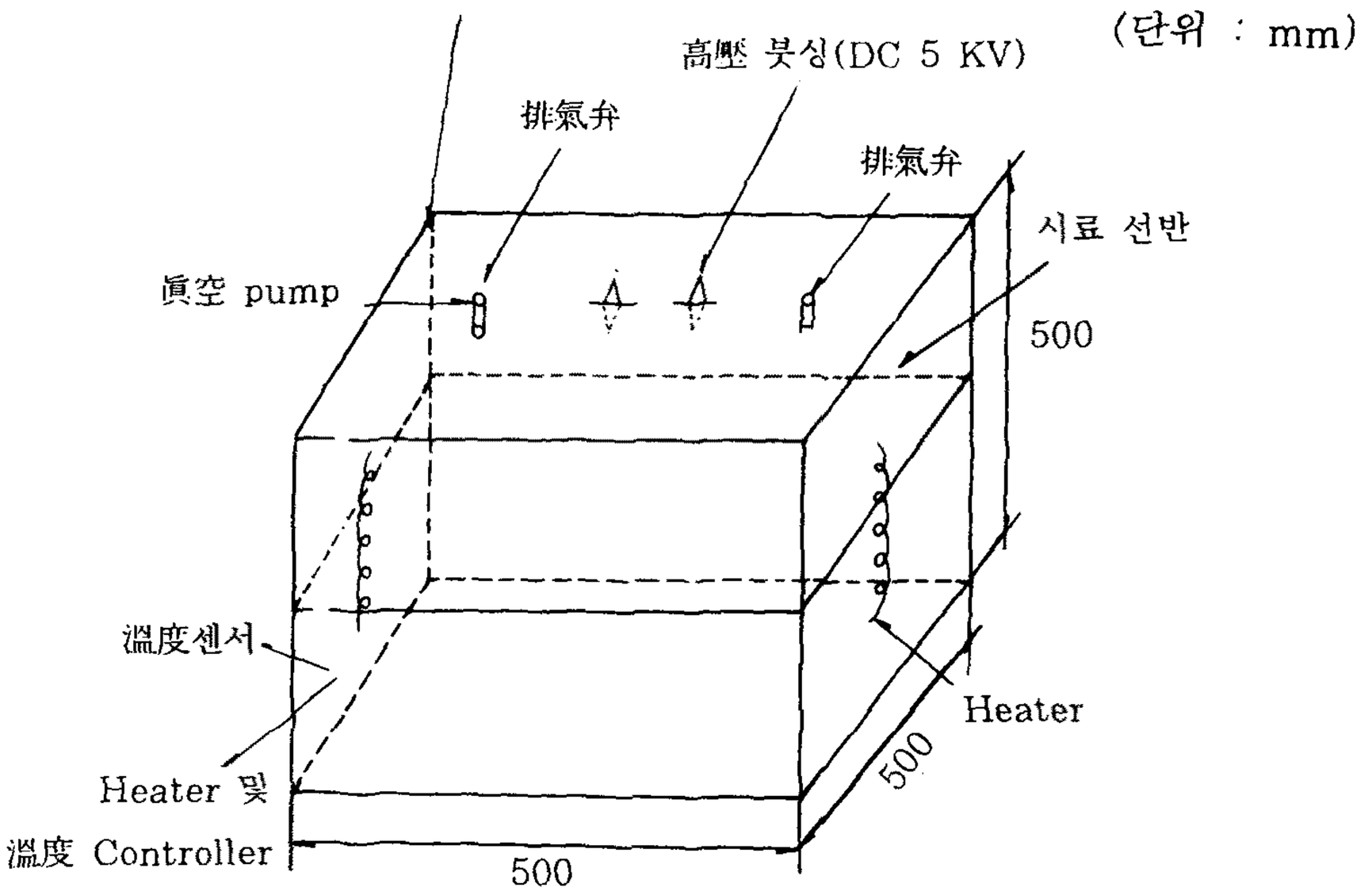



그림 3-17 眞空脫氣脫濕裝置 外觀

### 가. V-T-I 特性

變壓器 絶緣油가 充分히 劣化되면 액상에 導電性 不純物이나 非導電性 不純物이 150(μm)까지 成長한다.

그림 3-14와 같이 液狀의 導電性 粒子들이 絶緣油 속을 通過할 때 氣孔에서 이루어지는 回路 構成이 平均的으로 거의 一致되어야만 한다. 앞장에서 言及한 바와 같이 絶緣油가 通過하는 回路가 直並列로 構成되어 있어 漏洩電流가 抵抗의 크기에 따라 決定된다. 즉 絶緣油가 氣孔 사이를 通過하는 瞬間의 絶緣油 導電度(Conductivity) 크기에 따라 絶緣油 劣化狀態를 判定할 수 있다.

센서는 測定値의 일관성(一貫性)과 재현성(再現性)이 매우 重要한 事項이다. 먼저 一貫性의 面에서는 센서의 初期値 測定이 거의 같아야 한다는 事實과 再現

性의 面에서는 같은 條件에서 여러번 測定하였을 때의 값이 거의 一定해야 한다는 것이다.

이와같은 事實을 確認하기 위하여 絶緣油 劣化센서에 대한 電壓(V)-溫度(T)-電流(I) 特性을 다음과 같은 條件에서 試驗하였다.

(1) 試驗條件

- 絶緣油 : 新油(New Oil)
- 試驗電壓 : 2, 3, 4 KV (DC)
- 시료 : 10個
- 試驗溫度 : 60(℃)

(2) 試驗結果

그림 3-18에서 60℃에서의 漏洩電流値를 살펴보면 印加電壓 DC 2 KV에서는 10個의 시료 모두가 거의 一定値를 維持하나, 印加電壓을 DC 3 KV 以上으로 上昇시키면 그 漏洩電流値가 5 - 16(nA)까지 差異가 남을 알 수 있고, 絶緣油 劣化센서에 印加되는 電源은 DC 2 KV가 測定値가 거의 變動이 없음을 알 수 있었다.

絶緣油 劣化 센서는 氣孔사이즈 平均値인 150(μm)에 近接한 크기의 氣孔 사이즈를 維持하여야 하고, 絶緣油 劣化센서를 絶緣油 속에 投入하기전 前處理로써 眞空 脫氣 脫濕 裝置를 만들어 그 속에 絶緣油 劣化센서를 넣은 後, 電極 사이에 거의 絶緣體가 維持되도록 充分한 脫氣 脫濕 過程을 거쳐야 한다.

이상과 같은 試驗條件에서 시료 10個에 對한 V-T-I 特性은 溫度가 上昇되고, 電壓이 높아짐에 따라 漏洩電流値가 上昇되면서 시료 사이에 若干의 差異가 發生되는 데 그 理論的인 根據로 絶緣油의 熱電導度가 溫度에 따라 比例하여 上

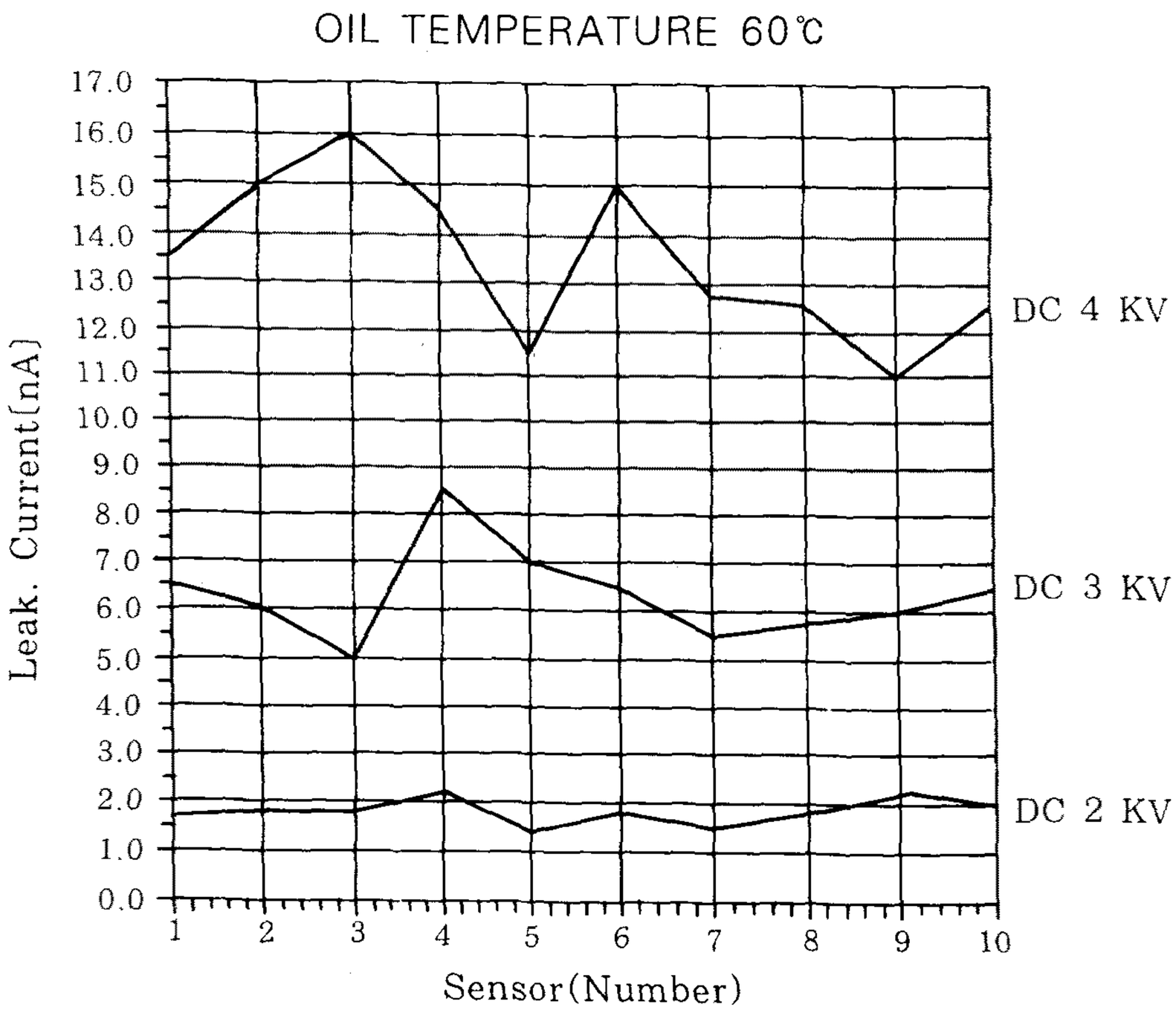



그림 3-18　60℃에서의 漏洩電流 그래프

昇됨에 따라 나타나는 現狀으로 溫度 均配가 存在하는 계(系)內에서 熱은 電導 對流, 複寫에 의하여 高溫部에서 低溫部로 傳達된다. 單位時間 中 單位面積을 通過하는 熱量 q는 다음 式과 같이 구한다.

$$q = -k\,(dT/dZ) \qquad (3\text{-}10)$$

(dT/dZ : 溫度均配)

上記 式의 比例 정수 k가 熱傳導度로 物質 移動은 隋件하지 않고 電導되는 것으로 熱量의 尺度이다. 熱傳導度를 구하기 위해서는 實測보다도 推算하는 편

이 簡便하다. 一般的인 推算은 Riedel의 式을 利用한다.

$$\frac{K}{K_C} = 1 + 6.7(1 - \frac{T}{T_C})^{2/3} \qquad (3\text{-}11)$$

K : 溫度 T에 이르는 熱傳導度

$K_C$ : 臨界溫度 $T_C$에 이르는 熱傳導度

Riedel 式으로 부터 直接 熱傳導度를 구할 수 없으므로 다른 한 점, 例를 들면 沸点을 熱傳導度式에 利用하면 容易하게 구할 수 있다. 즉 沸点에서 熱傳導度 K와 分子量 M을 利用하면 다음 式과 같이 나타낼 수 있다.

$$K = 1.08 / M^{1/2} \qquad (3\text{-}12)$$

그리고 比重을 利用하여 熱傳導度를 구하는 式은 다음과 같다.

$$K = 0.00028(1\text{-}0.0054\ T)/d \qquad (3\text{-}13)$$

이때 T는 溫度, d는 比重을 나타낸다. 表 3-2는 各種 絶緣油의 沸熱, 熱傳導度, 熱膨脹率을 나타낸다.

表 3-2 各種 絶緣油의 沸熱, 熱傳導度, 熱膨脹率

| 絶 緣 油 | 沸 熱 (25℃) | 熱 傳 導 度 (25℃) | 熱 膨 脹 率 $X10^{-4}$ (20-100℃) |
|---|---|---|---|
| 1 種 | 0.45 - 0.48 | 0.11 - 0.12 | 6.8 - 8.0 |
| 2 種 | 0.44 - 0.48 | 0.11 - 0.12 | 7.8 - 8.0 |
| 3 種 | 0.40 - 0.65 | 0.10 - 0.11 | 7.5 - 8.5 |

### 나. DC 2 KV 特性

앞 節에서 言及된 바와 같이 絶緣油 劣化센서는 印加電壓 DC 2 KV에서 가장 安定된 特性을 나타내었으므로 DC 2 KV에 대한 特性 調査를 하는것이 重要한 事項이다. 앞으로 現場에서 使用될 電壓은 모두 DC 2 KV로 固定되므로 이것에 대한 特性을 考察하지 않으면 안된다. 그 試驗條件은 V-T-I 特性試驗에서와 마찬가지로 한다.

(1) 試驗條件

- 絶 緣 油 : 新油(New Oil)
- 試驗電壓 : DC 2 KV
- 시 료 : 10個
- 試驗溫度 : 30 ~90(℃)

(2) 試驗 結果

그림 3-19는 DC 2 KV를 印加하였을 때의 시료 10個의 센서別 漏洩電流値를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있다시피 絶緣油 溫度 60℃까지는 거의 一定値로 維持하다가 80℃ 에서는 그 隔差가 3(nA)程度로 벌어지고 90℃의 高溫이 되었을 때 그 隔差는 거의 4(nA)까지 差異가 남을 알 수 있었다.

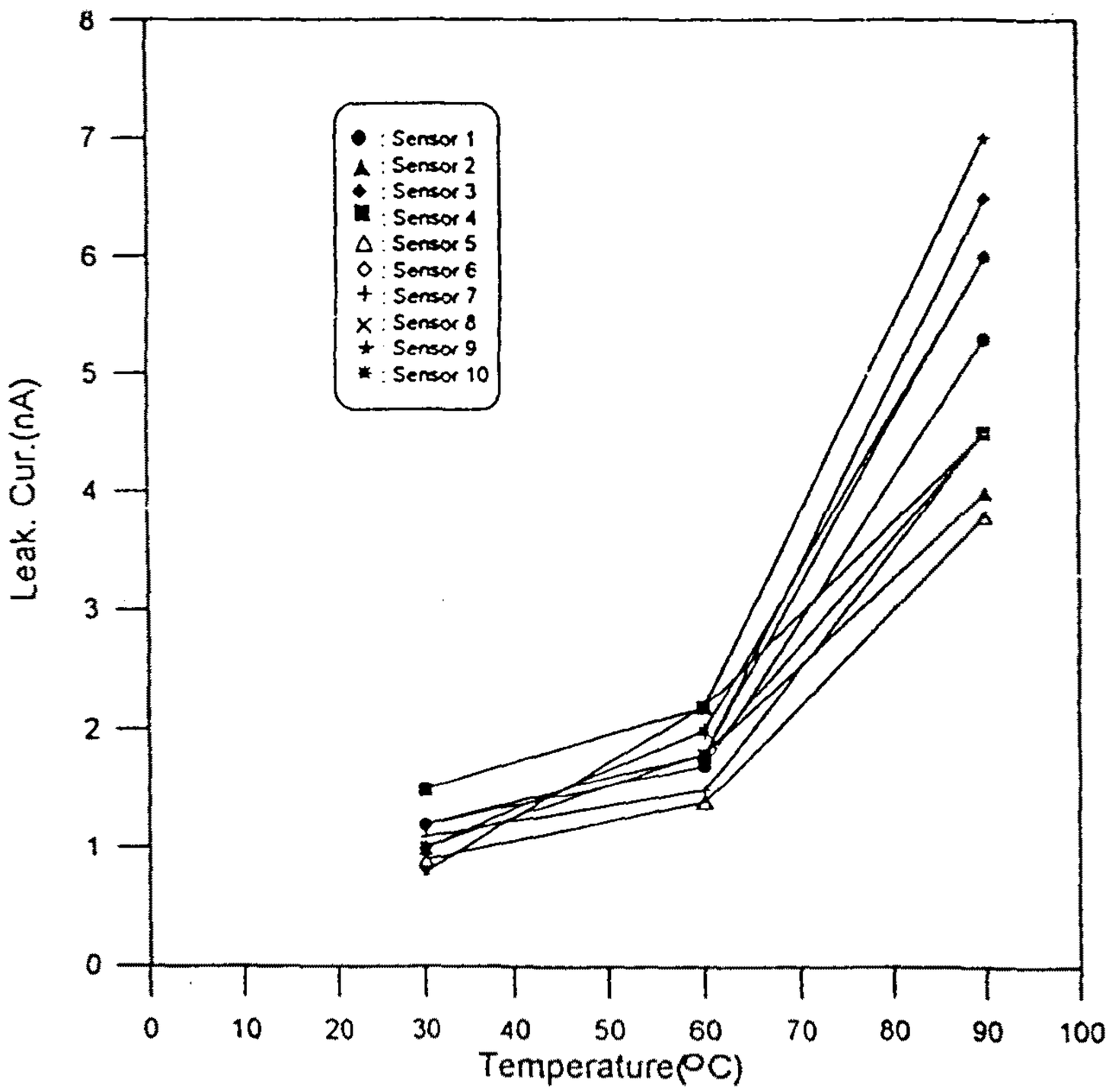



그림 3-19 DC 2 KV 漏洩電流 特性 그래프

### 다. 自體 漏洩電流 特性

센서는 그 主 材質인 氣孔세라믹에 거의 모든 電流가 흘러야 한다. 이와 같은 事實을 確認하기 위하여 센서의 自體 漏洩電流 特性을 考察할 必要가 있어 다음과 같은 試驗을 實施하였다.

(1) 氣孔 세라믹이 없는 空隔 狀態의 比較試驗

(2) 氣孔 세라믹 매질 대신에 完全 固體絶緣物을 挿入한 것.

(3) 지지기판과 氣孔 세라믹 사이에 가드링을 設置한 境遇

實驗에 使用된 試料의 略字는 다음과 같다.

- S : Sensor
- NS : New Sensor
- DO : Degradation Sensor
- NO : New Oil
- RO : Recovery Oil
- DO : Degradation Oil

(1) 氣孔세라믹 매질이 없는 空隔狀態의 比較試驗

(가) 試驗條件

- 絶 緣 油 : RO20, RO50, RO80 (비이커 內) * 뒷숫자는 絶緣油 溫度
- 시 료 : NS-공격, NS, DS-공격
- 印加電壓 : 2, 3, 4 KV

(나) 試驗結果

電極 사이에 氣孔세라믹 매질이 없이 공격狀態의 電極에 電壓을 印加하였을 때 發生되는 漏洩電流의 크기를 測定 한 結果 常溫에서는 두 境遇 모두 비슷한 結果를 나타내었으나 溫度가 80℃까지 上昇되면 NS-공격인 境遇의 測定値는 測定時마다 그 偏差가 매우 크게 나타남을 알 수 있었다. 表 3-3은 이러한 測定 結果를 表로써 나타낸 것으로 RO80의 境遇 NS-공격과 NS만의 比較試驗 結果 그 偏差가 매우 큼을 알 수 있다.

表 3-3 Porous 매질이 없는 空隔狀態의 比較試驗

단위 : nA

| 試驗條件 | 시료센서 | 2 KV | 3 KV | 4 KV |
|---|---|---|---|---|
| RO20 | NS-空隔<br>NS<br>DS-空隔 | 2.5-2.5-2.0<br>1.5-2.5-2.0<br>2.7 | 5.0-3.5-3.0<br>2.3-3.2-2.9<br>4.0 | 10.5-4.0-3.5<br>4.6-4.5-4.5<br>4.2 |
| RO50 | NS-空隔<br>NS<br>DS-空隔 | 6.5-7.8-8.0<br>11.8-11.5-10.0<br>10.0-8.5-8.5 | 10.0-11.6-12.0<br>17.6-17.4-15.0<br>10.0-12.0-12.0 | 13.5-15.1-16.7<br>24.2-24.5-21.0<br>18.5-16.0-15.5 |
| RO80 | NS-空隔<br>NS<br>DS-空隔 | 140-213-81.6-48.5-77<br>63.8-67-65-55-57.5 | 307-348-156.6-81.5-130<br>106.6-110-105-90-90 | 430-490-235-125-195<br>158.3-168-145-125-130 |

그림 3-20은 表 3-3을 根據로 하여 RO80에서의 氣孔 세라믹이 없는 境遇(Base Ring)와 氣孔 세라믹이 있는 境遇(Porous ceramic+Base ring)의 漏

洩電流 變化를 그래프로 表示하였다. 그림에서 알 수 있다시피 絶緣油 劣化센서에 DC 2 KV를 印加하였을 때 Base ring만 있는 境遇 漏洩電流値가 最大 213(nA)에서 最小 48(nA)까지 크게 變化되는데 反하여 氣孔 세라믹이 있는 境遇는 最大 63.8(nA)에서 55(nA)까지 적은 幅으로 變化되는 것을 알 수 있다.

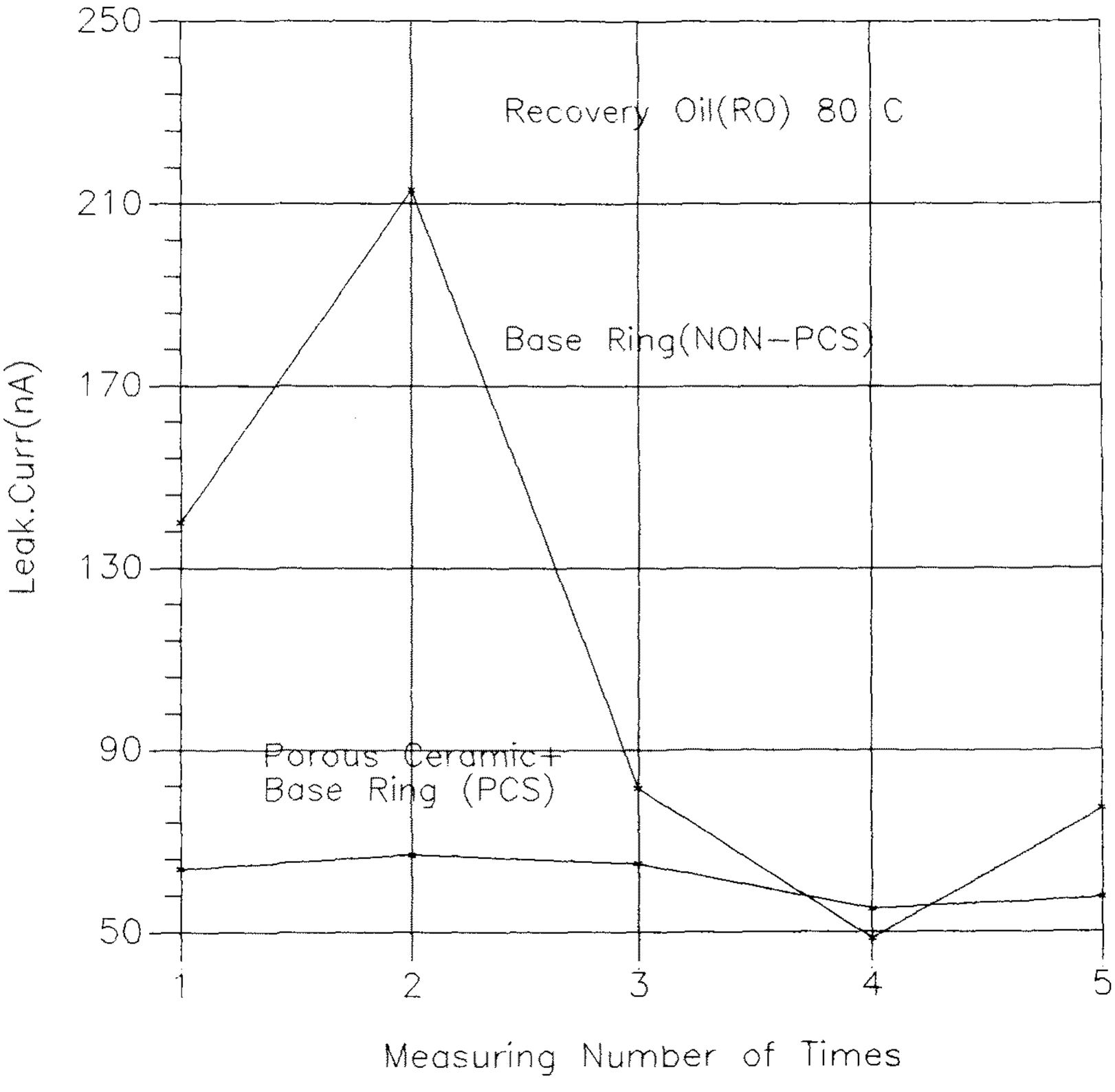



그림 3-20 氣孔세라믹이 있는 境遇와 없는 境遇의 센서 漏洩電流

(2) 氣孔세라믹 대신에 完全 固體絶緣物을 挿入한 境遇

(가) 試驗條件

- 絶緣油 溫度 : 新油, 上溫 20℃ 비이커 內部
- 센서 : New Sensor
- 印加電壓 : DC 2, 3, 4, 5 KV

(나) 試驗結果

表 3-4는 新品인 絶緣油 劣化센서와 氣孔 세라믹 代身에 完全 絶緣體인 세라믹 絶緣體를 넣었을 때의 漏洩電流 測定値를 나타낸다. 그 結果 Base Ring 기판에 흐르는 電流가 全體 電流의 約 2(%)정도 밖에 흐르지 않음을 알 수 있었다.

그림 3-21은 表 3-4를 根據로하여 나타낸 그래프로 지지기판인 Base Ring에서 흐르는 電流는 印加電壓에 따라 거의 微弱하게 變하는 反面, 氣孔세라믹에 흐르는 電流는 印加電壓에 따라 相當한 크기로 變化됨을 알 수 있다. 이와같이 큰 幅으로 變化되는 原因은 氣孔 세라믹 自體의 針狀에서 發生되는 電界 集中現象이 나타나기 때문이다.

表 3-4 絶緣油 劣化센서의 表面 漏洩電流 測定値

(條件 : 上溫 오일속 비이커 19℃ 新油 新品 센서)

(單位 : nA)

| 印加電壓 | 完成品 | 絶緣體 挿入 | 空隔狀態 (COMMON) | 空隔狀態 (GUARD 部) |
|---|---|---|---|---|
| DC 2 KV | 0.1 | 0.002 | 0.00225 | 0.0015 |
| DC 3 KV | 0.16 | 0.003 | 0.00425 | 0.0016 |
| DC 4 KV | 0.24 | 0.004 | 0.0045 | 0.002 |
| DC 5 KV | 0.33 | 0.0042 | 0.007 | 0.0025 |

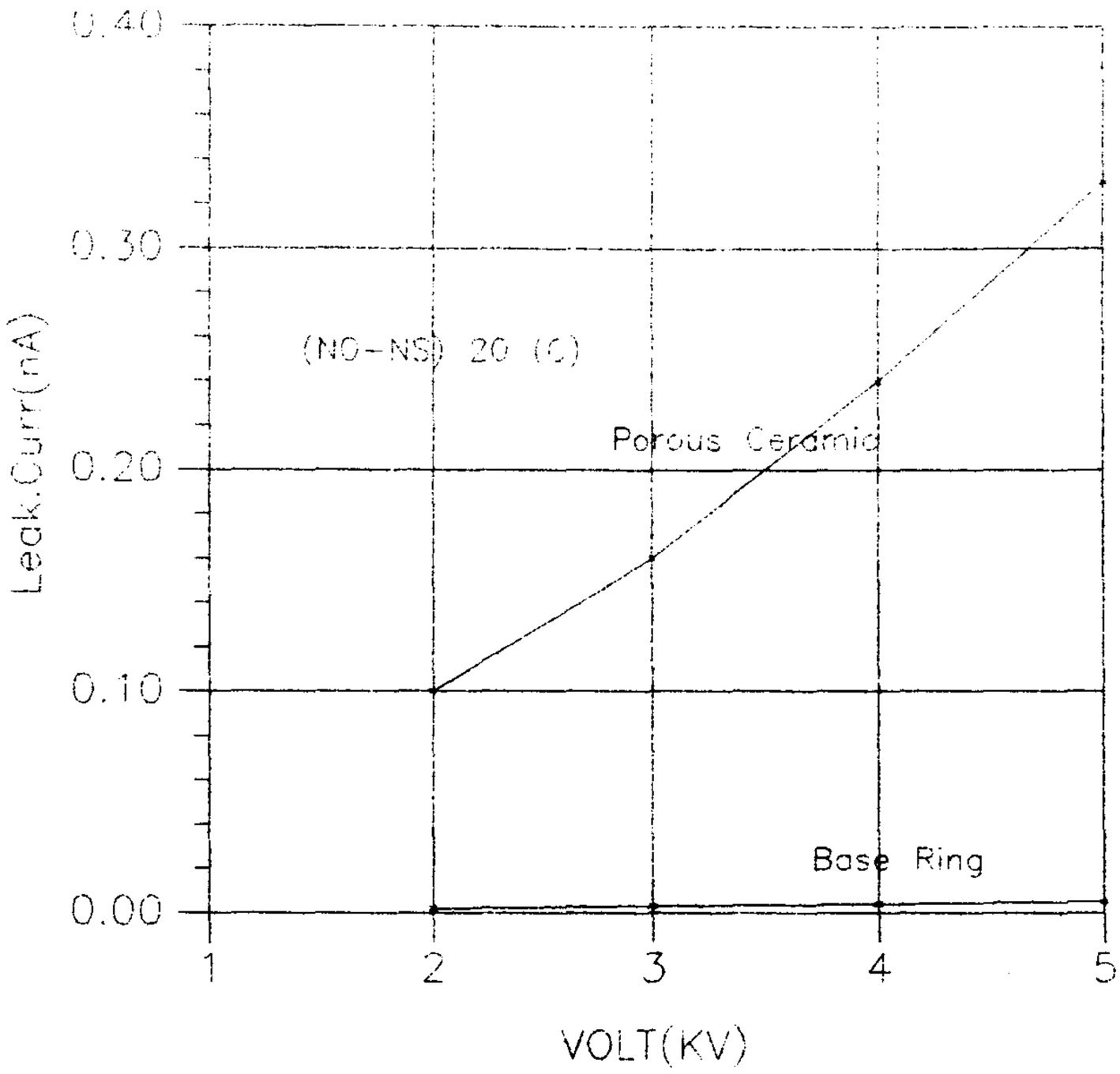



그림 3-21 센서의 表面 漏洩電流 그래프

(3) 센서에 가드링을 設置한 境遇의 比較試驗

(가) 試驗條件

- 絶 緣 油 : 劣化油 (DO)
- 시 료 : 劣化센서 (DS)
- 試驗溫度 : 23, 40, 50, 60, 70, 80℃

(나) 試驗方法

가드링은 固體絶緣體에 微小한 공격이 發生되었을 때 그 곳에서 發生되는 放電電流의 크기를 測定하기 위하여 設置하는 一種의 접지선, 漏洩電流를 이곳을

通하여 흐르게하여 그 漏洩 與否와 크기를 判斷하는 것으로 본 絶緣油 劣化센서의 連結部位와 지지기판에 흐르는 電流를 가드링으로 通하여 흐르게하여 實際 氣孔세라믹에 흐르는 電流와 相互 比較 檢出함으로써 絶緣油 劣化센서의 自體特性을 알아 볼 수 있다.

試驗方法으로는 그림 3-22와 같이 먼저 絶緣油 劣化센서의 지지기판과 氣孔세라믹 사이의 接續部에 가드링 導體를 넣고 그 위에 絶緣필림을 가드링 넓이보다 넓게 덮은 後 그 위에 電極을 固定시킨다. 그림에서는 그 形態를 斷面으로 나타내었다. 이 때 가드링 內徑은 47(mm), 氣孔세라믹 直徑은 54(mm)로 導電面積 比率을 計算하면 $(47)^2/(54)^2 = 0.757$ (75.7 %) 가 된다.

表 3-5는 가드링을 設置한 後 가드링 部分을 접지하여 測定하였을 때와 접지하지 않고 低壓側과 共通으로 하여 測定하였을 때를 比較하여 놓은 것으로 그 漏洩電流 通過 比率이 平均 80(%)임을 알 수 있어 거의 모든 電流가 氣孔사이로 흐름을 알 수 있다.

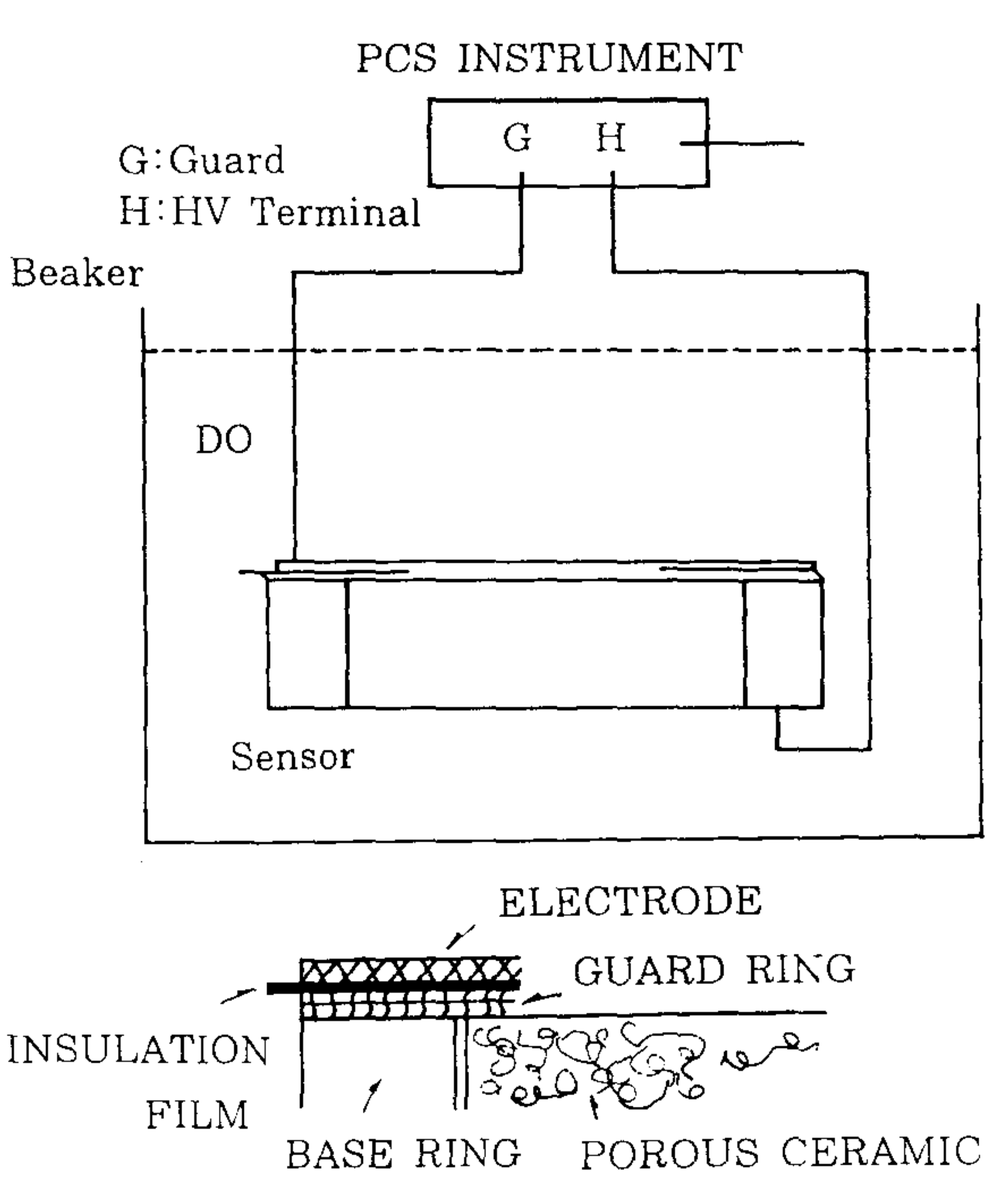



그림 3-22 가드링 設置 圖面

表 3-5 가드링 設置時 漏洩電流

(單位 : nA)

| 實 驗 溫 度 (℃) | DO - DS | 漏洩電流通過 比率 (%) |
|---|---|---|
| 23 | G 3.8, C 5.0 | 76 |
| 40 | G 6.5, C 7.5 | 87 |
| 50 | G 9.5, C 11.0 | 86 |
| 60 | G 12.8, C 15.5 | 83 |
| 70 | G 22.0, C 27.5 | 80 |
| 80 | G 30.0, C 44.0 | 68 |

그림 3-23은 表 3-5를 根據로 하여 그려진 그래프로 가드링을 設置한 境遇나 共通으로 測定한 境遇나 거의 비슷한 模樣으로 增加되는 趨勢를 나타낸다.

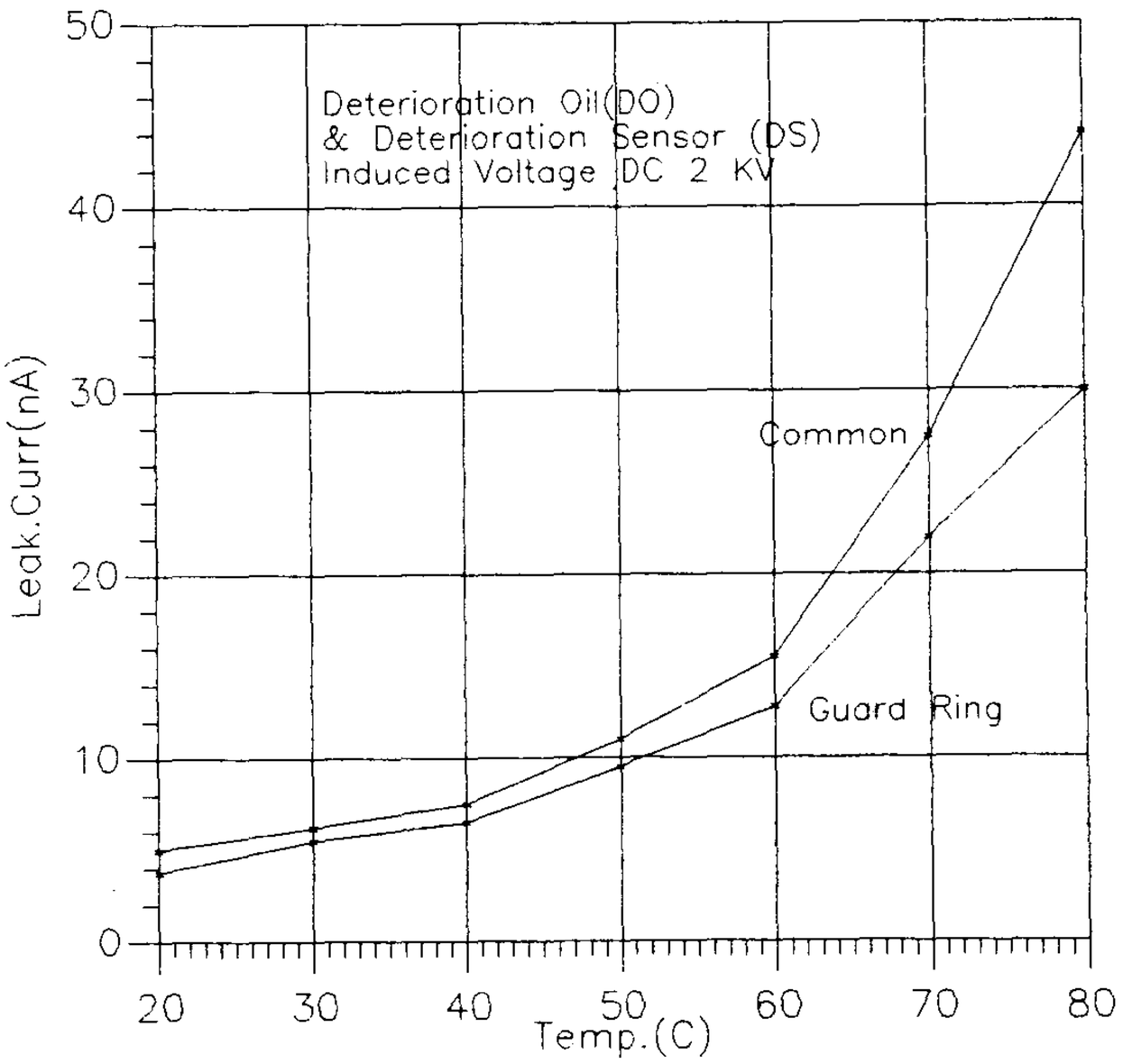



그림 3-23 가드링 設置時 漏洩電流 그래프

# 第4章　絶緣油 劣化 測定値 計測器 開發

## 第1節 概 要

本 變壓器油 劣化測定 System의 Block Diagram은 그림 4-1에 나타내고 그림 4-2는 測定프로그램 Flow Chart를 나타내어 보이고 있다.

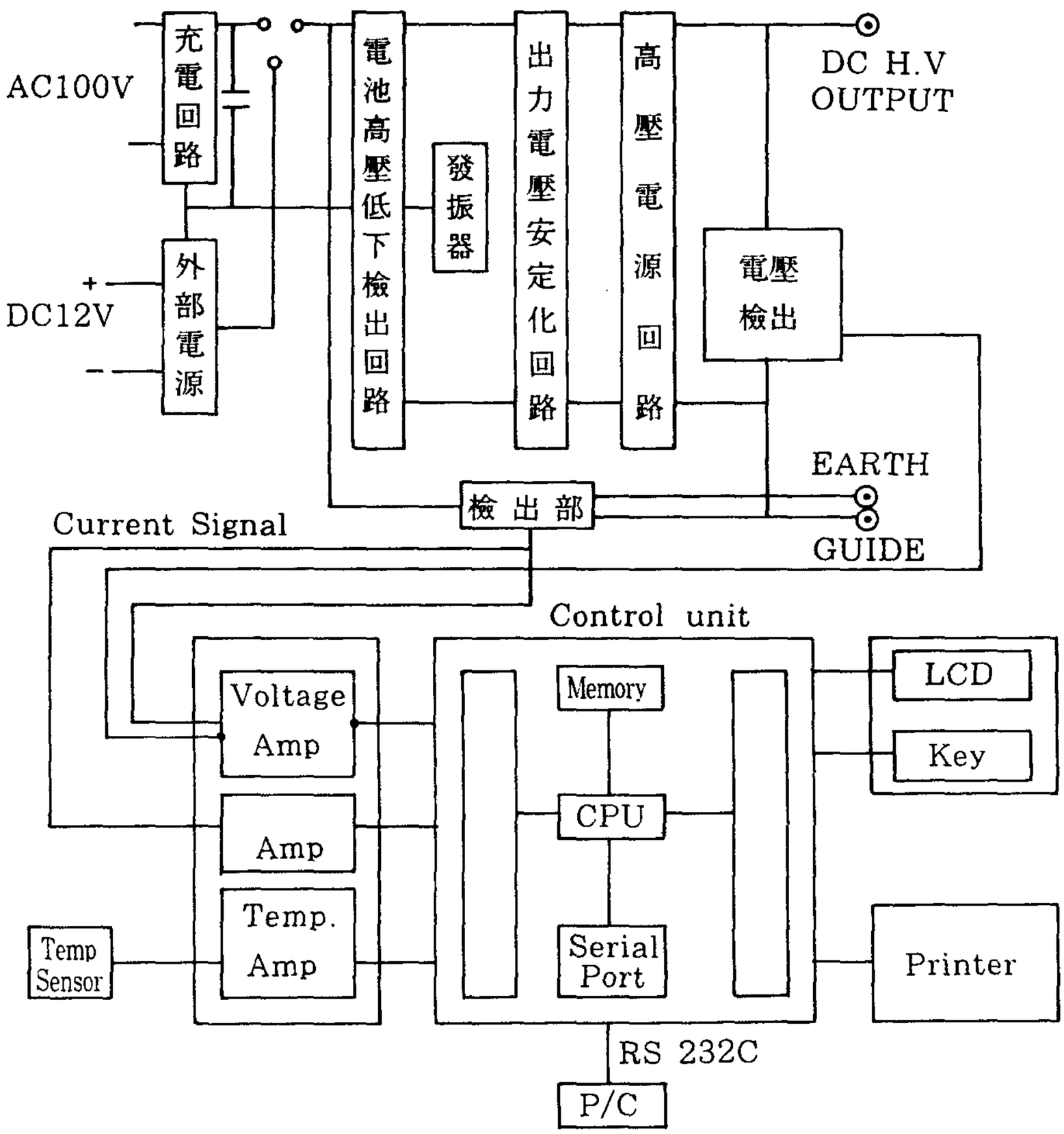



그림 4-1　變壓器油 劣化測定 시스템의 Block圖

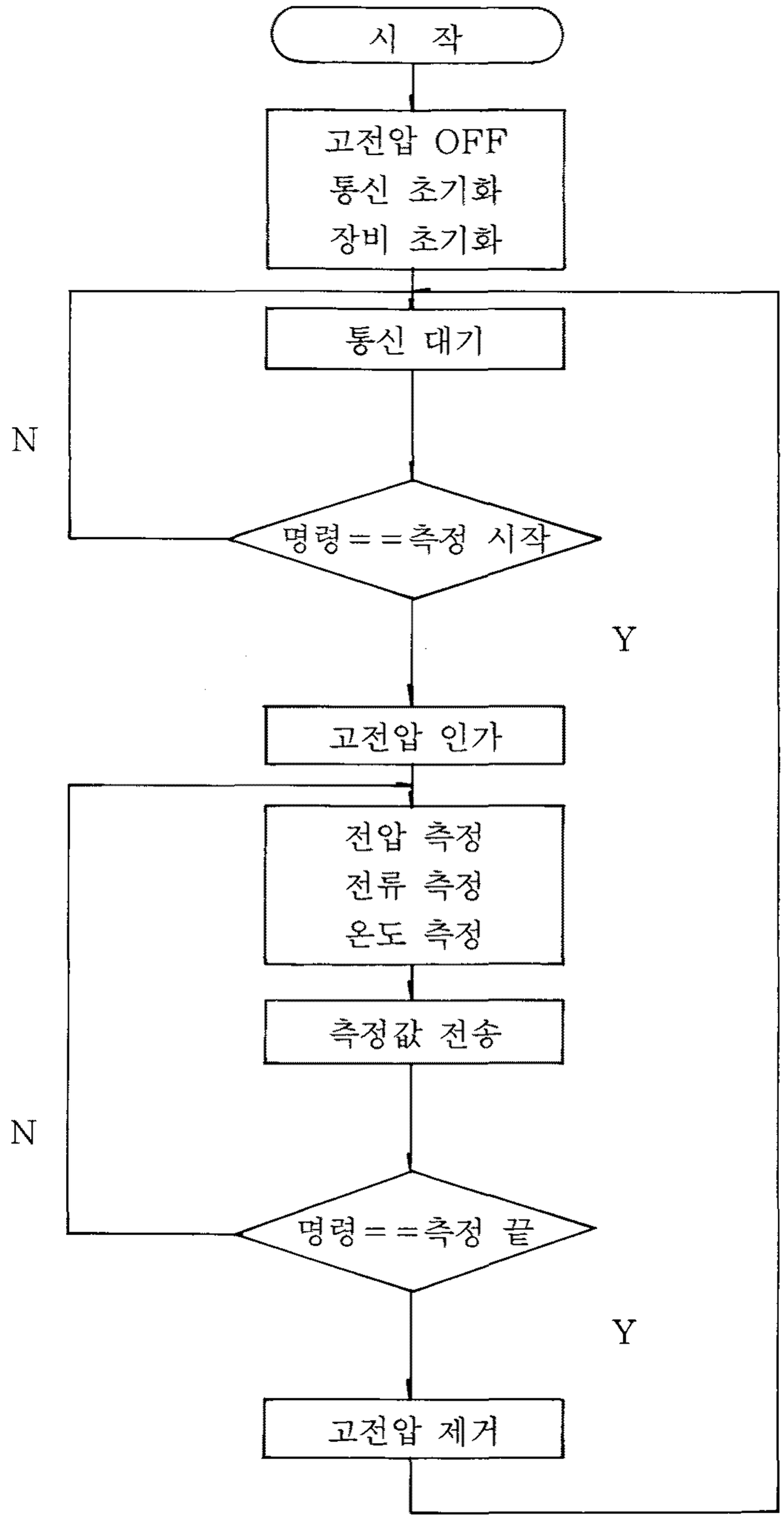



그림 4-2 測定 프로그램 Flow Chart

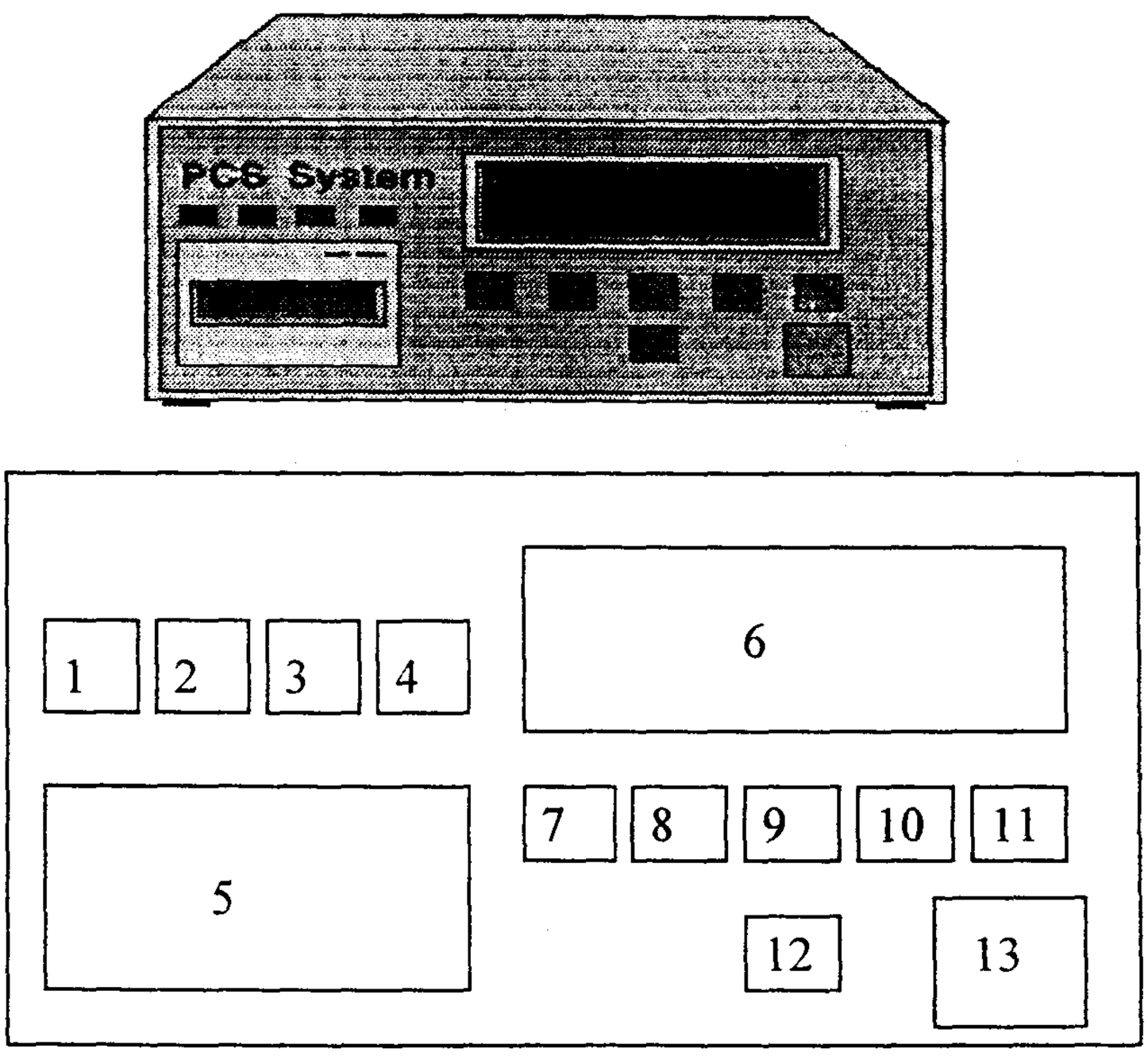
絶緣油 劣化 測定用 計測器의 直流 發生裝置는 高壓의 直流를 變壓器의 絶緣油 劣化 센서에 連結하여 劣化 程度 및 溫度 變化에 따른 電流變化를 測定하기 위해 使用된다. 溫度에 따라서 센서에 흐르는 電流量이 다르므로 測定時에 溫度와 電流를 함께 測定하고 이를 新油에서 測定한 電流의 差分을 表示한다. 이를 위해 變壓器의 絶緣油에 溫度센서인 Thermocouple을 함께 넣어서 溫度를 測定한다. 또, 電流와 電壓을 測定하고 貯藏하며 Key入力과 Data 表示 및 貯藏된 電流와 溫度를 PC로 電送하기 위한 Serial 通信 等을 위해 Intel 80C31을 主軸으로 計測器用 컨트롤 시스템을 構成하였다. A/D Conveter를 利用하여 Analog의 電流와 溫度를 Digital 값으로 變換하여 表示를 하며, 實驗을 通하여 測定한 新油의 溫度에 따른 電流를 ROM에 貯藏하고 있어서 測定된 電流

그림 4-3 測定 裝置의 實物 寫眞

에서 新油의 電流의 差分을 演算한 후 表示하는 役割을 하게 된다.

그 構成은 直流高壓 發生裝置, 電壓 表示裝置, 센서 電流 測定裝置, 溫度測定裝置, Intel 80C31의 制御裝置, RS232C의 通信 유니트, Key入力, Data 表示 裝置 및 프린트로 構成되어 있다. (그림 4-3)

그림 4-4는 測定裝置의 操作 판넬의 前面을 나타낸다.




- 1.POWER ON LED
- 2.LOW BATTERY LED
- 3.BATTERY CHARGE LED
- 4.MEASURE LED
- 5.PRINTER
- 6.LCD
- 7.ESC KEY
- 8.LEFT KEY
- 9.UP KEY
- 10.RIGHT KEY
- 11.ENTER KEY
- 12.DOWN KEY
- 13.POWER SWITCH

그림 4-4 測定 裝置의 操作 판넬(前面)

## 第 2 節　센서 信號 處理

프로그램 코드를 貯藏 할 메모리(ROM)와 I/O Port 및 Chip Select 信號를 發生시키기 위해서 WSI社의 PSD311C1을 使用하여 시스템 構成을 最小化하는데 努力하였다.

PSD311C1의 特徵을 간략히 살펴보면 I/O Port 內裝, Programmable Address Decoder 內藏 및 256 kb의 EPROM을 內藏하고 있어 시스템 開發時 期間을 短縮하고 單純化되어 安全性을 確保할 수 있다.

그림 4-5에 PSD311C1의 블럭다이어그램을 나타낸다.

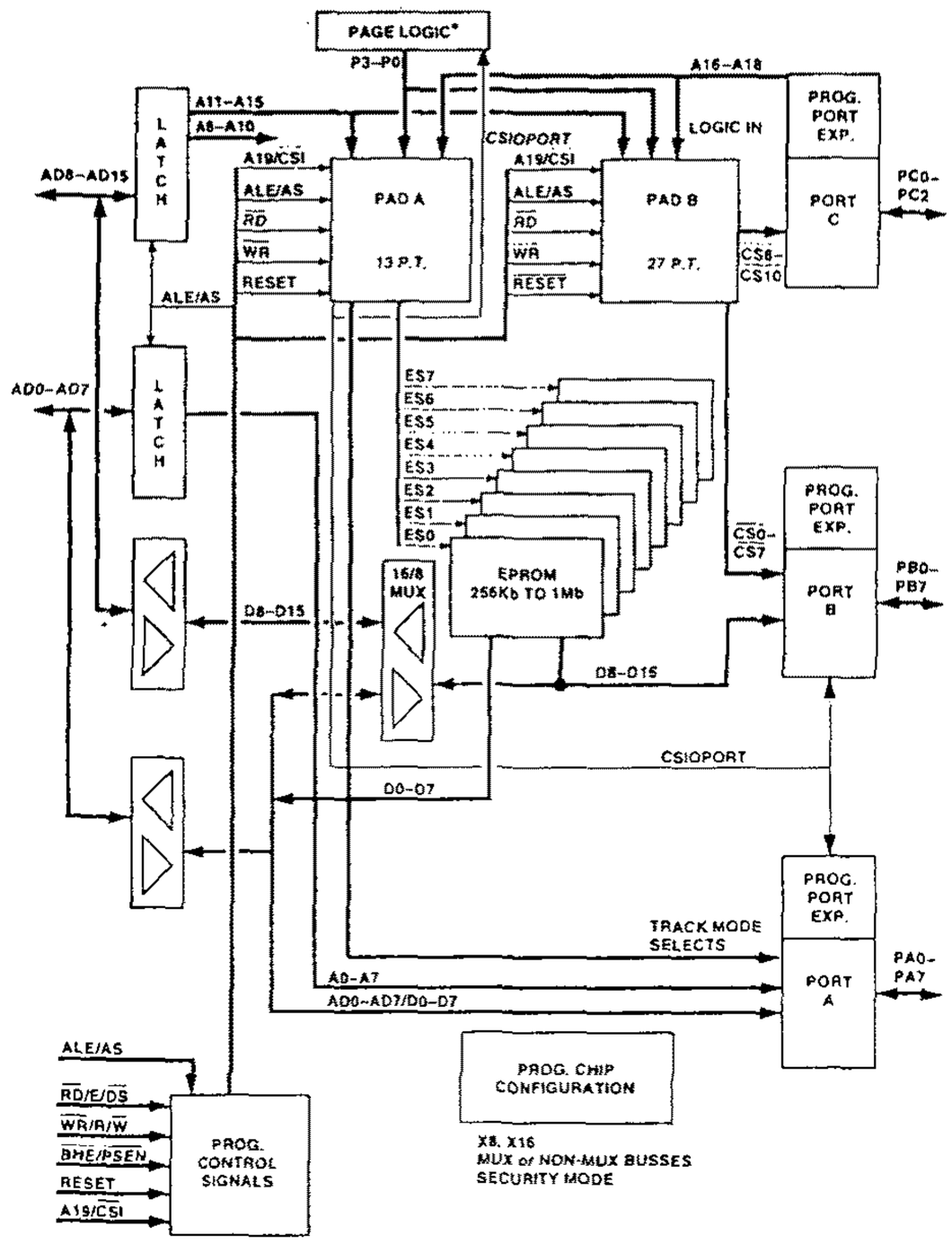



그림 4-5　PSD311C1의 블럭圖

測定 結果를 出力 및 貯藏時 結果와 함께 測定 時間을 記錄하기 위해서 Dalas社의 Real Time Clock IC인 DS1287를 使用하였다. DS1287은 外部 전원이 遮斷되어도 技能을 계속 修行하여 CPU나 프로그램의 演算 부담 및 誤差를 줄일 수 있다. DS1287의 블럭다이어그램을 그림 4-6에 나타낸다.

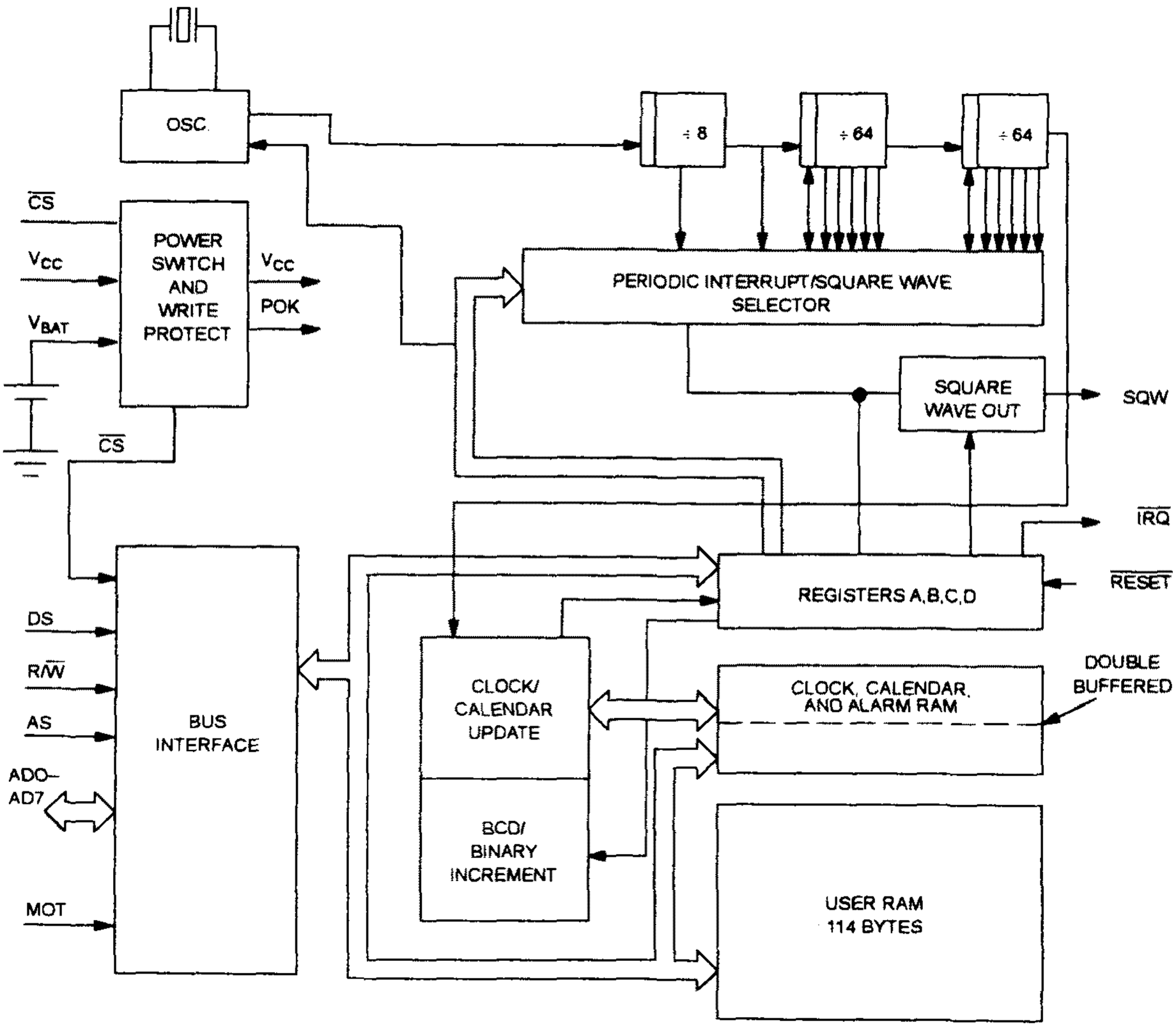



그림 4-6 DS1287의 블럭圖

計測器의 測定 狀態를 設定하기 위하여 Key 入力을 필요로 하며 이를 위해 74HC138의 Decoder 出力과 함께 3X2 Key Matrix를 構成하여 "方向 Key"와 "選擇"을 入力 받게 된다. 이를 그림 4-7에 나타낸다.

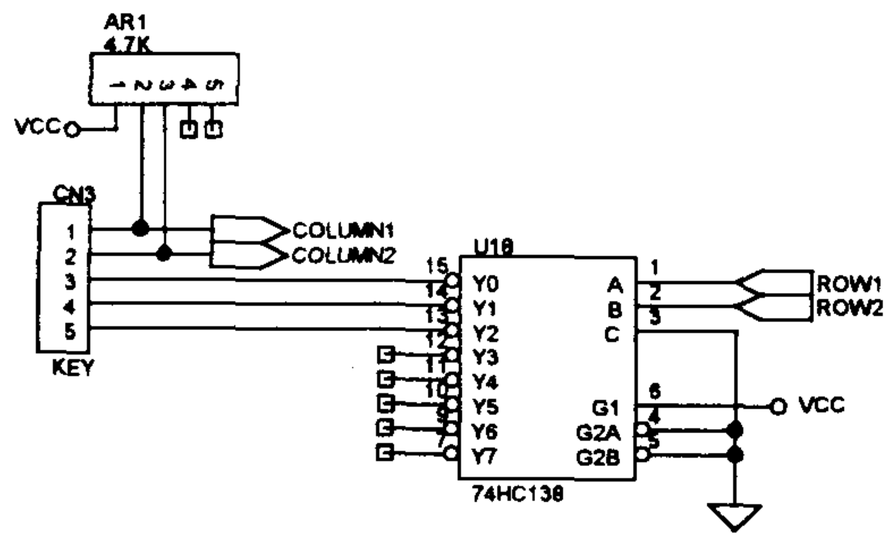



그림 4-7 Key Matrix 回路

가. 信號 測定 유니트

計測器에서 測定하는 아나로그 入力은 센서 양단간의 入力 電壓($J_1$), 센서에 흐르는 電流($J_2$) 및 測定 絶緣油 溫度($J_3$)로 이를 測定하기 위하여 Instrumention Amplifier를 使用하여 精密度를 높이고 노이즈 除去를 위해 Low Pass Filter로 構成하였다. 필터를 거친 信號는 Multiplexer를 거쳐 인덕실社의 4 1/2자리 이중적분형 A/D 컨버터에 入力된다. 실제 測定時 멀트플렉스드 BCD 데이터 出力을 利用하지 않고 16Bit Counter 回路를 構成하여 入力 레벨에 比例하는 클럭을 Count하여 이를 變換 完了時 CPU가 읽어서 實際 값을 計算하게 된다.

나. 컨트롤 유니트

計測器를 動作시키기 위해 Interl社의 80C31 One Chip Micro Countroller를 使用하였다. 80C31은 128byte의 RAM, 4×8bit의 I/O Port, 2개의 16bit Timer/Counter 및 Serial Port로 構成된 制御 專用의 CPU이다. 그림 4-8에 80C31의 內部 블럭 다이어그램을 나타낸다.

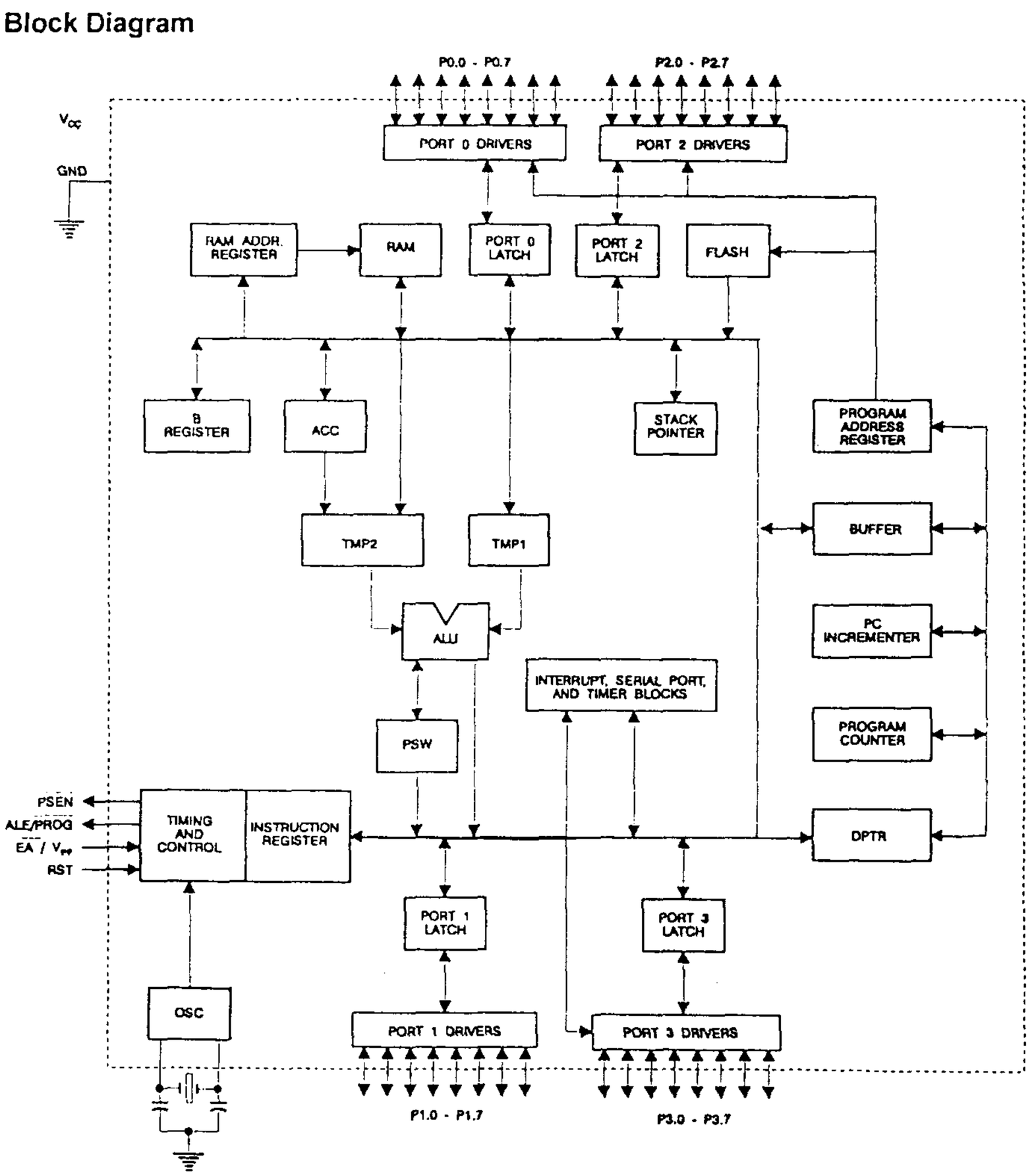



그림 4-8 80C31의 內部 블럭圖

Instrument Amplifier는 Analog Devices社의 AD620을 使用 回路를 構成하였다. Amp의 이득은 $G = 49.4\frac{k\Omega}{R_G} + 1$로 $R_G$ 양단에 抵抗을 連結하지 않을 境遇에는 이득 G=1이 된다. 本 回路에서는 이득을 1로 하고 設計하였다.

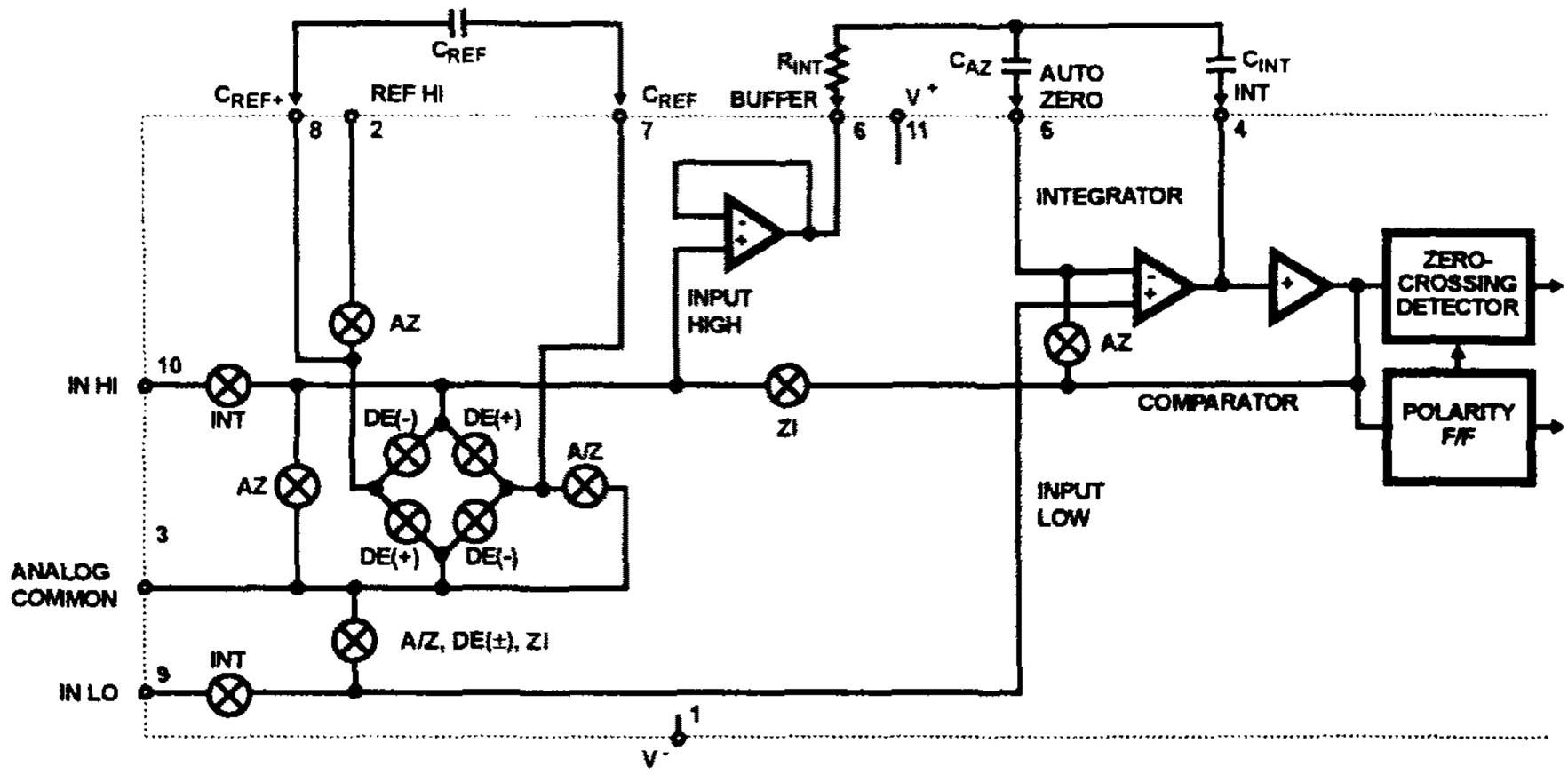
Multiplexer는 Analog Device社의 Quad SPST Switch인 ADG201A을 使用하여 한개 이상의 아나로그 信號를 절환하여 AD Converter에 入力한다.

AD Converter는 ICL 7135을 使用하였다. 그림 4-9에 ICL 7135의 블럭도를 나타낸다.

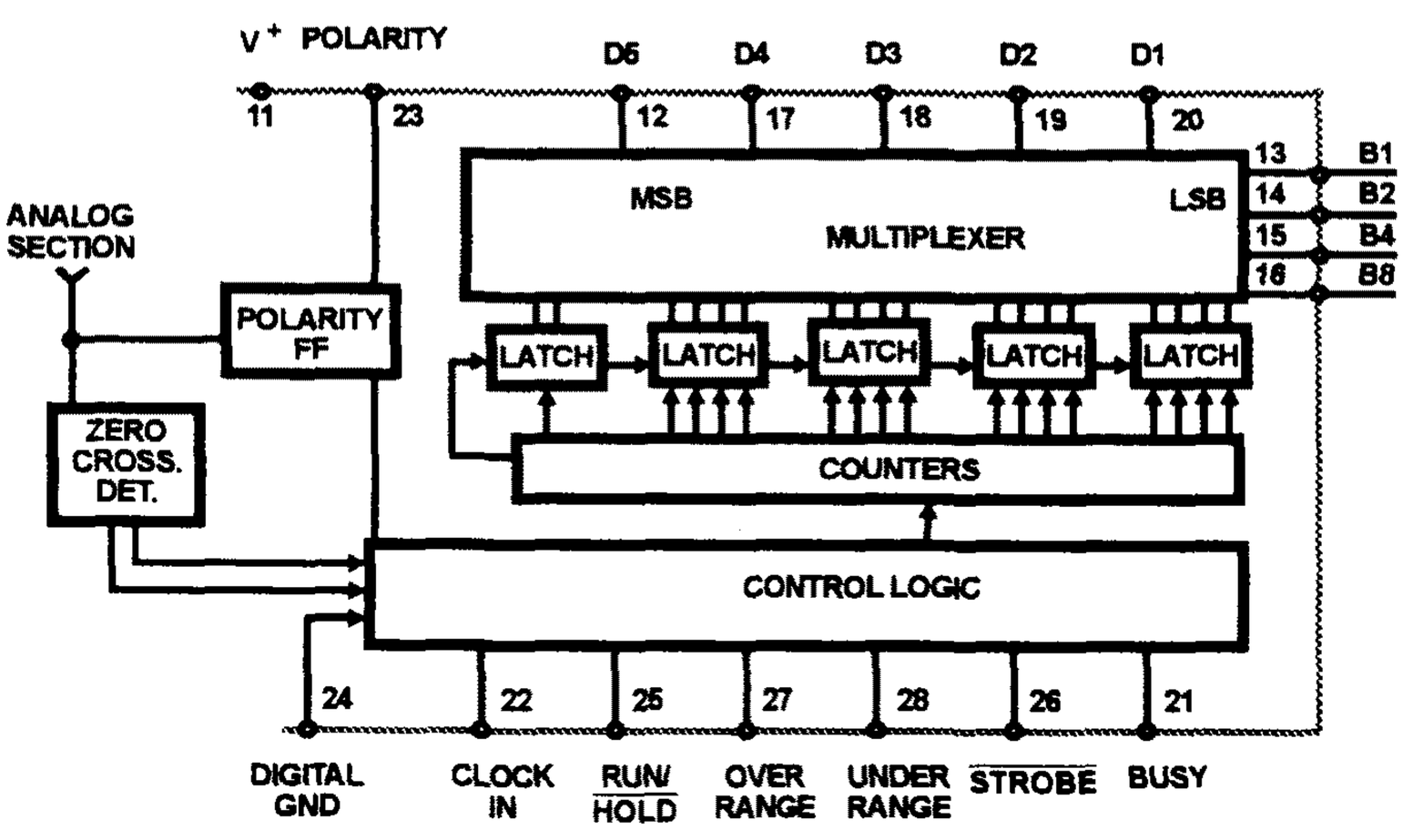
4 1/2자리 이중적분형 AD Converter의 動作 原理를 그림 4-10에 나타낸다. 10, 001 Count까지는 初期化하고 다시 10,000 Count까지는 入力 信號를 蓄積한다. 그리고 다시 蓄積된 信號를 放電하여 Zero Voltage가 될 때까지 Counting을 하게 된다. 이때 放電 Count 값은 入力 信號 레벨을 比例하게 되어 원하는 信號의 값을 디지탈 값으로 變換 시킬수 있게 된다. 最大 變換時 40,002 Count가 소요되며 120kHz를 Clock으로 入力할때 秒當 3回 變換을 할 수가 있게 된다. 또 그림 4-10(b)에서 10진 Count로 構成되어 演算時 變換을 必要로 하게 된다. 그래서 本 回路에서는 Busy 信號를 利用하여 外部 16bit 16진 Count를 構成하여 變換을 하고 있다. Busy 信號는 信號의 蓄積과 同時에 High가 되었다가 放電을 시작한 信號가 Zero가 되면 Low가 된다. 이때 Count 값에서 10,000을 빼 주면 實際 信號의 값이 된다.

RS-232에서 論理 "0"은 5~15〔V〕이며, 論理 "1"은 5~15〔V〕로 定義되어 있으므로 5〔V〕의 Logic用 電源이외에도 ±5~15〔V〕의 信號用 電源이 必要하나, 이러한 不便한 點을 해결한 Maxim社의 MAX232C IC를 使用하면 +5〔V〕單一電源으로 ±10〔V〕의 信號用 電源을 얻어 直列 信號를 送受信할 수 있다.

Serial 通信은 MCS-80C196의 Serial Port를 通하여 PC에 전하며 이때 데이타 轉送 形式은 8Bit, 1Stop Bit, No Parity Bit이고 送傳速度는 9600BPS이다.




(a) ICL 7135의 아나로그 部分




(b) ICL 7135의 디지탈 部分

그림 4-9 ICL 7135의 블럭圖

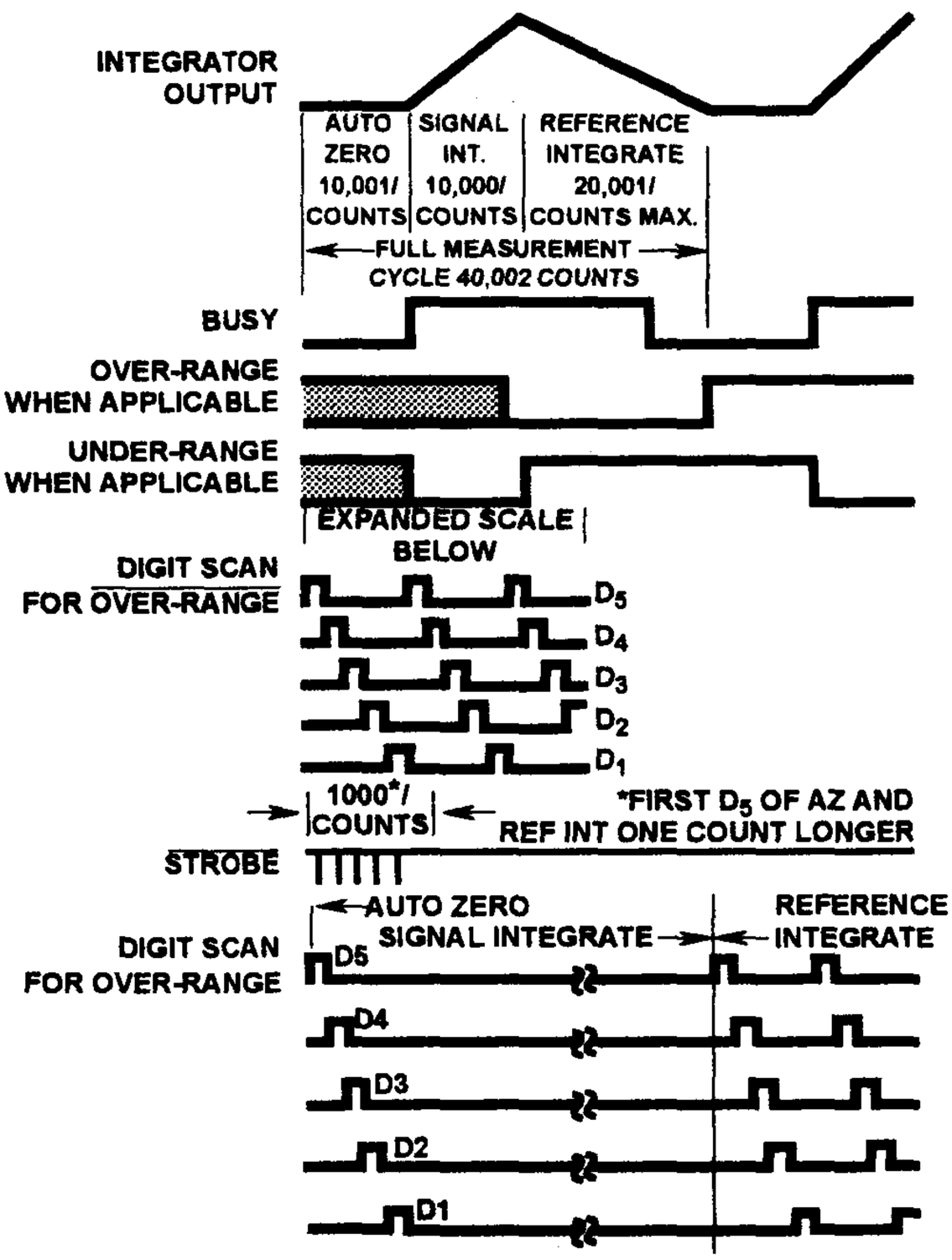



그림 4-10 이중적분형 AD 변환기의 原理

本 計測裝置와 IBM/PC의 RS-232C 케이블 連結法을 그림 4-11에 나타내었다.

表 4-1에 RS232C 9Pin Connect의 信號를 定義한다.

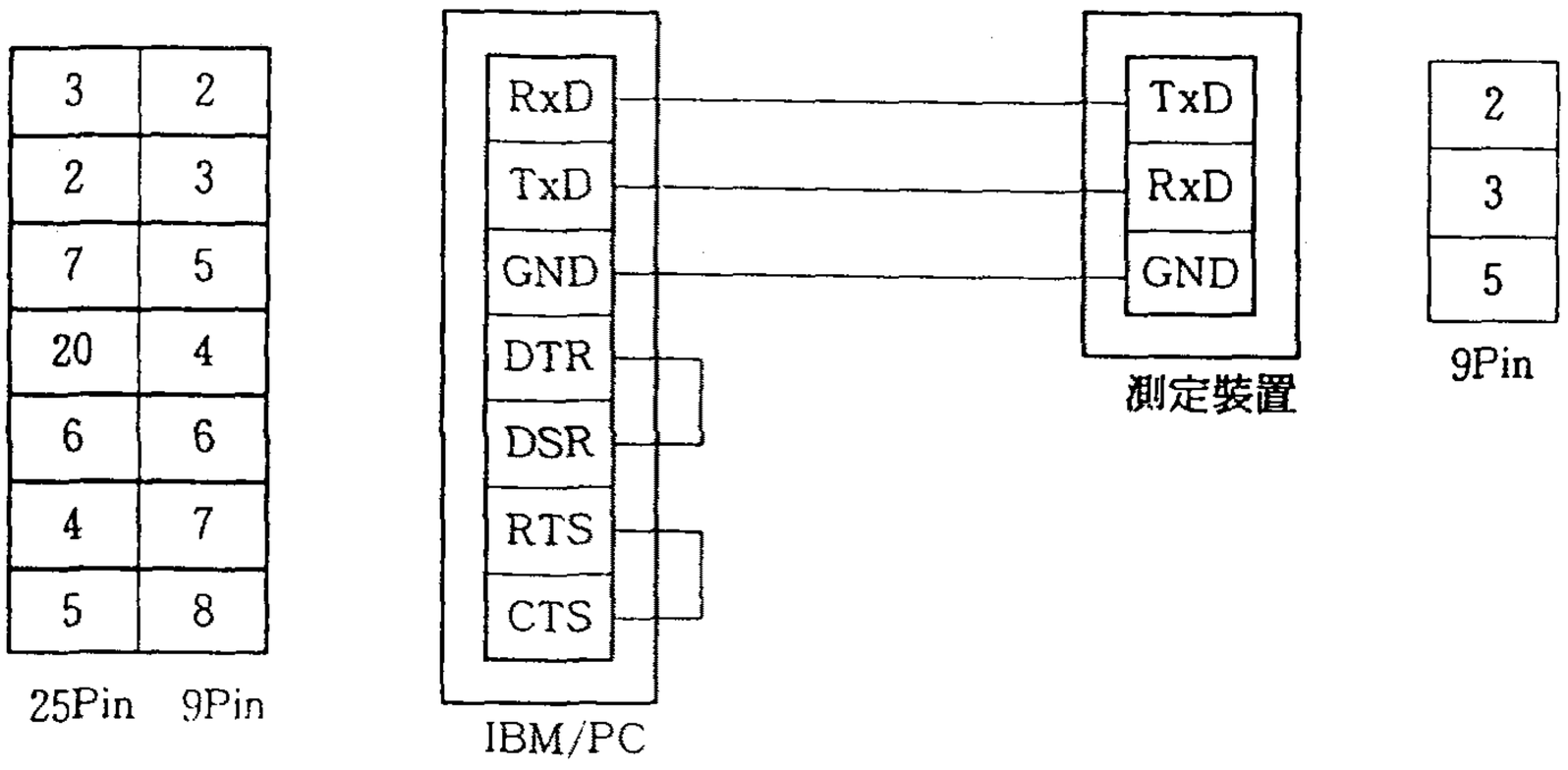



그림 4-11 RS-232C 케이블 連結法

表 4-1 9Pin Serial 인터페이스

| Pin 番 號 | 信 號 名 |
|---|---|
| 1 | CD |
| 2 | RxD |
| 3 | TxD(SD) |
| 4 | DTR |
| 5 | GND |
| 6 | DSR |
| 7 | RTS |
| 8 | CTS |
| 9 | RI |

### 다. SERIAL 인터페이스(RS-232C) 유니트

Serial 인터페이스란, 1Byte 즉 竝列(8Bit)의 데이타를 2個의 信號線으로 즉 直列(1Bit)로 送信하거나 受信하기 위한 컴퓨터간의 데이타 通信法이다. 이 通信의 인터페이스 信號 規程에 따라 RS-232C와 RS-485 規格의 인터페이스法이 있으며 IBM/PC에서는 RS-232C를 提供하고 있어서 本 計測 裝置에서도 RS-232C를 支援한다.

RS-232C 인터페이스 規格은 本來 데이터 端末裝置와 모뎀(Modulator Demodulator)을 接續하기 위한 것으로 PC에서는 RS-232C規格의 一部를 使用하여 그 接續을 簡略化하고 있다. 使用에 任해서는 그 省略된 部分에 充分히 注意할 必要가 있다. 이 轉送 레벨의 電氣的 規格은 아래 表 4-2와 같다.

表 4-2 RS-232C의 電氣的 規格

| 파 라 미 터 | | 條 件 | EIA RS232C | | | 單位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | MIN | TYP | MAX | |
| 드라이버 出力 오픈서킷 電壓 | $V_{OH}$ | 無負荷 | | | 25 | V |
| | $V_{OL}$ | | -25 | | | V |
| 드라이버 出力 負荷電壓 | $V_{OH}$ | $3k\Omega \leqq R_L \leqq 7k\Omega$ | 5 | | 15 | V |
| | $V_{OL}$ | | -15 | | -5 | V |
| 電源 오프서의 드라이버 出力 임피던스 | $R_o$ | $-2V \leqq V_O \leqq 2V$ | 300 | | | $\Omega$ |
| 드라이버 出力 短絡 電流 | $I_{OS}$ | | -500 | | 500 | mA |
| 드라이버 出力 스루레이트 | | | | | 30 | $V/\mu s$ |
| 리시버 入力 임피던스 | $R_{IN}$ | $3V \leqq V_{IN} \leqq 25V$ | 3k | | 7k | $\Omega$ |
| 리시버 入力 電壓 | $V_{IH}$ | | 25 | | | V |
| | $V_{IL}$ | | | | -25 | V |
| 리시버 入力 開放電壓 | | | -2 | | 2 | V |
| 리시버 入力.스레숄드 | MARK | | -3 | | | V |
| | SPACE | | | | 3 | V |

각 핀의 役割은 다음과 같다.

- FG(Frame Ground : 1)
  - 器機에 連結하는 어스 라인
- TxD(Transmitted Data : 2)
  - 시리얼 데이터의 送信線, 出力은 電壓이다.
- RxD(Received Data : 3)
  - 시리얼 데이터의 受信線, 入力은 電壓이다.
- RTS(Request To Send : 4)
  - 送信要求, 데이터의 送信을 要求하기 위한 制御線이다.
- CTS(Clear To Send : 4)
  - 送信許可, RTS에 對한 應答신호
- DSR(Data Set Ready : 6)
  - 데이터 터미널이 DSR과 마찬가지로 OK인가를 調査한다.
- CD(Carrier Detect : 8)
  - 캐리어 檢出, 이것은 모뎀등의 캐리어가 受信되고 있는가를 調査한다.
- SG(Signal Ground : 7)
  - 信號線의 어스.

非同期 方式의 送受信 Data Format을 그림 4-12에 나타내었다. 이 波形은 TTL 레벨의 出力波形이며 線路의 波形은 反轉 出力된다.(그림 4-13)

라. 溫度測定

工業用 溫度計로서 널리 使用되고 있는 Thermocouple은 다른 種類의 金屬, A, B의 兩端을 그림 4-14(a)와 같이 接合해서 양 接合點에 溫度差를 주면 그

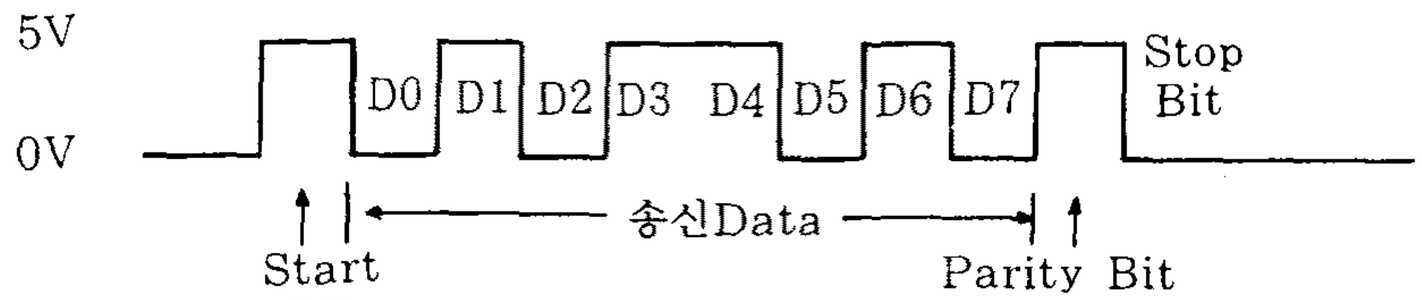



그림 4-12 Serial Data Format

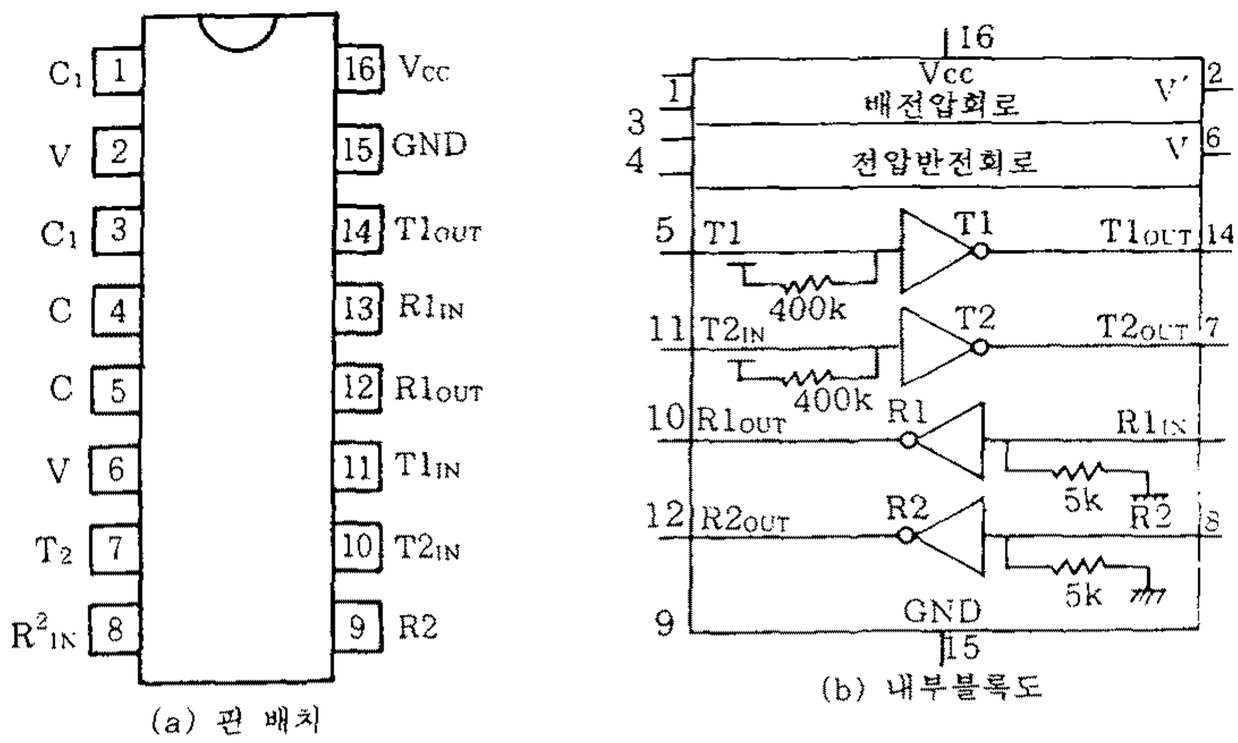
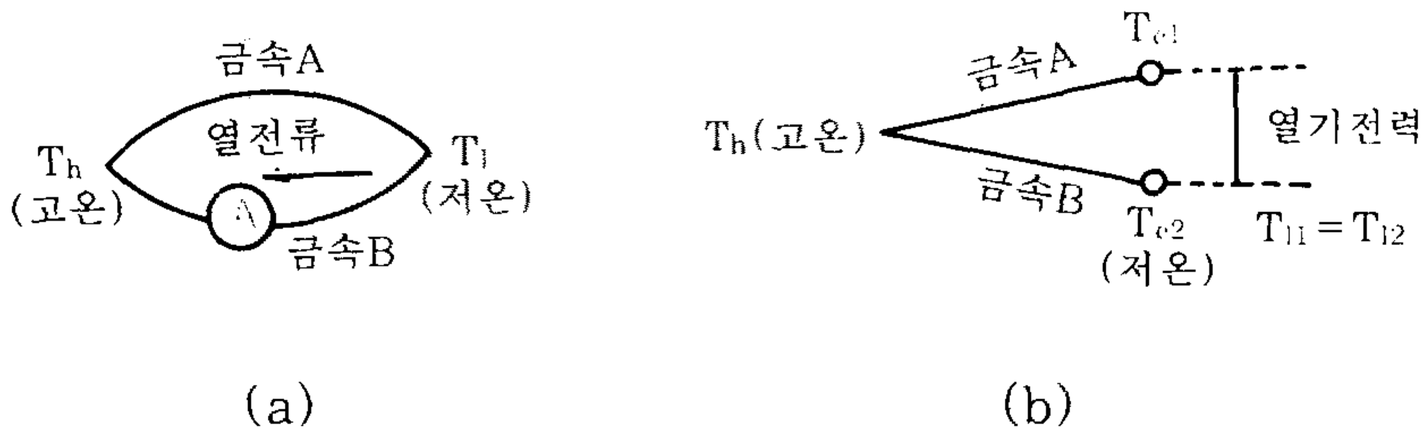



그림 4-13 MAX232C의 핀 配置 및 블럭圖

사이에 招電力을 일으켜 回路에 熱電流가 흐른다. 이 熱電效果를 發見者의 이름을 따서 제어벡(SeeBack)效果라고 한다. 熱電流의 크기는 回路의 抵抗에 의해서도 變化하는데 그림 4-15(b)와 같이 切斷하면 切斷點에는 熱氣電力을 發生하고 그 크기는 2種의 金屬 種類와 兩接點의 溫度에 의해 定해지고 金屬의 形象이나 値數 및 途中의 溫度 變化에는 影響을 받지 않는다.

따라서 2種의 金屬 種類와 熱起電力 自體는 매우 微少하므로, 信號 處理系의 構成에는 細心한 注意가 있어야 한다.

現在 實用化되어 있는 Thermocouple으로는 JIS C1602-1981에 規格化된 7種類인 B, R, S, K, E, J 및 T가 가장 一般的이다.




(a) (b)

그림 4-14 Thermocouple의 原理

그림 4-15에 JIS에 規定된 Thermocouple의 熱起電力 特性을 나타내고 非. 直線 誤差를 그림 4-16에 나타낸다. 그리고, 各種 Thermocouple의 特徵은 表 4-3에 나타낸다.

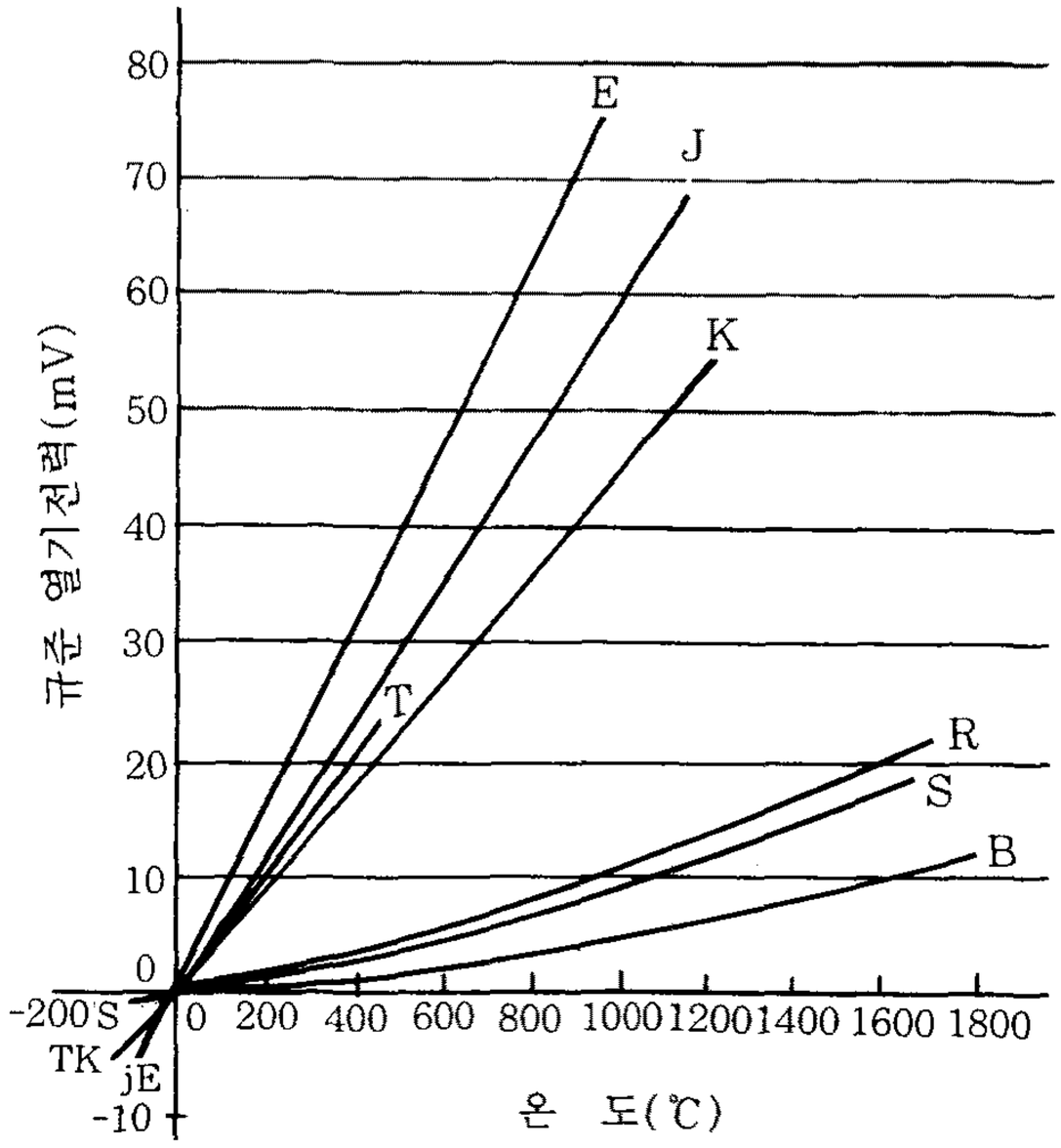



그림 4-15 Thermocouple의 熱起電力 特性

表 4-3 Thermocouple의 各各의 特徵

| 熱電雙種類의 記號 | 構成材料 | | 特徵 | 缺點 |
|---|---|---|---|---|
| | + | - | | |
| B | 로듐 30% 나머지 白金 | 로듐 6% 나머지 白金 | 1. 1700℃까지의 高温 測定可能<br>2. R에 比해 安定性이 좋음<br>3. R에 비해 還元性ㅇ 雰圍氣 中에서의 劣化가 작음<br>4. 報償 導線이 劣化가 작음 | 1. R에 比해, 단단하여 加工이 어렵다.<br>2. 價格이 高價 |
| R | 로듐 13% 나머지 백금 | 백 금 | 1. 程度가 높고 分散이나 劣化度 적다.<br>2. 耐藥品性 耐酸化性 良好<br>3. 標準用으로서 使用 可能<br>4. 1000℃以上의 高温 測定이 가능<br>5. 電氣 抵抗이 낮다. | 1. 감도가 좋지 않다.<br>2. 招電力 特性의 直線性이 좋지 않다.<br>3. 還元性 雰圍氣에 약하다.<br>4. 0℃以下의 低温 測定 不可能<br>5. 價格이 高價 |
| (PR) | 로듐 12.8% 나머지 백금 | 백 금 | | |
| S | 로듐 10% 나머지 백금 | 백 금 | | |
| K (CA) | 크롬 10% 나머지 니켈 (크로멜) | 알루미늄, 망간 규소 等 小量 나머지 니켈 (황산 알루미늄) | 1. 熱起電力 特性의 直線性이 좋다.<br>2. 1000℃以下에서 耐酸化性 良好<br>3. 卑金屬 熱電雙으로서는 安全性 良好 | 1. 還元性 雰圍氣에 약하다.<br>2. 貴金屬 熱電雙에 比較해서 傾斜變化가 크다.<br>3. 비(卑)金屬 熱電雙으로서는 高價<br>4. 電氣抵抗이 있다. |
| E (CRC) | 크롬 10% 나머지 니켈 (크로멜) | 니켈 45% 나머지 구리 (콘스탄탄) | 1. 感度가 現在 使用의 熱電雙 中에서 最高<br>2. J에 比較해서 耐蝕 耐熱性 良好<br>3. K에 比較해서 저렴<br>4. 兩脚非磁性 | 1, 還元性 雰圍氣에 약하다.<br>2. 電氣抵抗이 높다. |
| J (IC) | 철 | 니켈 45% 나머지 구리 (콘스탄탄) | 1. 還元性 雰圍氣에서 使用可能<br>2. K보다 2%程度 感度가 높다.<br>3. K,E에 比較해서 저렴 | 1. 特性에 分散이 크다.<br>2. 鐵이 녹슬기 쉽다. |
| T (CC) | 구리 | 니켈 45% 나머지 구리 (콘스탄탄) | 1. 저렴해서 入手가 容易함<br>2. 極低温 測定이 可能<br>3. 가는線 加工이 容易함 | 1. 最高 使用 温度가 낮다.<br>2. 銅이 酸化하기 쉽다.<br>3. 電氣抵抗이 --에서 크게 다르다. |

(*) IEC 및 JIS(1981)에서 定해진 記號 괄호內는 구 JIS記號

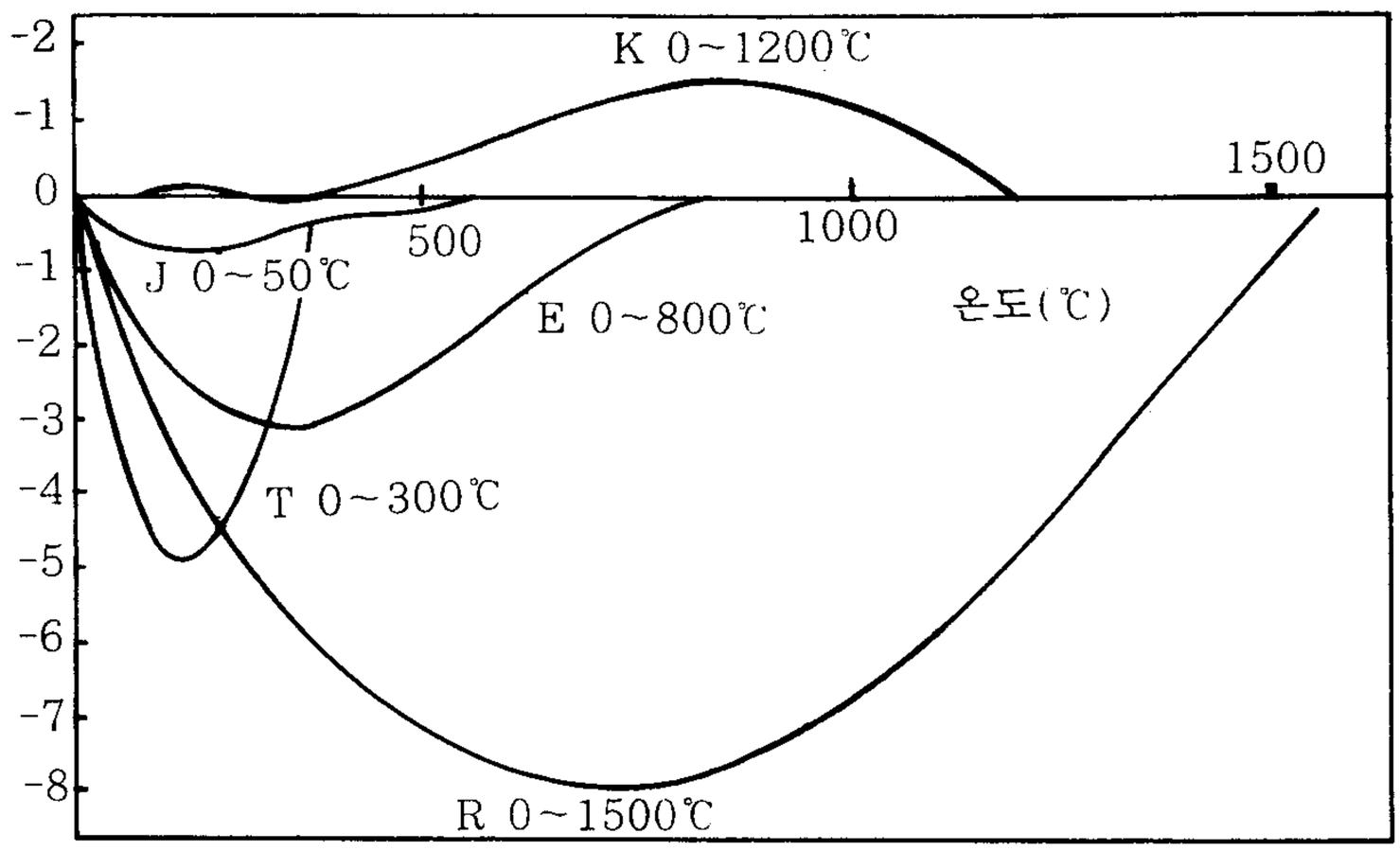



그림 4-16 Thermocouple의 非直線 誤差

## 第 3 節　絶緣油 劣化 診斷裝置 比較

### 가. CRIEPI側에서 開發된 診斷裝置

當 硏究所에서 開發된 絶緣油 劣化裝置는 그 構成回路 및 原理는 1, 2次年度 硏究課題에서 詳細히 旣述되었기 때문에 이 章에서는 이의 言及은 省略하고, 相對國 共同硏究 機關인 日本電力中央硏究所에서 開發된 計測器의 測定시스템에 대해서 살펴본다.

그림 4-17은 計測器의 測定시스템을 나타낸 것으로 變壓器 內部의 絶緣油 속에 絶緣油 劣化센서 및 溫度센서를 넣은 後 測定리이드 線을 分離된 동대를 通하여 端子處理를 한다. 計測器 內部에는 最大 10 KV까지 出力을 낼 수 있는 高壓用 DC 變壓器가 內藏되어 있다. 低周波 遮斷用 Low-pass filter(10 HZ)가 있어 電源測 노이즈를 除去할 수 있도록 하였다. 그 앞단에는 1(MΩ)의 抵抗을 連結하여 電流를 制限한다. 본 計測器에서 가장 重要한 事項은 電源測 노이즈를 除去하는 것으로 Nano Ampere 微細한 電流를 計測하기 위해서는 그 電流値에 對應하는 노이즈 電源을 없앨 必要가 있다.

電壓 모니타의 倍率은 10 KV/10V, 0.1%의 誤差를 가진 매우 精密級의 計器이다. 그외 GP-IB를 使用한 데이타 處理등은 通常 많이 使用되고 있는 시스템을 그대로 適用하였다.

全體構成에서 마이크로 칩을 使用한 LED 表示裝置로 簡潔하고 使用이 便利한 機器로 構成되어 있다.

CPU 및 Memory 構成은 美國 Motoroller製 MC 68332 칩을 使用하였고 1 Mb 메모리 容量을 가지고 있다.

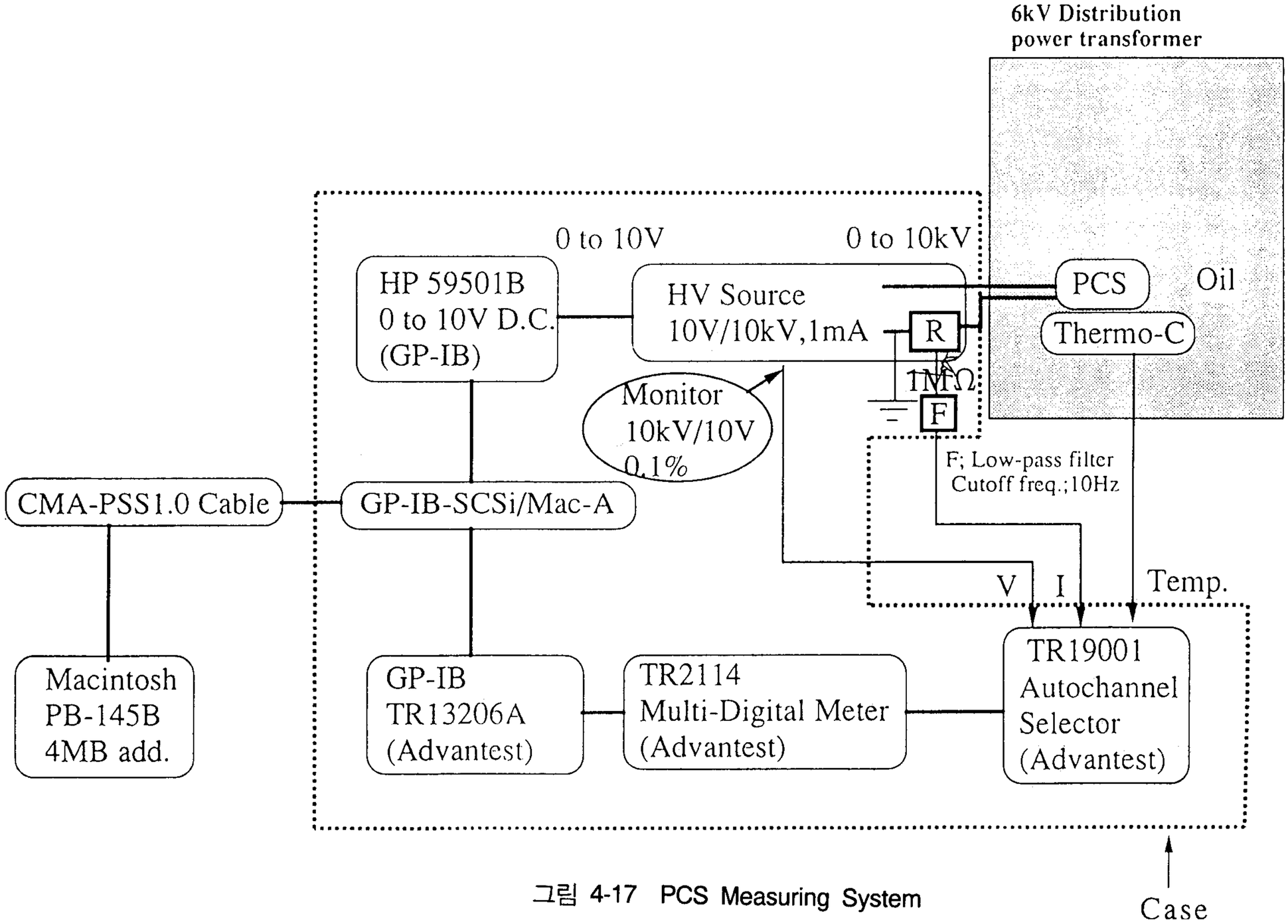



그림 4-17 PCS Measuring System

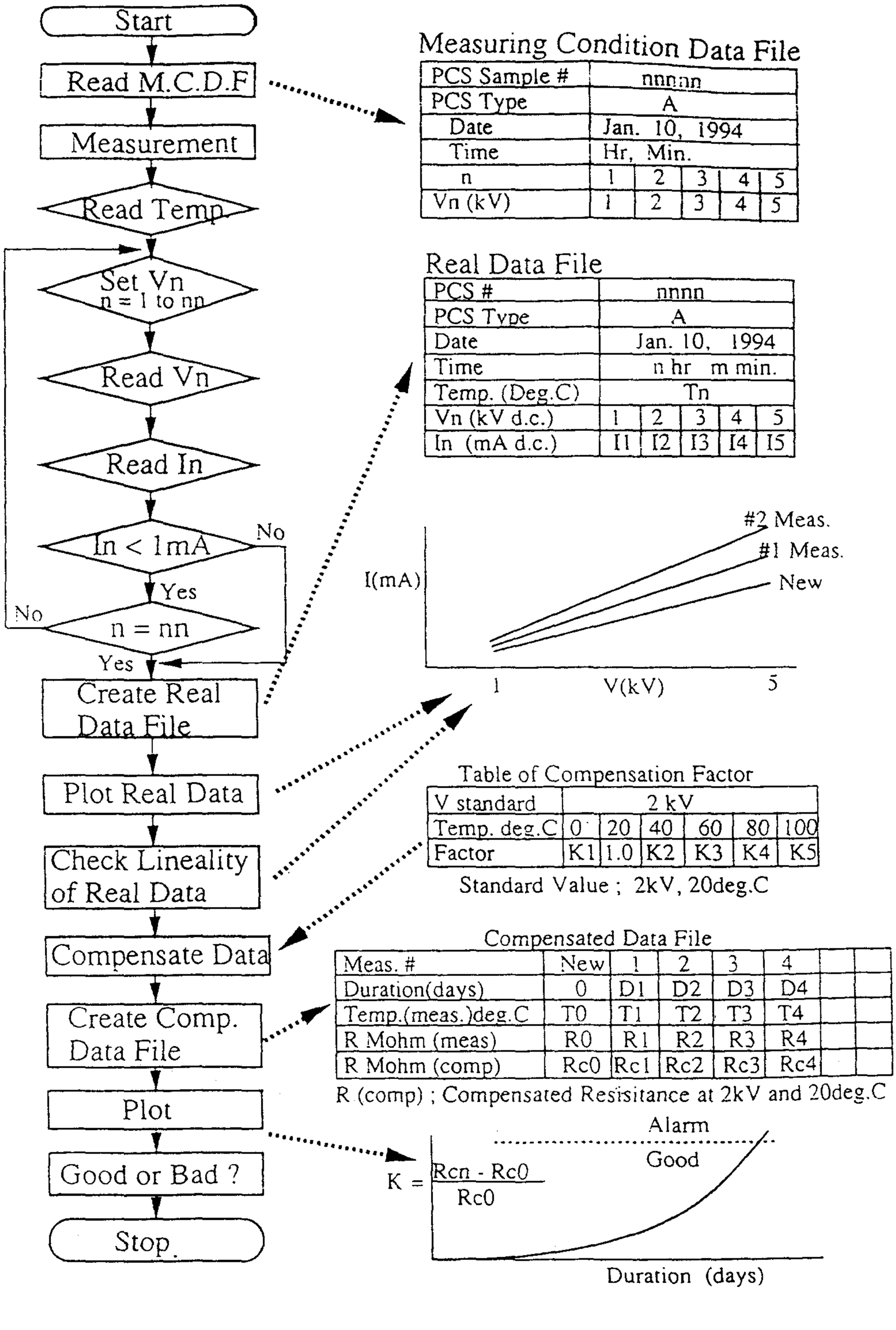



그림 4-18 Software Algorism of PCS System

電流, 電壓, 溫度 測定은 Linear回路를 構成시켜 ICL-7135 ($4^{1/2}$)用 A/D Converter를 採用해 入力端의 測定部와 Link되어 電流(I)와 電壓(V) 및 溫度(T)를 Linear Amp를 通하여(Mux 使用) 測定하도록 되어있다. 外部 Data Input Key는 8個의 Key로 構成되어있다.

시스템의 알고리즘은 그림 4-18과 같은 Block圖를 나타낸다. 그림에서 알 수 있다시피 PCS 샘플 番號, 測定 日字, 時間, 電壓 크기, 電流 등을 읽어내어 電流가 1(mA) 보다 적음을 確認한 後 File을 形成한다. 이것을 利用하여 實際 데이타를 읽고 난 後 補償값에 대한 교정을 한 後 絶緣油의 "良" "不良"을 判定한다.

이러한 過程은 全體的인 測定 알고리즘이나 計測器 內部의 補償값 處理에 대한 알고리즘을 構成시키기 위해서는 교정曲線 값을 CPU內의 메모리에 貯藏시킨 後 比較回路를 利用하여 處理된 값을 外部에 Display 시킬 수 있어야한다. 日本側 計測器는 補償 정수 K를 使用하였으나 當所에서 製作된 計測器의 補償技法은 各 溫度에 對應하는 漏洩電流 값을 일일이 넣어 貯藏시킨 점이 그들의 것과 다른 점이다.

### 나. 絶緣油 劣化檢出裝置 比較

當 硏究所에서 開發된 計測器와 相對國 日本電力中央硏究所에서 開發된 計測器를 相互 比較하여 보았다. 本 硏究의 主 目的이 計測器 開發에 있기 때문에 相互 比較하여 問題點을 導出해 내고 改良된 回路를 選擇한다는 것은 매우 重要하다. 表 4-4는 當 硏究所(KERI)와 日本電力中央硏究所(CRIEPI)에서 開發된 計測器의 主要 仕樣과 特徵을 나타낸다. 그림 4-19에서 4-21까지는 KERI에서 만든 測定器 回路圖이다. 附錄 2는 CRIEPI에서 製作된 回路圖이고 附錄 3은 데이타를 貯藏한 후 P/C로 處理되는 Software 設計의 프로그램을 收錄하여 놓았다. 프로그램 內容 속에는 計測器 데이타를 P/C로 처리할 수 있는 初期 畵面 및 測定 畵面에 관련된 프로그램이다.

表 4-4 計測器 比較表

| 區分 | 內 容 | K E R I | CRIEPI |
|---|---|---|---|
| 1 | 全體構成 | μ-chip를 使用한 LCD表示裝置로 簡潔하고 使用이 簡便한 機器로 構成되어 있다. | 左 同 |
| 2 | CPU 및 MEMORY 構成 | 圖番 그림 4-19와 같이Intel 8032 chip과 Memory 256 Kb를 使用하였음 | 圖番 CRIEPI-1/3과 같이 美製 모토로라 MC 68332칩과 Memory 1Mb를 使用하여 프로그램 수용을 KERI에 비하여 擴張 시켰다. |
| 3 | 電流, 電壓, 溫度의 測定回路 | 그림 4-20과 같이 linear 增幅을 2중 積分方式으로 하였고 Multi Channel用 A/D Converter를 거쳐 A/D 變換後 CPU에 링크 | 圖番 CRIEPI-2/2와 같이 ICL - 7135 ($4^{1/2}$ Digit)用 A/D Converter를 採用해서 入力端의 測定部의 링크. 電流, 電壓, 溫度 등은 Linear Amp를 通하여 절체, 測定하도록 A/D를 構成 |
| 4 | 外部 Data Inputkey 構成 | 圖番 그림 4-21과 같이 5個의 Push 버턴으로 構成 | Key 構成은 圖番 CRIEPI-3/3과 같이 8個의 Key로 構成 |
| 5 | 外部 通信機器와의 링크 | RS232C 通信方式으로 外部機器와 直接 링크시킴 | 左 同 |

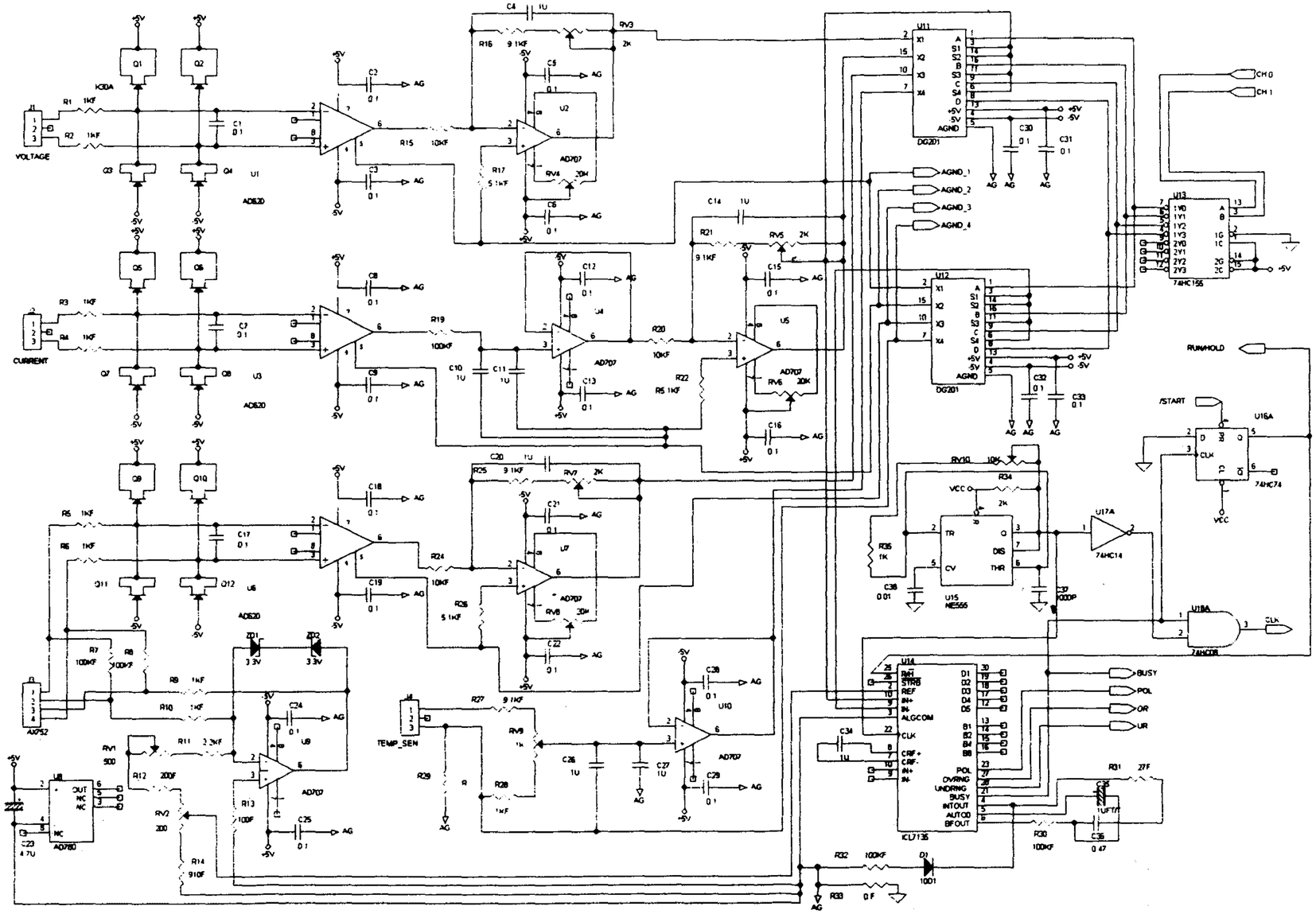



그림 4-19 ANALOG Circuit

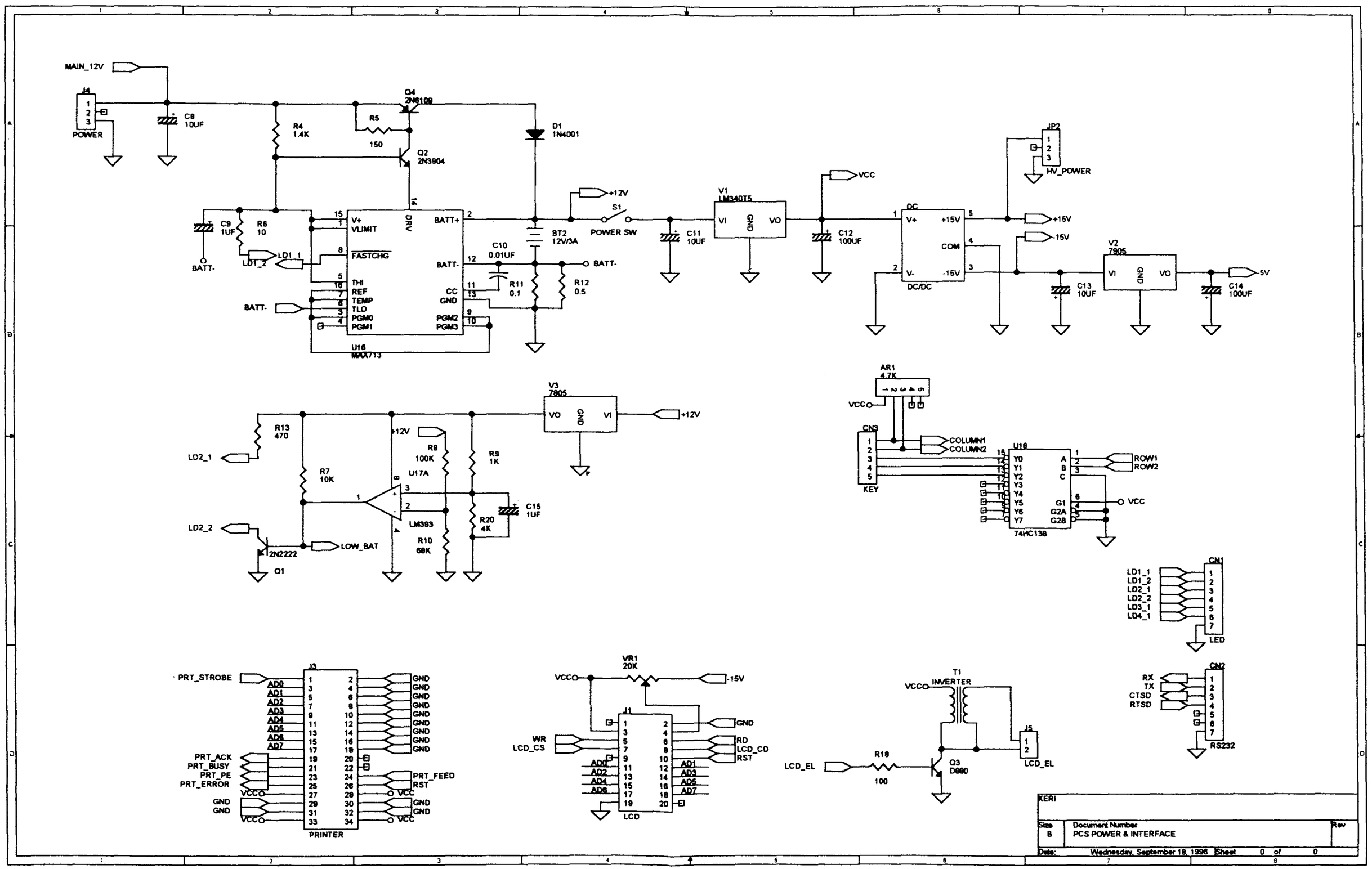



그림 4-20 PCS Power & Interface (1)

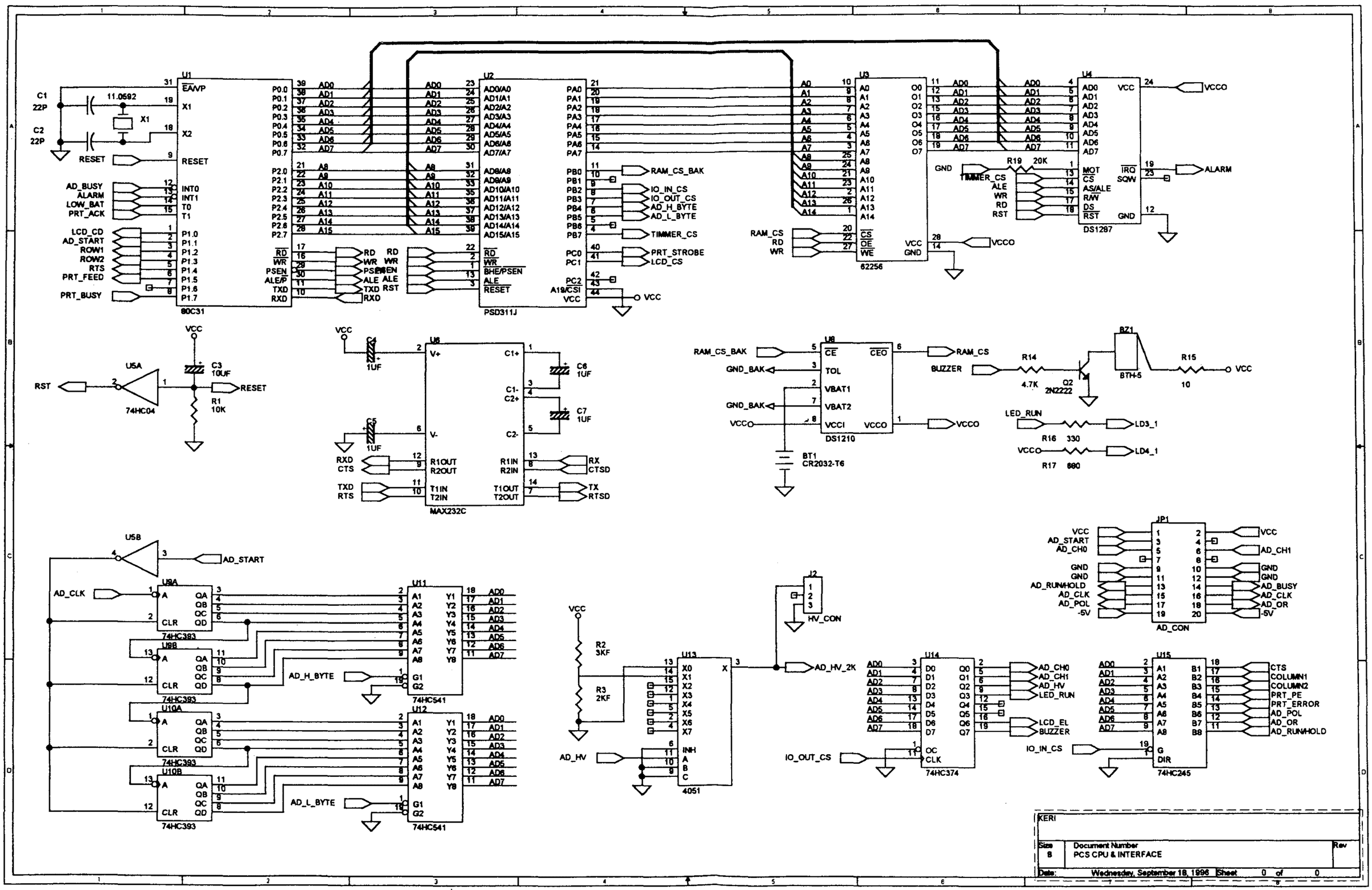



그림 4-21 PCS Power & Interface (2)

# 여 백

# 第 5 章　絶緣油 劣化 試驗

## 第 1 節　KERI側 試驗

### 1. 劣化 탱크

#### 가. 定格事項

(1) 使用狀態

- 周圍溫度 : -20℃ ~ +40℃
- 設置場所 : 屋內用

(2) 電源 : 200V +/-10%

(3) Heater 容量 : 10KW

(4) 眞空펌프 容量 : 30 ℓ/Min

(5) 絶緣油 貯藏槽 크기 : 圓筒形(길이 90㎝ × 直徑 50㎝ × 두께 6m/m)

(6) 絶緣油 貯藏槽 材質 : 耐藥品性 스테인리스 鋼板

(7) 絶緣抵抗 : 100MΩ

#### 나. 製作 事項

(1) 變壓器用 絶緣油(OT)가 使用되는 容器는 絶緣油에 對한 耐藥品性이 强한 材質인 스테인리스 鋼板材質을 使用하여야 하며 容器의 몸체와 뚜껑은 그 두께가 均一性을 維持시켜야 한다. 그림 5-1과 같이 變壓器 試料를 實驗할 수 있는 架台를 別途 製作하였다. 架臺의 材質은 알루미늄管으로 하며 그 크기는 그림에 明示한 대로 直四角形 構造(가로 25㎝ × 세로 25㎝ × 높이 55㎝)로 하였다.

(2) 絶緣油 貯藏槽 뚜껑

(가) 絶緣油 貯藏槽 뚜껑에는 $10^{-3}$ Torr의 眞空이 維持되도록 眞空裝置用 발브를 附着시켰으며, 眞空低下時 手動으로 셋팅된 眞空度를 維持시킬수 있는 裝置를 製作하였다.

(나) 絶緣油 貯藏槽의 뚜껑에는 絶緣油 劣化센서와 溫度센서의 리드線이 機密을 維持한 狀態에서 測定할 수 있도록 이에 適合한 아답타를 製作하였다.

- 絶緣油 劣化센서의 리드線 : 直徑 2.0m/m의 테프론 電線 2가닥
- 絶緣油 溫度센서 : CC Type 리드線 2가닥

(다) 上記 絶緣油 劣化센서의 리드線이나 溫度센서 리드線은 스테인리스 파이프에 內藏시켜 絶緣油 貯藏槽 內部의 絶緣油 溫度와 劣化狀態를 測定할 수 있도록 하였다.

(라) 絶緣油 貯藏槽 뚜껑에는 絶緣油를 供給할 수 있는 발브를 製作하여 絶緣油 供給을 適正 水準으로 維持할 수 있도록 하며, 발브에 連結되는 絶緣油 호스 및 手動用 펌프裝置도 함께 設置하였다.

(마) 絶緣油 貯藏槽 뚜껑은 絶緣油 貯藏槽 몸체와 機密을 維持시킬 수 있는 볼트조임과 가스켓트 裝置를 付着시켰으며 材質은 耐藥品性 스테인라스鋼板을 두께 10m/m 以上, 直徑 40m/m 以下의 圓筒形으로 하였다.

(3) 絶緣油 貯藏槽 몸체

(가) 絶緣油 貯藏槽의 몸체는 두께 6m/m 以下의 스테인리스 鋼板을 使用하고 絶緣油를 外氣 侵入없이 隨時로 採取할 수 있는 注射式 프렌지 및 絶緣油 필터(20$\mu$m以下)를 內藏하였다.

(나) 絶緣油 貯藏槽의 몸체는 試料用 絶緣油 레벨을 쉽게 볼 수 있는 透視窓을 만들었으며, 透視窓의 크기는 높이 30cm, 넓이 5cm의 透明耐熱性 材料를 使用하며, 機密을 充分히 維持될 수 있도록 하였다.

(다) 絶緣油 레벨은 貯藏槽 上層部에서 10cm 레벨을 維持시키며 이 레벨을 中心으로 透視窓을 製作하였다.

(라) 絶緣油 貯藏槽의 熱源裝置(heater)는 아래와 같은 絶緣油 特性을 參照하여 電源印加 後 1時間 以內에 絶緣油 溫度가 150℃에 到達할 수 있는 容量으로 하였다.

(마) 絶緣油 特性

- 比重 : 0.96
- 比熱 : 0.36
- 粘度 : 25℃ 50CST
  40℃ 30CST
  100℃ 16CST
  150℃ 12CST

(바) Heater用 電源은 外部에서 連結될 수 있는 端子台를 取付하며 이때 絶緣油 機密이 充分하도록 製作하였다.

(사) 絶緣油의 加速劣化 試驗을 促進 시키기 위하여 絶緣油 劣化탱크 內部에는 다음과 같은 比率의 變壓器 材料를 內藏시켜 實驗하였다. 本 材料 比率은 日本 도시바에서 實驗된 데이타를 根據로 하여[28] 實際 變壓器 材料의 構成化에 맞도록 하였다.

材料의 構成比

| | |
|---|---|
| 絶　緣　紙 | 27.068g |
| 絶　緣　油 | 150,000g |
| 鐵　　心 | 57,107g |
| 銅　　版 | 39,558g |
| Aluminum 管 | 31,617g |

센서 리드線(Oil 溫度 콘트롤라 및 DC電源裝置)

* 溫度센서 길이는 15m

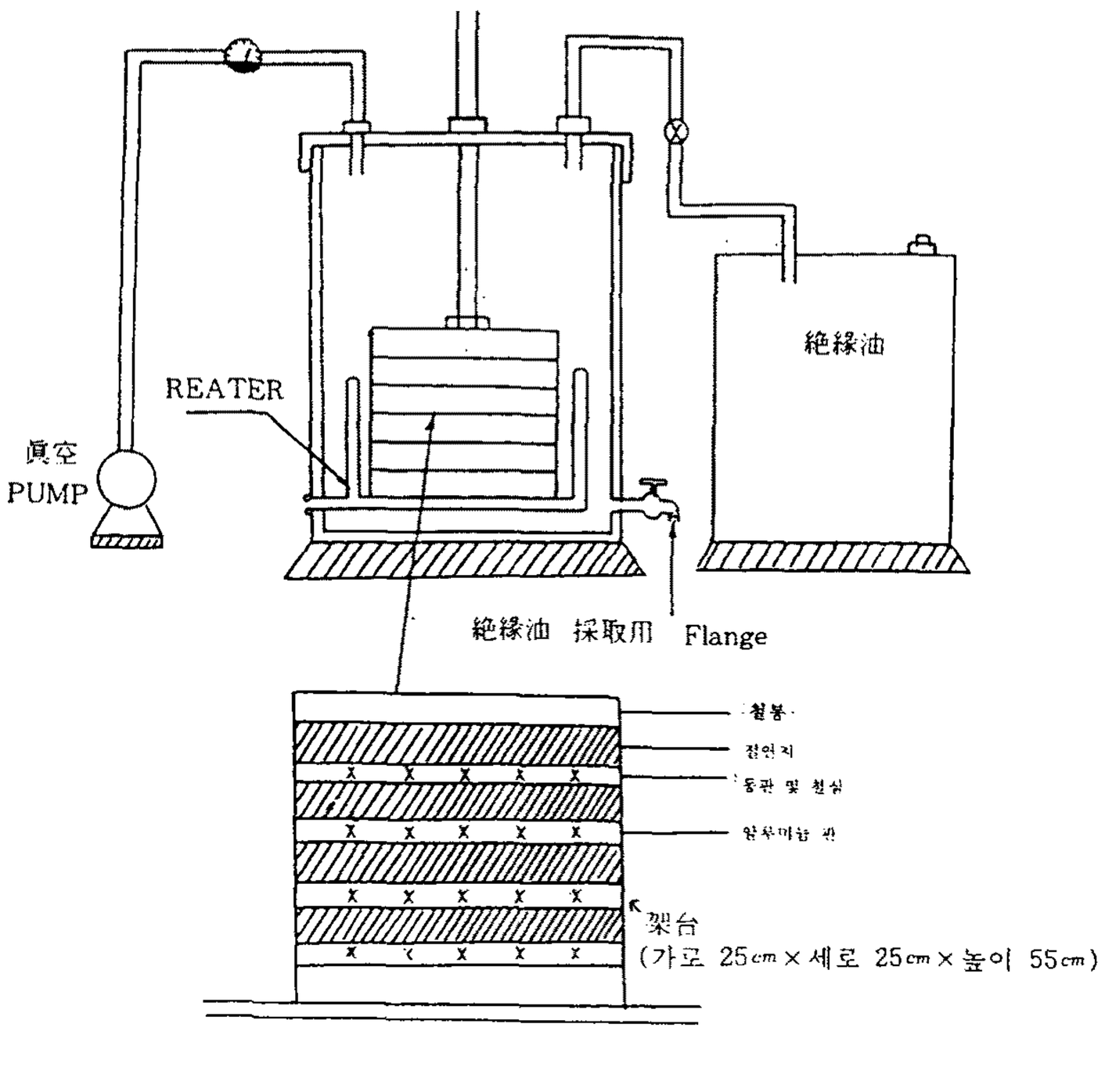



그림 5-1　絶緣油 劣化 裝置圖面

## 다. 實驗 結果

### (1) 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流値의 變化

그림 5-2는 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流 變化 推移를 살펴본 것으로 △表示의 點이 測定데이타이고, 實線은 이러한 點들의 平均値를 換算하여 그린 X-Y直線 그래프이다. 그림 5-2에서 X축의 劣化期間 18週 中 12週까지는 50℃~80℃로 絶緣油를 劣化시킨 結果의 曲線이고 그 以後 18週까지는 90℃로 劣化시킨 推移曲線이다. 이러한 推移曲線을 利用하여 劣化日數 18週間에서 變化된 變化率은 13.8(0.08/0.0058)이 된다. 이러한 變化率을 各種 試驗에 適用시켜 綜合的으로 그 變化 推移를 追跡할 수 있다.

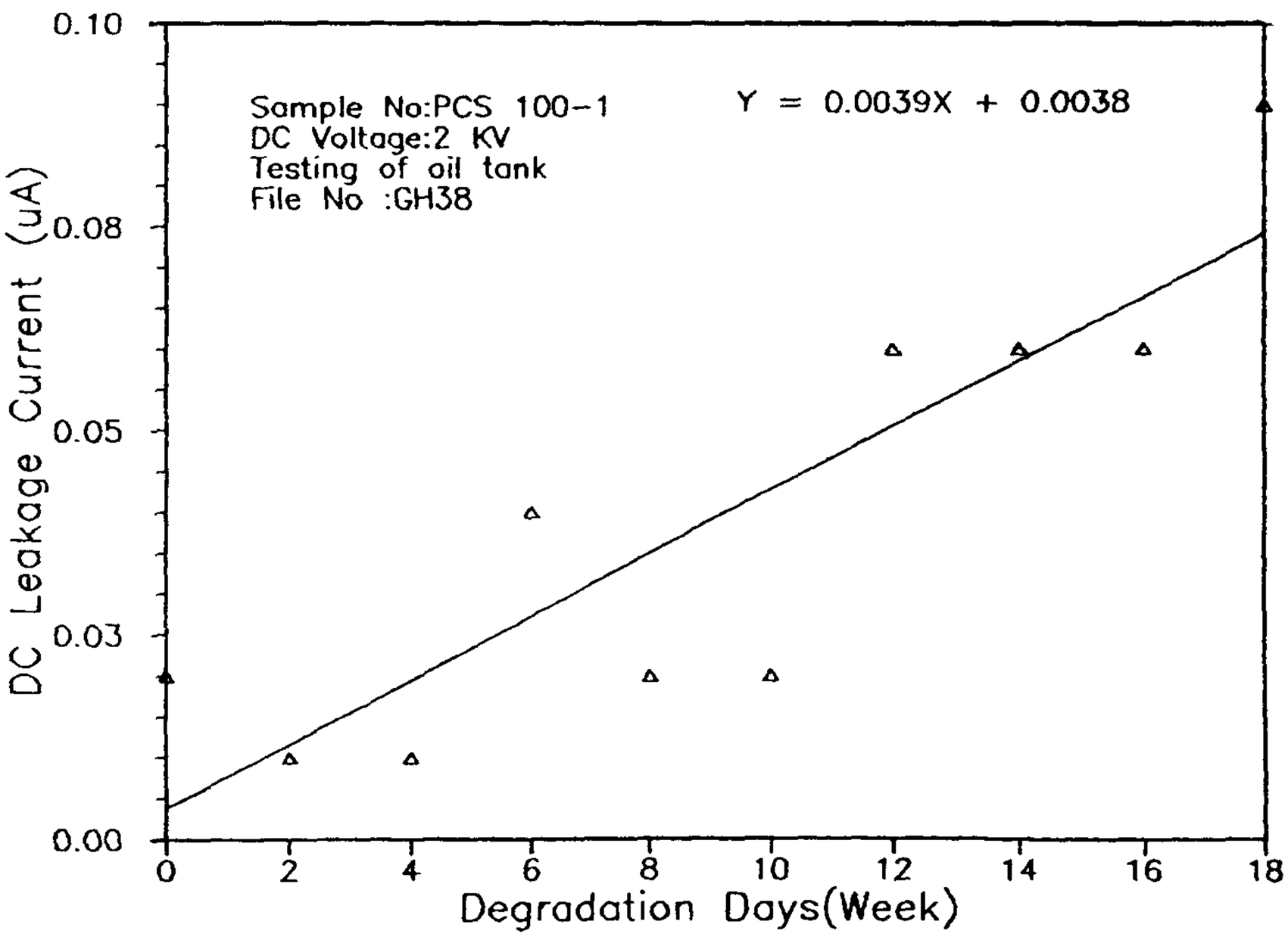



그림 5-2 劣化日數에 따른 劣化센서의 漏洩電流크기

(2) 絶緣油 酸價의 變化

그림 5-3은 絶緣油 酸價의 變化 推移를 살펴본 것으로 +表示의 點이 測定데이타이고, 實線은 이러한 點들의 平均値를 換算하여 그린 X-Y 直線 그래프이다. 그림 5-3에서 X축의 劣化期間 18週 中 12週까지는 50~80℃로 絶緣油를 劣化시킨 結果의 曲線이고 그 以後 18週까지는 90℃로 劣化시킨 推移曲線이다. 이러한 推移를 利用하여 劣化日數 18週間에서 變化된 劣化率은 28.5 (0.04/0.0014)이 된다.

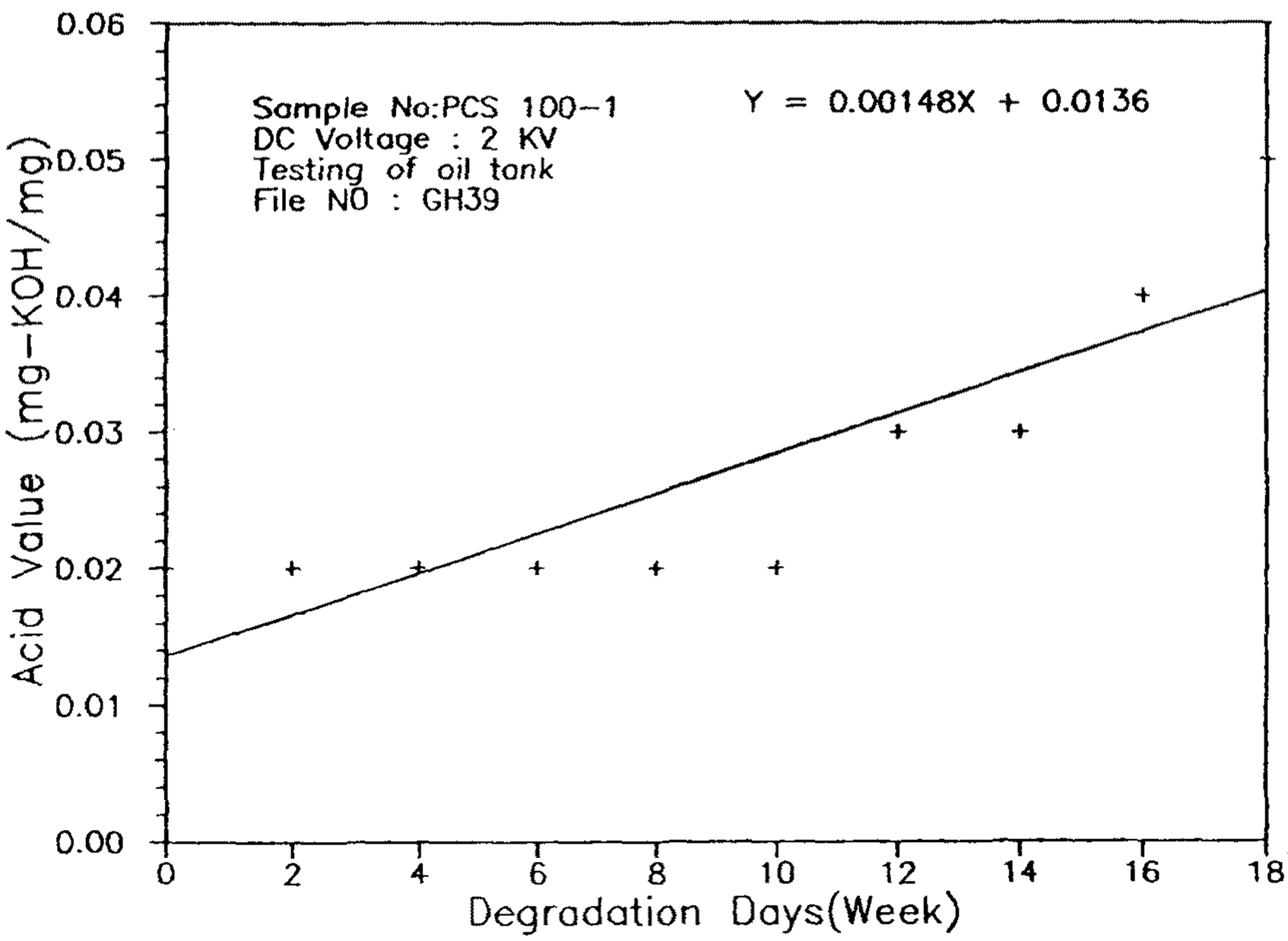



그림 5-3 劣化日數에 따른 絶緣油 酸價特性

(3) 絶緣油 耐壓値의 變化

그림 5-4는 絶緣油 耐壓値 變化 推移를 살펴본 것으로 ○表示의 點이 測定데이타이고, 實線은 이러한 點들의 平均値를 換算하여 그린 X-Y 直線 그래프이다. 그림 5-4에서 X축의 劣化期間 18週 中 12週까지는 50~80℃로 絶緣油를 劣化시킨 結果의 曲線이고 그 以後 18週까지는 90℃로 劣化시킨 推移曲線이다. 이러한 推移曲線을 利用하여 劣化日數 18週間에서 變化된 變化率은 1.45(40.8/28)가 된다.

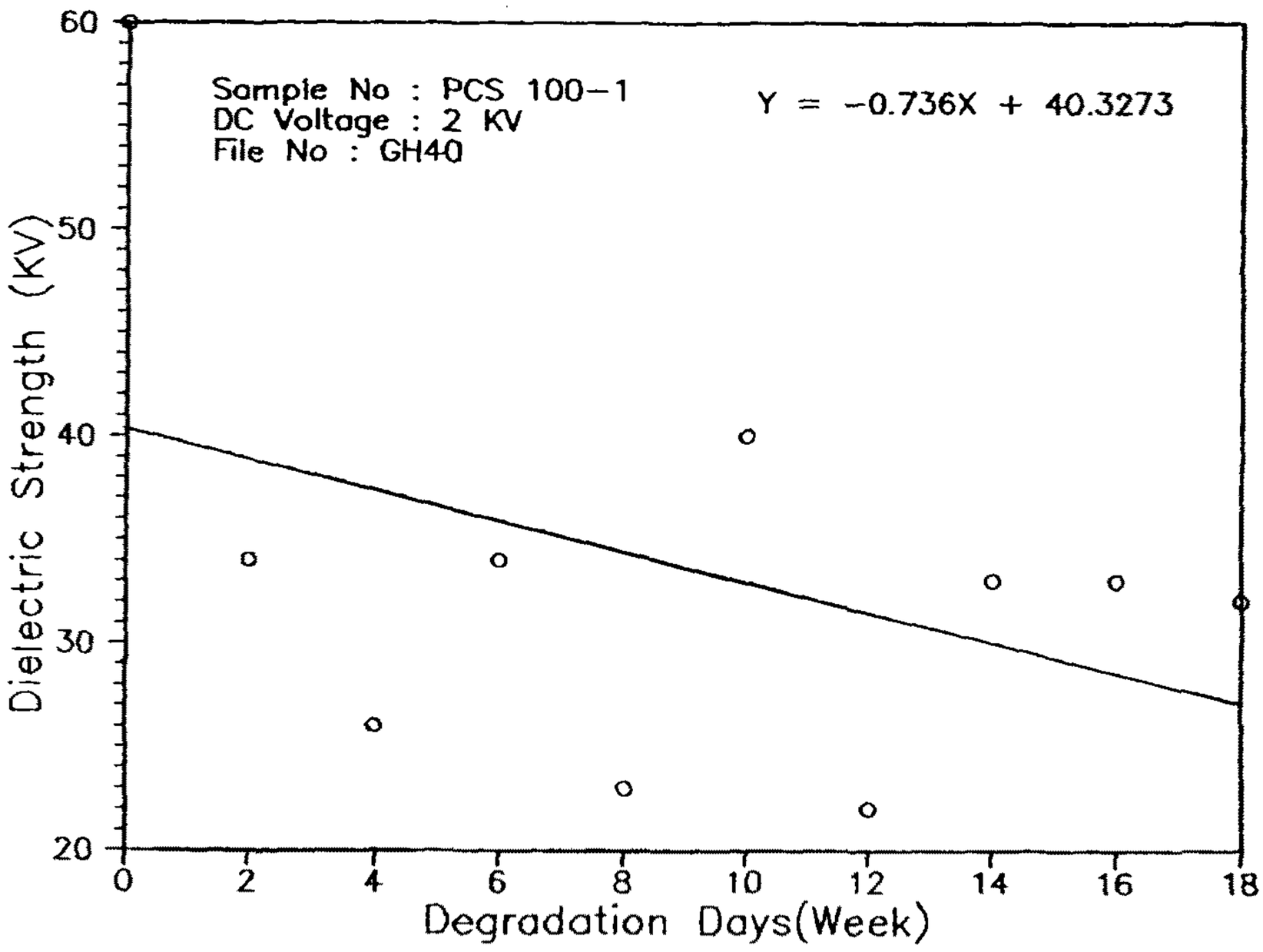



그림 5-4 劣化日數에 따른 絶緣油 耐壓 特性

(4) 絶緣油 CO Gas量의 變化

그림 5-5는 絶緣油 CO Gas量의 變化 推移를 살펴본 것으로 *表示의 點이 測定데이타이고, 實線은 이러한 點들의 平均値를 算定하여 그린 X-Y 直線 그래프이다. 그림 5-5에서 X축의 劣化期間 18週 中 12週까지는 50~80℃로 絶緣油를 劣化시킨 結果의 曲線이고 그 이후 18週까지는 90℃로 劣化시킨 推移曲線이다. 이러한 推移曲線을 利用하여 劣化日數 18週間에서 變化된 變化率은 5.18 (410/79)이 된다.

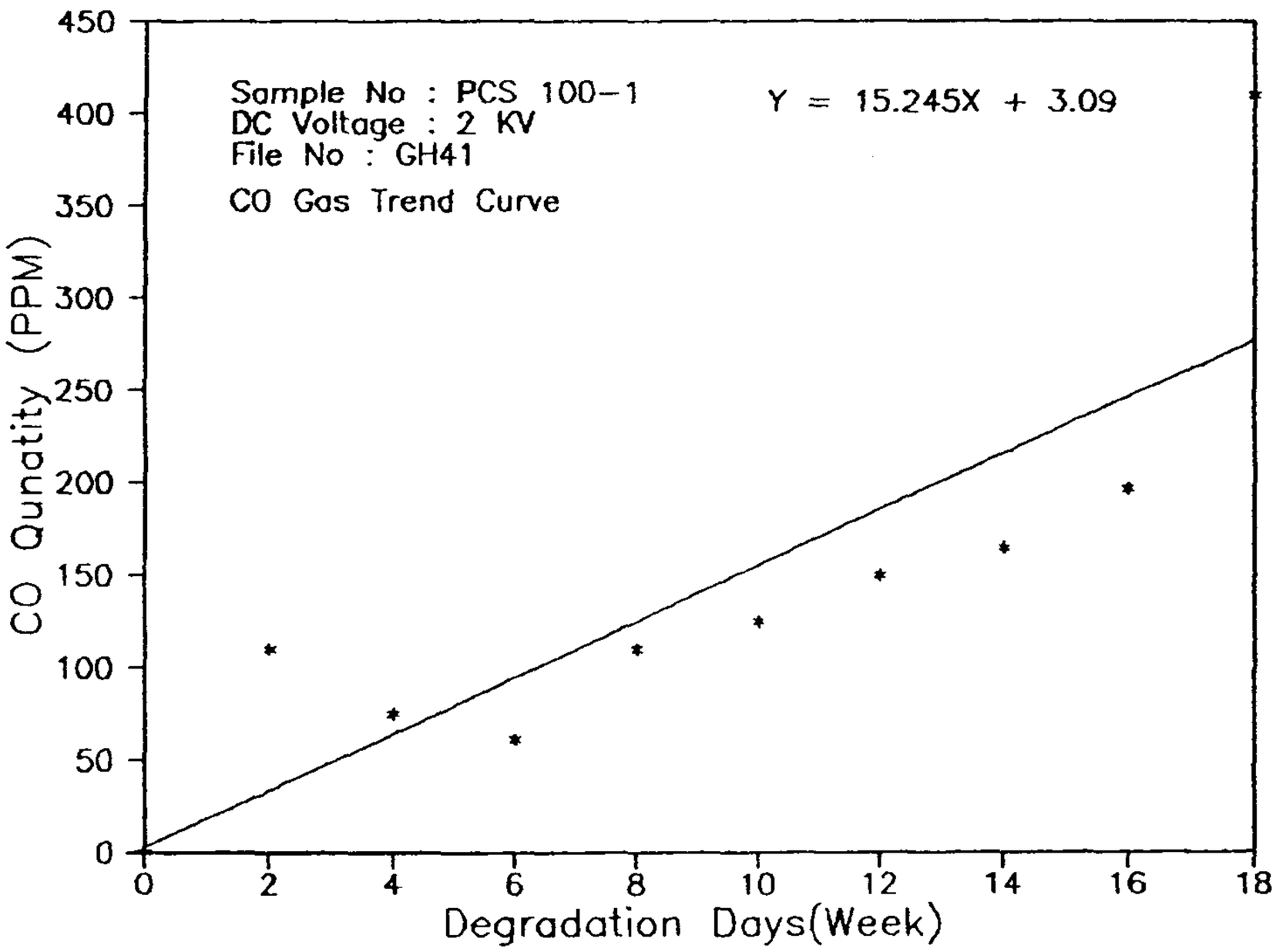



그림 5-5 劣化日數에 따른 絶緣油 CO Gas Trend

(5) 劣化센서의 漏洩電流値와 酸價와의 關係

그림 5-6은 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流치와 酸價와의 變化 推移를 살펴본 것으로 △表示의 點이 酸價를 나타낸다. 實線은 이러한 點들의 平均値를 換算하여 그린 X-Y 直線 그래프이다. 그림 5-6에서 X축의 劣化期間 18週 中 12週까지는 50~80℃로 絶緣油를 劣化시킨 結果의 曲線이고 그 이상 18週까지는 90℃로 劣化시킨 推移曲線이다. 이러한 推移曲線에서 알 수 있다시피 劣化日數에 따른 推移曲線이 相互 直進性을 가짐을 알 수 있다. 그리고 이러한 變化推移는 어느 一定한 點을 향하여 交叉되는 點을 향하여 나아가고 있음을 알 수 있다. 앞으로 이러한 交叉點이 分析되면 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流 測定 基準値가 設定될 것이다.

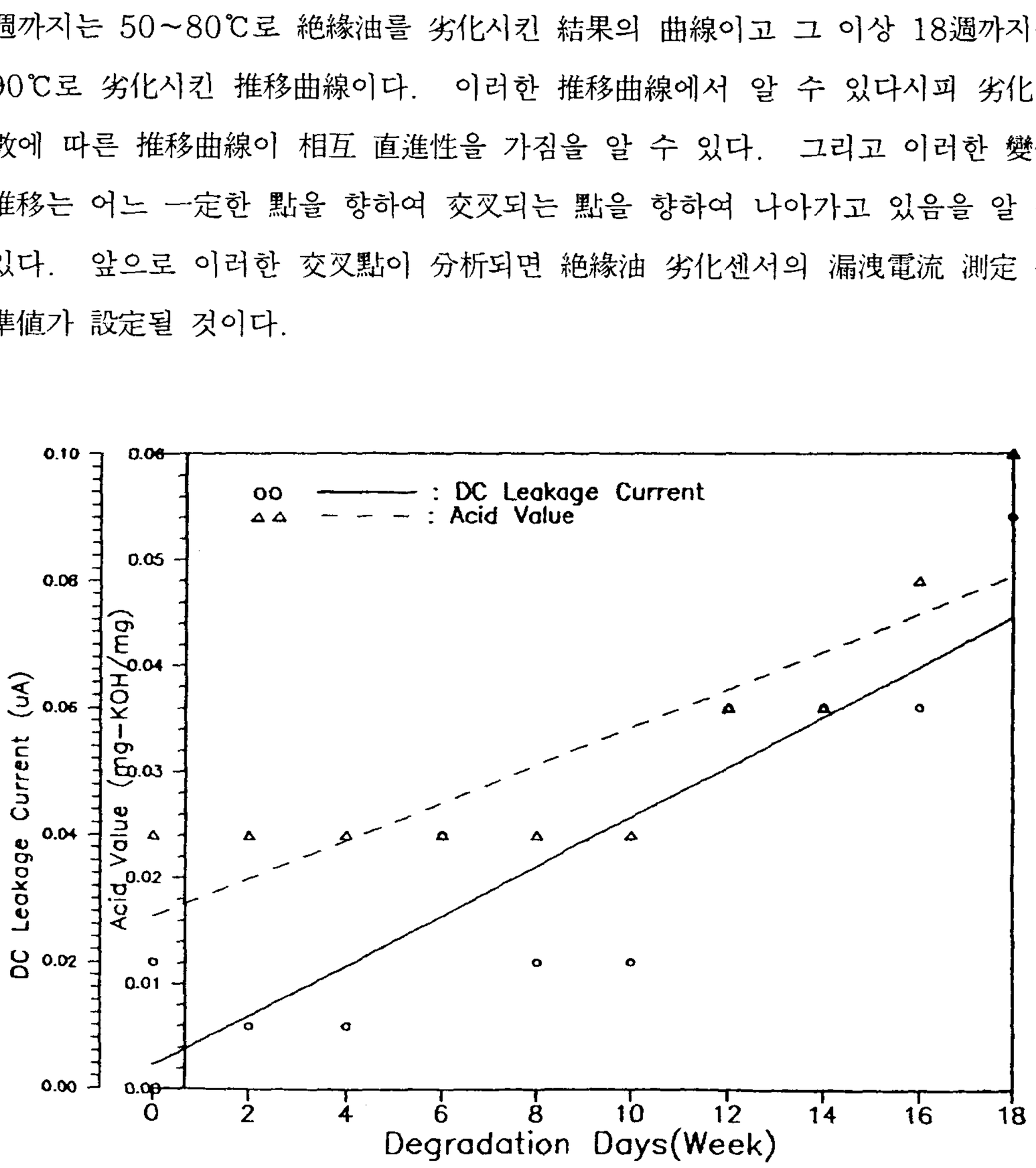



그림 5-6 劣化日數에 따른 劣化센서의 漏洩電流크기-酸價 特性

(6) 劣化센서의 漏洩電流値와 耐壓値와의 關係

그림 5-7은 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流치와 耐壓値와의 變化 推移를 살펴본 것으로 ○表示의 點이 漏洩電流値를 나타내고, △이 耐壓値를 나타낸다. 實線은 이러한 點들의 平均値를 換算하여 그린 X-Y 直線 그래프이다. 그림 5-7에서 X축의 劣化期間 18週中 12週까지는 50~80℃로 絶緣油를 劣化시킨 結果의 曲線이고 그 以後 18週까지는 90℃로 劣化시킨 推移曲線이다. 이러한 推移曲線에서 알 수 있다시피 劣化日數에 따른 推移曲線이 相互 關係性을 가짐을 알 수 있다. 그리고 이러한 變化 推移는 前項과 마찬가지로 어느 一定한 點을 向하여 交叉되는 點을 向하여 나아가고 있음을 알 수 있었다.

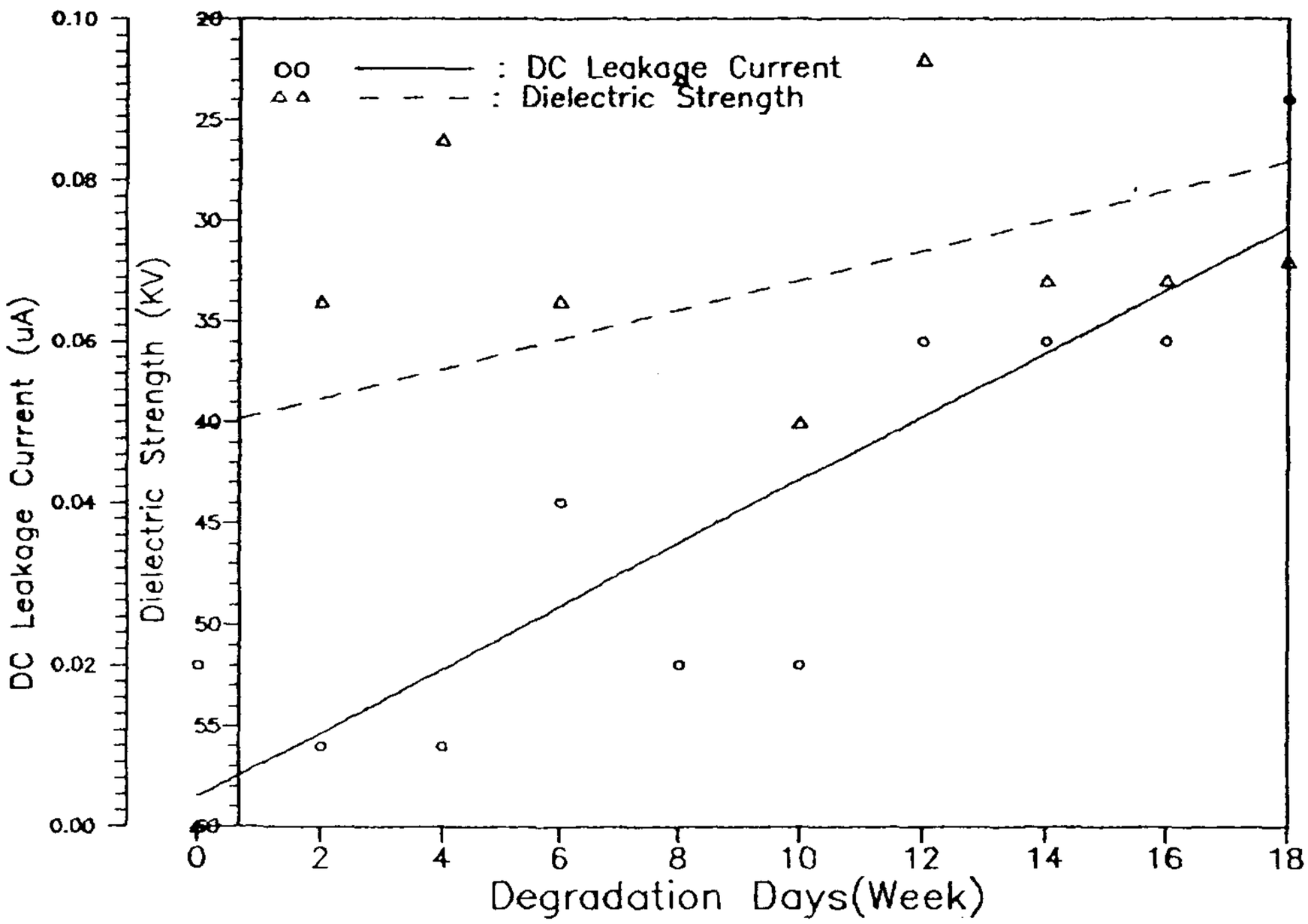



그림 5-7 劣化日數에 따른 劣化센서의 漏洩電流크기-耐壓値 特性

(7) 劣化센서의 漏洩電流치와 CO Gas量과의 關係

그림 5-8은 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流値와 CO Gas量과의 變化 推移를 살펴본 것으로 ○○表示의 點이 漏洩電流値를 나타내고, △△가 CO Gas 含有率을 나타낸다. 實線은 이러한 點들의 平均値를 換算하여 그린 X-Y직선 그래프이다. 그림 5-8에서 X축의 劣化期間 18週中 12週까지는 50~80℃로 絶緣油를 劣化시킨 缺課의 曲線이고 그 以後 18週까지는 90℃로 劣化시킨 推移曲線이다. 이러한 推移曲線에서 알 수 있다시피 劣化日數에 따른 推移曲線이 相互關係性을 가지고 있는데 이러한 現象은 絶緣油가 過熱되었을 때 일으나는 것으로 그 强度가 가장 弱한 絶緣紙는 原來 導電性 物質이 아닌 關係로 그 不純物粒子들은 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流値 變化와는 큰 關係性이 있기 때문에 이러한 曲線이 나타나는 것으로 推定된다.

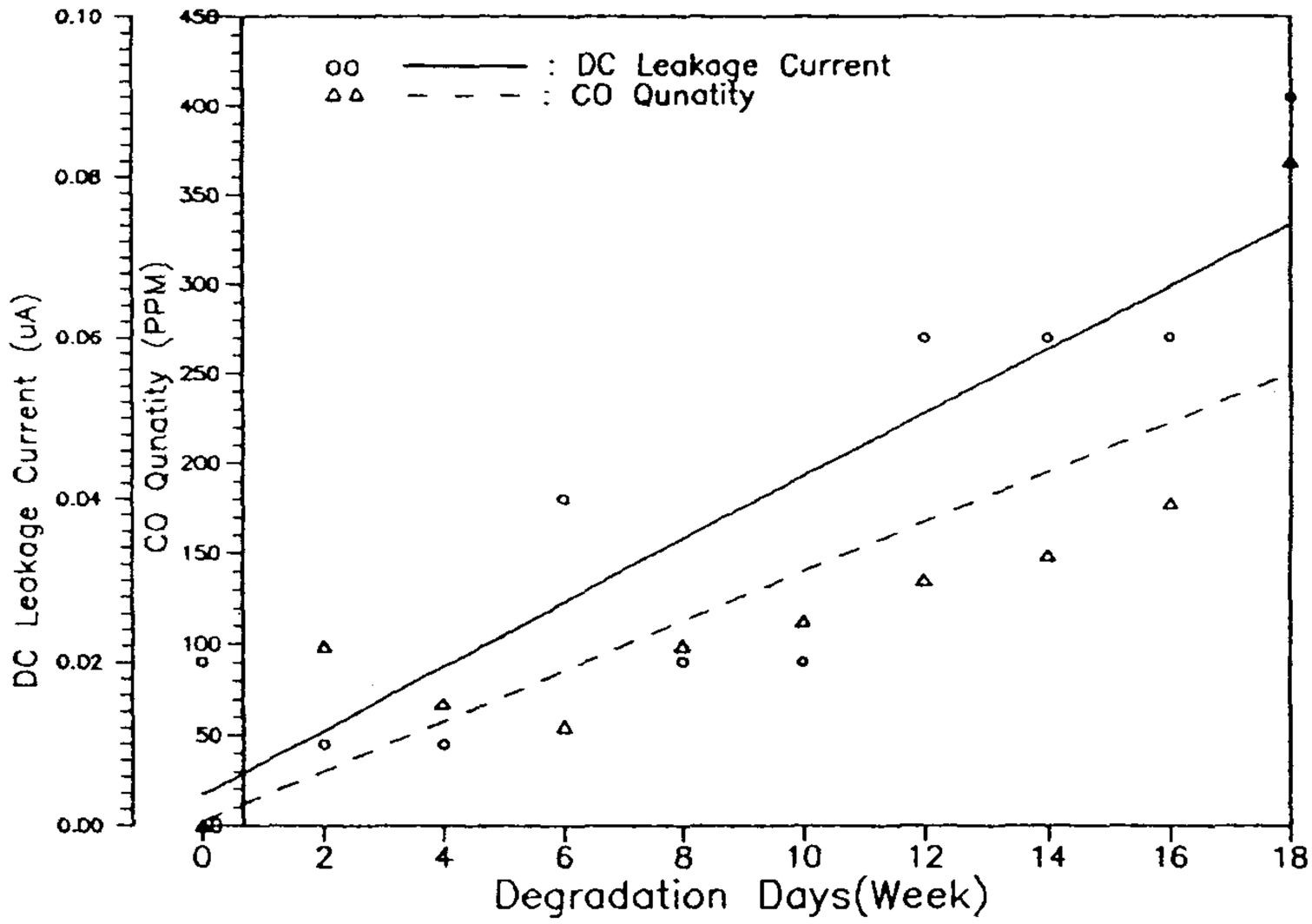



그림 5-8 劣化 日數에 따른 劣化 센서의 漏洩電流크기-CO Gas 含有率 特性

## 2. 試料 變壓器

그림 5-9는 센서의 漏洩電流-溫度-酸價-絶緣油의 耐壓 關係를 규명하기 위하여 모델 변압기 두대를 返還負荷法으로 試驗한 回路이다.

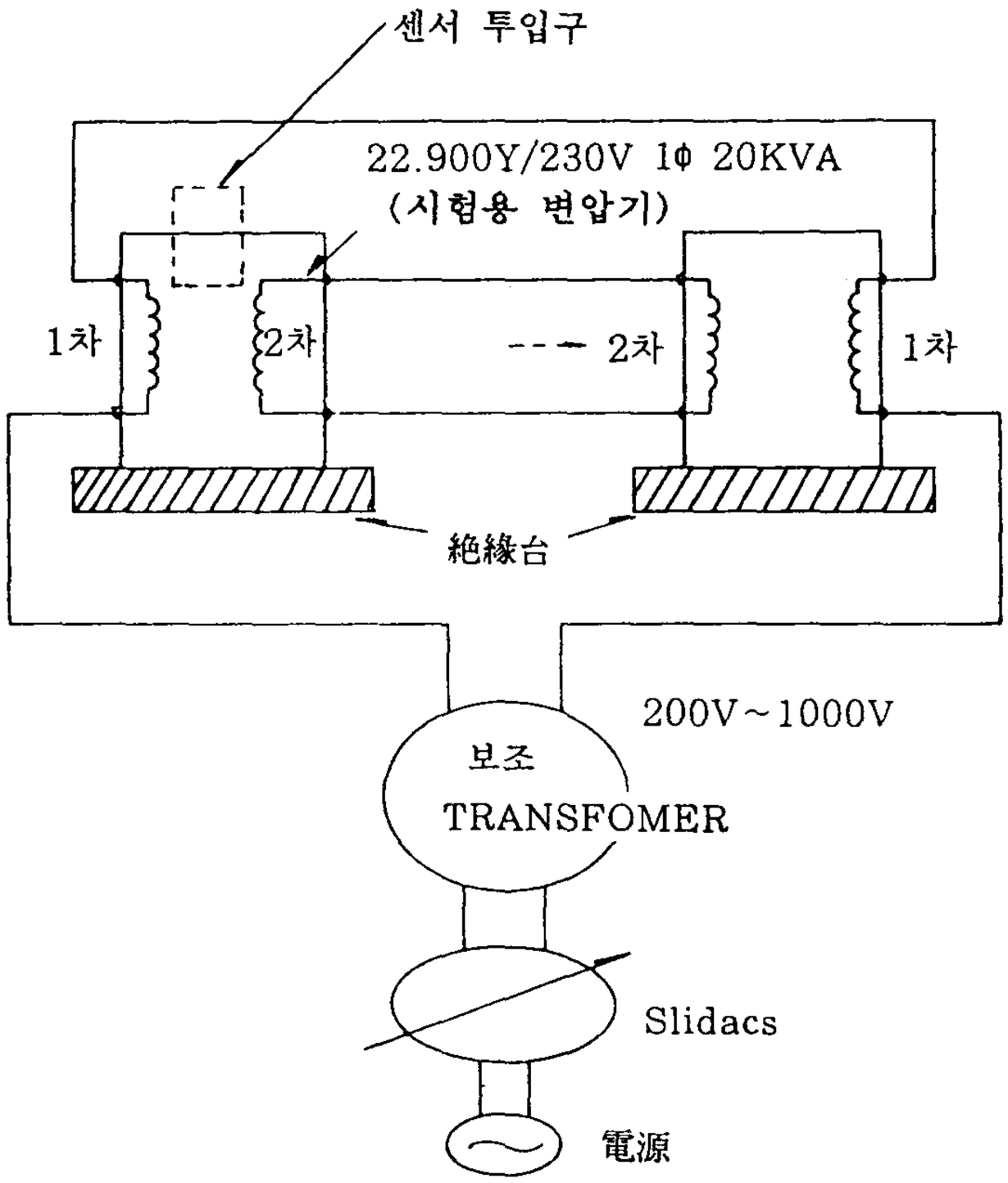



그림 5-9 모델변압기 Layout

이와 같은 變壓器 絶緣油 劣化센서를 內藏시켜 絶緣油 劣化를 促進시킴으로서 絶緣油 劣化센서 動作 狀態를 檢證할 수 있다.

이러한 試驗裝置에 대한 內容을 簡略히 紹介하면 다음과 같다.

(1) 試驗對象 變壓器(모델變壓器) 容量은 22900V/230V 단상 20KVA(1단 접지 變壓器)이며, 返還 負荷法으로 할때 같은 容量의 變壓器가 2대 必要하다.

(2) 모델變壓器는 旣存 生産되고 있는 KS 製品을 使用하였고, 返還負荷法 回路를 2 Set 만들어 各 變壓器에 絶緣油 劣化센서의 Pore 直徑이 다른 4가지 種類의 센서를 1個씩 內藏시켜 實驗하였다.

(3) 絶緣油 劣化센서는 變壓器內 構造物을 지지대로 하여 變壓器油에 함침하였다.

(4) 變壓器 劣化狀態를 感知할 수 있는 센서는 다음과 같다.(1臺當)

- 溫度센서 : 劣化센서 部位 1個所
- 劣化센서 : 變壓器 內 構造物에 1個所

(5) 溫度上昇時 必要한 負荷電流를 印加시킬 수 있도록 補助 變壓器 1臺, 配電班 1 Set가 設置된다.(回路圖 : 그림 5-9)

• 補助變壓器 容量 : 單相 10KVA

(6) 配電盤은 溫度 Setting後 負荷電流가 自動으로 調整되도록 하였다.

(7) 絶緣油 採取 및 가스 檢出用 발브를 變壓器 外函 下部에 製作하여 隨時로 絶緣油를 採取하여 發生가스량을 測定할 수 있도록 하였다.

(8) 變壓器 뚜껑상부에 劣化센서 測定用 터미날을 製作하여 絶緣油가 劣化되었을 때 不純物 微少 粒子의 吸着狀態를 計測器로 測定할 수 있도록 하였다.

(9) 容量 計算

• 容量計算 條件

- 試驗對象 變壓器 : 1端 接地 1φ20KVA(22.9KV-Y/230V)
- 過負荷 限度 : 定格電流의 150%
- % Imp : 5.35%

• 補助變壓器 容量計算

- 試驗用 變壓器 負荷電流 : 20KVA/230V×1.5 = 130.4(A)
- 試驗用 變壓器 印加電流 : 130.4×230/13200=2.2(A)

本 試驗變壓器는 현재 韓國電力公社에서 使用하고 있는 22.9KV-Y/220V 容量 20KVA 柱上變壓器로 1次年度 測定에 이어 繼續的으로 長期 試驗對象으로 測定되었다.

횡축은 劣化期間으로 1994년 7월 18일에 시작되어 1994년 12월 17일 까지의 데이타로써 劣化條件은 앞에서도 言及한 바 있듯이 變壓器 過負荷 條件 120(%)에서 測定되었다. 漏洩電流値는 센서의 溫度補償을 고려한 값이다. 왼편의 종축대는 絶緣油 酸價-耐壓-센서의 漏洩電流를 나타내고 오른편의 종축대는 試料變壓器의 溫度를 나타낸다. 試料變壓器의 溫度가 약간씩 差異가 나는 理由는 外部溫度의 變化로 인한 結果이다. 그 試驗結果는 그림 5-10과 같다.

- 漏洩電流値와 酸價와의 關係

푸른색의 漏洩電流 曲線과 붉은 색의 酸價 曲線이 거의 비슷한 推移로 變化되는 것을 알 수 있다. 그 增加되는 比率도 비슷한 推移를 나타내고 있는데, 劣化시점 8월 29일까지는 거의 같은 趨勢로 서서히 增加되다가 酸價値 0.2-0.4(mg-KOH/g)範圍에서 센서의 漏洩電流値는 2.5-4(μA)까지 增加되는 것을 알 수 있다.

이러한 두 曲線을 비교한 結果, 酸價의 要注意 레벨 0.2-0.5(mg-KOH/g)가 센서의 漏洩電流値 거의 유사한 레벨을 나타내고 있다.

劣化시점 10월 24일에서 絶緣油 酸價가 갑자기 增加되는 것은 絶緣油가 劣化가 加速되기 始作한 시점으로 보면 된다.

- 漏洩電流値와 耐壓과의 關係

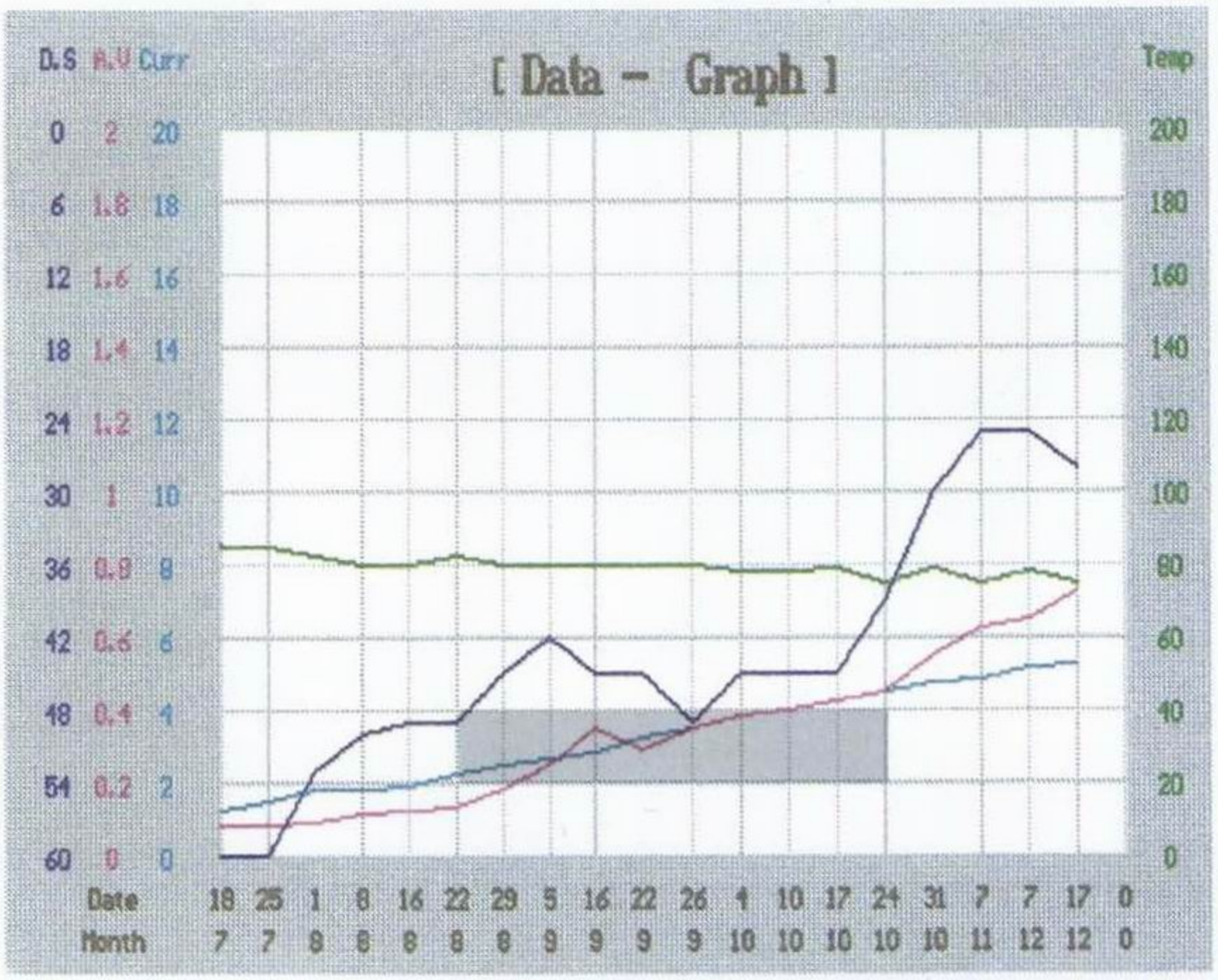
푸른색의 漏洩電流 曲線과 진푸른색의 絶緣油 耐壓曲線이 거의 비슷한 推移로 變化되는 것을 알 수 있다. 그 增加되는 比率도 비슷한 推移를 나타내고 있는데, 劣化시점 9월 5일에서 絶緣油 耐壓値가 갑자기 增加된 이유는 測定上의 오차로 인한 것으로 보인다.

이러한 두 曲線을 비교한 結果는 絶緣油 耐壓의 要注意 레벨 25-30(KV)내에서 센서의 漏洩電流値는 4.7-5.2($\mu$A)를 나타내고 있다. 劣化탱크에 비교하여 센서의 漏洩電流値가 增加되지 않는 이유는 劣化탱크인 경우 短期 加速劣化 상태인 경우이고 試料變壓器인 경우는 長期的으로 서서히 劣化되기 때문이다.

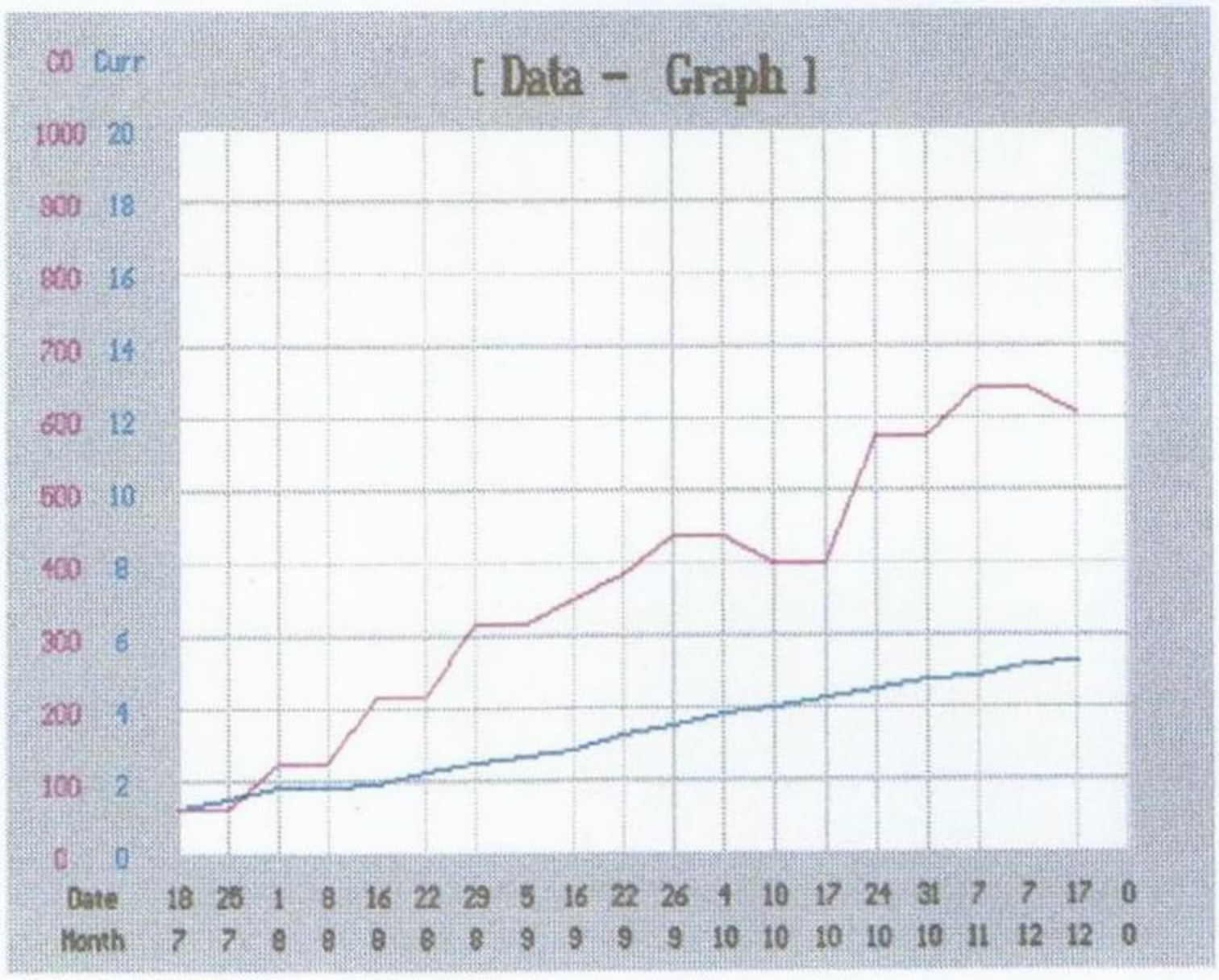
- 漏洩電流値와 가스(CO)량과의 關係

그림 5-10(b)는 붉은 색의 일산화탄소(CO)량과 센서의 漏洩電流値를 나타낸 것으로 劣化시점 9월 16일에서 갑자기 增加되기 시작하여 劣化시점 11월 7일에는 600(PPM)까지 增加된다. 일산화탄소의 要注意 레벨 300(PPM)에서 나타나는 센서의 漏洩電流値는 2.5($\mu$A)로 상기의 酸價値와 거의 비슷한 추세를 보인다. 絶緣油 劣化탱크는 순전히 열적인 상태로 劣化시켰기 때문에 絶緣紙가 熱的 영향을 받아 CO가스량이 많이 나타난다.

試料變壓器에서 測定된 Data는 實際 測定比를 10倍 증폭한 값을 나타낸다.

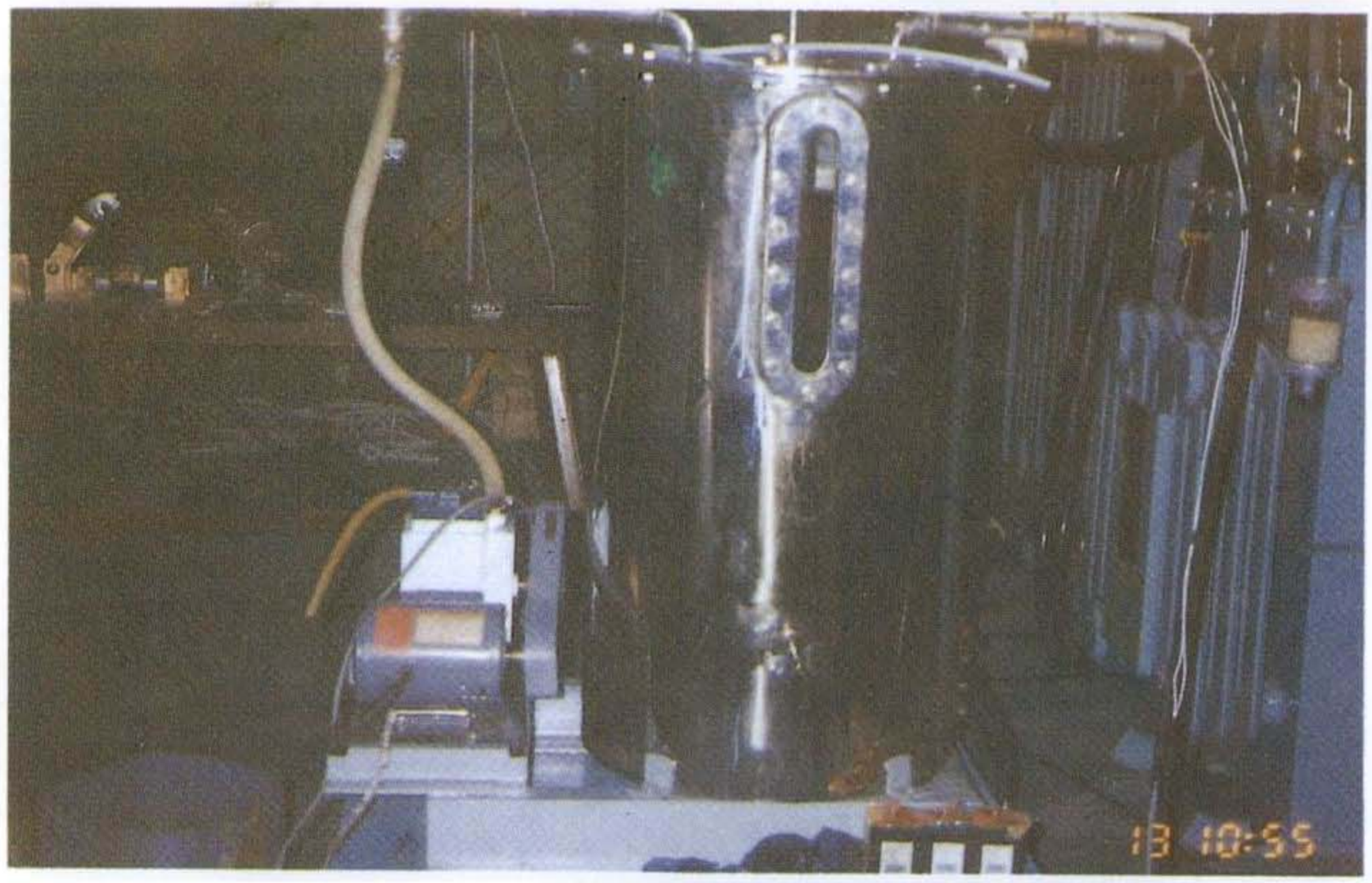



(a) 센서의 漏洩電流-酸價-耐壓과의 關係 曲線




(b) 센서의 漏洩電流-CO 가스량의 關係

그림 5-10 試料變壓器 試驗 結果値

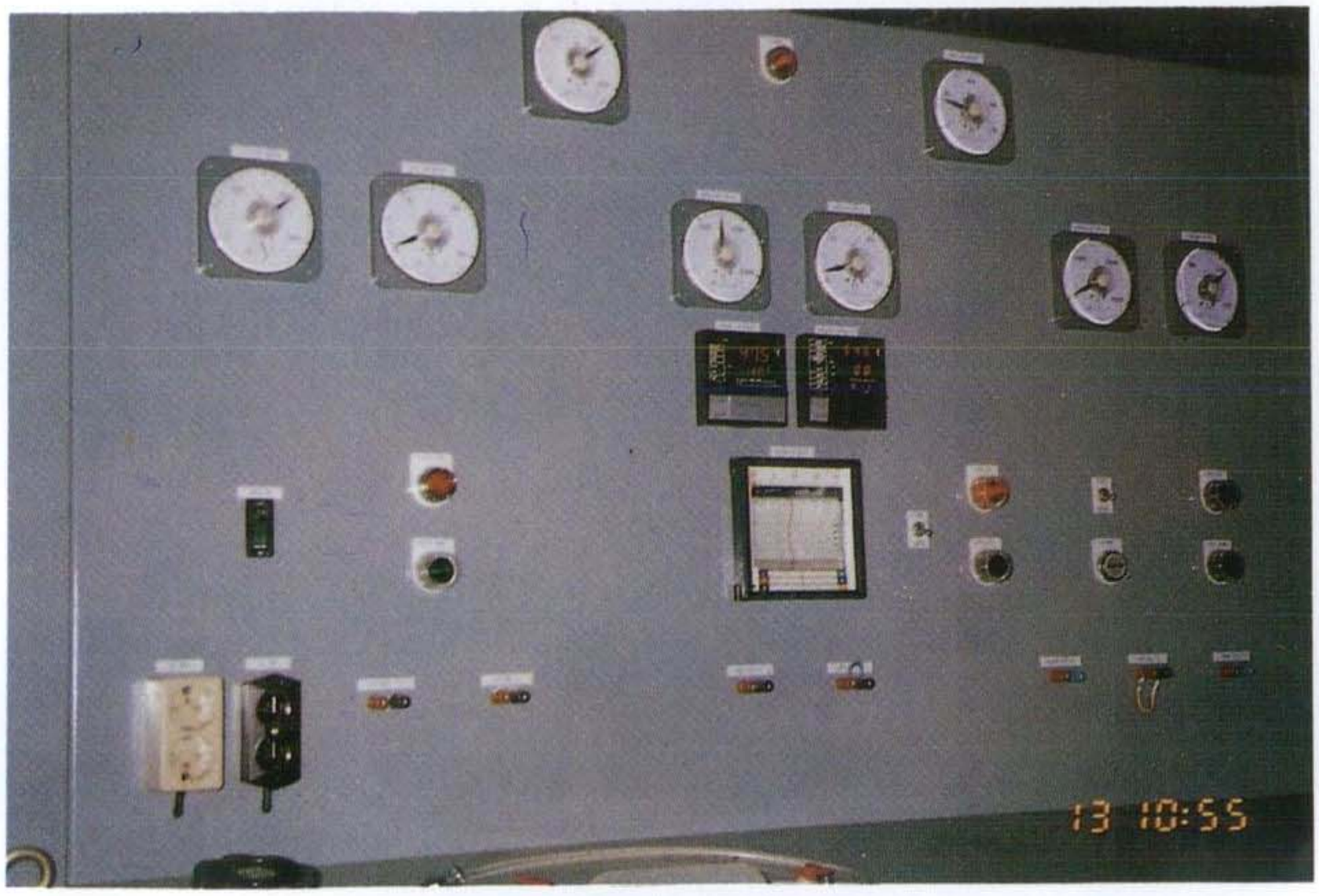



(a) 劣化 탱크

(b) 溫度 Controller

사진 5-1 劣化 탱크 實驗 裝置

(a) 試料 變壓器




(b) 負荷 Controller

사진 5-2 試料 變壓器 實驗 裝置

## 3. 劣化센서 動作 特性

### 가. Flow(流動)에 關係된 事項

劣化油의 流動狀態에서 센서의 漏洩電流를 測定하는 것은 다음과 같은 重要한 3가지 目的이 있다.

첫째 絶緣油 劣化센서가 設備位置에 關係없이 諸 機能을 하는가?

둘째 絶緣油 劣化센서가 絶緣油 流動에 관계없이 諸 機能을 하는가?

셋째 絶緣油 劣化센서가 센서 自體의 크기에 관계없이 諸 機能을 하는가?

위와 같은 세가지 目的이 達成되려면, 絶緣油 劣化센서의 動作 機能 中 氣孔 세라믹을 通하여 絶緣油가 通過되는 機能을 가져야만 그 目的을 가질 수 있다. 絶緣油 中 導電性 不純物 粒子가 微弱하나마 蓄積되나 그 大部分이 通過되는 現象을 試驗을 通한 데이타로 알 수 있었다. 絶緣油 劣化센서를 劣化된 絶緣油 속에서 測定한 結果 거의 57(nA)까지 漏洩電流가 나타내나 이것을 新油 속에 넣어 測定한 結果 거의 12(nA)以下, 즉 45(nA)까지 내려감을 알 수 있었다.

이러한 實驗 結果 알 수 있는 事項은 絶緣油 속에 包含된 導電性 粒子가 센서의 氣孔 사이로 吸着되어 蓄積되는 것이 아니라, 通過된다는 事實이다.

그 理由는 絶緣油 劣化센서의 氣孔 사이에 導電性 不純物 粒子가 吸着되어 蓄積되면 漏洩電流의 過飽和 現狀이 今時에 일어나 一定한 레벨로 繼續 增加되지 않는다. 이에 關係된 試驗條件(그림 5-11) 및 試驗 結果値를 그림 5-12와 그림 5-13, 5-14, 5-15에 表示한다.

- 試驗條件 (그림 5-11)

  ・絶緣油 : 劣化油

  ・絶緣油 溫度 : 130℃

  ・印加電壓 : DC 2 KV

| | | |
|---|---|---|
| Pressboard | Sample size(mm) | 120×120 |
| | Thickness(mm) | 0.75 |
| Materials and contents in chamber | Pressboard(kg) | 1.7 |
| | Cu Core(kg) | 18 |
| | Fe Coil(kg) | 7 |
| | Insulating oil(1) | 13 |
| Aging conditions | Test temperature(℃) | 130 |
| | Time(hrs) | 2500(each 500) |

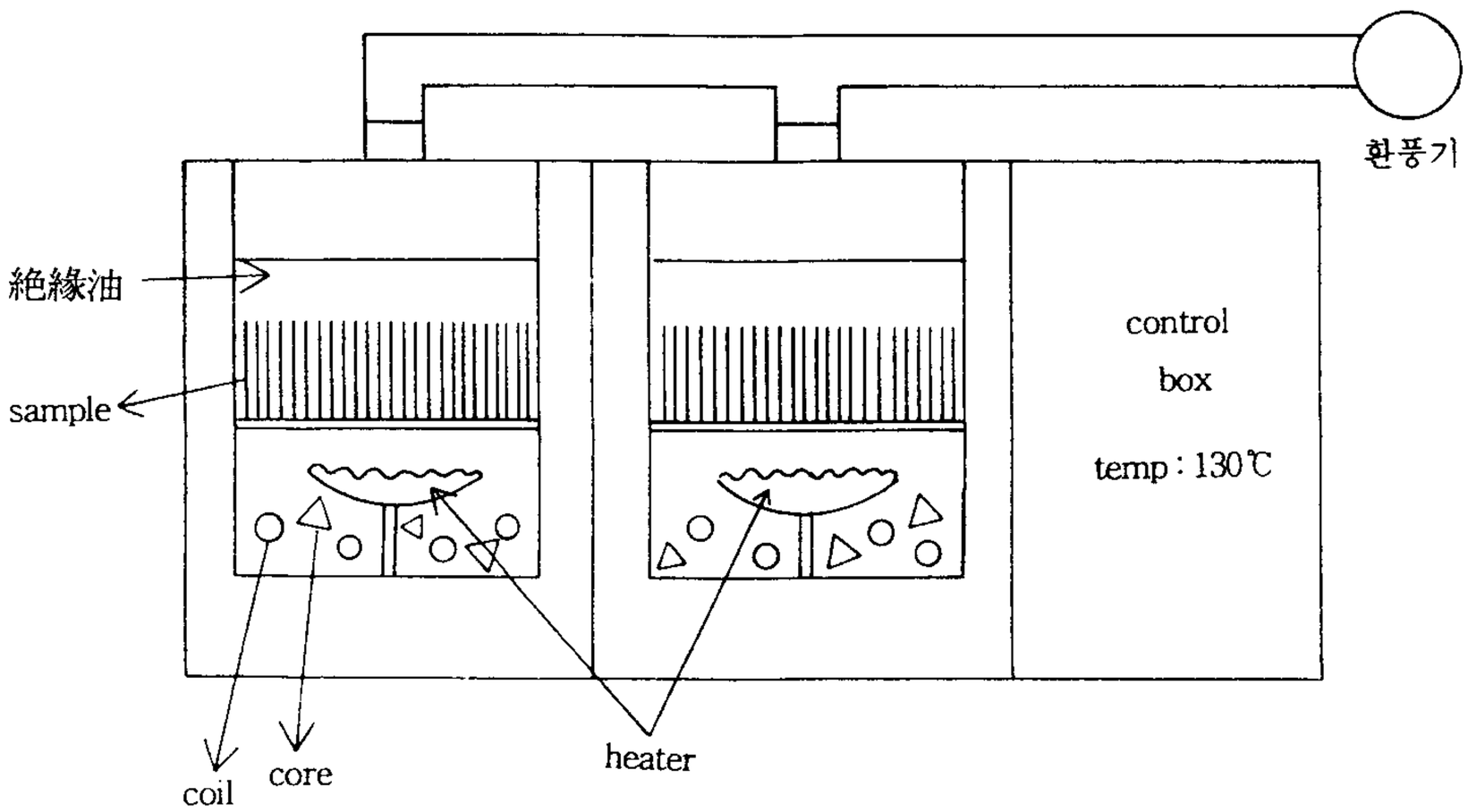



그림 5-11 絶緣油 加速試驗 方法

그림 5-12는 絶緣油 溫度 130℃를 오일 Bath에 넣어 3個月 測定한 데이타로 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流値가 거의 6(μA)까지 增加되는 現象을 알 수 있었다. 이 實驗 結果가 뜻하는 意味는 絶緣油가 아무리 劣化되어도 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流値는 飽和되지 않고 一定한 比例曲線으로 增加된다는 事實을 알 수 있었다.

즉 絶緣油가 氣孔세라믹 사이로 流動된다는 事實을 確認 할 수 있었다.

流動에 關聯한 더욱 明確한 實驗은 교반기의 stirrer를 通한 試驗이다. 一般 시중에서 販賣되고 있는 교반기의 流動 速度는 0-4.5까지 調整할 수 있다. 그림 5-13은 교반기의 速度를 調整하면서 絶緣 劣化센서의 漏洩電流를 測定하였다.

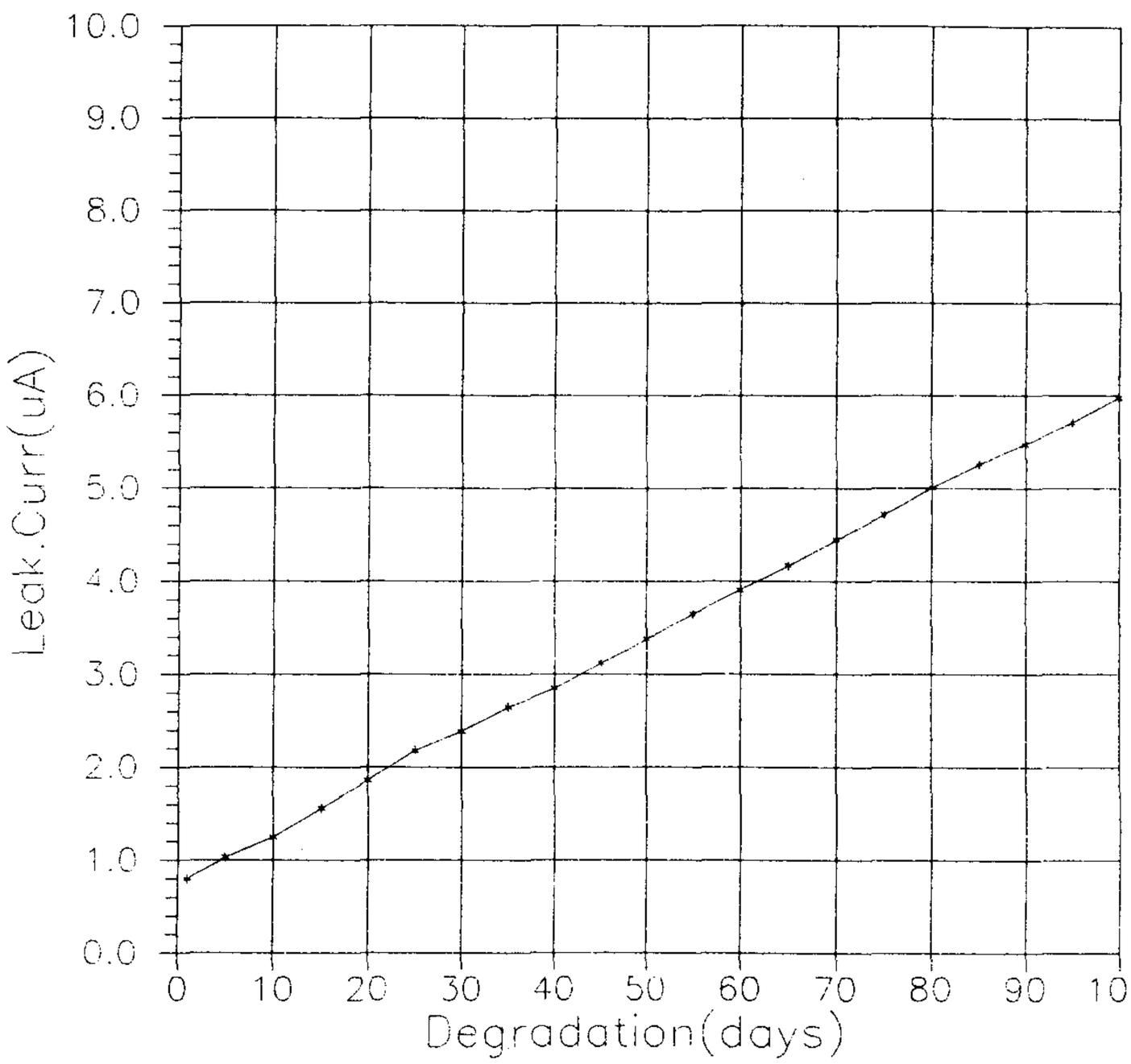



**그림 5-12 絶緣油 加速 劣化 試驗 結果**

- 試驗條件

  ・絶緣油 狀態 : 劣化油

  ・絶緣油 溫度 : 38 ℃

  ・시료 : New Sensor

實驗結果 絶緣油가 流動함에 따라 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流는 거의 變動되지 않았다는 事實을 알 수 있다.

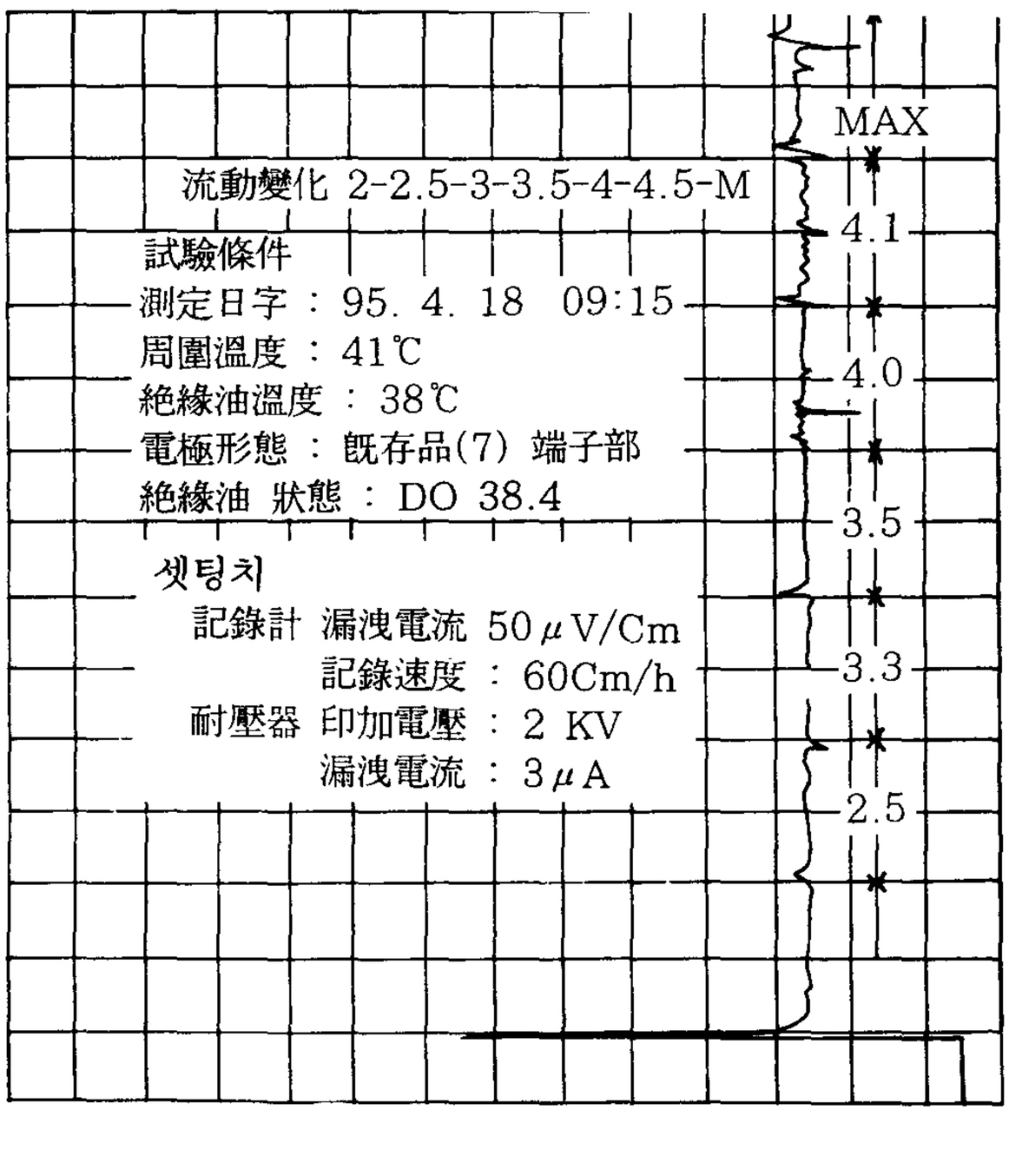



그림 5-13 絶緣油 流動狀態에서의 센서 漏洩電流 測定

그림 5-13을 그래프로 表示하면 그림 5-14와 같다. 그래프에서 볼 수 있다시피 全般的으로 거의 비슷한 漏洩電流値를 나타내는 데 中間 部分에서 약간 튀는 現象은 stirrer의 레인지를 調整할 때 發生되는 電源 노이즈로 보인다.

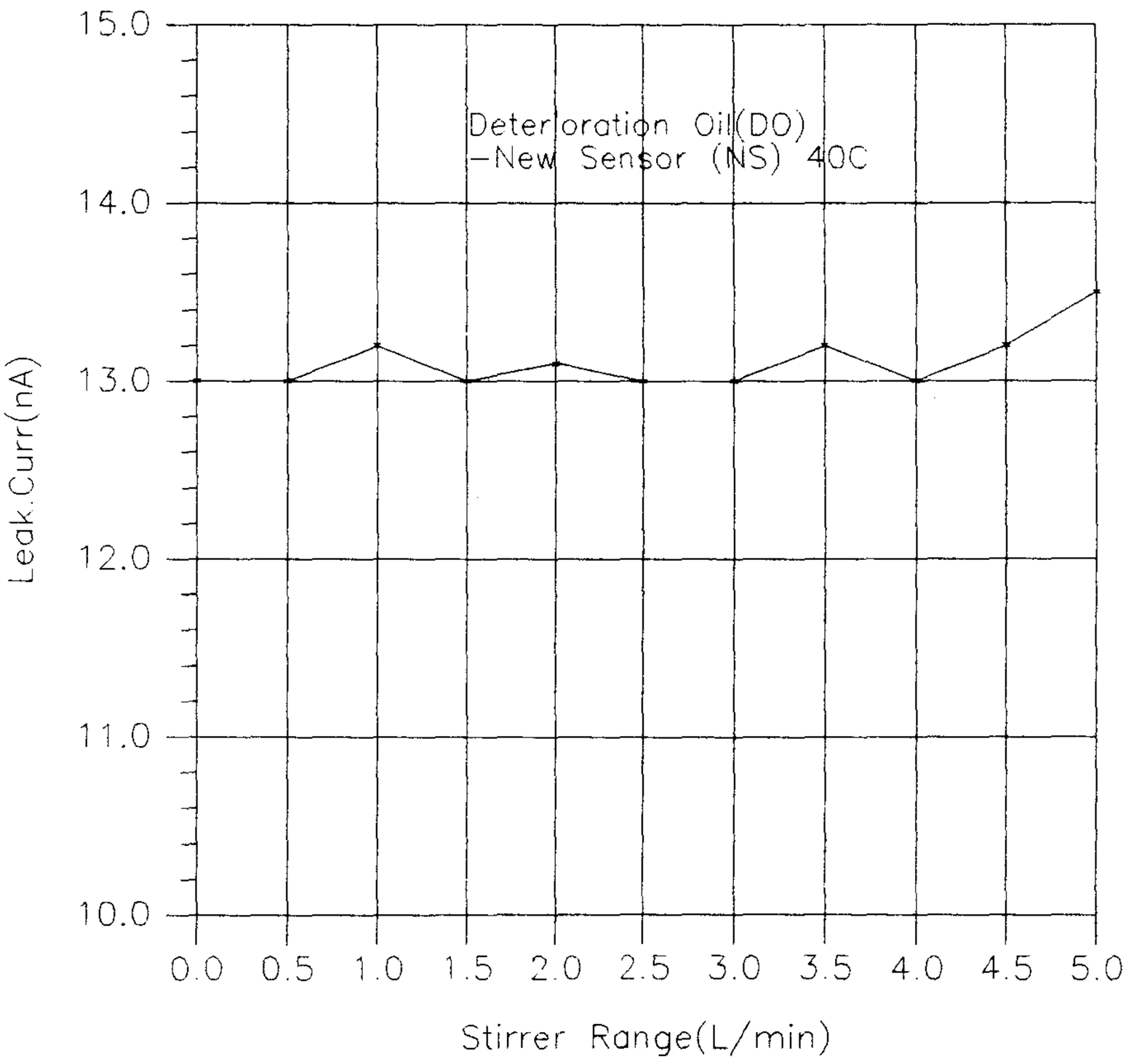



그림 5-14 流動關聯 測定 그래프

### 나. 新油와 劣化油의 比較試驗

絶緣油의 新油와 劣化油에 대한 比較試驗은 絶緣油 劣化센서의 機能을 把握하는 데 絶對的으로 必要하다. 通常 우리나라에서 實施하고 있는 絶緣油의 一般特性試驗으로 絶緣油 耐壓, 산가, 동점도, 가스分析 등이 있다. 表 5-1은 新油와 劣化油에 대한 絶緣耐力, 酸價, 가스 分析등을 의하여 一般特性値를 測定한 後 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流를 測定하여 相互 比較하였다.

表 5-1 新油와 劣化油의 一般 特性比較

| 試 驗 項 目 | 新 油 | 劣 化 油 |
|---|---|---|
| 絶緣 耐壓 | 60 KV 以上 | 46 KV |
| 산가 (mg-KOH/g) | 0.01 以下 | 0.03 |
| 가스分析 (PPM) | | |
| $H_2$ | 0 | 11 |
| CO | 0 | 35 |
| $CH_4$ | 0 | 0 |
| $C_2H_2$ | 0 | 20 |

新油와 劣化油의 特性 變化表는 表 5-2에 나타낸다. 表에서 알 수 있다시피 絶緣油가 劣化되는 變化率을 따져 보면 新油인 境遇 10℃에서 60℃ 사이에 2.75培가 變化되었으나 劣化油인 境遇 10培가 變化되었다. 그리고 70℃에서 90℃ 사이는 新油인 境遇 14培 變했으나 劣化油인 境遇 5.2培 變하였다. 여기서 말하는 劣化油는 現場에서 實際 使用하였던 絶緣油를 말하며 表의 特性値에서 알 수 있다시피 完全 劣化油된 絶緣油는 아니다.

表 5-2 新油와 劣化油의 센서 特性 變化表

(단위 : nA)

| 溫 度 | 新 油 (시료 8個 平均) | 劣 化 油 | 變 化 率 (新油/劣化油) | 備 考 |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 0.987 | 4.0 | - | |
| 20 | 1.025 | 5.5 | 1.038/1.375 | |
| 30 | 1.375 | 10.5 | 1.341/1.909 | |
| 40 | 1.987 | 21.0 | 1.445/2.0 | |
| 50 | 2.187 | 27.0 | 1.101/1.285 | |
| 60 | 2.712 | 40.0 | 1.24/1.481 | |
| 70 | 6.3 | 75.0 | 2.323/1.875 | |
| 80 | 21.125 | 160.0 | 3.353/2.133 | |
| 90 | 88.0 | 390.0 | 4.165/2.437 | |

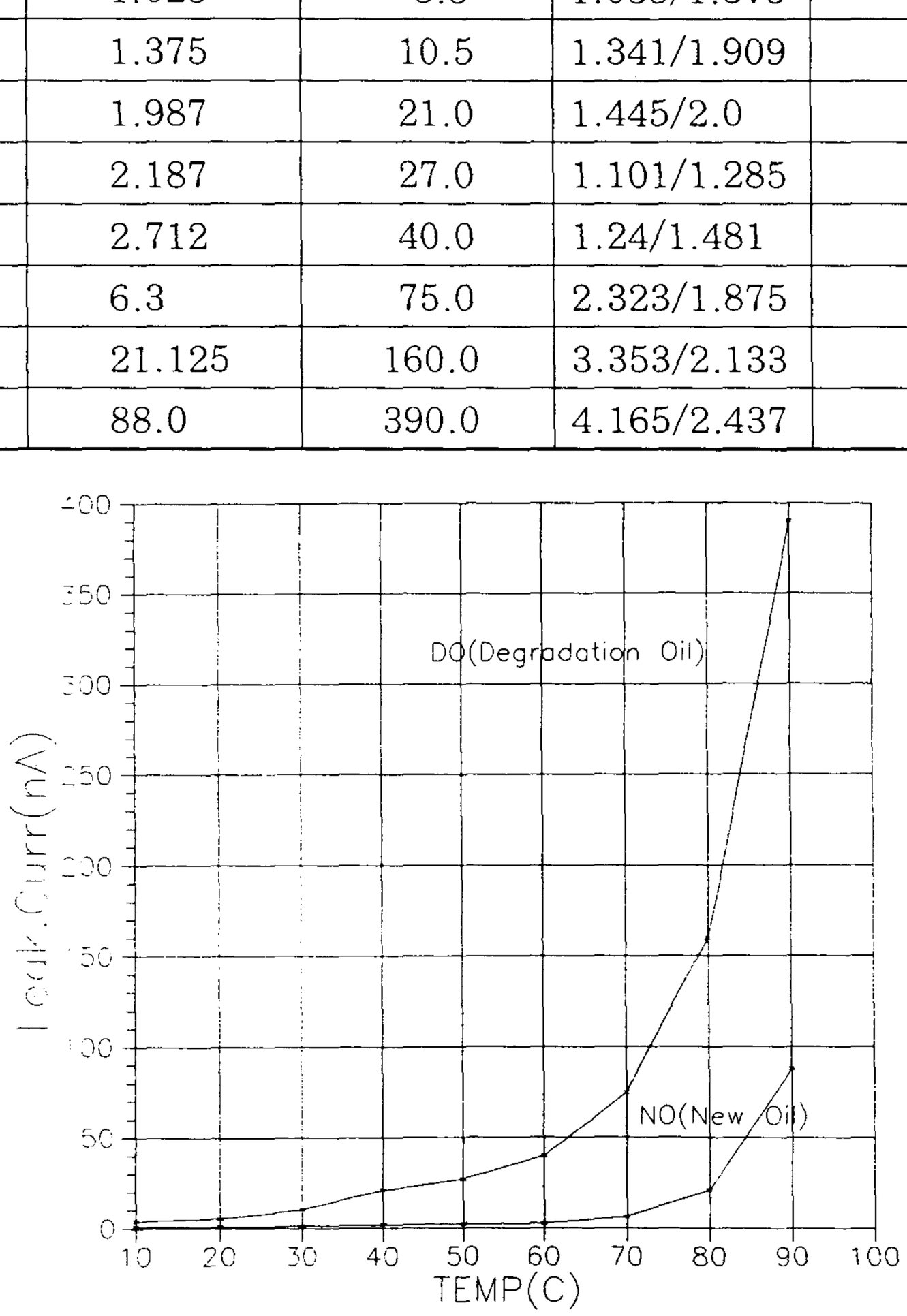



그림 5-15 新油와 劣化油의 特性 그래프

表 5-2를 根據로 하여 그래프로 나타내면 그림 5-15와 같다. 그림에서 알 수 있다시피 劣化油가 溫度에 따라 增加하는 패턴이나 新油가 溫度에 따라 增加하는 패턴이 類似하다는 事實이다. 溫度가 낮을 때는 그 增加幅이 적으나 溫度가 높아지면 그 增加幅이 커짐을 알 수 있다.

## 4. 測定値 補償値 設定

變壓器 絶緣油는 溫度에 따라 絶緣油 自體의 熱傳導性이 달라지기 때문에 測定時 이에 대한 값을 補償해 주어야 한다. 즉 교정曲線(Calibration Curve)를 만들어 計測器의 CPU 메모리 機能에 貯藏한다.

表 5-3 測定値 補償값

| 溫 度 (℃) | 漏 洩 電 流 (nA) | 溫 度 (℃) | 漏 洩 電 流 (nA) |
|---|---|---|---|
| 20 | 1.0 | 65 | 4 |
| 25 | 1.0 | 70 | 5 |
| 30 | 1.0 | 75 | 10 |
| 35 | 2.0 | 80 | 15 |
| 40 | 2.0 | 85 | 30 |
| 45 | 3.0 | 90 | 45 |
| 50 | 3.0 | 95 | 55 |
| 55 | 3.0 | 100 | 70 |
| 60 | 3.0 | | |

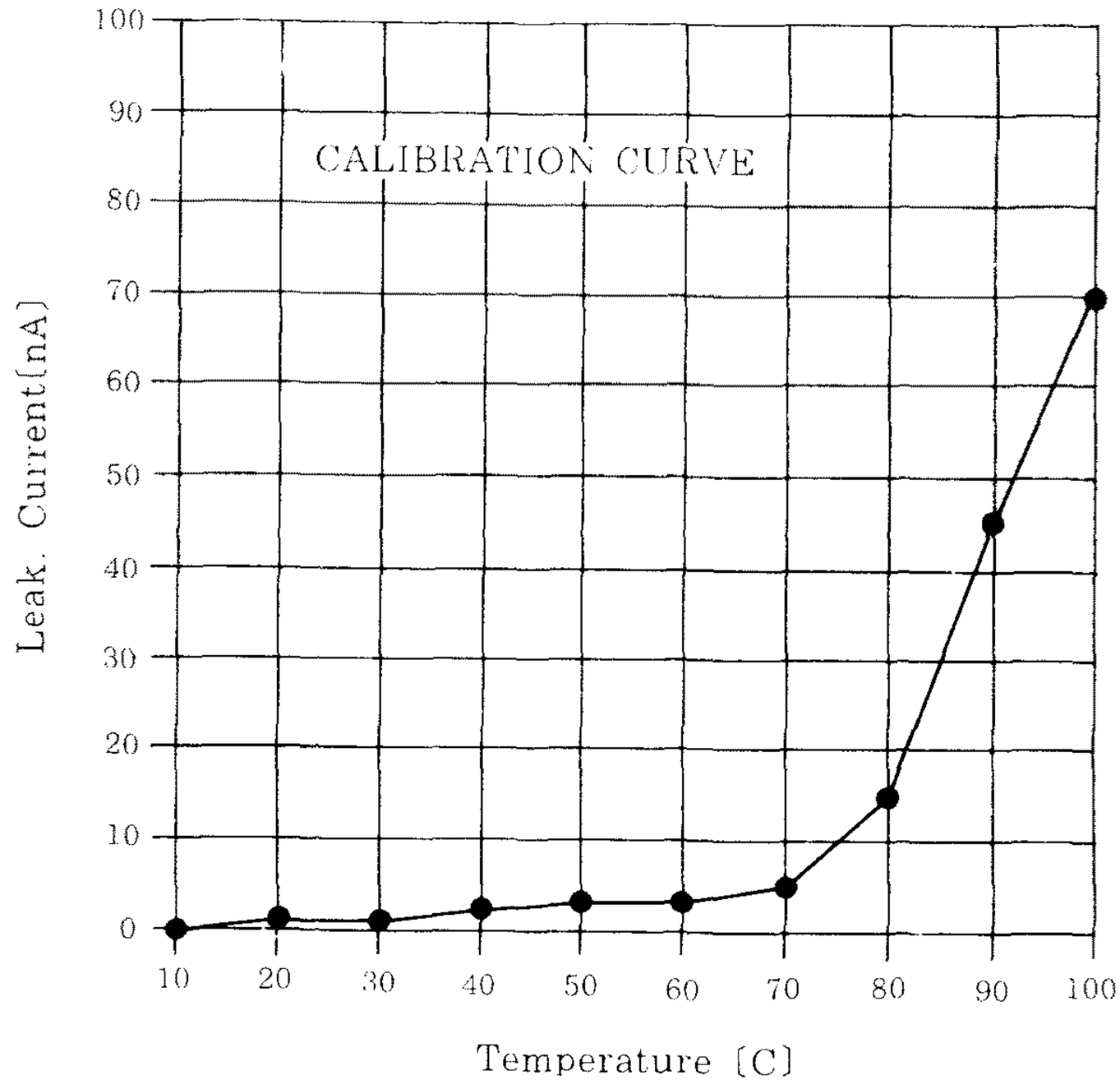



그림 5-16 絶緣油 劣化센서의 較正曲線

지금까지 여러 實驗에서 絶緣油 劣化센서에 印加되는 電壓이 DC 2 KV가 適合함이 判明 되었으므로, 新油에 DC 2 KV를 New Sensor에 印加였을 때 特性 그래프를 綜合的으로 檢討 할 必要가 있다. 왜냐하면 現場에서 測定할 電源이 DC 2 KV로 確定되었고, 그리고 이 電壓에서 가장 安定된 漏洩電流値가 測定되었기 때문이다.

第 3章에서 言及된 DC 2 KV 特性 그래프에서 10個의 시료를 分析해 본 結果 絶緣油 溫度 80℃에서 거의 15(nA)까지 變化되었고 90℃에서는 거의 45(nA)까지 變化됨을 알 수 있었다. 이러한 데이타를 根據로하여 測定値 補償값이 決定되는데 測定된 값의 平均値를 구하여 各 溫度에서의 測定값은 表 5-3과 같다.

本 硏究의 4次年度에서 이와같은 實驗을 完了시켜 正確한 較正曲線을 만들어 內藏된 絶緣油 計測器의 CPU 메모리에 다시 修正된 데이타를 貯藏시켰다.

## 5. 實驗方法

本 硏究課題에서 適用된 絶緣油 劣化센서의 測定値와 比較하기 위하여 各種 測定裝置 및 測定方法에 대하여 檢討하여 보았다.

### 가. 絶緣油 耐壓試驗

絶緣油의 絶緣破壞 電壓은 어떤 電界下에서 使用 可能한가의 與否를 判定하는 基準으로써 油中의 水分, 纖維質 또는 導電性 粒子에 의해 破壞電壓이 低下하므로 絶緣破壞現象이 일어날때 測定된値로 油中 不純物의 有無를 判定하는 試驗이다. 試驗方法으로 直徑 12.5(mm)로 한 셀(Cell)에 試料를 넣고 3분간 放置 후 油中의 거품을 가라앉게 한 다음 초당 300(V)의 速度로 電壓을 上昇시켜 破壞電壓을 測定한다. 破壞에 앞서 순간방전이 連續性을 띄지 않는 것은 絶緣破壞로 認定되지 않는다. 試料의 溫度 15℃이상에서 2개의 試料를 취하여 各各 5회씩 測定하여 첫번째 값을 버린 8회의 平均値를 測定한다. 본 硏究試驗에 使用된 絶緣油 耐壓裝置 仕樣은 다음과 같다.

- 絶緣油 耐壓裝置 仕樣

(電壓調整器)

- 形式 : 拾動型
- 定格容量 : 0.5kVA, (30분)
- 入力/出力 : 100V/0~130V
- 周波數 : 50/60 HZ

(測定用 셀)

- 材質 : 투명 아크릴
- 調整 : 마이크로 메타식
- 口徑(球徑) : 12.5mm
- 오일량 : 200 CC

(볼트 메타)

- 置數 : 100mm × 100mm
- 눈금 : 0~60kV(100V)

- 絶緣油 判定基準

- 양호 : 30kV 이상
- 요주의 : 25~30kV
- 불량 : 25kV 미만

### 나. 全酸價 試驗(Acid Value)

絶緣油는 溫度, 酸素, 동촉매, 광 등에 의하여 酸化 劣化되어 酸性物質을 生成하며 酸의 增加는 絶緣油 중에 Colloid成分을 增加시켜 油中의 水分, 微細粒子 등을 떠오르게 하여 捲線을 短絡시키거나 絶緣을 低下시키는 危險을 초래한다.

더욱 酸化하면 Sludge를 生成하여 捲線의 熱傳達을 妨害하므로 變壓器 溫度上昇의 原因이 된다. 試驗方法은 試料 20g을 規定된 容器(300ml 삼각 프라스크)에 넣고 混合溶劑(Toluene 3V + Ethnol 2V)에 溶解시킨 후 Alkali Blue-6B 지시약으로 하여 중화액(0.1N-KOH)를 표준용액으로 適定하여 (액이 자색빛 띤 적색변화가 15초간 維持) 이때 소요되는 KOH의 량(mg)으로 酸價를 計算한다.

- 絶緣油 判定基準

- 양 호 : 0.2(mg-KOH/g)미만
- 요주의 : 0.2~0.5(mg-KOH/g)
- 불 량 : 0.5(mg-KOH/g)以下

다. 유전정접(tan $\delta$) 試驗

汚染物質의 含有量 또는 絶緣油 自體의 劣化程度에 關係되는 것으로, 絶緣油에 交流電壓을 가하였을 때 發生되는 電力 損失率을 말한다. 試驗方法은 ASTM에 規定된 電極을 벤젠등의 溶劑에 씻어내고 다시 試料로 씻은 다음 새로운 試料를 넣고, 電極間에 100V, 60Hz의 電壓을 認可하여 交流 브릿지법에 의하여 測定한다. 이때 試料溫度는 50±1℃를 維持한다.

- 絶緣油 判定基準

• 양호 : 1.25%미만 • 요주의 : 1.25~5.0% • 불량 : 5.0%초과

라. 유중가스 分析

154kV급 以上의 大容量 變壓器의 劣化測定에 使用하는 方法으로 變壓器 內部의 異常部位에서 生成되는 熱分解 가스를 運轉中에 탱크 下部의 배유변에서 採取한다. 通常 運轉中인 變壓器의 絶緣油 중에 含有되어 있는 가스의 種類는 $O_2$, $CO_2$, $N_2$ 其他의 불연성의 것과 $H_2$ 및 $C_1$~$C_4$의 가연성의 것등 대체로 20種類 前後이다. 저급 탄화 수소가스나 무기가스의 정량분석 方法에는 紫外線, 赤外線, 分光分析, 質量分析, Gas Chromatograph分析 등이 있지만 性能면 操作 原理의 면에서 一般的으로 Gas Chromatograph에 의한 分析方法이 利用되어 지고 있다.

本 硏究에서 使用된 日本 日立(HITACHI)製 휴대용 Gas 分析器에 대한 動作原理 및 仕樣에 대하여 간략히 소개한다.

(1) 動作原理

變壓器로부터 採取한 絶緣油의 유중가스 抽出에 대해서 說明한다. 油面 狀系內의 가스농도가 유중가스 濃度와 平衡에 달할 때까지의 時間은 空氣를 注入시

키는 파이프의 사이즈와 空氣의 流量 등에 따라 다르다. 油面 狀系內의 가스 濃度와 油中 關係는 다음式으로 表示된다.

$$V = \frac{C}{K} \qquad (7\text{-}2)$$

V : 初期의 油中 가스濃度(ppm)

C : 平衡시의 油面狀 가스濃度(ppm)

K : 抽出器의 固有 抽出 係數

上記 식에서 K는 抽出器의 條件에 따라 다르기 때문에 가스 Analyser로 接續된 가스 抽出器의 고유 抽出係數에 入力하지 않으면 안된다. 抽出係數가 入力되면 上記의 식을 使用하여 油中 가스濃度를 換算한다. 表 5-4는 現場測定用 가스분석기 사양으로 現場에서 샘플링된 試料를 2시간이내에 바로 測定할 수 있는 기기이다. 測定가스의 種類는 6가지로 이 成分에 의거 狀態를 판정할 수 있다.

그림 5-17은 가스 Analyser의 槪略 構成圖를 나타낸다. 變壓器로부터 採取된 絶緣油를 油 抽出器에 注入한 후 순환 펌프로 空氣를 注入시켜 油中가스를 抽出한다. 그리고 抽出된 가스를 검량관에 증발시킨 후 이것을 분리칼럼을 통하여 分析한다. 그리고 검량관에 蓄積된 抽出가스를 檢出器의 펌프로부터 보내어지는 캐리어 가스(空氣)에 의하여 분리칼럼에 보내어지는데 가스성분의 칼럼 通過 速度에 그림 5-18과 같이 6成分 가스로 分離되는데 이 가스량을 센서에 의하여 檢出한다.

表 5-4 가스 Analyser 사양

| 분석기 RCP-6D | |
|---|---|
| 측 정 대 상 가 스 | $H_2$, CO, $CH_4$, $C_2H_4$, $C_2H_2$ |
| 정 도 | ±20%이내(교정가스 정도에 따라 변화) |
| 측 정 범 위 | $H_2$ 10-1000 ppm<br>CO 10-1000 ppm<br>$CH_4$ 10-1000 ppm<br>$C_2H_4$ 10-1000 ppm<br>$C_2H_6$ 10-1000 ppm<br>$C_2H_2$ 3-200 ppm |
| 칼 럼 | 6성분 분리용 특수 칼럼 |
| 캐 리 아 가 스 | 실내공기(건조관으로 수분제거 펄스 송부) |
| 가 스 샘 플 | 5ml |
| 프 린 터 | 80mm폭 |
| 외 부 출 력 | 0-5V DC |
| 시험온도 및 습도 | 5-35℃, 10-90% RH |
| 전 원 | AC 100V ±10V, 50/60 HZ |
| 외형치수 및 중량 | W 510×H200×D300m/m, 14kg |

| 유중가스 추출기 GEX-1D | |
|---|---|
| 필 요 유 량 | 약 70ml |
| 추 출 방 식 | 순환 pump식 탈기 |
| 전 원 | AC 100V 50/60 Hz |
| 외 형 치 수 | W180×H280×D290mm |
| 중 량 | 약 6Kg |

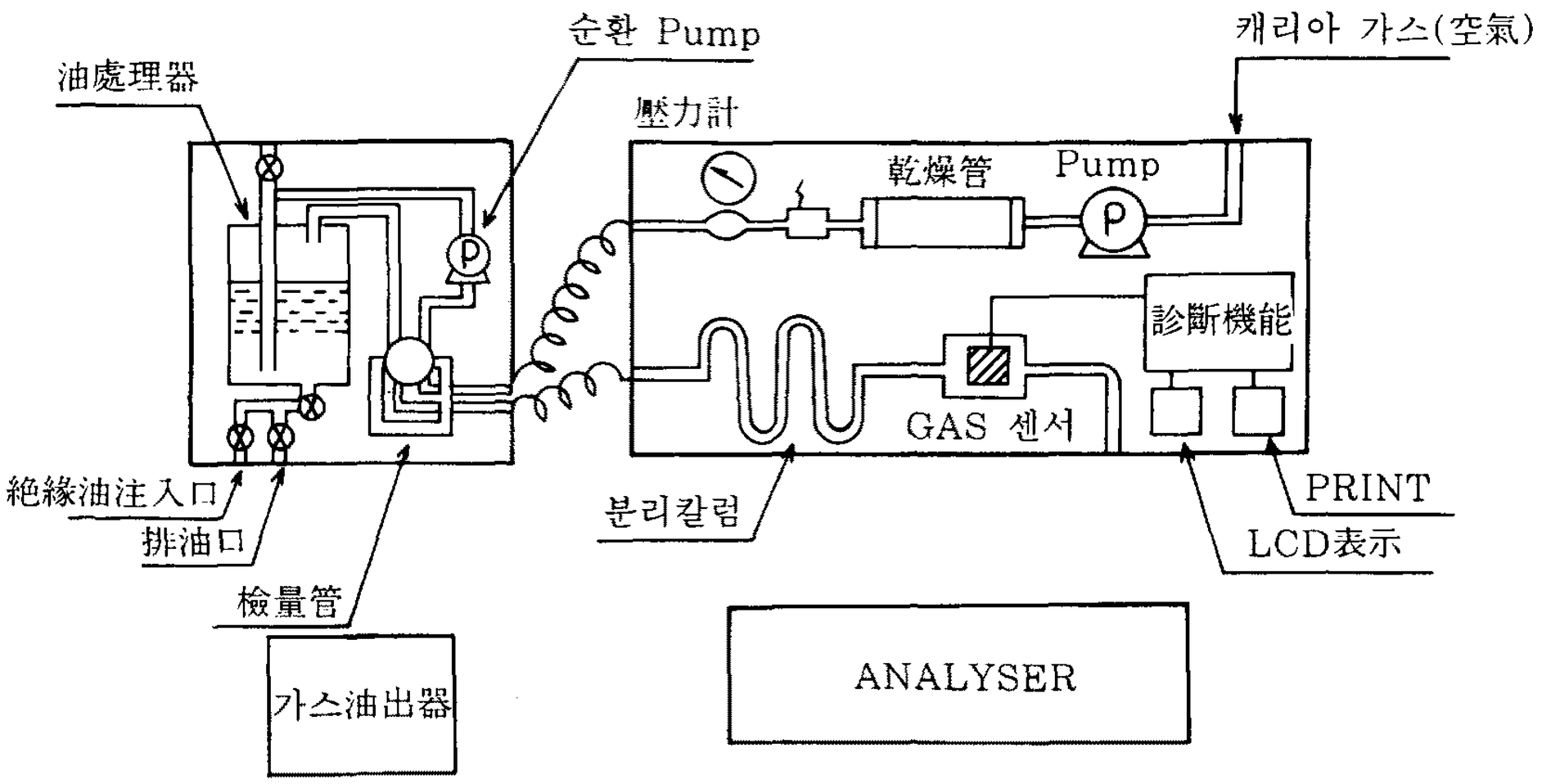



그림 5-17 가스 Analyser 構成圖

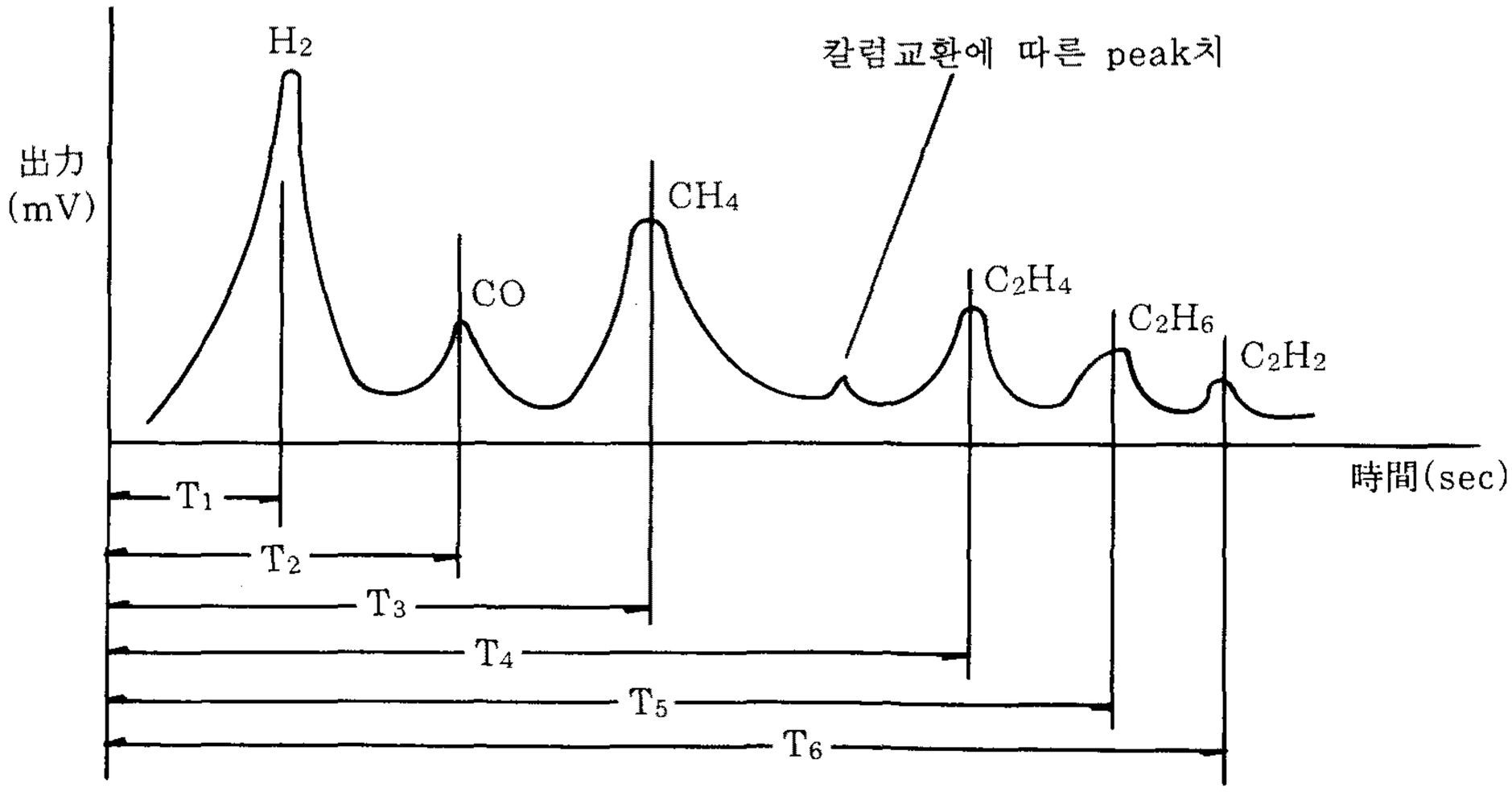



그림 5-18 6성분 檢出 가스 例

나. 測定 및 診斷 方法

(1) 造成比에 의한 診斷 方法

日本 電氣協同 研究會에서 提示한 方法에 6성분의 가스중 $H_2$, $CH_4$, $C_2H_4$, $C_2H_6$, $C_2H_2$의 5종류 가스의 造成比로부터 異常形態를 診斷할 수 있는 方法이 있다. 表 5-5과 같이 3가지 形態의 造成比 ($C_2H_2/C_2H_4$, $CH_4/H_2$, $C_2H_2/C_2H_6$)를 算出하여 각 比率을 코드표로 分離시켜 간단하게 診斷할 수 있는 方法이 있다. 특히 그림 5-19와 같이 $C_2H_2/C_2H_4$의 比率과 $C_2H_4/C_2H_6$比率에 따라 異常 形態를 分類할 수 있는데 分類되는 項目으로는 部分放電, 아크방전, 과열 등이 있다. 앞에서 說明한 가스 Analyser로 이와 같은 造成比를 연산처리할 수 있고 異常形態를 表示할 수 있다.

表 5-5 이상 診斷 코드

| 가스성분의 비율 | $C_2H_2/C_2H_4$ | $CH_4/H_2$ | $C_2H_4/C_2H_6$ |
|---|---|---|---|
| < 0.1 | 0 | 1 | 0 |
| > 0.1 - < 1 | 1 | 0 | 0 |
| > 1- < 3 | 1 | 2 | 1 |
| > 3 | 2 | 2 | 2 |

| $C_2H_2/C_2H_4$ | $CH_4/H_2$ | $C_2H_4/C_2H_6$ | 이 상 형 태 |
|---|---|---|---|
| 0 | 2 | 0 | 과열(저) |
| | 2 | 1 | 과열(중) |
| | 0, 1, 2 | 2 | 과열(고) |
| 1 | 0, 1, 2, | 0, 1, 2 | 아크 방전<br>(고에너지 방전) |
| 2 | 0, 1 | 0, 1, 2 | 부분 방전<br>(저에너지 방전) |

(2) 絶緣油 및 絶緣紙 過熱 區分

일산화탄소(CO)의 發生量이 150-300ppm 以下의 範圍에 있는 境遇 絶緣油의 過熱로 보고, 상기치 以上인 境遇 絶緣紙 過熱로 볼 수 있다.(그림 5-20)

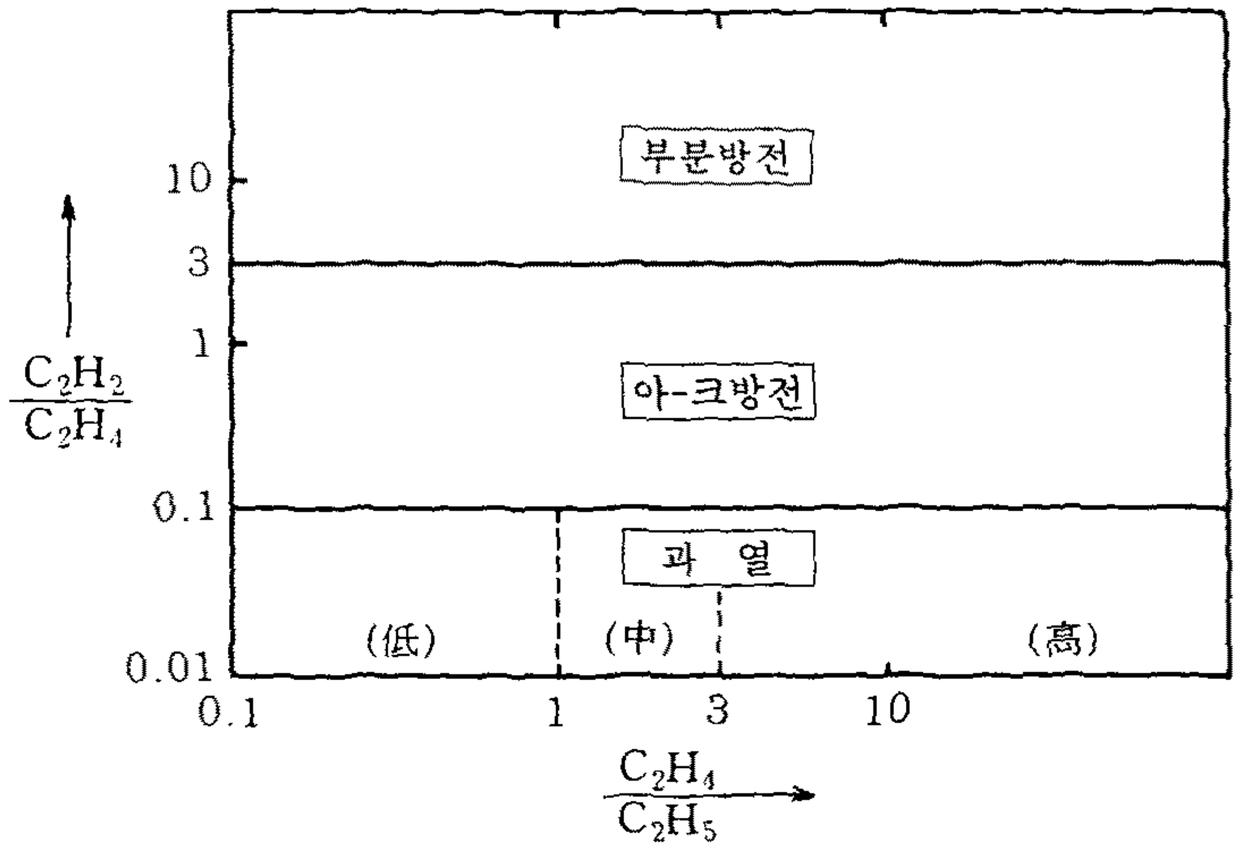



그림 5-19 異常形態 分類圖

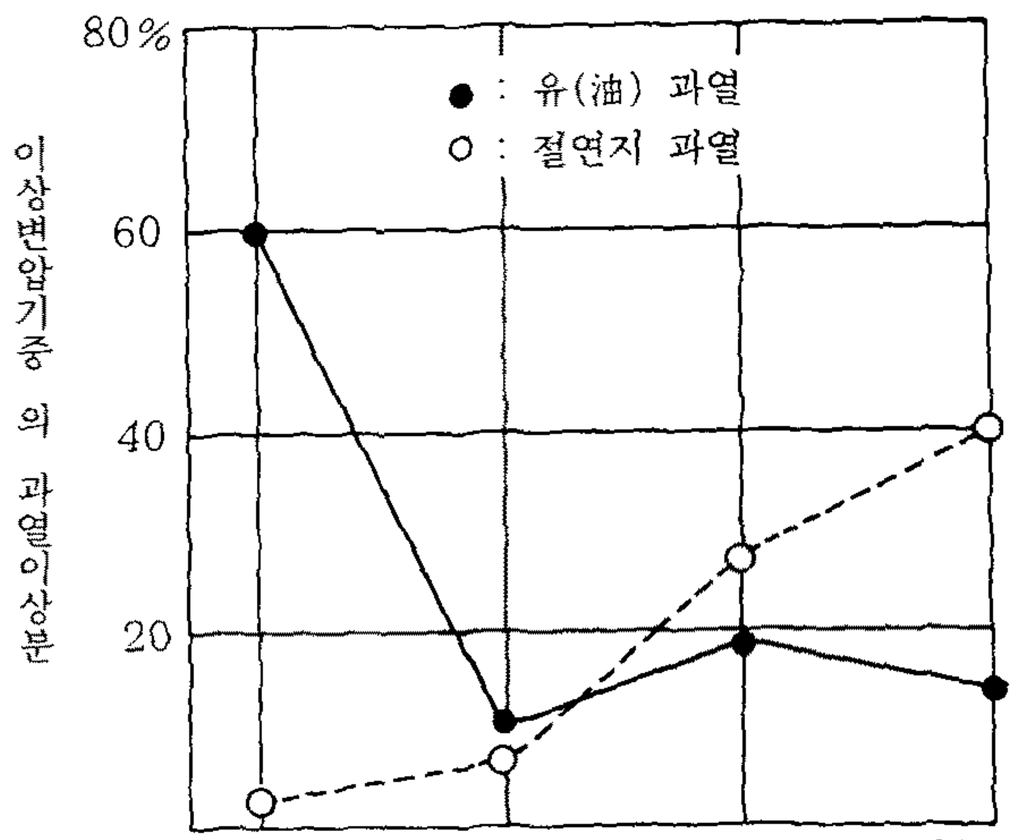



그림 5-20 CO 發生에 의한 異常變壓器 診斷

(3) 국부과열시 過熱溫度

絶緣油 및 絶緣紙가 過熱된 境遇, 通常 포화탄화수소인 에탄($C_2H_6$)에 대한 불포화 탄화수소의 에틸렌($C_2H_4$) 比率이 增加된다. 여기서 實驗結果에 따라 過熱溫度를 그림 5-21에 따라 推定할 수 있다.

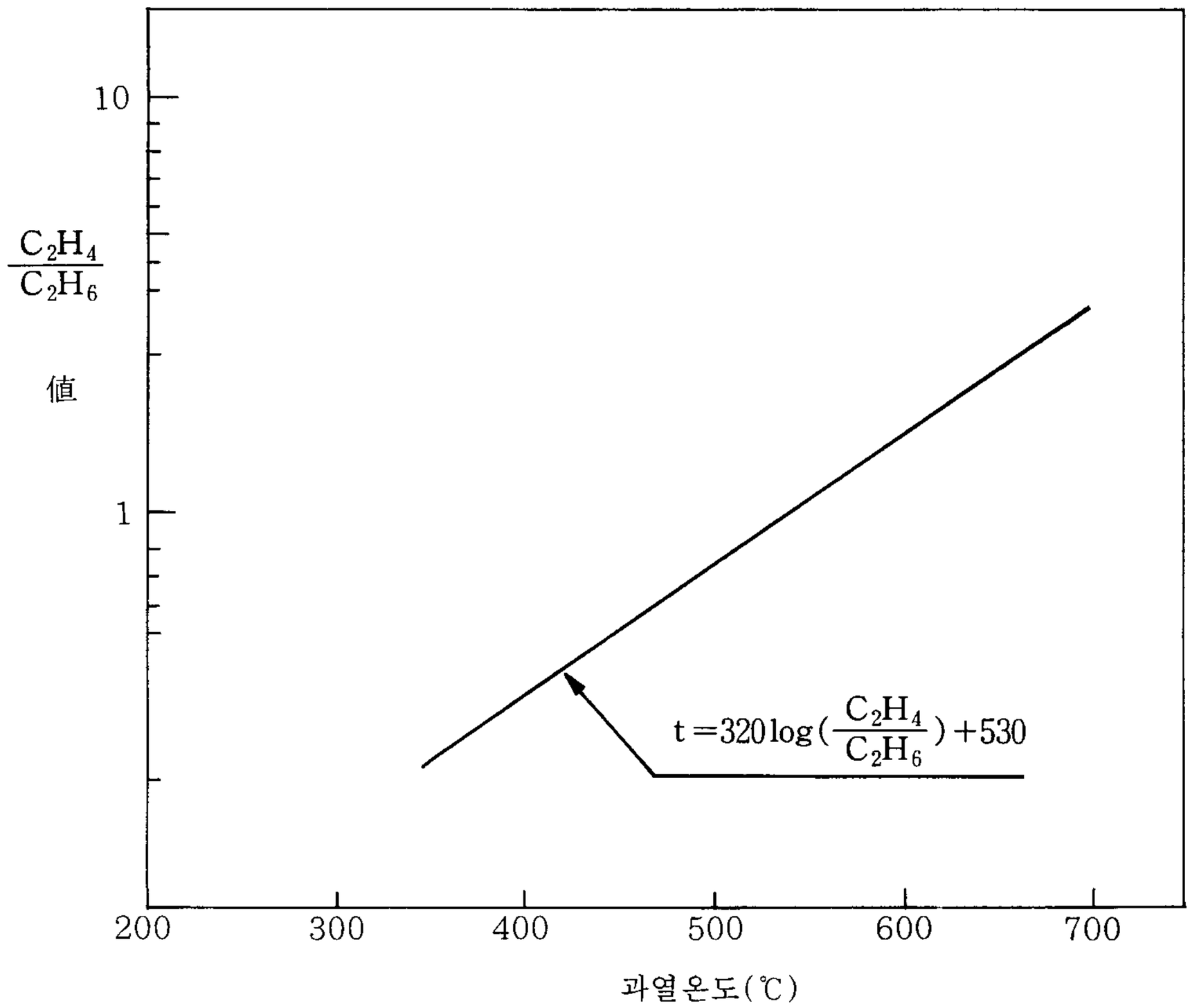



그림 5-21 과열온도와 $C_2H_4/C_2H_6$와의 關係

가연성 가스 總量에 要注意, 異常레벨 判定의 基準値를 表 5-6에 나타내었다

表 5-6 가연성 가스총량(TCG)에 의한 絶緣油 判定

- 可燃性 가스총량(TCG)에 의한 要注意, 異常레벨

| 판정레벨 | 변압기 정격 | 가 스 량 (PPM) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | TCG | $H_2$ | $CH_4$ | $C_2H_6$ | $C_2H_4$ | CO |
| 要注意 | 275kV 이하 10MVA 이하 | 1,000 | 400 | 200 | 150 | 300 | 300 |
| | 10MVA 초과 | 700 | 400 | 150 | 150 | 200 | 200 |
| | 500kV | 400 | 300 | 100 | 50 | 100 | 200 |
| 異常 | 275kV 이하 10MVA 이하 | 2,000 | 800 | 400 | 300 | 600 | 600 |
| | 10MVA 초과 | 1,400 | 800 | 300 | 300 | 400 | 600 |
| | 500kV | 800 | 600 | 200 | 100 | 200 | 400 |

- 可燃性 가스총량(TCG)의 增加 趨勢에 의한 要注意, 異常레벨

| 變壓器 定格 | TCG 증가율 | |
|---|---|---|
| | 요주의(PPM/년) | 이상(PPM/월) |
| 275kV 이하 10MVA 이하 | 350 | 100 |
| 10MVA 초과 | 250 | 70 |
| 500kV | 150 | 40 |

## 6. 實驗 結果分析

지금까지의 諸般 實驗을 土臺로 하여 그 實驗 結果를 分析하여 보면 다음과 같다.

(1) 絶緣油 劣化 特性 試驗을 위하여 劣化 탱크와 返還負荷法 回路를 製作하여 劣化 試驗을 실시하였다.

(2) 絶緣油의 新油와 劣化油를 比較 試驗한 結果 絶緣油 一般 特性과 같이 漏泄電流가 민감하게 變化됨을 알 수 있었다.

(3) 絶緣油 劣化센서 動作 特性에서 絶緣油 유동에 거의 影響이 없음을 알 수 있었다.

(4) 絶緣油 劣化센서의 氣孔크기에서 150〔$\mu$m〕, 印加電壓을 2〔KV〕加했을 때 各 溫度에 따른 較正特性値를 구하여 마이크로 칩에 貯藏시킨 후 溫度 報償値를 구하였다.

(5) 劣化日數에 따른 絶緣油 特性變化를 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流値와 다른 特性値와 相互比較 分析한 結果를 그 推移曲線으로 分析해 본 結果 다음과 같은 몇가지 事實을 알 수 있었다.

(가) 劣化 센서 150〔$\mu$m〕에 대하여 劣化日數 18週間의 實驗結果 劣化센서의 漏洩電流値와 絶緣油 酸價와의 關係 曲線에서 相互 比例的으로 增加되면서 어느 一定한 交叉點을 향하여 推移曲線이 變한다.

(나) 劣化센서 150〔$\mu$m〕에 대하여 劣化日數 18週間의 實驗結果 劣化센서의 漏洩電流値와 絶緣油 耐壓値와의 關係 曲線에서 相互 比例的으로 增加되면서 어느 一定한 交叉點을 향하여 推移曲線이 變한다.

(다) 劣化센서 150〔$\mu$m〕에 대하여 劣化日數 18週間의 實驗結果 劣化센서의 漏洩電流値와 絶緣油 Gas 중 CO Gas 含有量과의 關係 曲線에서 相互 比例的으로 增加된다는 사실을 알 수 있었다.

(6) 따라서 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流 變化推移는 旣存의 測定方式인 絶緣油 耐壓 및 酸價 測定 結果値와 相當한 關聯이 있음이 밝혀졌다.

## 第2節 CRIEPI側 試驗

國際共同研究의 相對國인 日本電力中央研究所(CRIEPI)요코스카 研究所에서 1994年 10月부터 1995年 10月까지 근 12個月間 試驗한 데이타를 分析 檢討하였다.

그들이 사용한 센서는 當所에서 提供한 絶緣油 劣化센서로 氣孔크기가 100($\mu$m)과 250($\mu$m)인 두 種類이다. 그들이 使用한 試驗回路는 그림 5-22와 같은 返還負荷法 回路이다. 試驗用 變壓器 容量은 6.6 KV/210V 20KVA 2중 한대에 두개의 센서를 한꺼번에 넣어 實驗하였다. 그림에서 볼 수 있다시피 電流를 測定할 수 있는 記錄計, PCB Measurement, Computer등을 使用하여 센서의 漏洩電流를 測定한다.

### 1. 센서의 漏洩電流 試驗

위와 같은 返還負荷法 回路를 利用하여 10個月間 測定된 데이타를 그래프로 나타낸 것이 그림 5-23이다. 센서에 DC 2KV, 絶緣油 溫度 80℃와 60℃의 測定된 結果를 보면 처음 약 12個月 동안은 거의 比例的으로 서서히 增加하다가

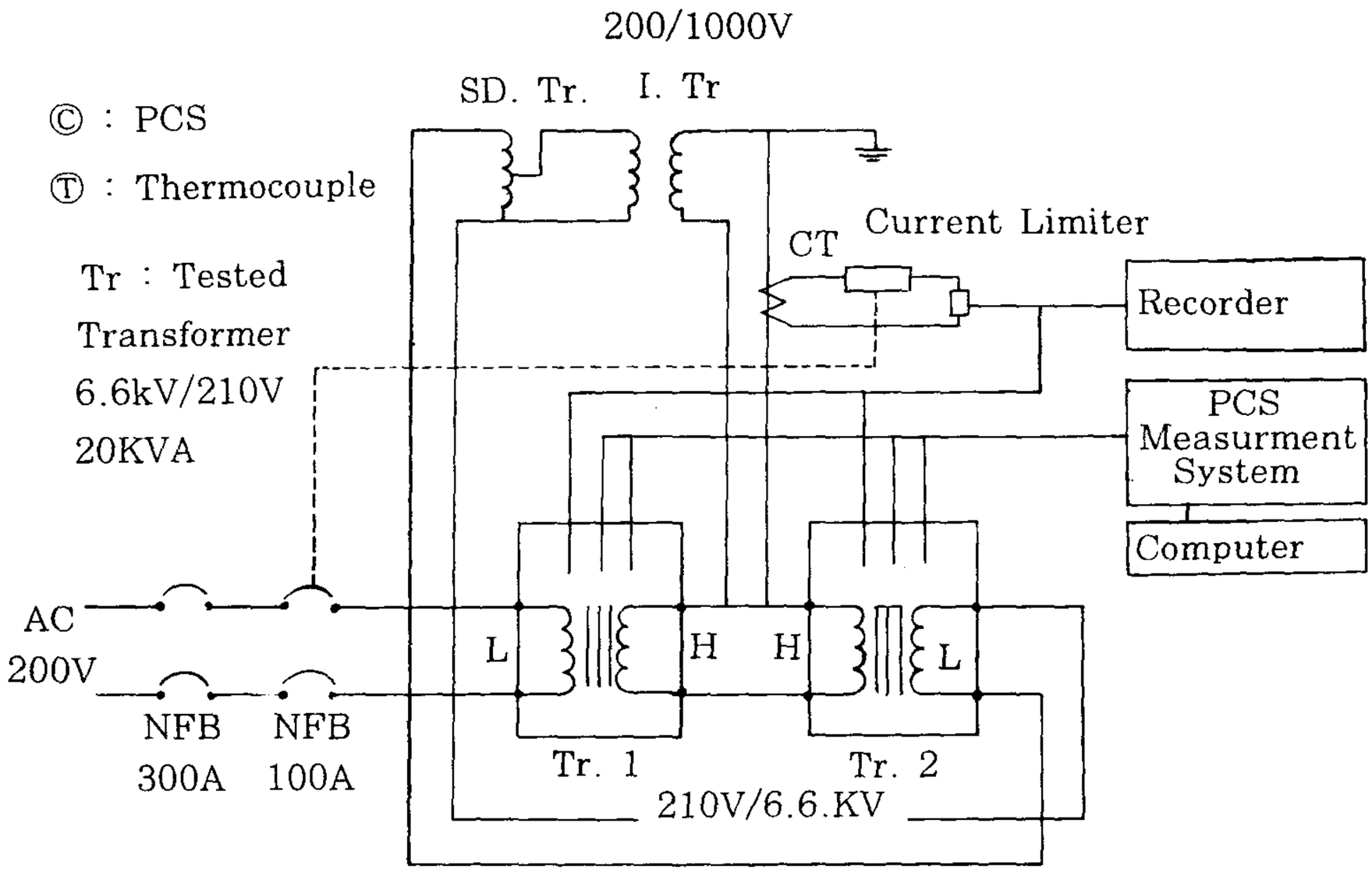
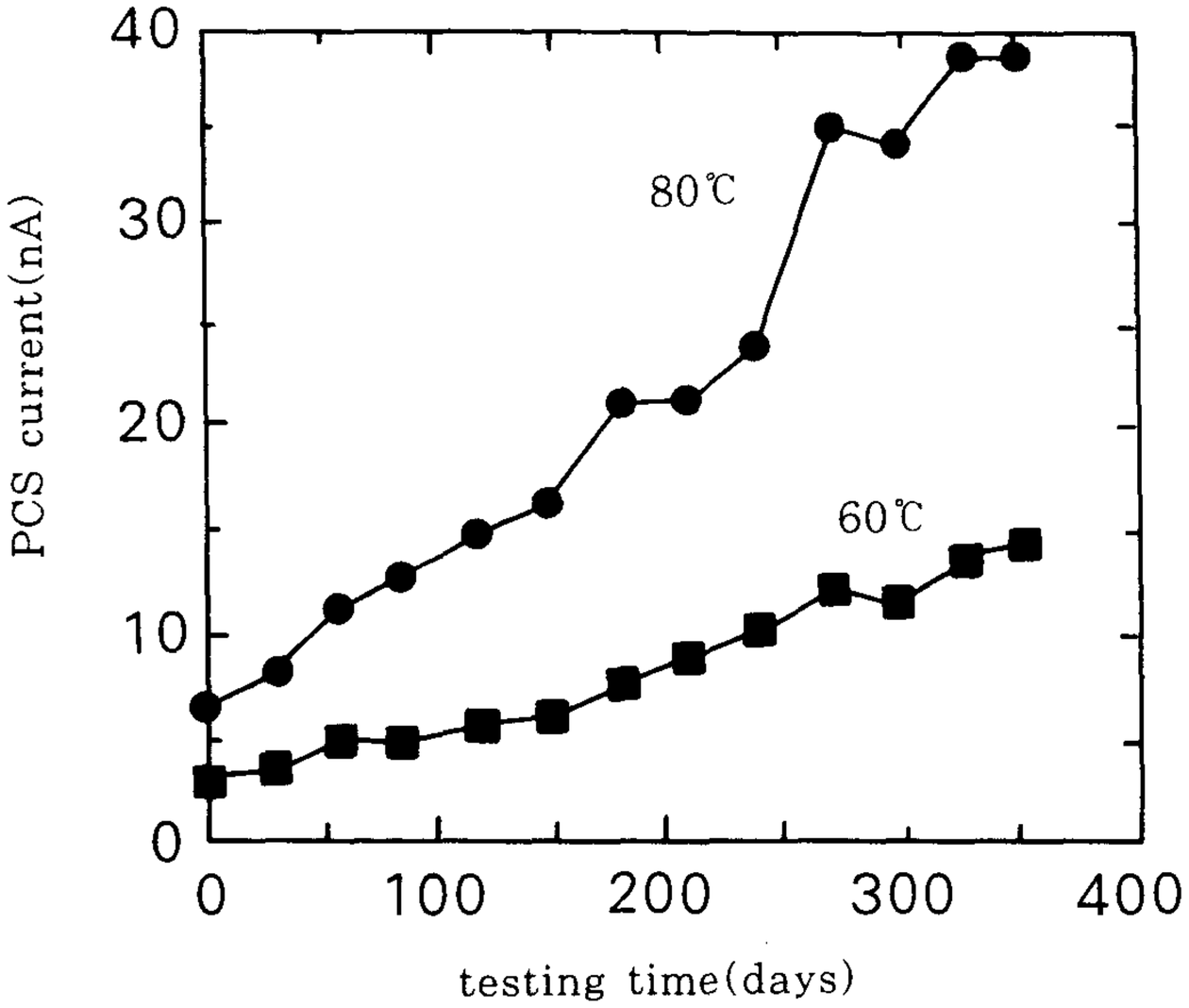



그림 5-22 CRIEPI側 試驗回路

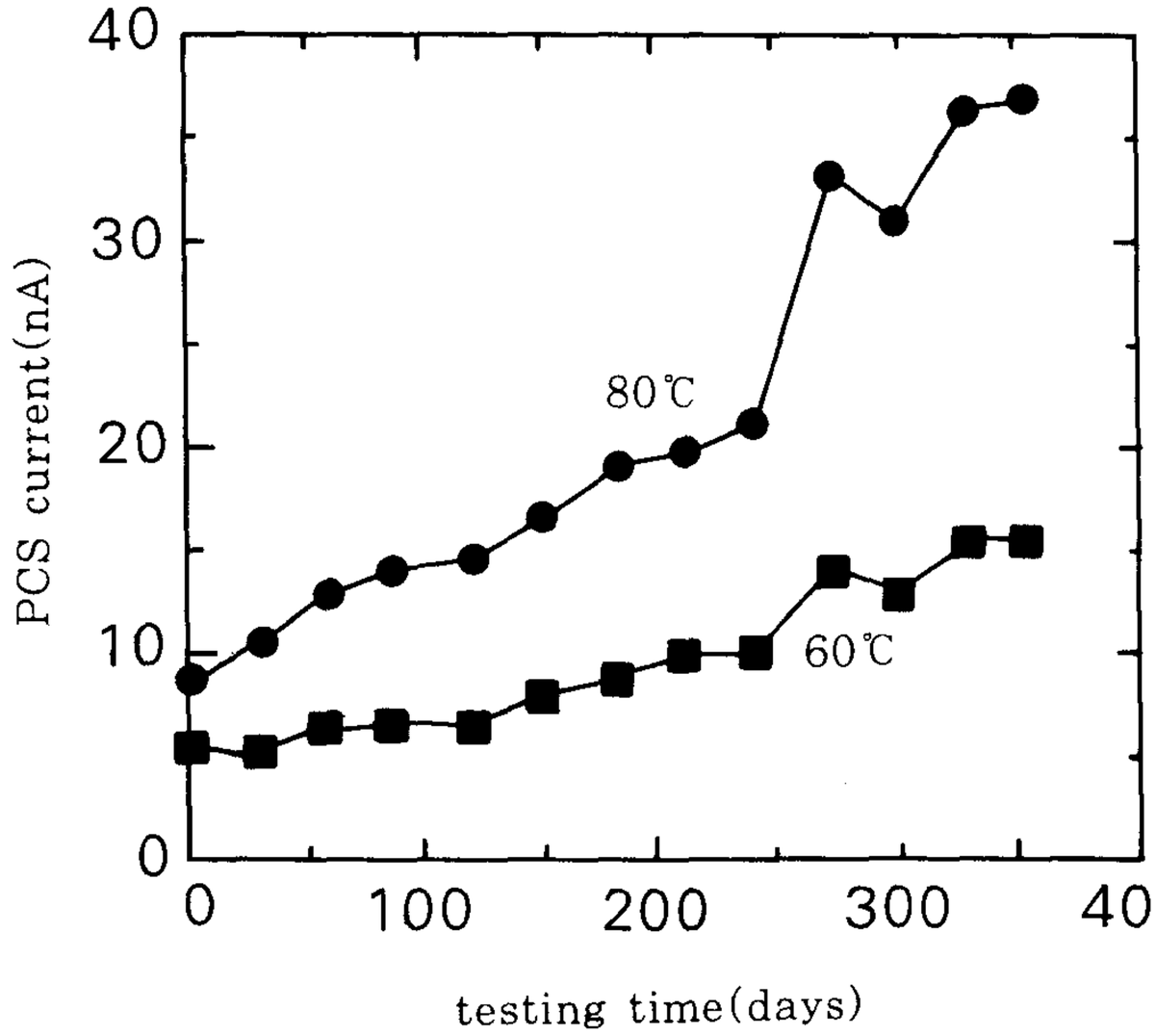
8個月 後 급한 增加勢를 보이고 있다. 測定 中間에 測定上의 誤差로 보여지는 現象도 나타나나 大體的으로 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流는 劣化 期間에 따라 增加 推移를 나타낸다.

## 2. V-T-I 측정

CRIEPI側에서 實施한 V-T-I 特性의 資料를 보면 初期試驗, 1個月 後, 4個月 後, 10個月 後의 變化狀態를 볼 수 있다. 그림 5-24에 나타난 그래프는 絶緣油 劣化센서의 氣孔 크기 100($\mu$m)의 경우이며 이때 印加된 電壓은 1, 2, 3, 4, 5 KV이며, 絶緣油 溫度는 30, 40, 50, 60, 80, 90℃이다.

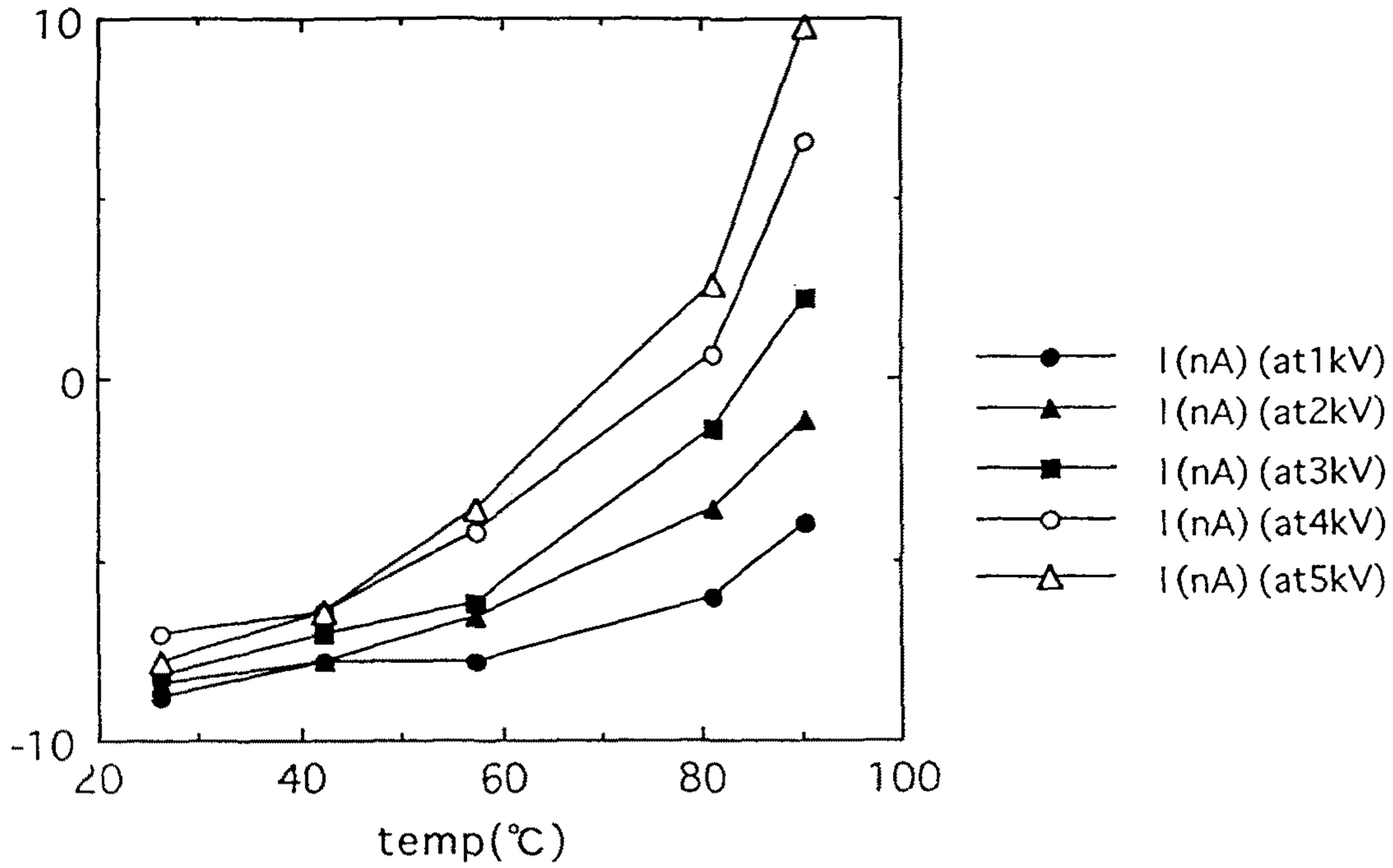



PCS : 100 micron
Applied Voltage : 2kV

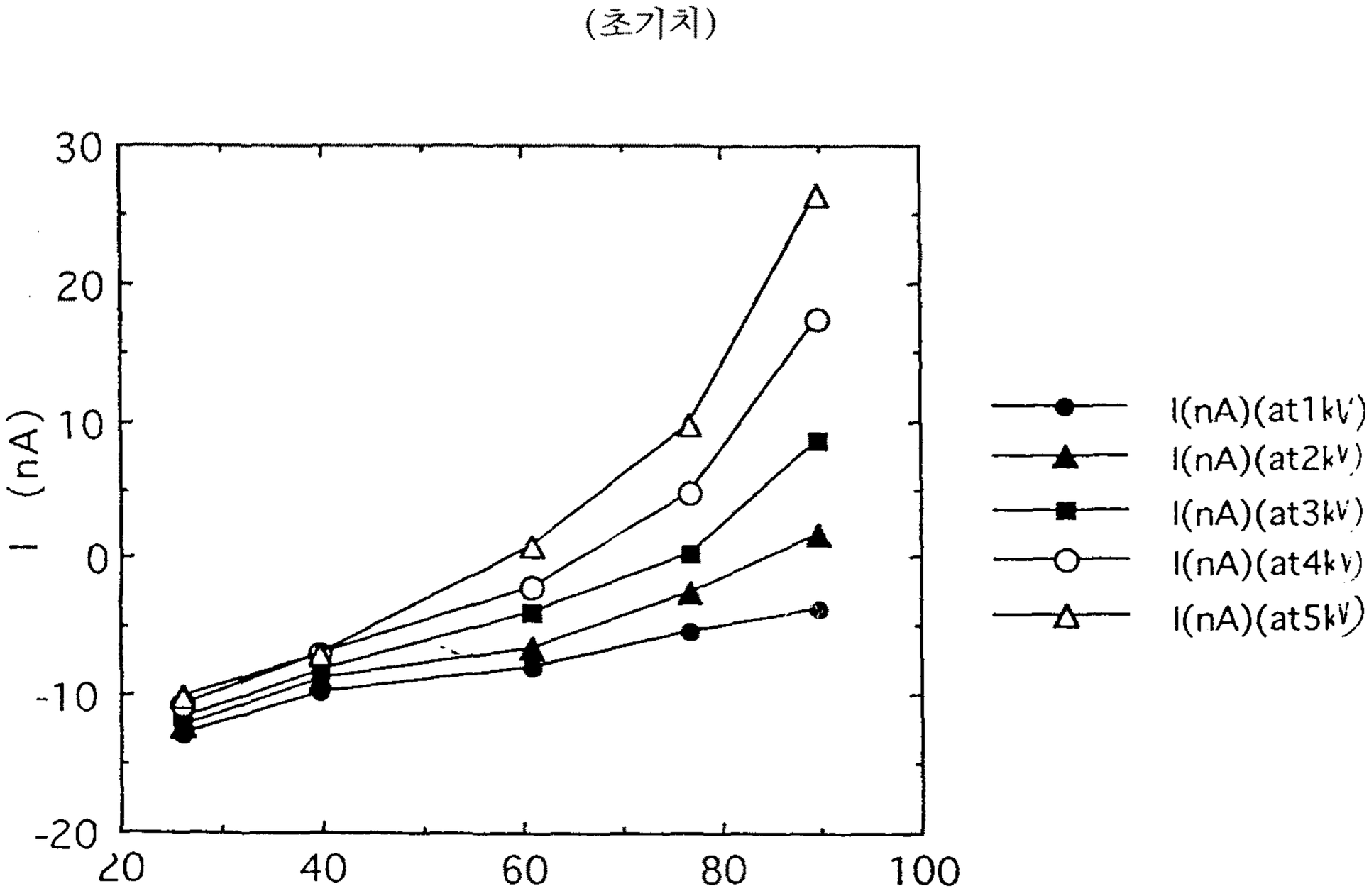



PCS : 250 micron
Applied Voltage : 2kV

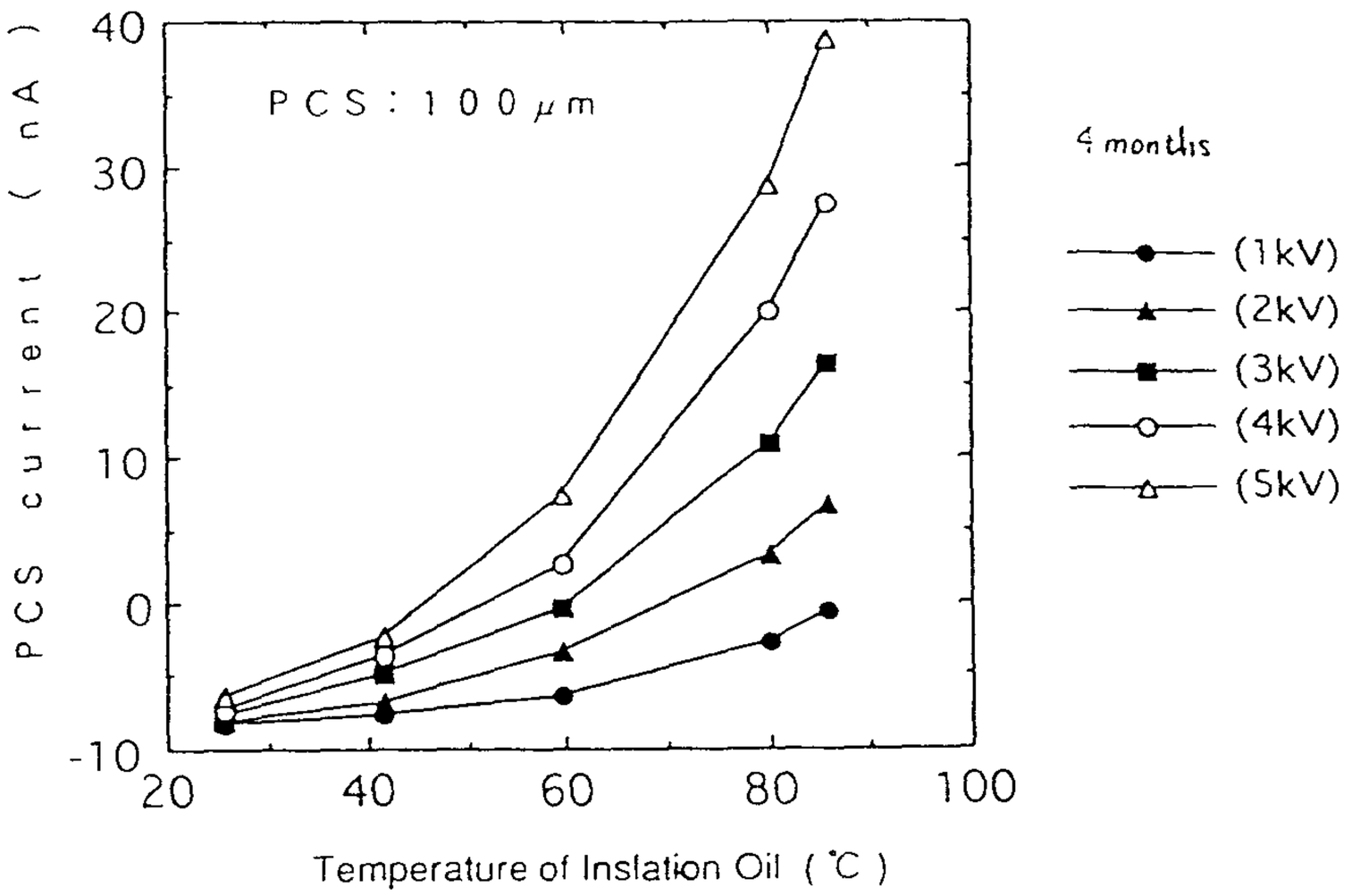
그림 5-23 CRIEPI側에서 測定된 劣化센서의 漏洩電流 測定


10
0
-10
20
40
60
80
100
temp(℃)
I(nA) (at1kV)
I(nA) (at2kV)
I(nA) (at3kV)
I(nA) (at4kV)
I(nA) (at5kV)

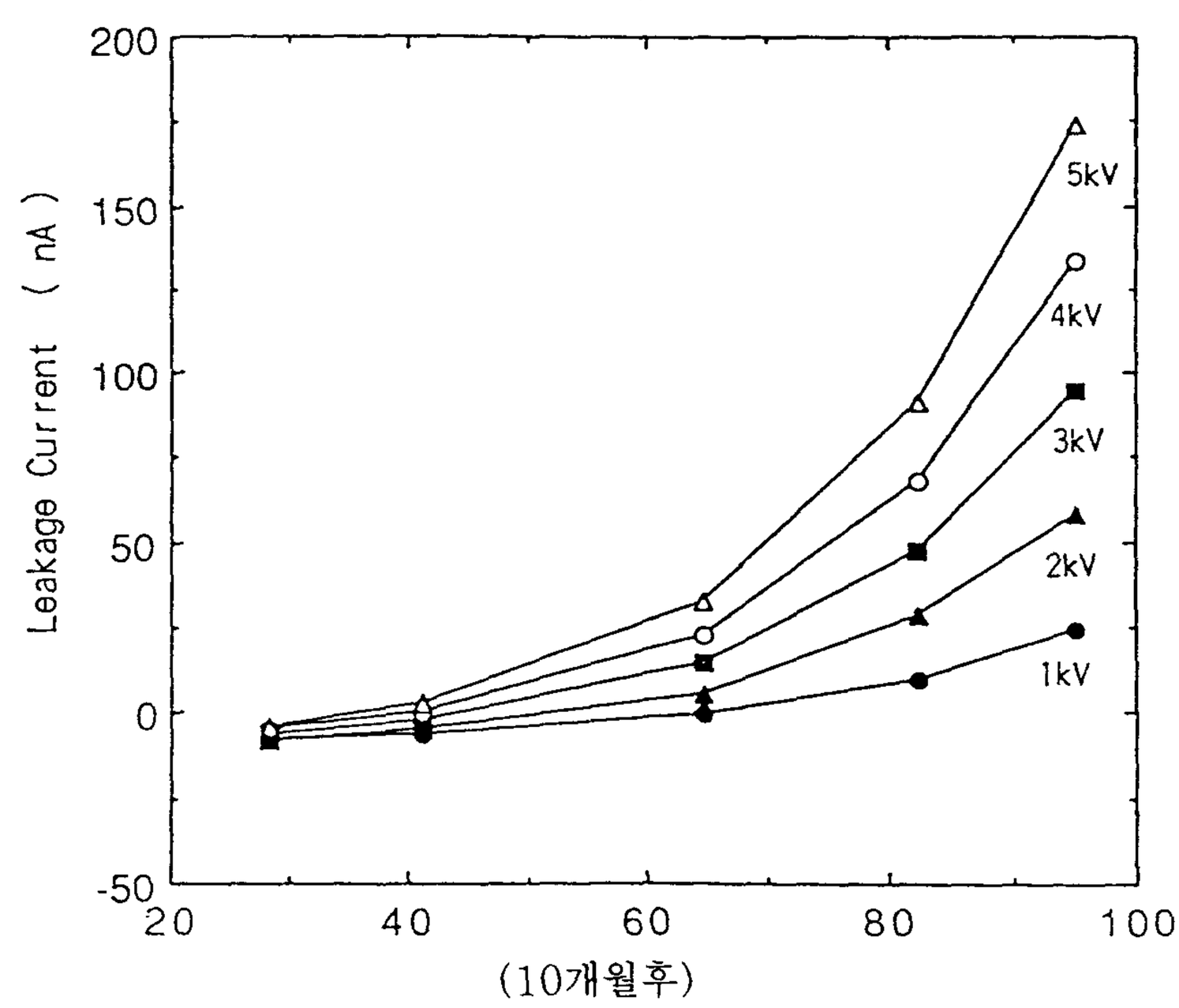
(초기치)


30
20
10
0
-10
-20
I (nA)
20
40
60
80
100
I(nA)(at1kV)
I(nA)(at2kV)
I(nA)(at3kV)
I(nA)(at4kV)
I(nA)(at5kV)

(1개월후)




(4개월후)




(10개월후)

그림 5-24 CRIEPI側에서 測定된 V-T-I 特性

그림에서 알 수 있는 바와 같이 劣化期間에 거의 똑같은 패턴으로 漏洩電流가 增加된다는 事實을 알 수 있다. 이것이 意味하는 바는 센서의 特性이 一貫性이 있고 再現性이 좋다는 것이다.

그림에서 DC 2 KV, 絶緣油 溫度 80℃의 경우를 보면 그 增加推移가 -4(nA) - 2(nA) - 3(nA) - 25(nA)로 變化됨을 알 수 있다. 여기서 初期値의 마이너스 成分은 計測器에서 감지 못하는 Back Noize에 유기되는 부극성 成分이다.

### 3. 一般 特性 試驗

CRIEPI側에서는 絶緣油의 一般 特性試驗을 여러 분야($O_2$, 전가스량, $H_2$, $N_2$, $C_2H_6$, $CH_4$, $C_2H_2$, $C_2H_4$, $CO_2$, CO, TCG, 密度, 동점도, 전산가, 引火點, 體積抵抗率, 絶緣破壞電壓, 유전정접, 유전율 水分量 等)에서 測定하였으나 劣化期間에 따라 劣化센서의 漏洩電流와 거의 비슷한 劣化推移를 나타내는 것으로 $CO_2$, CO, TCG, 전산가, 絶緣油破壞電壓, 유전정접, 水分量 等이다.

그림 5-25는 絶緣油 溫度 80℃에서의 絶緣油 抵抗과 絶緣油 劣化센서의 抵抗을 比較한 것으로 絶緣油 抵抗은 體積抵抗率을 測定한 後 $R' = p \times L/A$式에 依據 抵抗값을 計算하여 그래프로 表示하였다. 여기서 PCS의 L은 9(mm)에서 A는 2123($mm^2$)으로 計算되었다. 測定日數는 근 1年間(365日)으로 氣孔 사이즈 100($\mu$m) 및 250($\mu$m)의 두가지 境遇에 關係없이 거의 비슷한 趨勢로 變化됨을 알 수 있었다.

그림 5-26은 $CO_2$, CO에 關聯된 測定 데이타이고, 그림 5-27은 전산가와 絶緣破壞電壓에 關聯된 測定 데이타이다. 그리고 그림 5-28은 體積 抵抗率과 유전정접에 關聯된 事項으로 劣化 期間에 따라 그 劣化推移 曲線을 나타내고 있다. 그림 5-29는 絶緣油의 水分量과 전 가스량을 나타낸 것으로 劣化 期間에 따른 그 變化量의 推移를 알아 볼 수 있다.

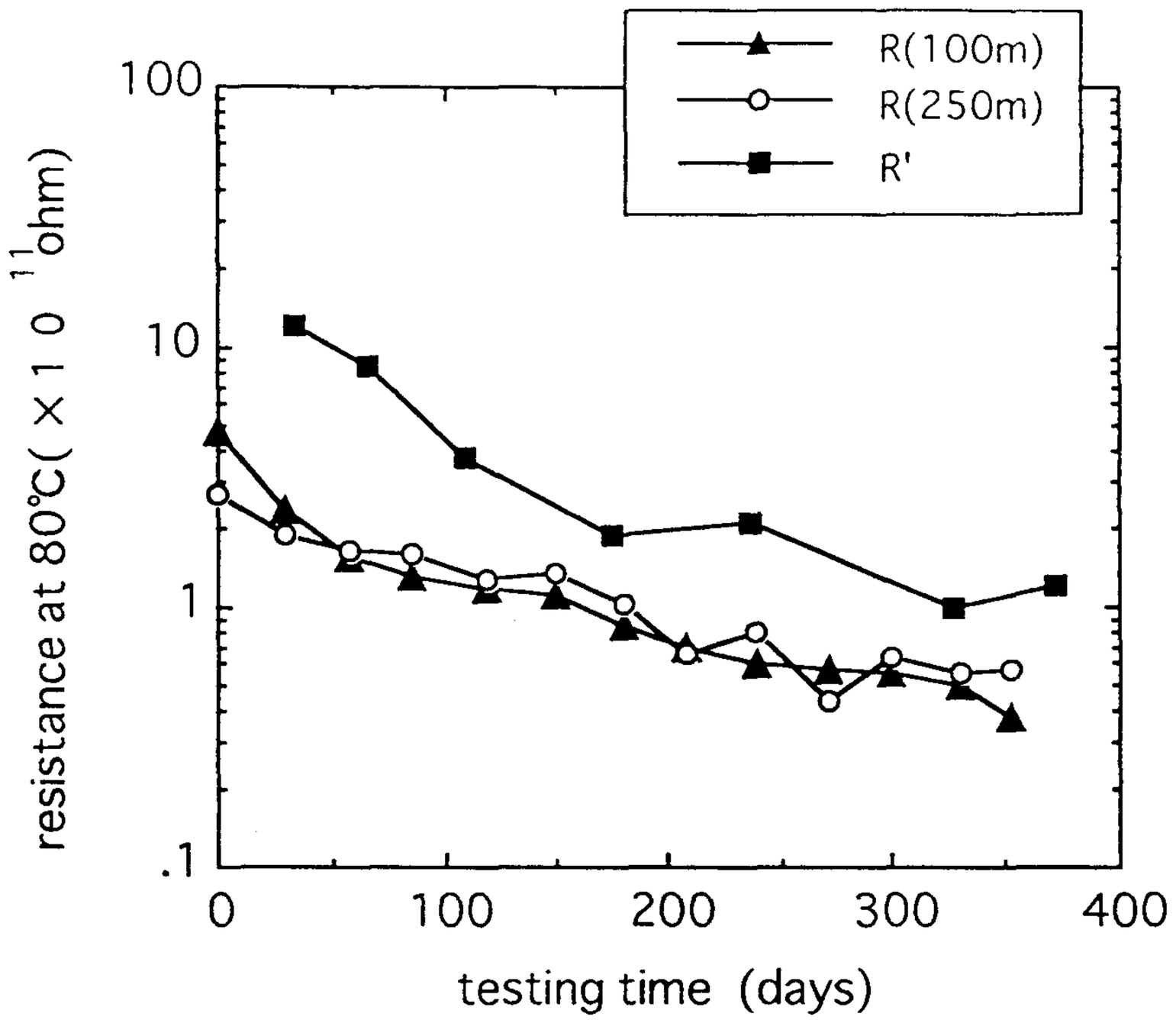



그림 5-25 絶緣油 抵抗과 센서 抵抗 試驗

$CO_2$, CO에 關聯된 데이타를 보면 두 가스량 모두 初期에는 下降局面을 보이다가, 劣化 日數에 따라 점점 增加되는 傾向을 보이고 있다. 그 增加 패턴은 센서의 漏洩電流値와 비슷하다. 전산가와 絶緣耐壓은 그 測定値가 相當한 變化를 보이면서 전산가는 높아지는 傾向이 있고 耐壓은 떨어진다.

## 4. 實驗 結果 分析

日本 電力 中央 硏究所에서 實驗한 데이타를 보면 絶緣油 劣化 센서의 變化推移가 絶緣油의 一般 特性 試驗과 비슷한 趨勢로 變化됨을 여러 實驗 結果 밝혀졌다.

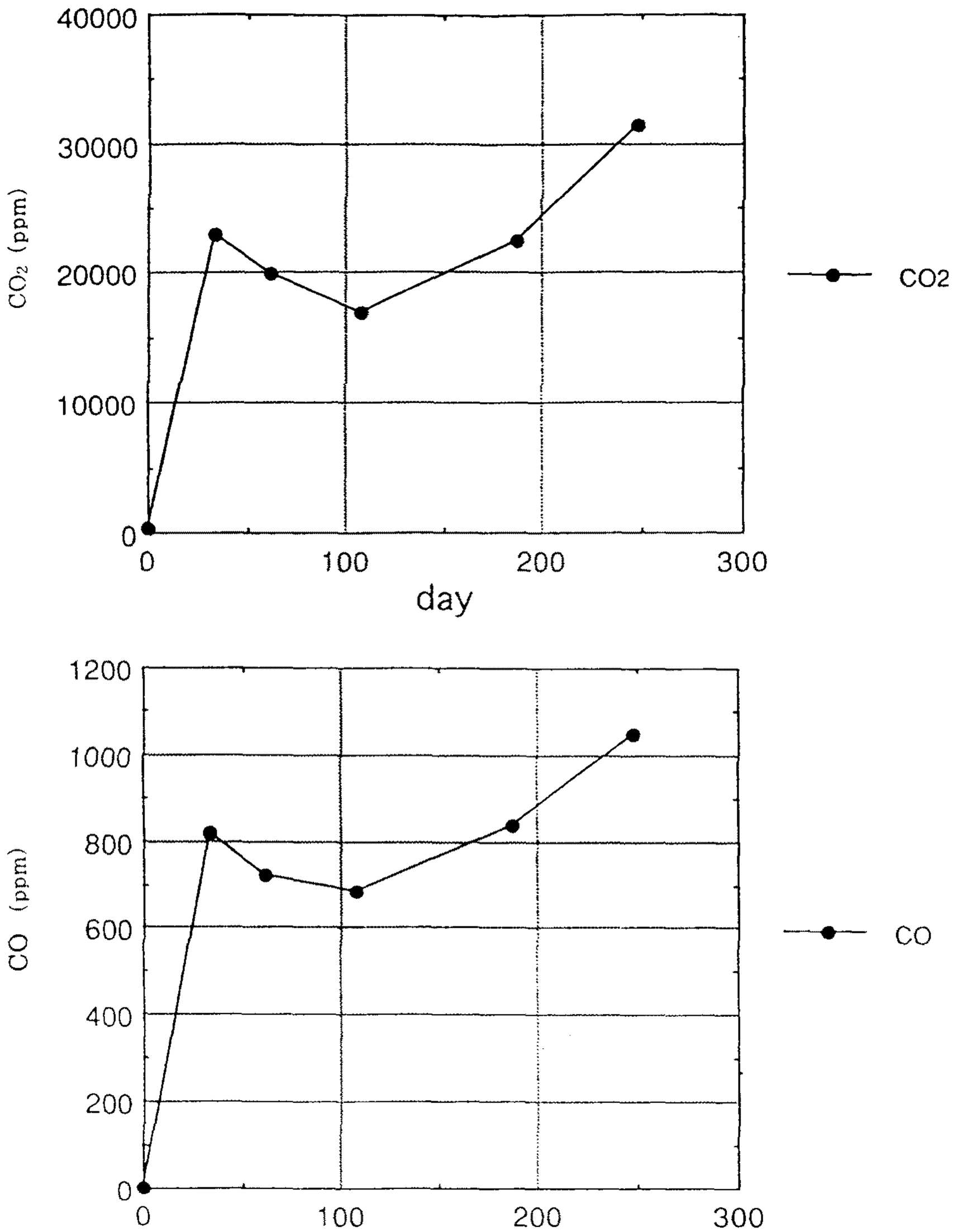
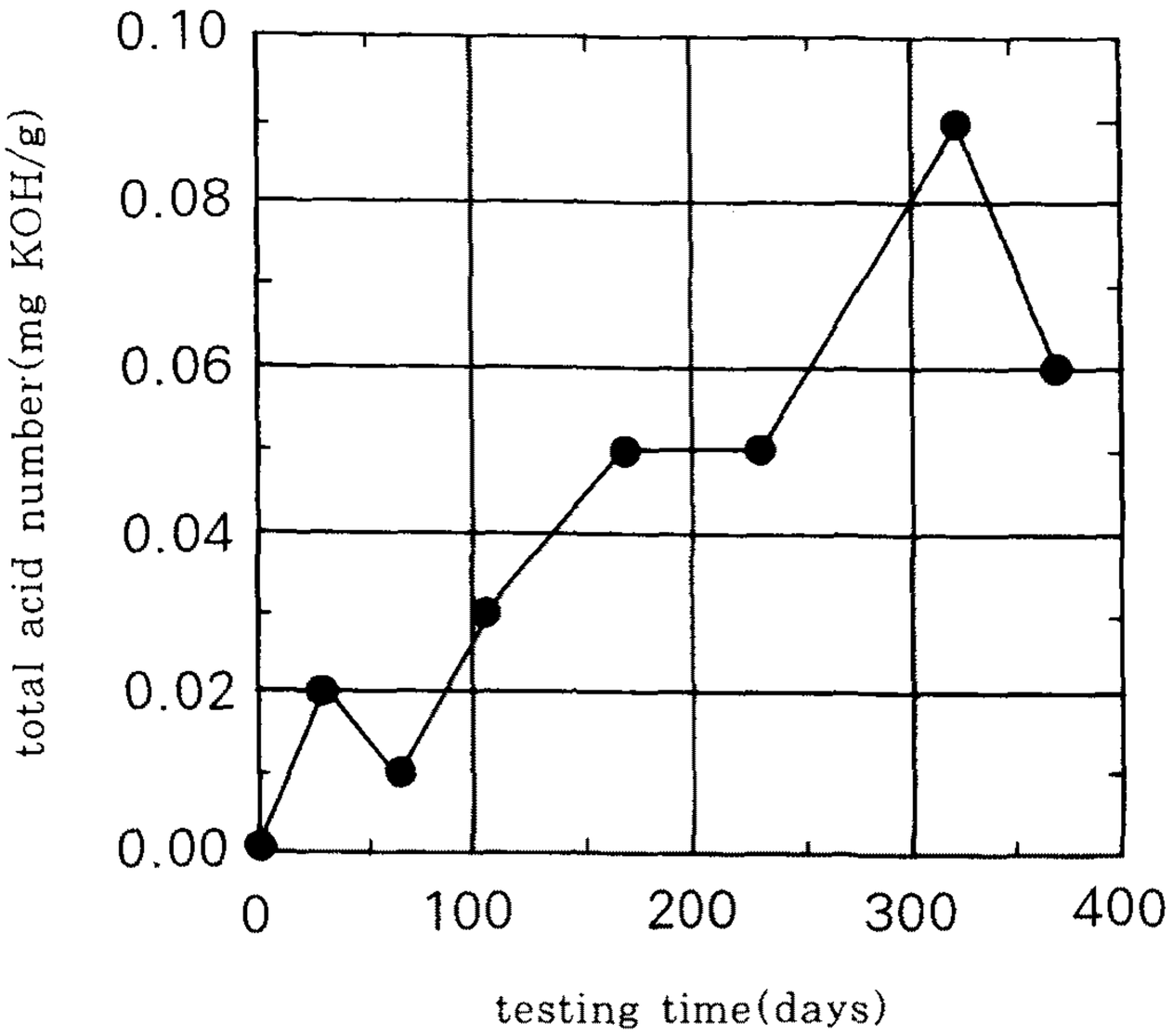



그림 5-26 $CO_2$, CO 一般特性試驗



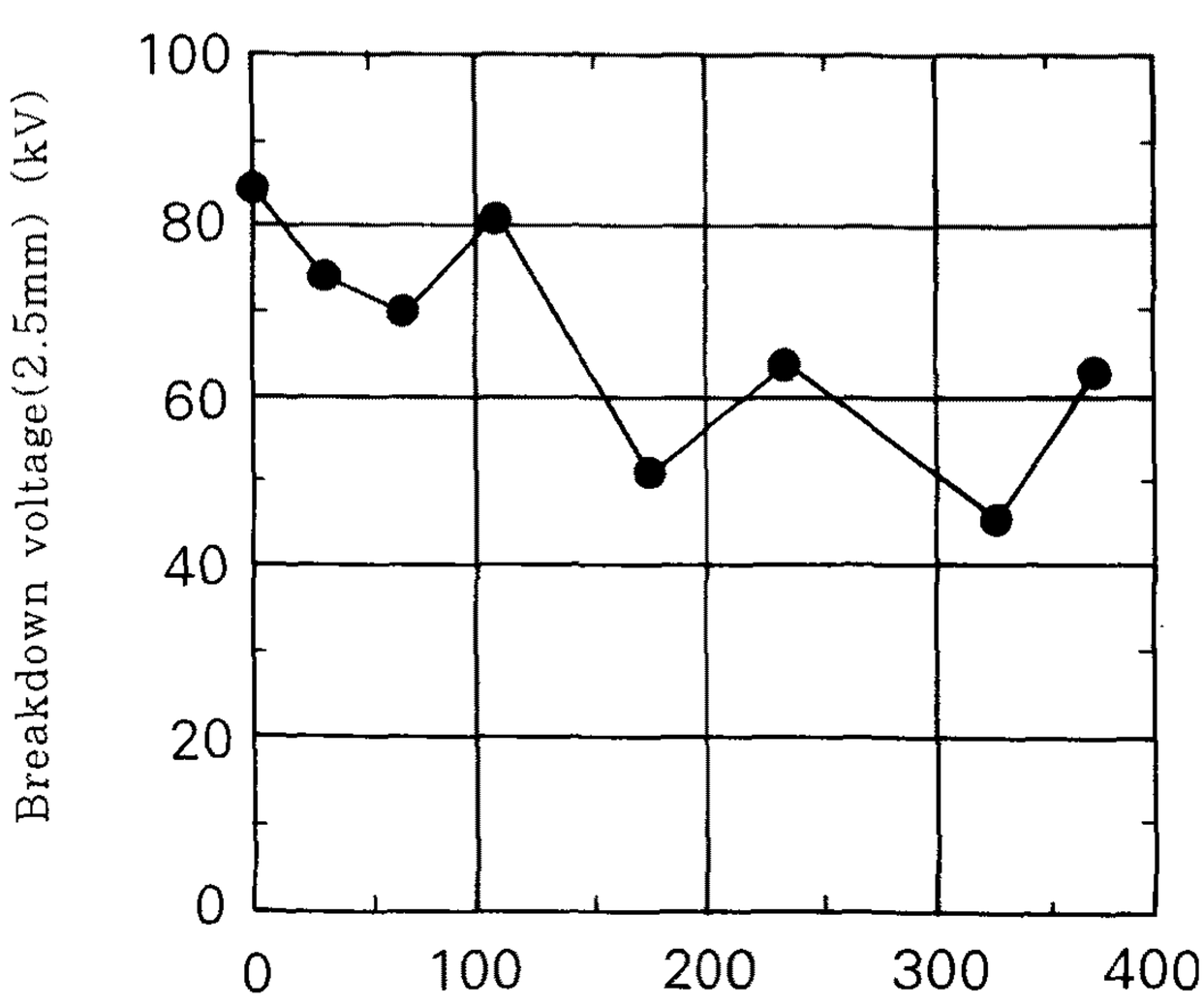




그림 5-27 전산가 및 絶緣耐壓 一般 特性試驗

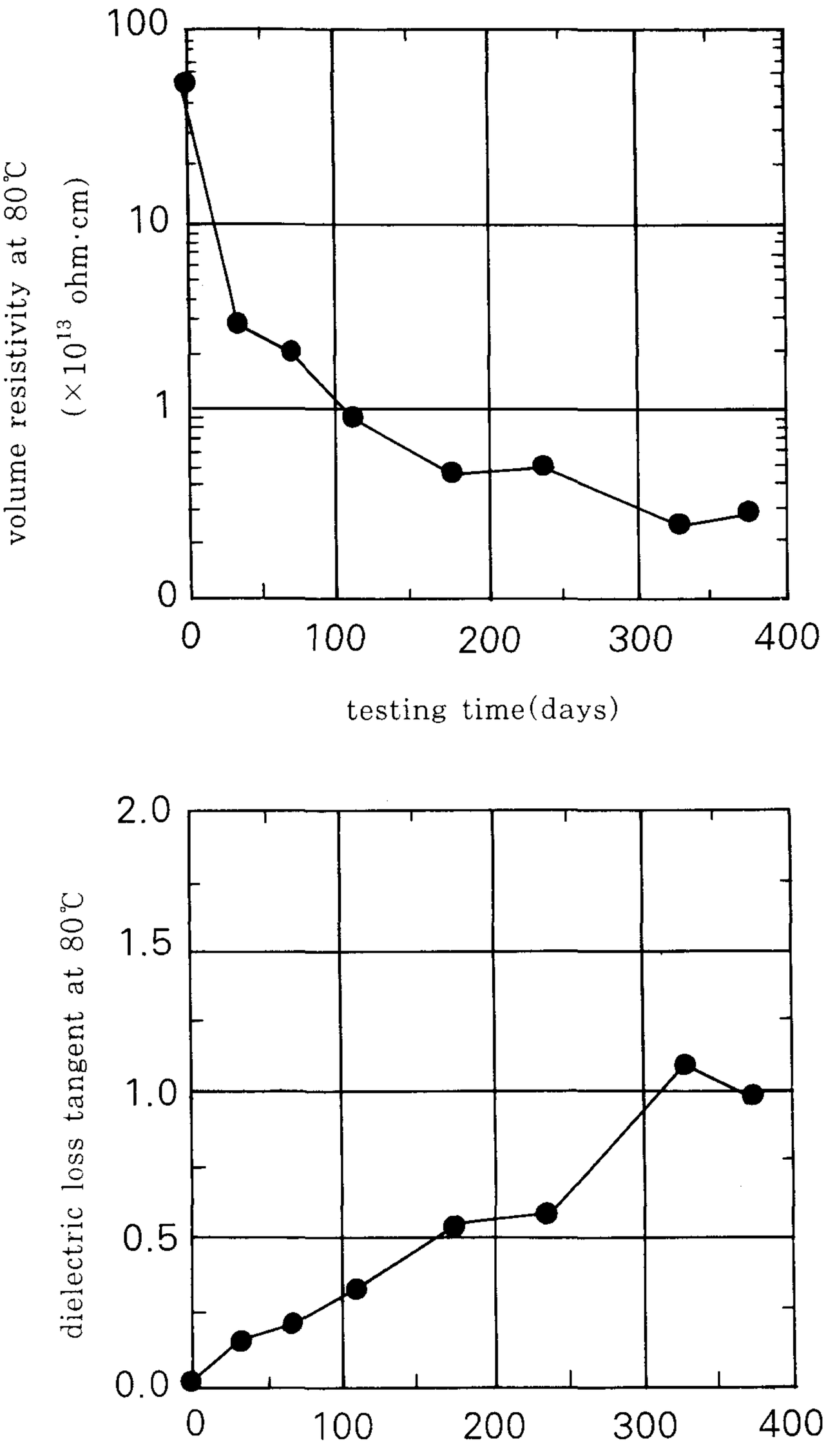
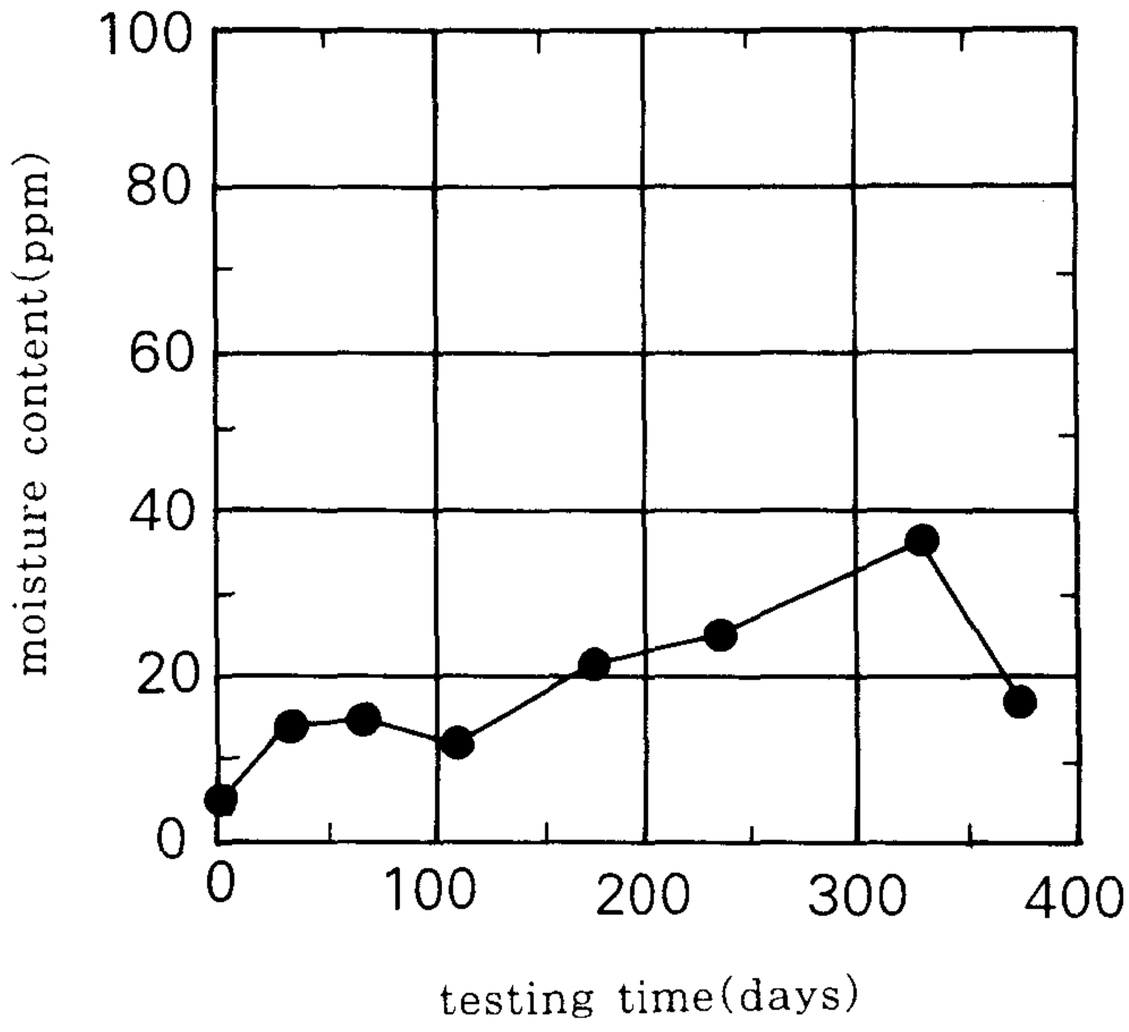



그림 5-28 體積抵抗과 유전정접에 關聯된 一般特性試驗



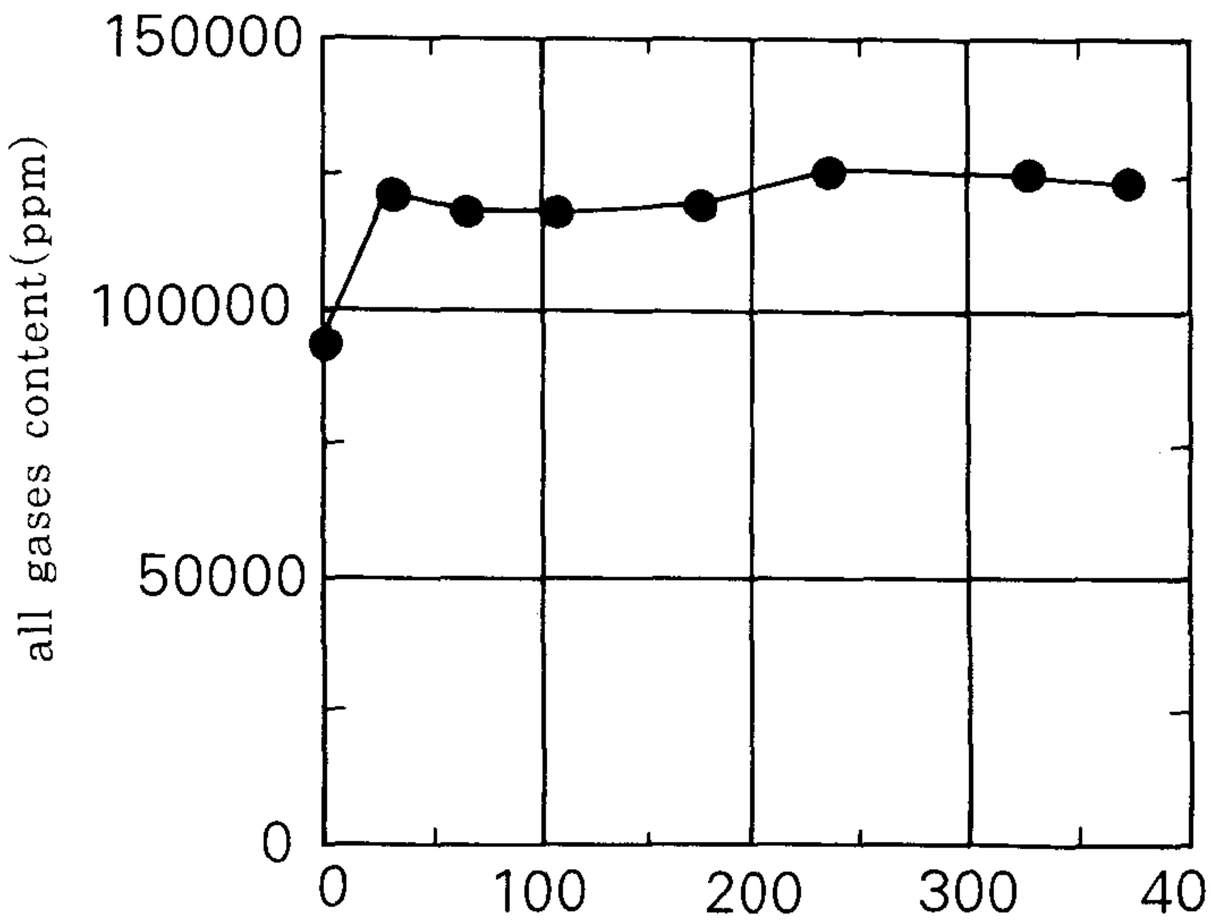




그림 5-29 水分量의 전가스량의 變化推移

# 第 6 章　劣化센서를 利用한 診斷 技法

## 第 1 節　大型 變壓器(154KV級 以上)에의 適用

154KV級 電力用 變壓器에 絶緣油 劣化센서를 附着하는 方法은 다음과 같다.

(1) 絶緣油 劣化센서는 전계 發生이 微弱한 外部의 By pass Line 上下 2군데와 탱크 下部 드레인 밸브側 한 군데에 設置한다. (그림 6-1 센서 附着 配置圖 및 그림 6-2 變壓器 전계분포도 參照)

(2) 絶緣油 劣化센서는 그 漏洩値가 "不良"으로 나타났을 때 絶緣油를 交替함과 同時에 絶緣油 劣化센서도 交替하여야 한다. 그 理由는 電力用 變壓器인 경우 絶緣油 壽命이 근 5-10年 以上 使用되므로 센서의 使用 壽命을 絶緣油 壽命을 同一時 하는 데 그 目的이 있음.

(3) 絶緣油 劣化센서는 變壓器 高壓部位와 絶緣 異隔距離가 充分히 維持되는 位置에 設置하며 交替作業을 수월히 할 수 있도록 한다.

(4) 絶緣油 劣化센서 附着用 터미널 端子는 變壓器 內部의 電氣的 및 機械的 노이즈에 充分히 對應할 수 있도록 그 表面이 매끄럽고 堅固하여야 한다.

(5) 絶緣油 劣化센서 터미널 端子에 K Type 溫度센서를 1개소 附着시킨다.

(6) 絶緣油 劣化센서用 콘트롤 박스는 變壓器 탱크 外部 地上 1m되는 높이에 設置하여 測定에 便利하도록 하며 外部의 濕氣나 雨期에 安全하도록 한다.

(7) 絶緣油 劣化센서의 터미날 端子는 電流 10(mA), 電壓 DC 10KV에 견딜 수 있는 構造로 한다.

이상과 같은 센서 附着 方案이 강구되면 그림 6-3과 같은 設計 圖面이 作成되었다. 그림 6-4는 變壓器 下部 드레인 밸브에 設置될 센서 취부 圖面이고 그림 6-5는 센서 設計 圖面으로 圓形인 센서의 直徑은 78(mm)이고 두께는 9(mm)로 製作되었다. 中心의 材質은 氣孔 세라믹으로 그 氣孔 크기가 150 ($\mu$m)이다. 그림 6-6은 센서를 固定시킬 수 있는 터미널 端子로 端子를 에폭시 몰딩하여 堅固하게 센서 Box에 附着시킬 수 있도록 하였으며 그림 6-7은 센서와 端子를 같이 組立한 것으로 전체 길이 178(mm)가 센서 Box 크기에 맞추어 製作되었다. 5개의 터미널 端子 中 2개는 K Type 溫度計의 리드선으로 利用하고 나머지 2개는 센서 端子로 利用된다.

寫眞 6-1과 6-2는 Drum Valve側에 附着된 센서 Box의 外形 寫眞이다.

가. 드레인 밸브 利用時 센서 취부 圖面

그림 6-1은 變壓器 下部 드레인 밸브側에 附着된 센서 Box로 旣存 밸브를 利用하면서 그 後段에 設置하였다. 가스 分析用 드레인 밸브는 그대로 利用할 수 있다.

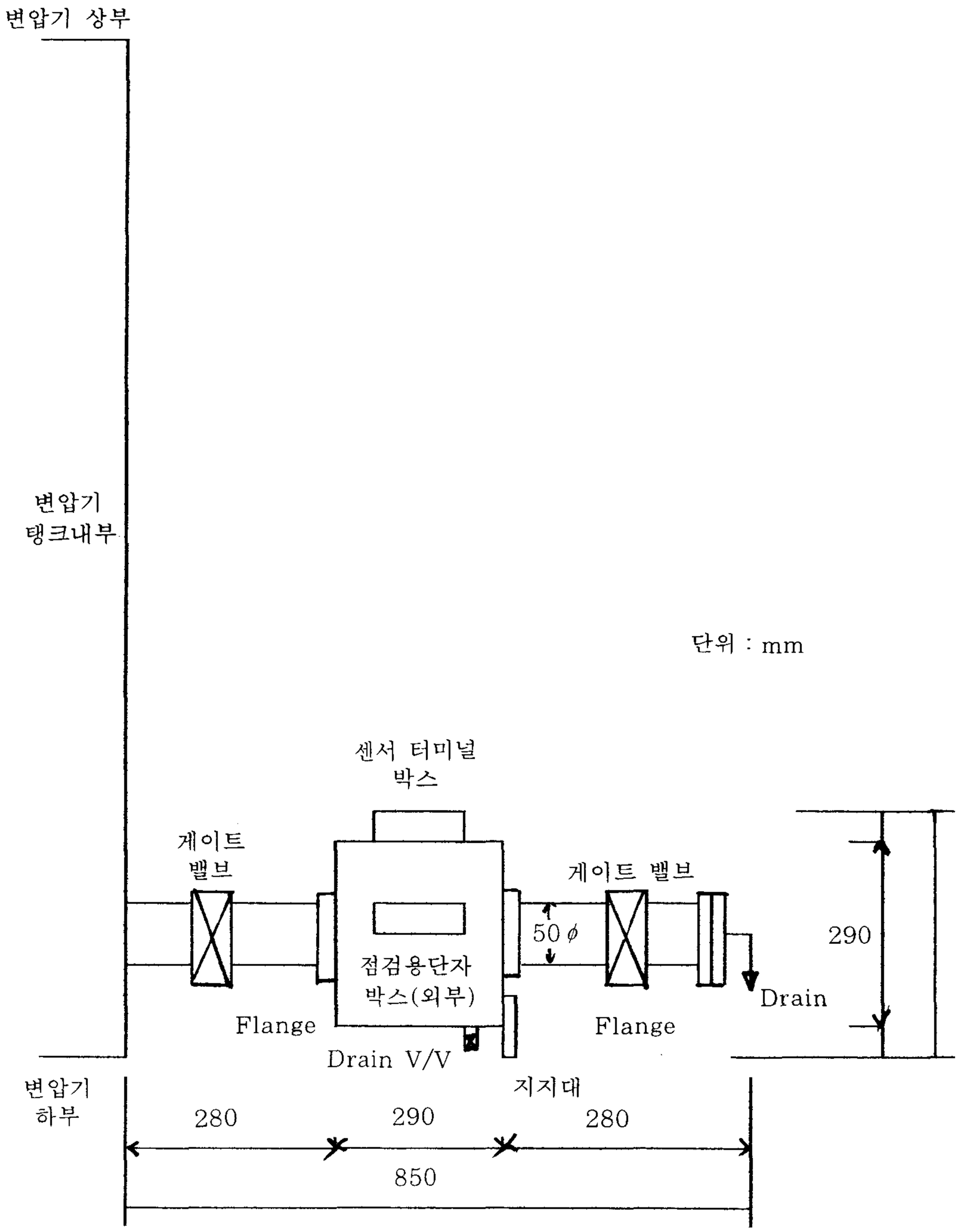



그림 6-1 드레인 밸브 利用時 센서 취부도면

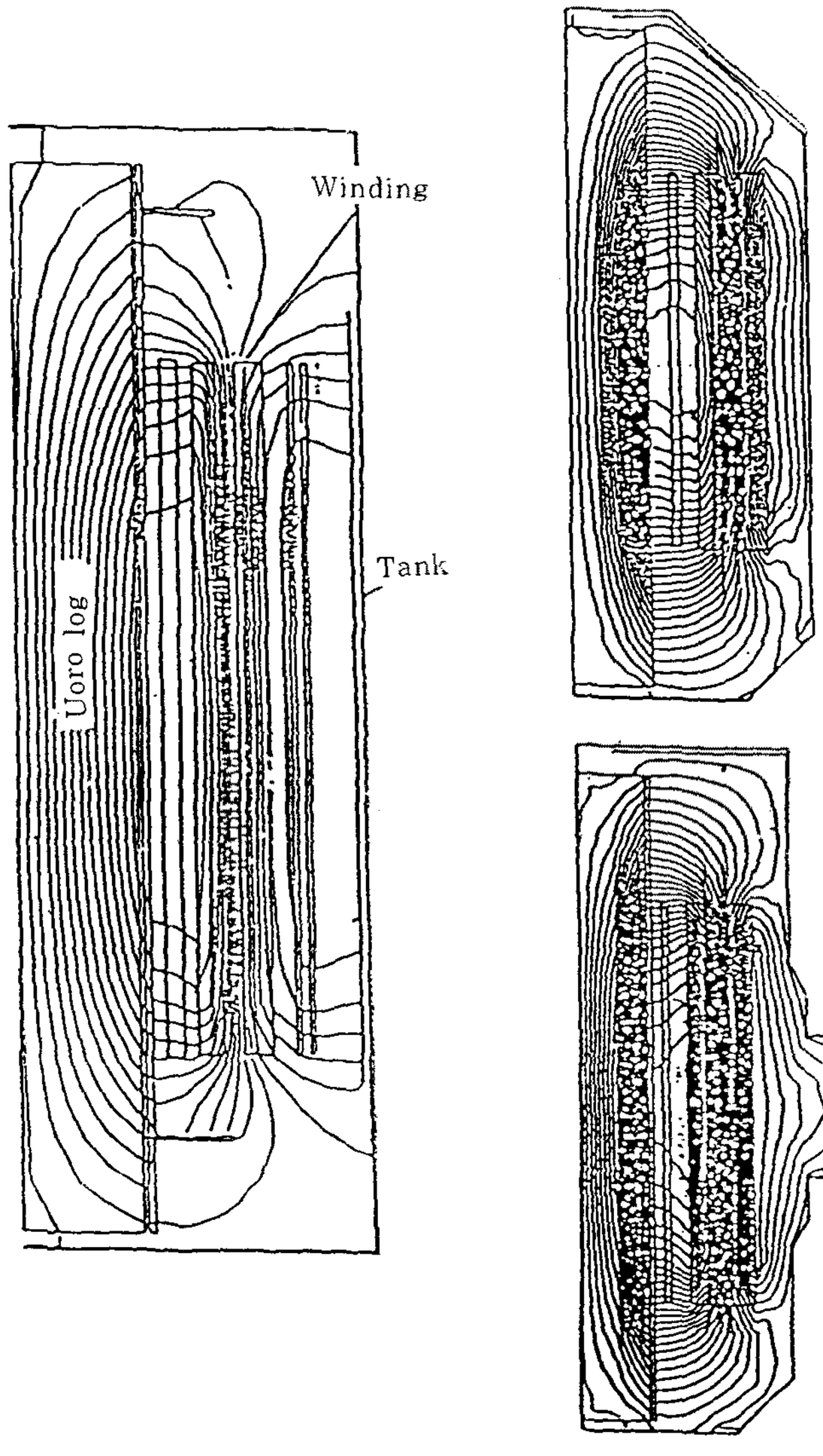



그림 6-2 변압기 전계분포도

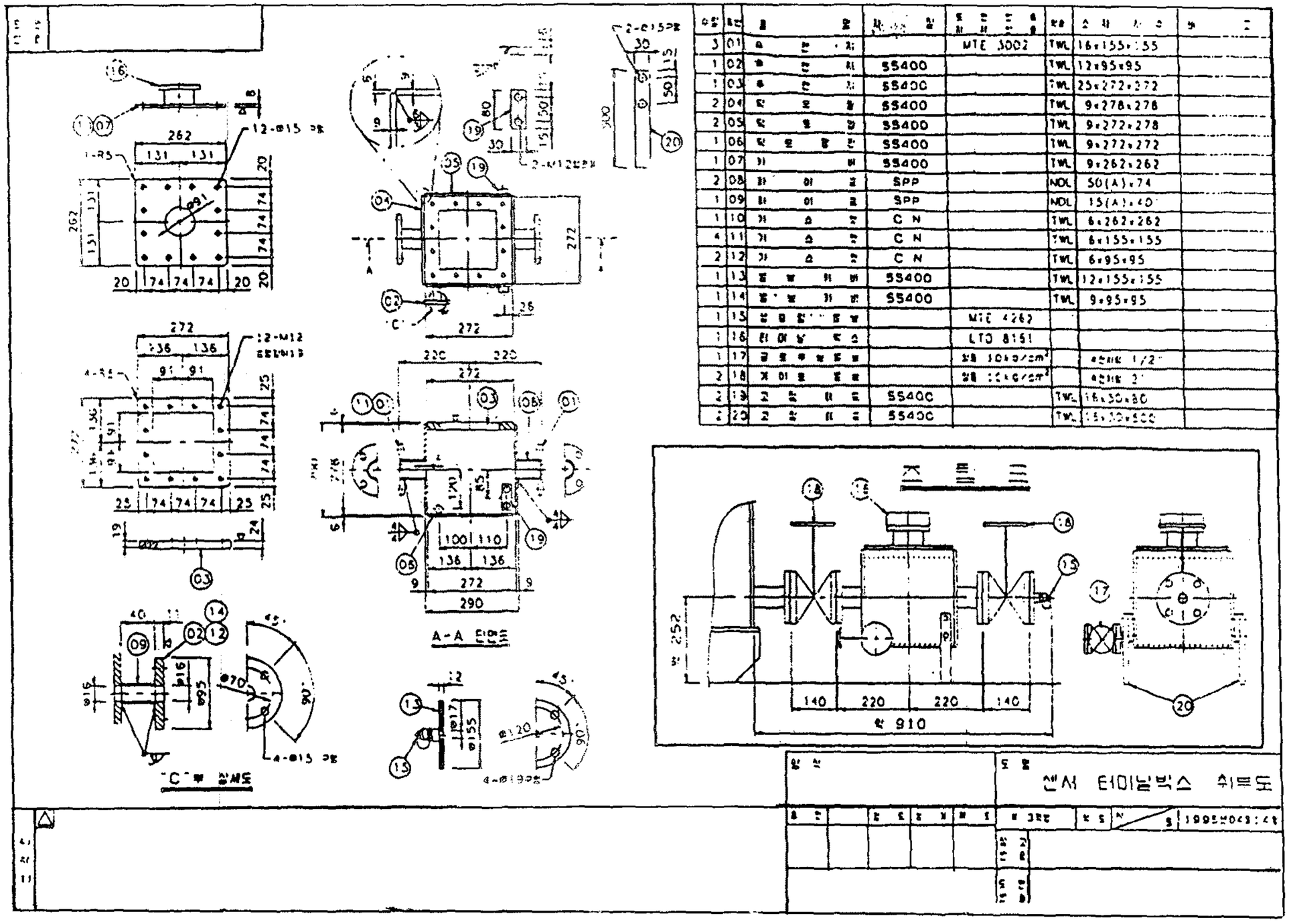



그림 6-3 絶緣油 劣化센서 취부 圖面(드레인部)

나. 드래인 밸브측 센서 터미널 박스

그림 6-4는 드레인 밸브側에 設置될 센서 Box로써 下部에 센서 박스를 支持할 支持臺가 設置되어 있다.

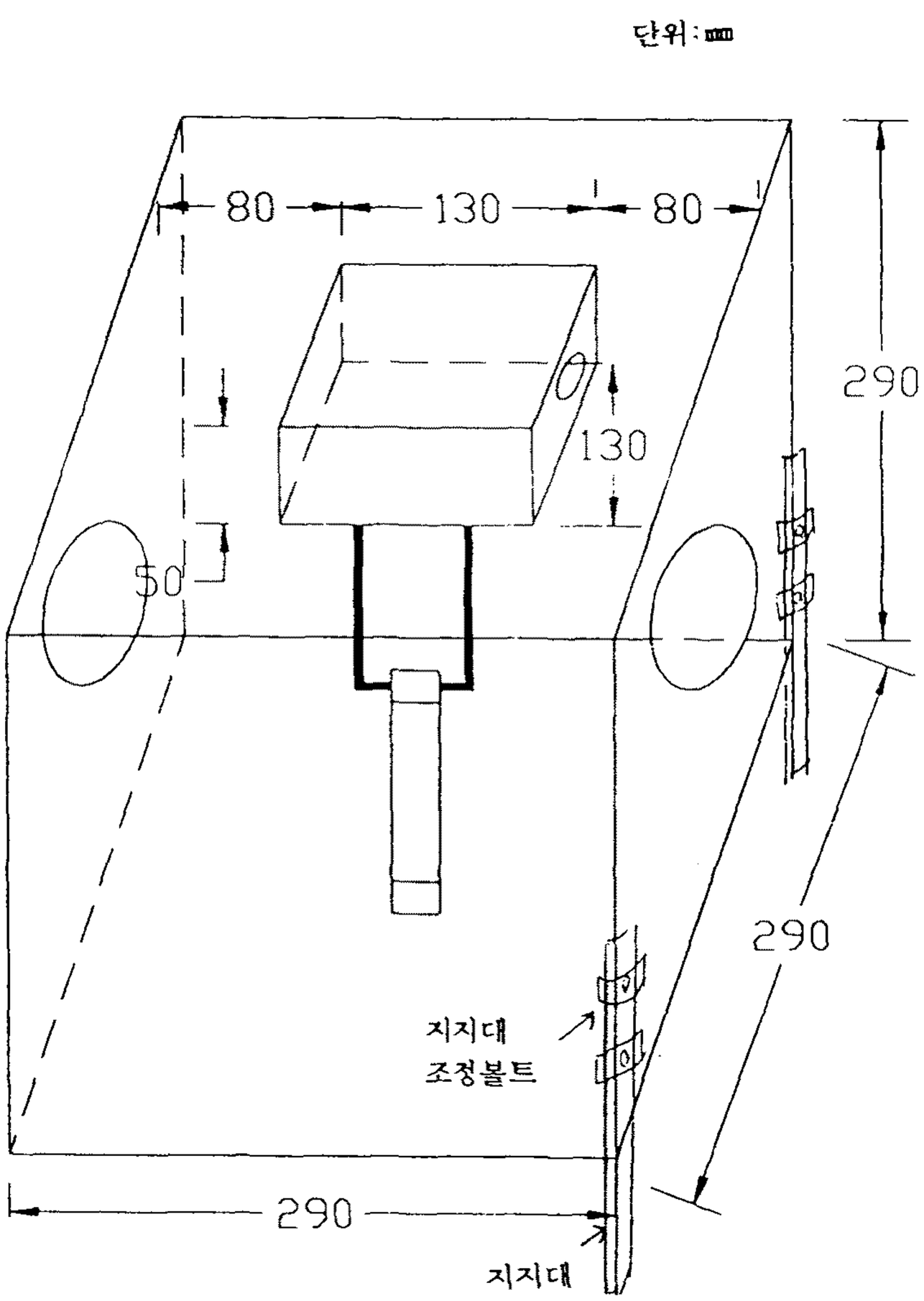



그림 6-4 Drain valve側 센서 Box

| GROUP No. | | ITEM | DESCRIPTION | MATERIAL | REQD. | REMARKS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | Base Ring | MIOCERAM 500 | 1 | |
| | | 2 | Porous Ceramics | | 1 | |
| | | 3 | Electrode | Stainless Steel | 2 | |
| | | 4 | Bolt | | 4 | |
| | | 5 | Nut | | 8 | |
| | | 6 | Washer | SUS 304 | 4 | |
| | | 7 | Compression Terminal | RI. 25-4 | 2 | JIS C 2805 |
| | | 8 | Leading Wire | Cu Wire covered by Teflon | 2 | |

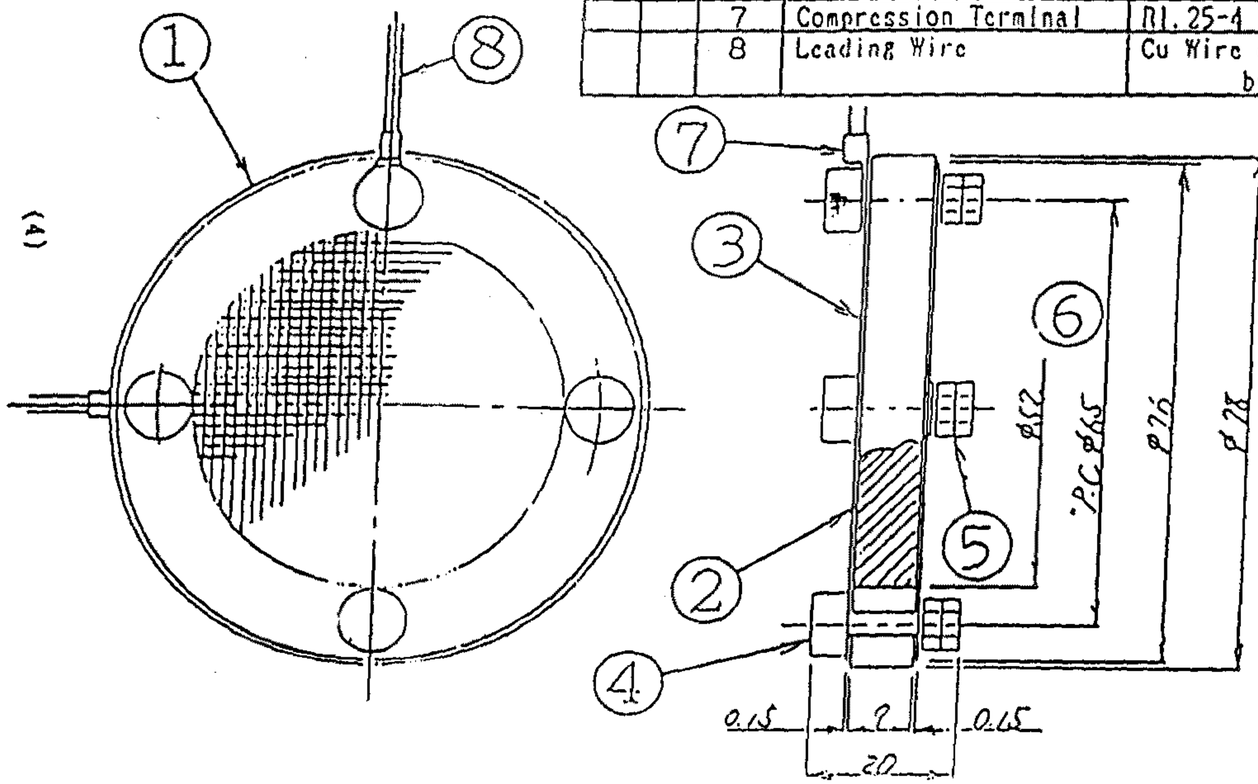
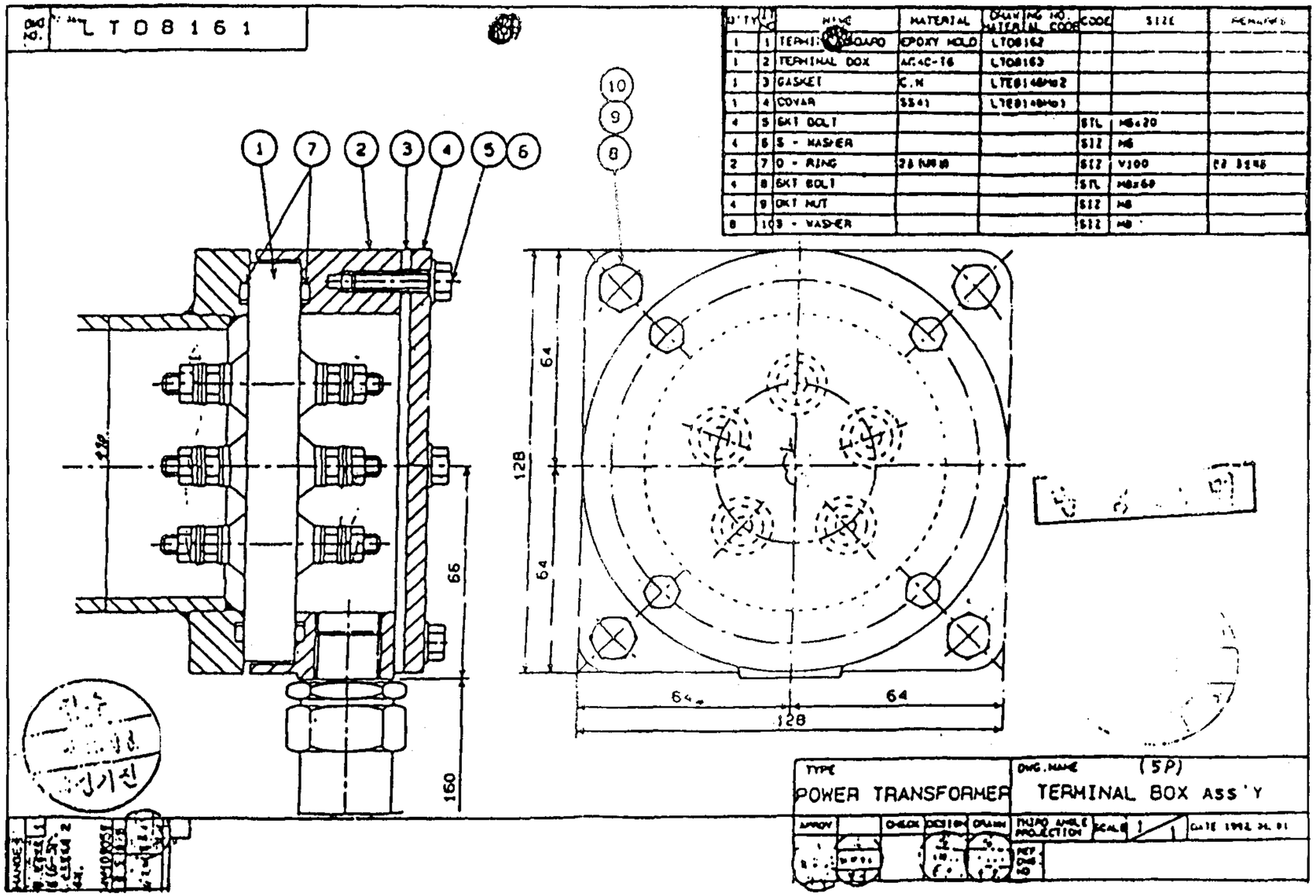



그림 6-5 센서 圖面




| Q'TY | LOC | NAME | MATERIAL | DRAWING NO. MATERIAL CODE | CODE | SIZE | REMARKS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | TERMINAL BOARD | EPOXY MOLD | LT08162 | | | |
| 1 | 2 | TERMINAL BOX | AC4C-T6 | LT08163 | | | |
| 1 | 3 | GASKET | C.R | LTE8148H02 | | | |
| 1 | 4 | COVER | SS41 | LTE8148H01 | | | |
| 4 | 5 | GKT BOLT | | | STL | M6×20 | |
| 4 | 6 | S - WASHER | | | SUS | M6 | |
| 2 | 7 | O - RING | 2종 NBR | | SUS | V100 | P2 B248 |
| 4 | 8 | GKT BOLT | | | STL | M6×60 | |
| 4 | 9 | GKT NUT | | | SUS | M6 | |
| 8 | 10 | S - WASHER | | | SUS | M6 | |

그림 6-6 센서 附着用 端子圖面

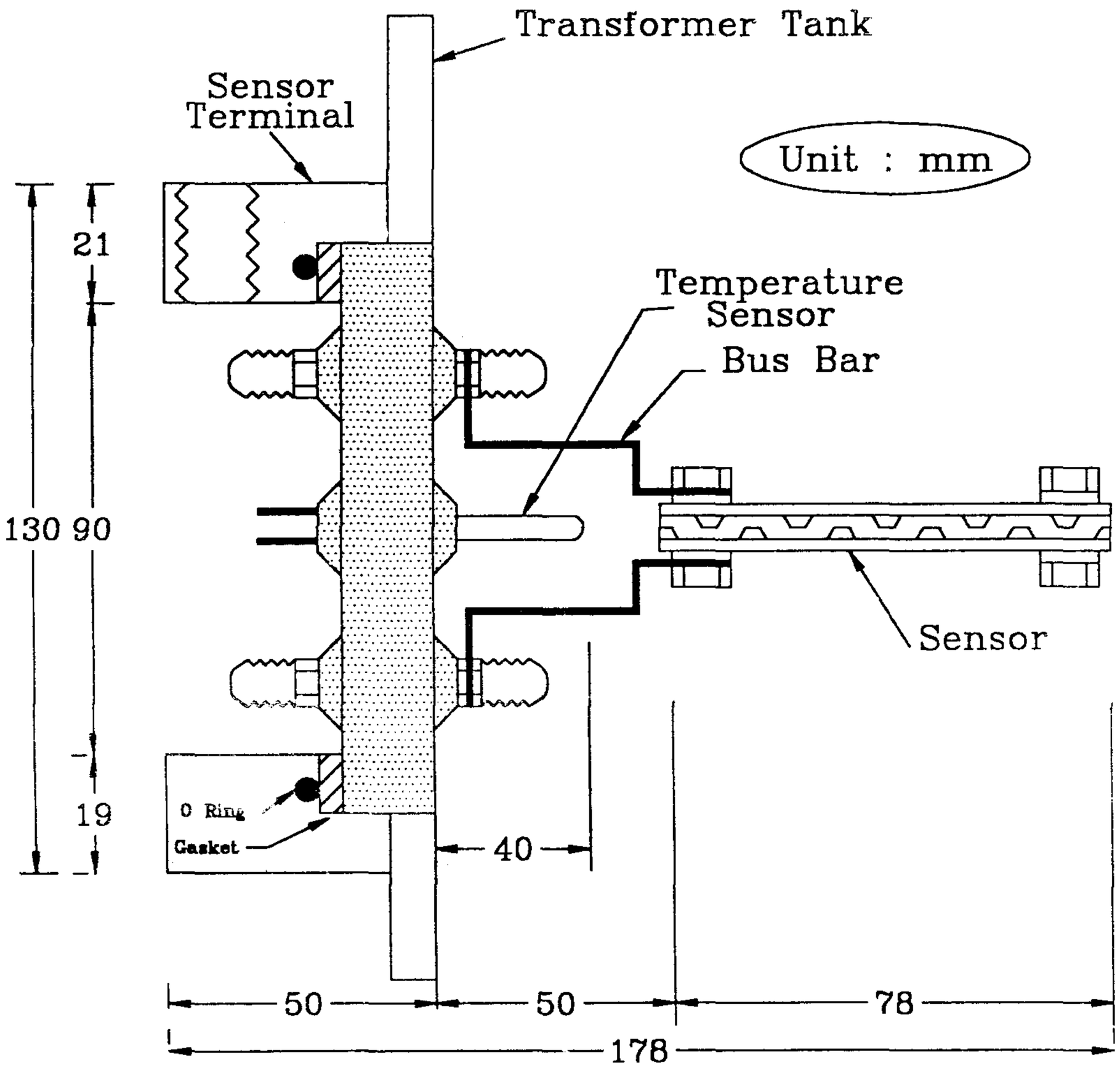



그림 6-7 絶緣油 劣化센서 組立圖

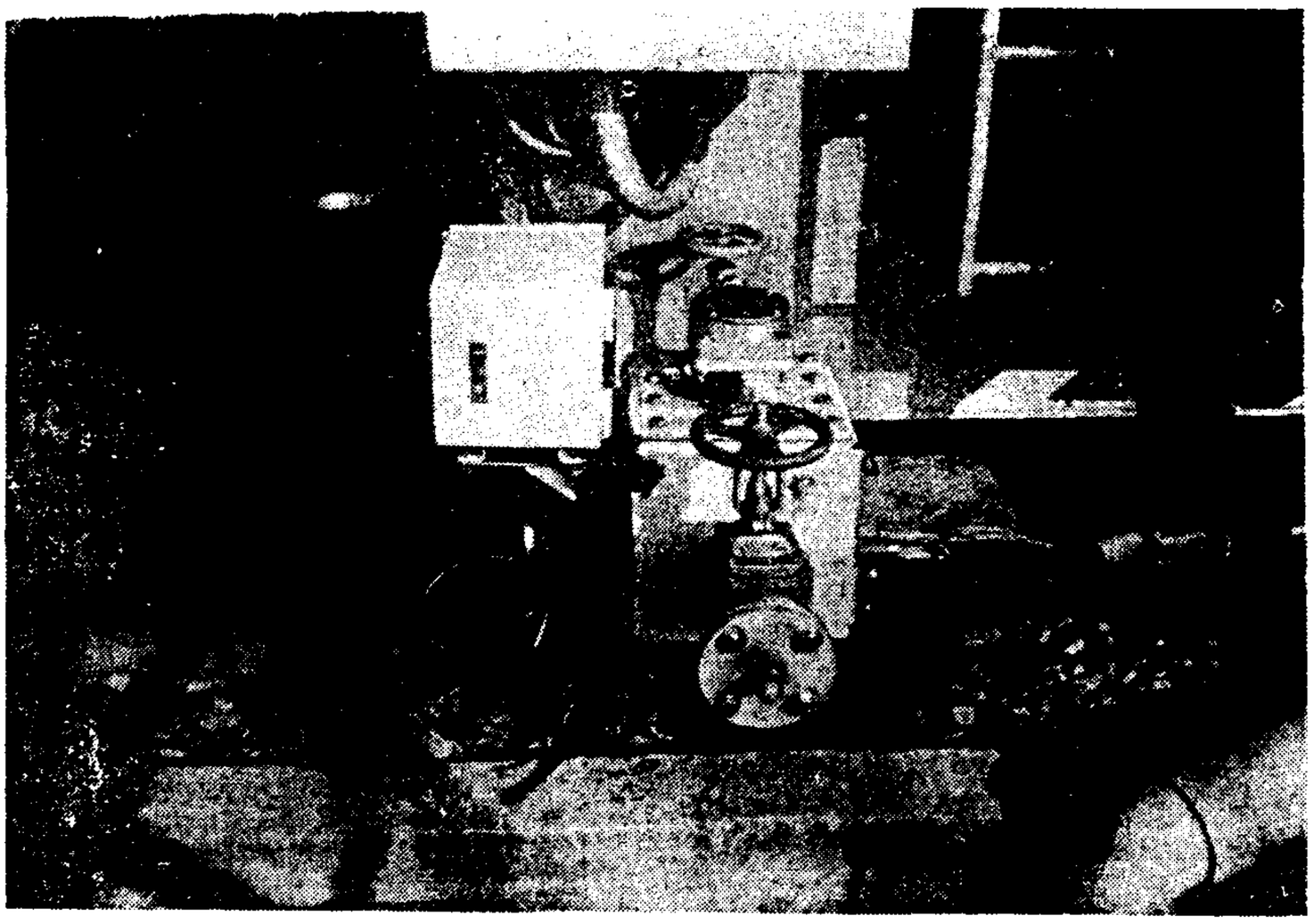


사진 6-1 드레인 밸브측 센서 박스 설치

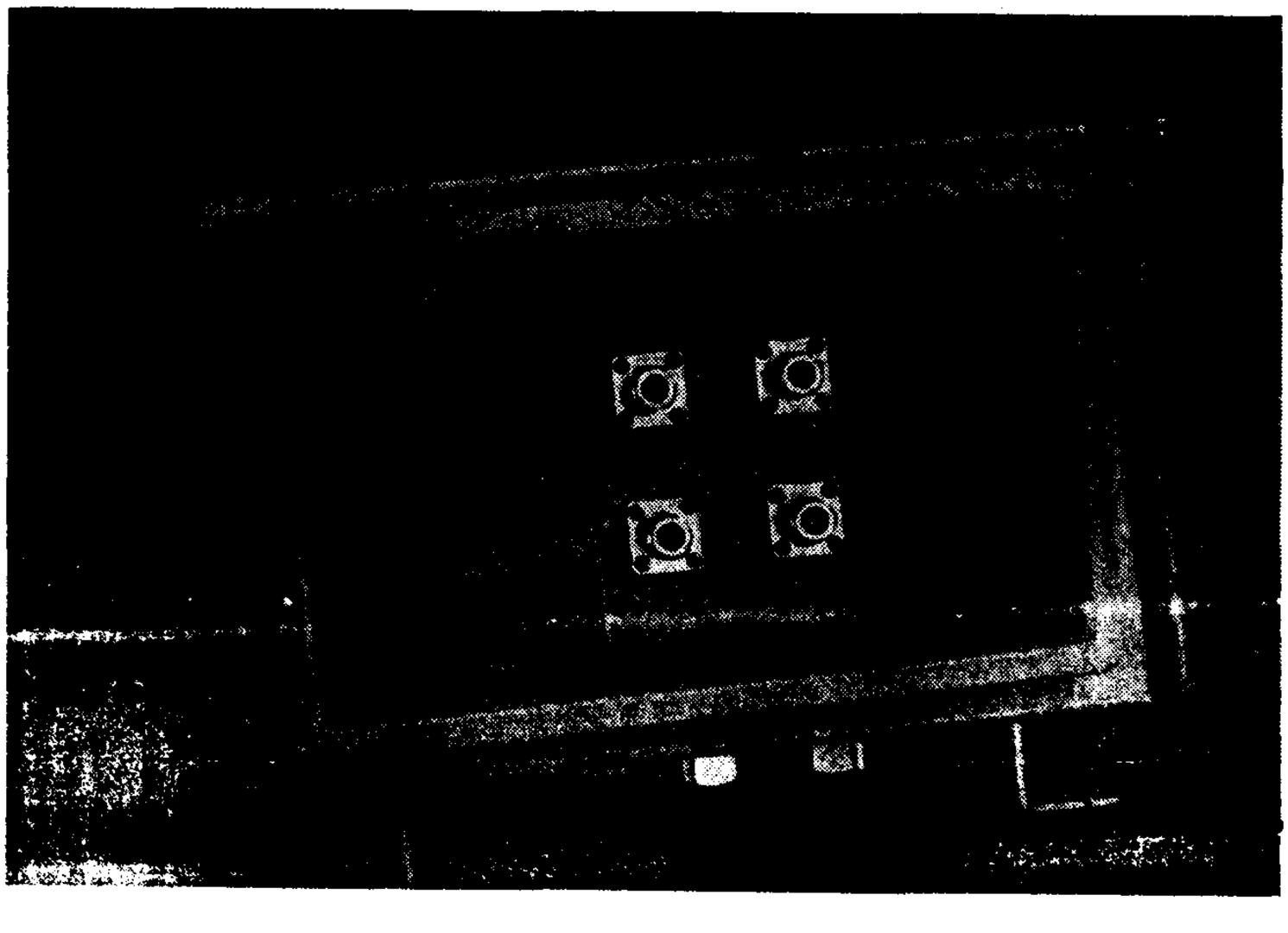


사진 6-2 리드선 Connection Box

## 第2節 小型 變壓器(22.9KV級 以下)에의 適用

### 1. 變壓器 過負荷狀態 測定

本 絶緣油 劣化센서의 附隨的인 效果로써 變壓器의 負荷電流 크기를 測定할 수 있다. 絶緣油 劣化센서의 양극판에 걸리는 전위차는 정전에너지 W와 比例함을 알 수 있고 絶緣油 劣化센서의 材質에 關聯되는 것을 다음 式에서 알 수 있다.

絶緣油 劣化센서의 變壓器 鐵心 上部에 一定한 갭을 維持한 電極의 形象이기 때문에 極間에는 캐패시턴스 C에 의한 誘導起電力이 다음과 같은 原理에 의하여 誘起된다.

$$C = \varepsilon_o \, A/d \qquad (6\text{-}1)$$

$\varepsilon o$ : 투자율(Permittivity)

A : 전극 면적

d : 전극간 이격거리

이때 양극판간에 電位差($V_1$-$V_2$)가 發生되는데 이때 發生되는 靜電에너지는 다음과 같이 發生된다.

$$W = \frac{1}{2} C(V_1 - V_2)^2 = \frac{\varepsilon_o A(V-V)^2}{2d} \qquad (6\text{-}2)$$

따라서 두 극간의 電位差 V는 다음과 같다.

$$V = V_1 - V_2 = \sqrt{\frac{2dW}{\varepsilon_o A}} \qquad (6\text{-}3)$$

그리고 靜電에너지 W는 變壓器 권선저항에 의한 저항손(Resistance loss) 및 권선이외 部分의 漏洩磁束에 의한 표류손(Stray Loss)의 影響을 直接的으로 받는다. 표유손은 變壓器 製品의 設計 및 製作에 關聯되는 事項으로 絶緣油 劣化센서의 전위차 V를 測定함으로써 變壓器 品質檢査는 물론 運轉中 變壓器 絶緣油가 劣化되기전 變壓器 過負荷 狀態를 알 수 있다.

測定方法은 旣存 使用하고 있는 계기(Tester)를 使用하여도 可能하고 電位差를 負荷電流로 變換시키는 回路를 利用하여 판넬상에서 負荷電流로 表示하여 使用하여도 된다. 이때 판넬에는 센서의 電位差 測定用 절환스위치를 追加시킨다. 그림 6-8은 오시로스코프로 觀察된 起電力의 파형 模樣을 보이고 있다. 상용주파의 파형을 보이며 찌그러진 形態로 나타내 보이는 것은 變壓器에 負荷

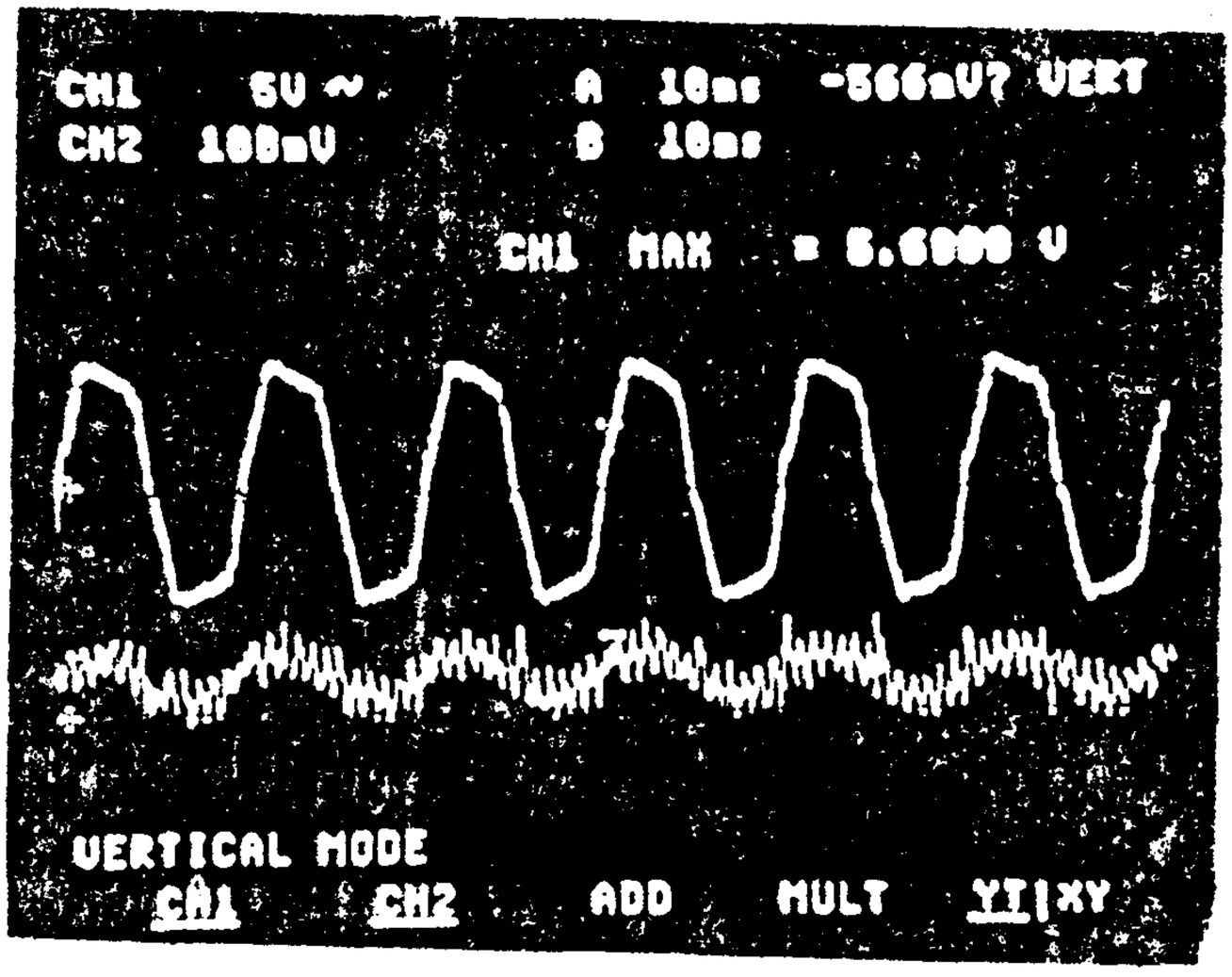



그림 6-8 絶緣油 劣化센서의 起電力 波形

電流가 認可될 때 捲線 자체의 히스테리손 혹은 표류손에 의한 影響으로 나타나는 現象이다. 이 起電力의 크기도 負荷電流에 따라 그 크기가 變化됨을 確認할 수 있었다.

## 2. 劣化센서의 기전력과 負荷電流와의 關係

캐패시터 성분을 가진 劣化센서의 캐페시터를 RLC 메타로 測定한 結果 250($\mu$m)의 氣孔 사이즈를 가진 劣化센서의 캐페시턴스를 印加電壓 5(V), 60(Hz)에서 약 40(pF)정도로 空氣중 漏洩電流를 測定한 結果 다음과 같이 計算되었다.

$$i = \frac{V}{1/wC} = \frac{5}{1/2\times 3.14\times 60\times 10^{-12}} = 0.015(\mu A)$$

計算된 본 電流는 劣化센서의 純粹한 캐페시턴스만으로 計算된 것으로 測定된 範圍 以內에 包含된다. 따라서 絶緣油 劣化센서의 純粹한 기전력이 15(V)미만으로 볼때 劣化 센서의 漏洩電流 크기는 0.045($\mu$A)이내임을 알 수 있다. 絶緣油 劣化 센서의 電壓을 印加하지 않는 狀態에서 試料變壓器의 油中에서 기전력을 測定한 結果 表 6-1과 같다.

上記에 記述된 試料變壓器는 返還負荷法 回路를 利用한 境遇의 絶緣油 劣化센서 기전력으로 負荷電流가 변함에 따라 絶緣油 劣化센서의 기전력 크기가(mV) 單位로 變化됨을 알 수 있다. 이 試驗은 22.9KV-Y/220V 20(KVA) 容量의 주상變壓器에 대한 試驗으로, 센서의 配置位置, 주상變壓器 容量, 捲線配置 및 鐵心 種類등에 의하여 그 기전력이 變化될 可能性이 많음으로 앞으로 많은 現場 試驗 硏究가 필요하다. 그림 6-9는 表 6-1을 根據로 한 데이타를 그래프로 表

示하여 놓았다. 그림에서 알 수 있다시피 주상變壓器 負荷電流와 絶緣油 劣化 센서의 기전력과는 상당한 聯關性을 發見할 수 있었다.

表 6-1 試料變壓器 負荷電流와 絶緣油 劣化센서의 기전력 크기

| 시료 변압기 부하전류(A) | 절연유 열화센서의 기전력(V) |
|---|---|
| 5 | 7.07 |
| 15 | 7.42 |
| 25 | 7.72 |
| 35 | 8.11 |
| 45 | 8.40 |
| 55 | 8.72 |
| 65 | 9.03 |
| 75 | 9.35 |
| 85(100%) | 9.73 |
| 95(110%) | 10.02 |
| 105(120%) | 10.33 |
| 110(130%) | 10.53 |

## 3. 絶緣油 劣化 센서 附着方法

PCS 內裝形 일단 접지 變壓器의 劣化센서 附着은 變壓器 함내에 直接 附着시키는 方式으로 高壓側과의 絶緣 離隔 距離가 充分하여야 한다. 그림 6-10은 絶緣油 劣化센서가 附着된 內部圖面의 例를 나타낸 것으로 變壓器 內部 Core 지지물 위에 絶緣油 劣化센서 완전 絶緣된 狀態에서 設置된다. 附着 지지대는 溫度에 强한 테프론 材料를 使用하여 安定된 位置에 있어야 한다. 리드선은 上部 카바를 通하여 터미널이 製作되어 附着되어야 한다. 리이드선은 柱上에서 點檢者가 適當한 位置에서 測定할 수 있는 測定 Box를 設置하여 柱上 作業이 필요없이 地上에서 測定할 수 있다.

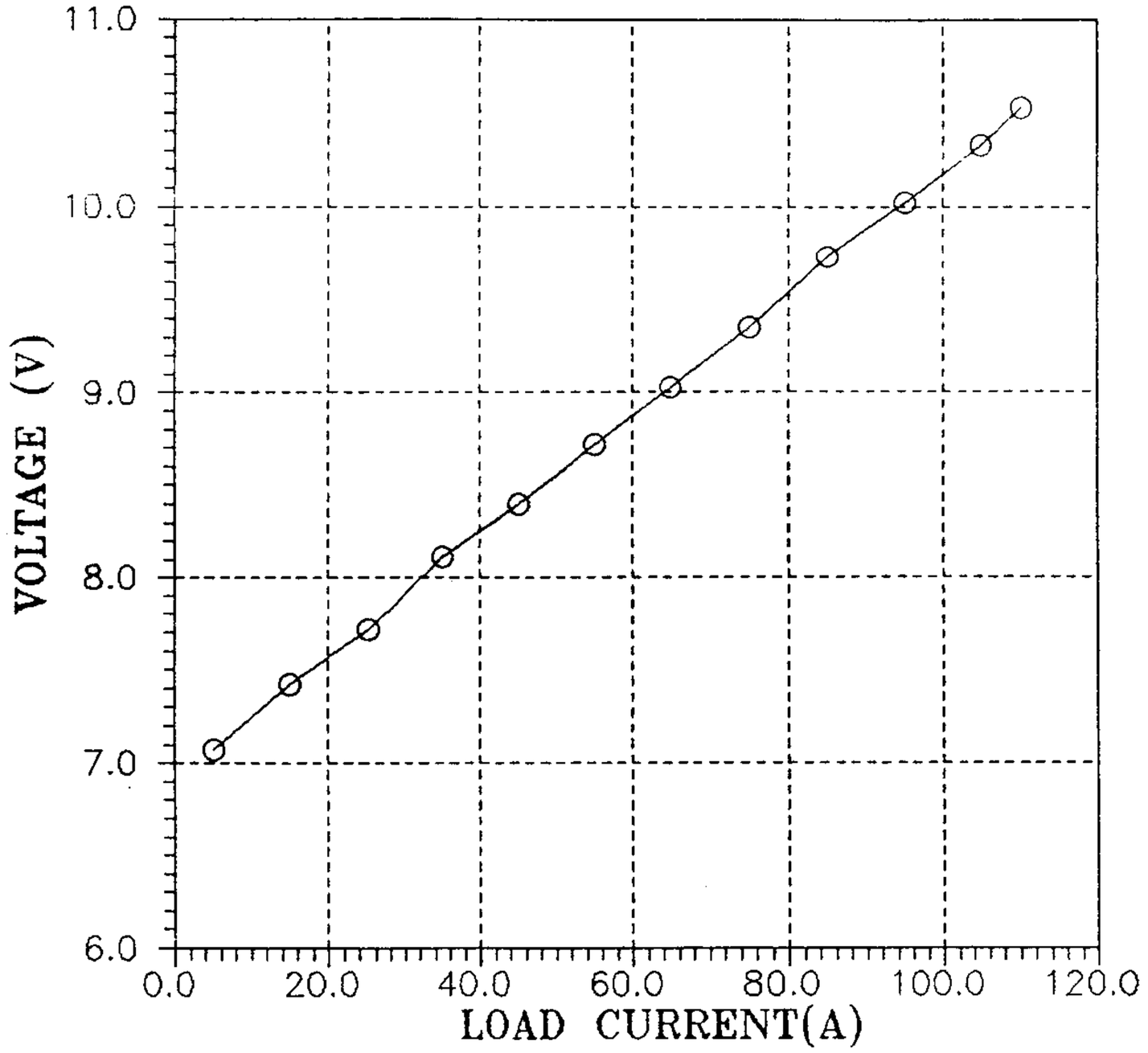



그림 6-9 주상변압기 負荷電流와 劣化센서 起電力과의 關係

지금까지 提示한 柱上變壓器 絶緣油 및 負荷管理方案은 다음과 같은 점에서 相當히 效果的인 方案이라 할 수 있다.

(가) 變壓器 絶緣油의 劣化狀態를 샘플링 方式이 아닌 電氣的인 信號方式이기 때문에 現場에서 卽刻 判定할 수 있어 變壓器 絶緣油 狀態를 바로 알 수 있다.

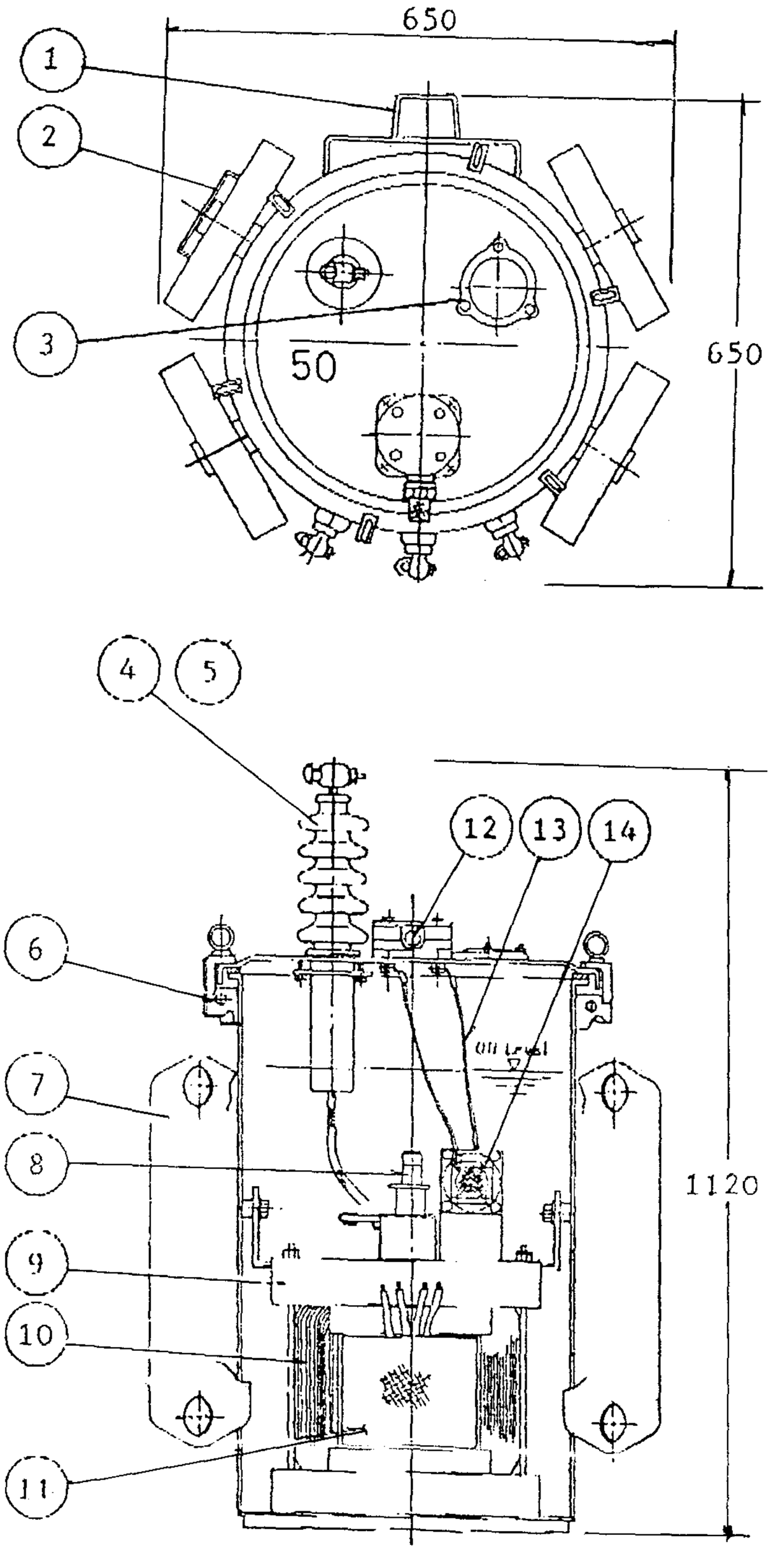
(나) 絶緣油 劣化센서의 溫度보상 特性 때문에 變壓器 絶緣油 劣化 狀態를 測定함과 同時에 變壓器 溫度가 測定되기 때문에 溫度測定에 의하여 變壓器 異常 有無를 알아낼 수 있다.

(다) 絶緣油 劣化센서의 電極을 利用하면 센서의 起電力과 變壓器 負荷電流와의 聯關性을 利用하여 柱上變壓器의 過負荷 狀態를 알 수 있다.

(라) PCS 內藏形 變壓器는 設置가 簡單하고 變壓器 製造 原價에 影響을 미치지 않으므로, 그리고 變壓器 點檢을 活線 狀態에서 點檢할 수 있다.

## 4. 現場 測定 方法

柱上變壓器 絶緣油 狀態 分析은 지금까지 現場에서 전혀 分析을 實施하지 않고, 過負荷 測定은 年 1回 정도 過負荷 豫想 時點에 맞추어 전주위에서 후크메타로 測定하고 있으나 測定 頻度數, 正確度, 安全上 상당한 問題點이 發生되고 있다. 絶緣油 劣化센서는 지금까지 化學的 分析 方法에서 電氣的 分析 方法으로 分析할 수 있는 方案이기 때문에 遠隔測定 및 데이타 貯藏이 可能하다. 卽 전주 승주 作業하지 않고도 지상(地上)에서 變壓器 絶緣油 測定, 溫度 測定 및 過負荷 測定이 可能하다. 그림 6-11은 現場에서 주상變壓器를 點檢할 수 있는 方案을 提示한다.




| 부 번 | 명 칭 |
|---|---|
| 1 | 써 포 트 러 그 |
| 2 | 명 판 |
| 3 | 핸 드 홉 |
| 4 | 일 차 붓 싱 |
| 5 | 이 차 붓 싱 |
| 6 | 리 프 팅 훅 |
| 7 | 방 열 기 |
| 8 | 텝 절 환 기 |
| 9 | 코 아 조 임 쇠 |
| 10 | 철 심 |
| 11 | 권 선 |
| 12 | PCS 단자리드인출구 |
| 13 | PCS 센 서 리 드 선 |
| 14 | PCS (열화진단센서) |

그림 6-10 PCS 內藏形 一端接地 變壓器 內部圖

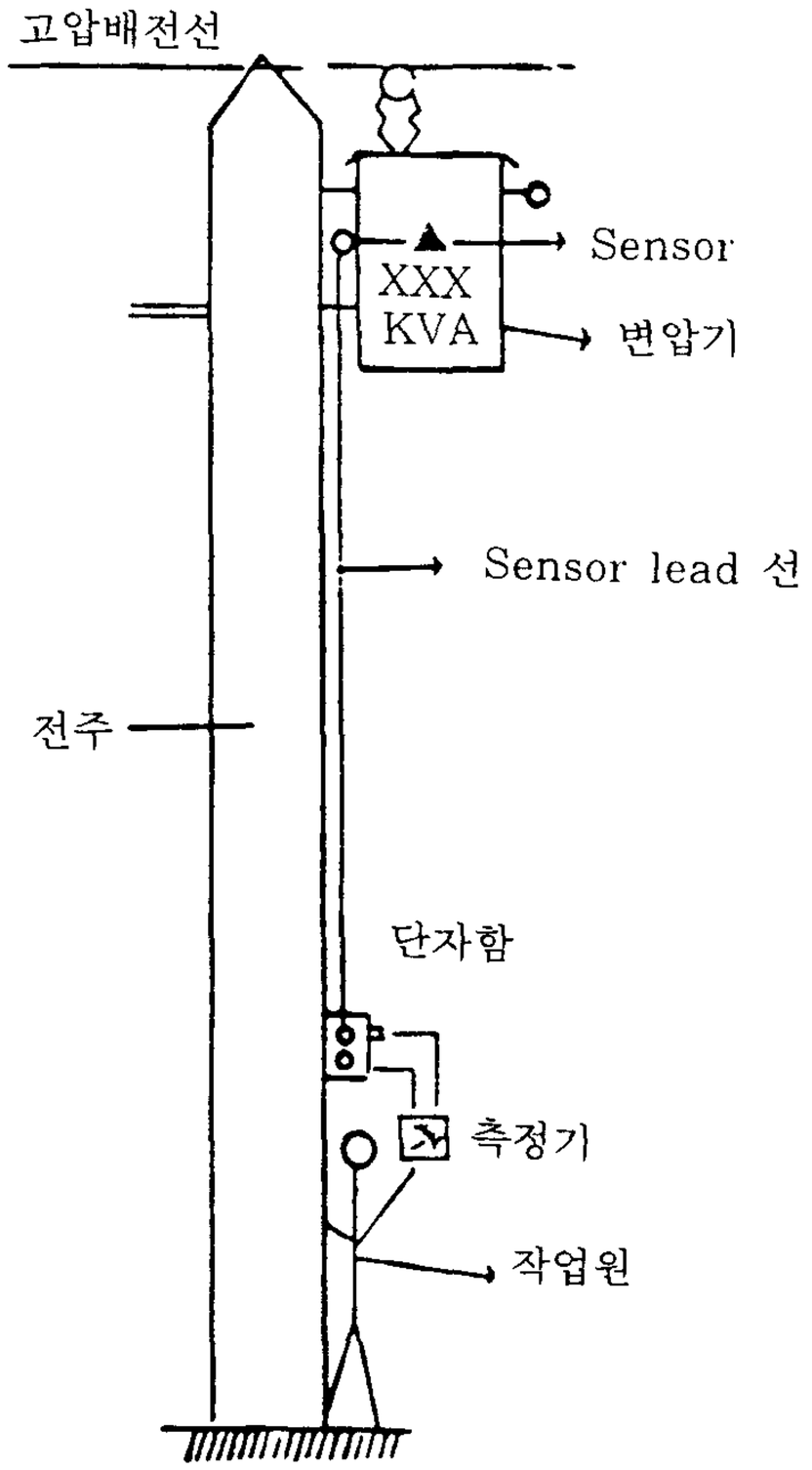



그림 6-11 柱上 變壓器 點檢 方案

## 第 3 節 絶緣油 劣化 判定基準案

### 1. 絶緣油 劣化센서의 漏泄電流 測定

絶緣油 劣化센서의 機能 및 測定原理는 第 2 章 및 第 3 章에서 詳細히 言及되었으므로 여기서는 센서의 漏泄電流와 지금까지 使用되고 있는 一般 特性 試驗과의 關係를 糾明하였다.

絶緣油 劣化센서는 變壓器油(OT)가 劣化될 때 發生되는 不純物 電流粒子를 感知하는 것으로 그 測定對象이 旣存方式과 거의 類似하다.

旣存의 絶緣油 劣化測定方式은 샘플을 採取하여 實驗室에서 그 判定이 내려진다. 그러나 本 硏究에서 實驗한 油中 센서에 의한 方式은 現場에서 즉시 그 "양" "부"를 判定할 수 있을 뿐만 아니라, 配電 自動化 線路를 構成하면 원거리에서도 測定이 可能하다. 그리고 이와 같이 變壓器내에 設置된 油中센서를 採擇하였을 때 먼저 考慮하여야 할 事項은 旣存의 測定方式과 어떤 차이가 나며 그 結果値에 대하여 어떻게 對處하여야 하는 것이다. 旣存의 絶緣油 測定方式과 本 絶緣油 劣化센서에 의한 方式과의 相互 聯關性을 다음과 같이 檢討하여 보았다.

### 가. 全酸價 試驗과 센서에 의한 漏洩電流 試驗

酸價의 上昇原因은 溫度의 變化, 동촉매에 의한 酸化등으로 酸性物質을 生成, 絶緣油 중에 Colloid성분을 增加시키고 스럿지가 發生, 勸善의 熱傳達을 방해시켜 變壓器 소손을 일으킨다. 絶緣油 劣化센서는 一定한 體積의 센서 內部에 導電性 不純物이 吸着되었을 때 센서 自體의 抵抗變化에 의하여 漏洩電流를 測定한 結果 그 相關性이 밝혀졌다.

### 나. 體積抵抗 試驗과 센서에 의한 漏洩電流 試驗

絶緣油의 體積抵抗率을 低下시키는 要因은 絶緣油 속에 不純物이 混入되어 이온의 傳導가 發生, 絶緣破壞에 까지 到達한다. 試驗方式은 油中에 흐르는 單位面積當 電流(A/㎠)의 比로 測定하기 위하여 一定한 크기의 셀을 使用하면서 試驗溫度를 80℃에 維持시켜 測定한다. 本 硏究에서 開發된 센서의 體積은 이 方式의 셀에 該當되고 센서 極사이에 흐르는 漏洩電流는 單位面積當 電流로 볼 수 있다.

다. 유전정접(tan $\delta$)試驗과 센서에 의한 漏洩電流 試驗

tan $\delta$ 試驗은 水分과 그외 汚染物質의 含有量과 關係되며, 이 方式의 試驗은 一定한 셀속에 一定溫度下에서 交流電壓을 認可하여 交流 Bridge법에 의하여 電力損失을 判定한다. 여기서 一定 크기의 셀을 센서 體積으로 보고 不純物導電粒子의 吸收量을 汚染物質의 含有量으로 代置시킬 수 있다.

라. 絶緣破壞試驗과 센서에 의한 漏洩電流 試驗

絶緣油의 絶緣破壞電壓 試驗은 油中의 傳導性粒子가 放電되는 現象을 一定한 셀 속에 넣어 電極間 갭 反應 試驗으로 判定하는 方式으로 이 境遇도 上記 境遇와 마찬가지로 一定한 셀의 센서의 體積으로 보고 그 漏洩電流의 크기로 劣化狀態를 알 수 있다. 이 試驗은 本 研究課題에서 다루어 그 相關性이 있음을 立證하였다.

마. 油中가스 分析과 센서에 의한 漏洩電流 試驗

주로 大容量 變壓器에 使用하는 方式으로 Gas Chromatography법으로 絶緣油가 劣化되었을 때 가스 發生(CO, $CO_2$ 등)양으로 判定된다. 이 試驗機器에는 가스 센서가 付着되어 얇은 Membrane에 가스가 接觸되면 그것을 Monitoring하여 分析하는 方式이다. 이러한 가스들은 擴散速度가 빨라서 安定性에 問題가 있으며, 測定回數가 매우 드물기 때문에 劣化推移의 變化狀態를 追跡하기 힘들다.

지금까지 言及된 事項은 旣存의 測定方式과 本 研究課題에서 開發된 센서 方式과의 相關性을 檢討한 것이다. 위의 (가)에서 (마)까지의 方式은 모두 絶緣油를 샘플링하여 一定 셀에 넣어 基準値를 檢證하는 方式을 採擇하고 있으나 本 研究에서 開發된 센서는 셀에 해당하는 센서의 體積과 그 試驗値에 해당하는 센서의 漏洩電流를 測定함으로써 絶緣油의 劣化程度를 把握할 수 있다.

그리고 本 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流는 유중의 不純物 固着 狀態만을 測定하기 때문에 液體狀態에서 測定하는 셀 方式보다 測定値의 變動이 적을 뿐만 아니라 그 正確度에서도 매우 유리할 것으로 思料된다.

### 바. 酸價 및 耐壓値, 체적저항율, 水分 測定에 의한 方法

變壓器 運轉 개시후 絶緣油 保守管理의 基準値를 適用시킬 수 있다. 그 試驗實施 項目을 分流하여 보면 水分, 絶緣破壞 電壓, 體積 抵抗率, 全酸價 등이 있는데 變壓器 電壓 階級別로 정상치, 요주의치, 이상치 등의 3단계가 있는데 본 硏究課題에서는 주로 絶緣破壞 電壓과 全酸價를 基準으로 測定하였다.(表 6-2)

그림 6-12는 測定方式의 對應關係를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있다시피 運轉중인 變壓器의 油中에 센서를 넣어 一般試驗의 셀에 해당하는 센서 體積

表 6-2 絶緣油 保守管理 基準値(運轉開始 後)

| 전압(KV) 기준치및시험회수시험항목 | 11 - 77 | | 110 - 275 | | > 500 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 기 준 치 | 시험회수 | 기 준 치 | 시험회수 | 기 준 치 | 시험회수 | |
| 수 분 (PPM) | < 40<br>40 -50<br>> 50 | 1회/3년<br>1회3년<br>처리 | < 30<br>30 - 40<br>> 40 | 1회/3년<br>1회/년<br>처리 | < 20<br>20 - 30<br>> 30 | 1회 3년<br>1회/년<br>처리 | 정상<br>요주의<br>불량 |
| 절연파괴전압 (KV) | < 30<br>-<br>> 30 | 1회/3년<br><br>처리 | < 40<br>30 - 40<br>> 30 | 1회/3년<br>1회/6개<br>월 처리 | < 50<br>40 - 50<br>< 40 | 1회/3년<br>1회/6개<br>월 처리 | 정상<br>요주의<br>불량 |
| 제적저항율 ($\Omega$cm(80℃)) | < $1\times10^{12}$<br>$1\times10^{11}$-$1\times10^{12}$<br>> $1\times10^{11}$ | 1회/3년<br>1회/년<br>처리 | < $1\times10^{12}$<br>$1\times10^{11}$-$1\times10^{12}$<br>> $1\times10^{11}$ | 1회/3년<br>1회/년<br>처리 | < $5\times10^{12}$<br>$1\times10^{11}$-$5\times10^{12}$<br>> 1×1011 | 1회/3년<br>1회/년<br>처리 | 정상<br>요주의<br>불량 |
| 전 산 가 (mg-KOH/g) | < 0.2<br>0.2 - 0.5<br>> 0.5 | 1회/3년<br>1회/년<br>처리 | < 0.1<br>0.1 - 0.3<br>> 0.3 | 1회/3년<br>1회/년<br>처리 | < 0.1<br>0.1 - 0.3<br>> 0.3 | 1회/3년<br>1회/년<br>처리 | 정상<br>요주의<br>불량 |

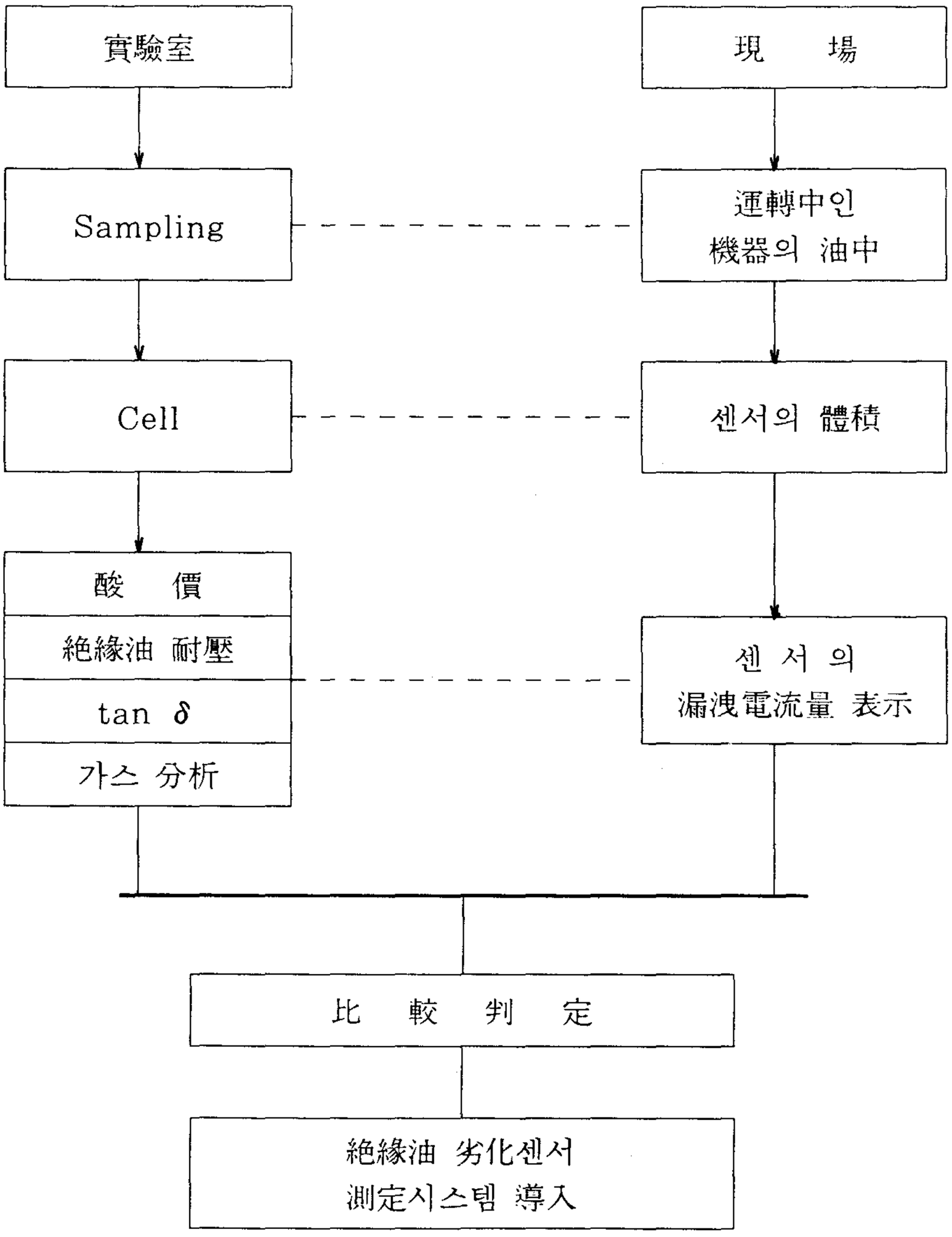



그림 6-12　絶緣油 測定 시스템의 對應

으로 對應하여 센서의 漏洩電流量으로 酸價, 絶緣油 耐壓, tan δ, 가스분석량 등에 對應할 수 있다.

## 2. 絶緣油 劣化 判定基準案

絶緣油 劣化센서에 의한 測定方法은 전기적인 信號로 나노암페아(nanao ampere)單位의 電流値로 判定하기 때문에 劣化된 絶緣油 속에 包含된 도전성분이 많으면 많을수록 그 竝列抵抗이 形成되어 電流値가 높아간다.

지금까지 實驗室 測定 데이터 및 現場實驗 데이터를 綜合的으로 檢討하여 본 結果, 絶緣油 센서는 溫度에 따라 매우 敏感한 反應을 나타내기 때문에 運轉中인 變壓器의 絶緣油 溫度를 測定할 필요성이 있다. 實際 現場에서 使用되는 絶緣油 溫度는 154KV級 以上의 大形 變壓器는 運轉溫度가 夏季節인 境遇 대략 40(℃)에서 80(℃)정도이며 冬季節인 경우 20(℃)에서 60(℃)로 分布되어 運轉되고 있고, 22.9KV級 以下의 配電用 變壓器의 경우 夏季節인 경우 대략 50(℃)에서 100(℃)고 그리고 冬季節인 경우 40(℃)에서 90(℃)로 運轉됨을 推定할 수 있다. 따라서 變壓器 絶緣油 溫度를 20(℃)에서 100(℃)範圍에서 劣化 溫度 曲線을 그릴 수 있다. 新油의 絶緣油 교정曲線(그림 5-17)과 劣化된 絶緣油의 測定値와를 比較하여 보면 表 6-3과 같으며, 판정곡선은 교정 前(그림 6-13)과 교정 後(그림 6-14)그래프를 分離하여 表示하였다.

表 6-3 絶緣油 劣化 判定 基準表

교정전/교정후 (단위 nA)

| 구분 / 온도(℃) | 양 | 요 주 의 | 불 량 | 교 정 치 |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 20/21 | 30/29 | 40/39 | 1.0 |
| 30 | 22/21 | 35/34 | 45/44 | 1.0 |
| 40 | 25/23 | 38/36 | 50/58 | 2.0 |
| 50 | 30/27 | 65/62 | 100/97 | 3.0 |
| 60 | 40/37 | 120/107 | 200/197 | 3.0 |
| 70 | 50/45 | 175/170 | 300/295 | 5.0 |
| 80 | 80/65 | 240/225 | 400/385 | 15.0 |
| 90 | 140/95 | 400/355 | 700/655 | 45.0 |
| 100 | 200/130 | 600/530 | 1000/930 | 70.0 |

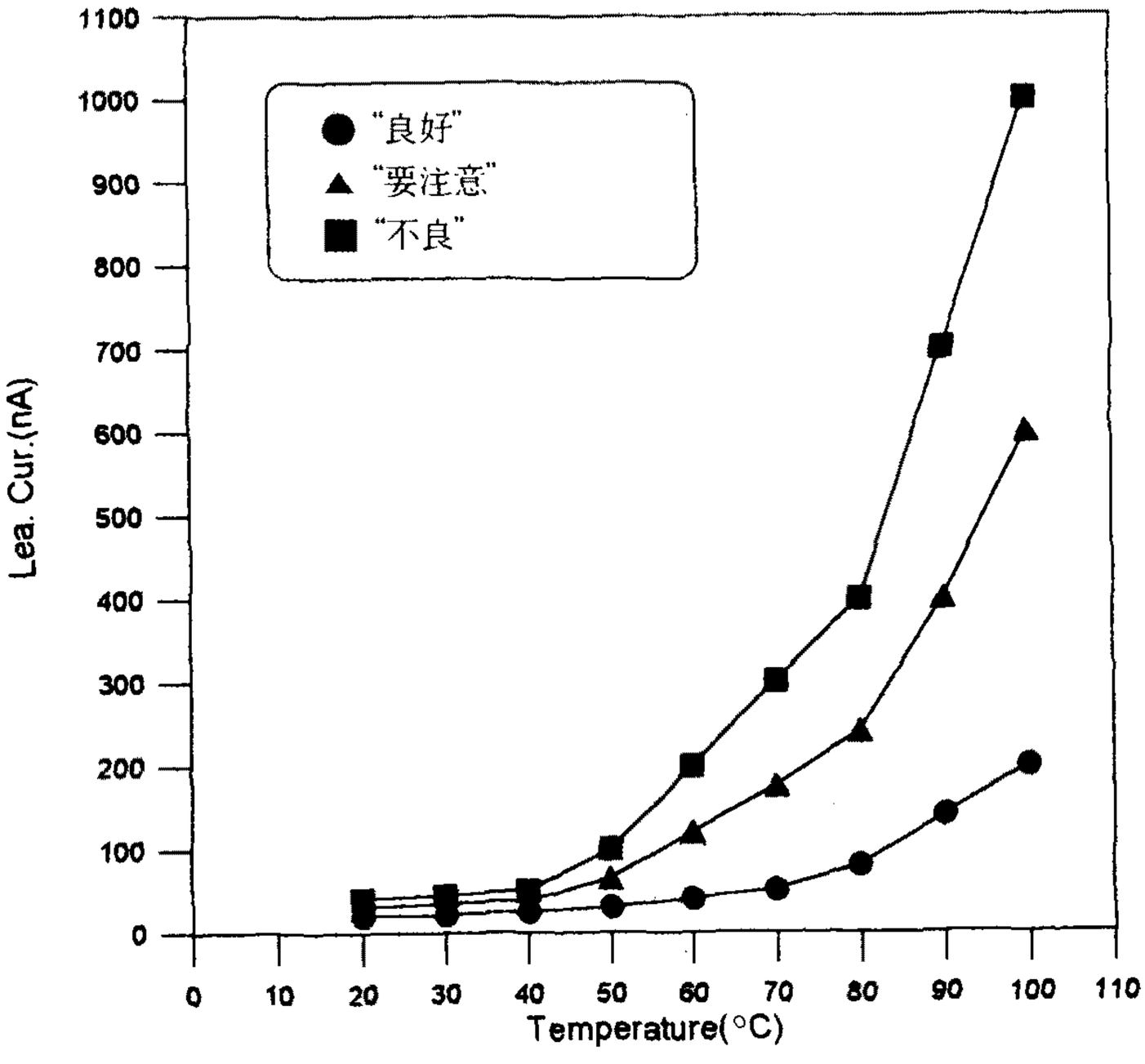



그림 6-13 劣化센서 校正前 判定曲線

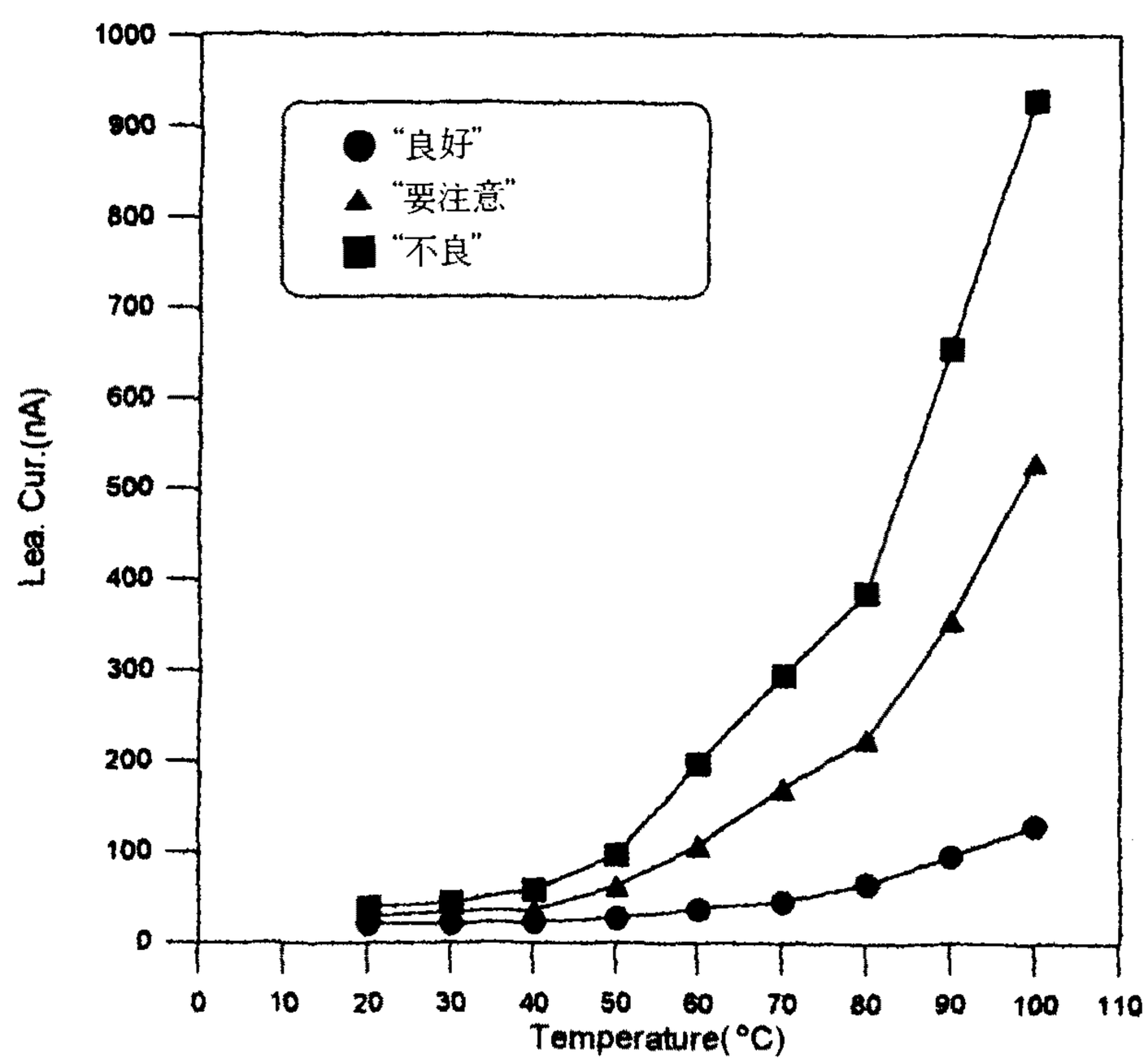



그림 6-14 劣化센서 校正後 判定曲線

# 第7章 結 論

本 研究의 1, 2次年度 研究에서는 絶緣油 劣化센서의 特性과 絶緣油 劣化센서에 대한 計測裝置의 設計 및 製作에 主眼點을 두었고 3, 4次年度에서는 絶緣油 劣化센서의 自體 特性을 考察한 後 絶緣油 劣化센서를 利用한 診斷技法에 대하여 考察하였다. 絶緣油 劣化센서를 適用하기 위한 模擬試驗으로 劣化탱크 및 試料 變壓器에 대하여 實驗室 試驗을 遂行하였다.

本 研究는 國際共同 研究로써 相對國 研究機關인 日本電力中央研究所(CRIEPI)에서 遂行된 研究內容 中 絶緣油 劣化檢出 裝置의 設計回路를 國內에서 製作된 計測器와 比較하여 그 長短點을 檢討하였으며, 返還 負荷法回路를 利用하여 12個月間의 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流와 一般特性을 行하여 實施하였다.

以上과 같은 研究結果를 簡單히 要約하면 다음과 같다.

(1) 絶緣油 劣化센서의 試料 10個에 대하여 V-T-I 特性을 調査한 結果 센서에 印加되는 電壓이 DC 2 KV가 적당함이 確認되었다.

(2) 通常 現場에서 많이 使用하는 變壓器의 絶緣油 溫度는 70℃이하로써, 이때 센서에 DC 2KV를 印加하면 新油인 境遇 그 漏洩電流値는 5(nA)以下임을 알 수 있었다.

(3) 絶緣油 劣化센서의 溫度補償은 絶緣油 溫度 80℃에서는 15(nA)정도, 90℃에서는 45(nA)정도로 溫度補償이 必要하다.

(4) 絶緣油 流動에 關聯한 試驗 結果, 絶緣油 流動速度, 센서 設置位置, 센서 크기에 關係없이 거의 비슷한 特性을 나타냄을 알 수 있었다.

(5) 劣化된 絶緣油와 新油에 대한 反應은 그 特性이 敏感하게 變化됨을 알 수 있었고, 그 測定値의 感度(Sensitity)가 매우 敏感함을 알 수 있었다.

(6) 絶緣油 劣化檢出 計測器의 國內에서 製作된 計測器 相對國 日本電力中央研究所에서 開發된 計測器 回路와 相互 比較함으로써 計測器 製作에 따른 周邊 技術을 確保하였다.

(7) 日本電力中央研究所(CRIEPI)에서 1年間 試驗한 데이타를 면밀히 分析해 본 結果 絶緣油 劣化센서의 漏洩電流 變化 推移와 絶緣油의 一般特性 變化 推移가 거의 비슷하게 變化됨을 알 수 있었고, 센서 測定에 따른 一貫性 및 再現性이 좋음을 V-T-I 特性을 通하여 確認되었다.

(8) 本 研究에 의하여 劣化센서가 付着된 變壓器 絶緣油 劣化判定 基準値를 提示하므로써 現場 測定에 積極 活用될 수 있다.

(9) 지금까지 旣存 使用 되어왔던 샘플링에 의한 분기 方式을 電氣的인 信號處理인 絶緣油 劣化센서 方式을 導入하므로써 測定에 所要되는 人力과 絶緣油 劣化로 인하여 發生되는 變壓器 事故를 最大限 줄일 수 있다.

(10) 本 絶緣油 劣化 測定方式은 國內, 美國, 日本 등에 特許權을 獲得하였으므로 이 方式에 대한 海外 輸出이 可能하다.

本 研究의 向後課題로써 配電用 變壓器에 適用할 수 있도록 絶緣油 劣化센서에 대한 工業規格制定이 必要하며, 遠隔에서 온라인으로 診斷하여 데이터를 貯藏, 分析, 傳送할 수 있는 研究가 계속 이어져야 할 것으로 思料된다.

끝으로 本 研究를 4年間 成功的으로 마무리 되도록 協力해 주신 科學技術處, 國際 共同 研究기관인 日本電力中央研究所, 參與企業인 江南精工(株) 및 서울유일 엔지니어링의 關係者 여러분에게 거듭 感謝의 말씀을 드립니다.

# 參 考 文 獻


1. "柱上 變壓器 絶緣油 劣化過程 研究調査" 申圭植. 韓國電力公社 技術研究所報

2. "油入 變壓器の 外部診斷技術", 月岡淑郎 OHM p.40. 1987. 4

3. "變電機器の 豫防保全 (Preventive Maintenance for Substation Equipment)" 眞壁政治 富士時報 p.138 昭 57-2.

4. "株上 變壓器 事故防止 對策 洪尙根外 2人. 韓國電力公社 技術研究所報

5. "新電氣 絶緣油" 河村英雄, 山田靜吉 日書

6. "變壓器 絶緣油에 全酸價의 影響 (Effect on Total Acid Number in Transformer Oil)" 申圭植 韓國電氣協會誌, p.20, 1986. 12.

7. "絶緣油の 劣化判定法につい(Ⅱ)" 山岡道彦 富士時報 p. 518, Vol. 27, 1954.

8. "絶緣油の おはなし" 石井敏次 新電氣 32卷 8號 p.35 昭和 53年 7月

9. "Particles and Moisture Effect on Dielectric Strength of Transformer Oil Using VDE Electrodes" Kamal Miners, IEEE PAS-101, No. 3, March 1982.

10. "Breakdown Characteristics of Moving Transformer Oil" M.Ikeda, T.Teranishi, M.Honda, T.Yanari, IEEE PAS-100, No. 2, February 1981.

11. "電氣絶緣油における キャリアイオンの移動度" 空本晃男, 士江基夫 日本電氣學會誌, (57-A59) 昭 57-8

12. "Electric Conductance in Liquid Hydrocarbons" E. O. Forster.

ESSO Research and Engineering Company Linden, New Jersey.

13. "Electronic Conduction Processes in Dielectric Liquids" Werner, F. Schmidt IEEE Electrical insulations E1-19, No. 5 October 1984.

14. "Influence of Particles on Partial Discharges and Breakdown in Oil" K.N. Mathes and J.M. Atkins. General Electric Cooperate Research and Development Schenectady N.Y.

15. "Evaluation on in-service Transformer Oil condition from various measurment" Claire Vincent, Jean-pierre Crine.
IEEE International Symposium on Electrical Insulation Washington, DC, June 9-11, 1986.

16. "Electrostatics in Power Transformers" S.Shimizu, H.Murata, M.Honda, IEEE PAS-98, No. 4, July/Aug. 1979.

17. "Deterioration of Mineral Oils" Brian and Collaborates. Industrial Engineering Chemistry Vol. 10, No. 11

18. "Preliminary of Computer Simulation of D.C Conduction to Impurity Particles in a Dielectric Liquid and Comparision with Experimental Data" G.Molinami, A.Viviani. University of Genoa, Dept. of Electrical Engineering.

19. "變壓器 絶緣油 劣化 檢出裝置 開發에 관한 기초연구" 全永甲 외 7人
1987年 7月 KERI 研究報告書

20. "Solid Particle Impurities in Power Transformer" N.D. Clothier, R. Lawrence and J.A. Denham. Electrical Engineering April 1971.

21. "吸着・觸媒作用と 化學せシサ-" 荒井弘通 觸媒 Vol. 25, No. 6, 1983.

22. U.S Patent 4,138,881 OXYGEN SENSOR.

23. 日本 NISHIO社 技術資料

24. "New Possibilities for Variation of Glass Structure" H.Scholze, Journal of Non-Crystalline Solids 73, 1985 (669-680)

25. "セテミツク 多孔體" 特許 公報(B2) 昭 57-35049

26. "ADSORPTION" C.L. Mantell, Ph.D.McGraw-Hill Book Company 1951.

27. "粉體物性 測定法" 早川宗人郎, p. 149~p. 151. 1973.

28. 寺四常治 "油入 變壓器의 絶緣 劣化와 그 診斷 技術" 東京芝浦 電氣, 1990.

# 부 록

# 여 백

# 부록(1) Flux-2d에 의한 전계해석

## 제 1 절 Flux-2D의 개요

Flux-2D는 프랑스의 한 연구 그룹인 'Modelisation et CAO of the Laboratorie d'Electrotechnique di Grenoble'에서 개발한 전자장 해석을 위한 computer package이다. 이 program은 전자장 연구 Group (B.Ancelle, I.L.Coulomb, P.Masse, G.Meunier, P.Rafinejad, J.C Sabonnadiere)과 software 엔지니어 (A.Callegher, B. Morel)들과의 긴밀한 연구체계와 수년동안의 개발 및 시험기간중에 관련 과학자들의 많은 연구와 실질적 문제해결을 위한 조언으로 package 전체의 architecture와 여러가지 algorithm을 위한 개념과 방법들이 도입되었다.

이 package는 1981년부터 프랑스의 국립 컴퓨터 network인 'TRANSPAC'에 설치되어 사용을 시작했으며, 현재는 중·대형 computer는 물론 VAX, HP, Apollo, SUN, MISI, IBM 등 모든 workstation에서 사용가능하며 프로그램 언어는 ANSI FORTRAN 77로 되어있다.

Flux-2D는 2차원 전자장 현상을 평면과 축대칭면에서 해석하기 위한 software이다. 이것은 정전계, 정자계, 전자계에서의 동특성, 과도현상, 온도의 정상 및 과도특성, magneto-thermal 및 electro-thermal등의 해석을 할 수 있으며, 온도에 대한 해석이 가능한 것은 전자계의 방정식과 온도문제의 방정식의 구조가 거의 비슷하고 경계조건만이 다르기 때문이며, 이것은 FEM의 보편성을 나타내는 것이기도 하다. 또한 전자계 해석의 각 module에서 사용자와의 대화는 모두 전기공학적인 용어를 사용하고 있으며, 온도문제해석은 열전도도, 열역학적인 용어와 단위를 사용하고 있다.

Flux-2D의 일반적인 구조는 5개의 module로 구성되어 있으며, 그림 부1.1.1에

개략적인 Flux-2D의 구성도를 나타내었다.

먼저 DATA file(file. TRA)을 생성하여 문제를 풀게되는데, 해석을 위한 문제의 기하학적 modeling과 meshing을 preprocessor인 PREFLU에서 수행하여 매질의 물리적 특성에 대한 data base를 만들 수 있는 module인 CSLMAT에서 문제의 data base를 만든 후 경계조건, 문제의 형식, source term등을 지정하는 'PROPHY' module 수행이 끝나면, 전체의 system matrix 방정식의 해를 구하는 solver 'RESGEN'에서 최종 원하는 미지수의 값들이 계산되어 file.TRA에 저장하게 된다.

구조는 PREFLU는 preprocessor로서 기하학적 data와 각 부분의 매질을 구분하여 입력하게 되며 각 소구역을 자동요소분할 방법을 이용하여 유한요소로 나누는 module이다. data의 입력은 전체적인 기하학적 형상을 선과 arc로서 구성하며 기본요소들은 점과 선분으로 구성된 topology 방법을 이용한다. 최종적인 model은 회전, 대칭, translation등 기하학적 변환을 이용하여 만들어서, 다음 단계로 유한 요소를 만든다. Flux-2D에서 요소는 직선, 곡선, 2차 삼각 및 isoparametric 유한요소이며, 사용자가 subdivision을 이용하여 mesh를 생성할 수 있으며 Delaunay 방법을 채택하고 있다. 1차로 만들어진 유한요소는 재 분할할 수 있도록 유도하여 분할이 끝나면, 전체 system 방정식의 band 폭을 최소화하기 위하여 각 node의 번호를 다시 부여하는 과정을 거쳐서 data base가 완성된다.

CSLMAT는 해석영역에 사용되는 재질의 data base를 다루는 기능을 가지고 있는 module 이며, 각 재질의 물리적 특성을 선정하여 data base를 만들고 재질의 추가, 수정, 저장시켜서 file.TRA와는 별도의 독립적인 data base를 구성하고 있다.

경계조건은 통상 FEM에서 사용하는 고정경계조건(Dirichlet)과 자연 경계조건(Neumann)을 사용할 뿐만 아니라 반복경계조건이나 다극 구조에서 유용한 대

칭형 경계조건 등 공학적 문제에서 자주 발생되는 조건도 이용할 수 있도록 구성 되어 있다. 특히 관련된 2개의 경계에서 값이 같거나 서로 반대인 cyclic 경계조건, source가 없는 자계문제에서 flux의 크기를 알고 분포를 모를 경우에 사용되는 translation 경계조건, 해석영역내에 hole이 존재하여 이 경계면을 따라 물리적으로 동일한 미지의 값을 갖는 경우 풀어야 되는 floating 경계조건 등 사용자들이 아주 편리하게 이용할 수 있게 구성되어 있다.

만일 사용자들이 한번에 source나 경계조건을 변화시키면서 여러가지 경우의 계산을 하고 싶다면 COPPRO라는 module을 이용하여 똑같은 model에서 물리적인량이나 경계조건의 변화에 따른 simulation을 손쉽게 할 수 있으며, MODPRO는 PROPHY에서 경계조건만 바꾸어 계산할 수 있는 module이다.

RESGEN은 solver module이며 정상상태, 과도현상 및 magneto-thermal 문제로 구분하여 수행하게 된다. 문제의 형태에 따라서 system matrix 방정식을 각 요소별로 적분하여 ICCG(Incomplete Choleski Conjugate Gradient) 방법으로 해를 구하게 되며, 비선형 문제의 경우에는 최대 반복계산회수나 계산의 정도 등을 사용자가 선택할 수 있다. 이 module에서 계산의 정확도는 1/100로 지정되어 있으며, 이 값은 새로운 결과의 Euclidian norm과 residual norm과의 비를 표시한다.

EXPGEN은 계산된 결과를 사용자가 원하는 정보량으로 계산하여 보여주는 기능을 갖는 postprocessor이다. 등전위선(또는 전류, flux, 등온), 국부영역의 물리량 계산(전위, 전류, flux, 밀도 등), 어느 선분을 따라 계산된 값을 graph로 표시하며, 전체적인 물리량, 즉 작용하는 힘, torque, 에너지 등을 계산하는 4가지 기능을 가지고 있다.

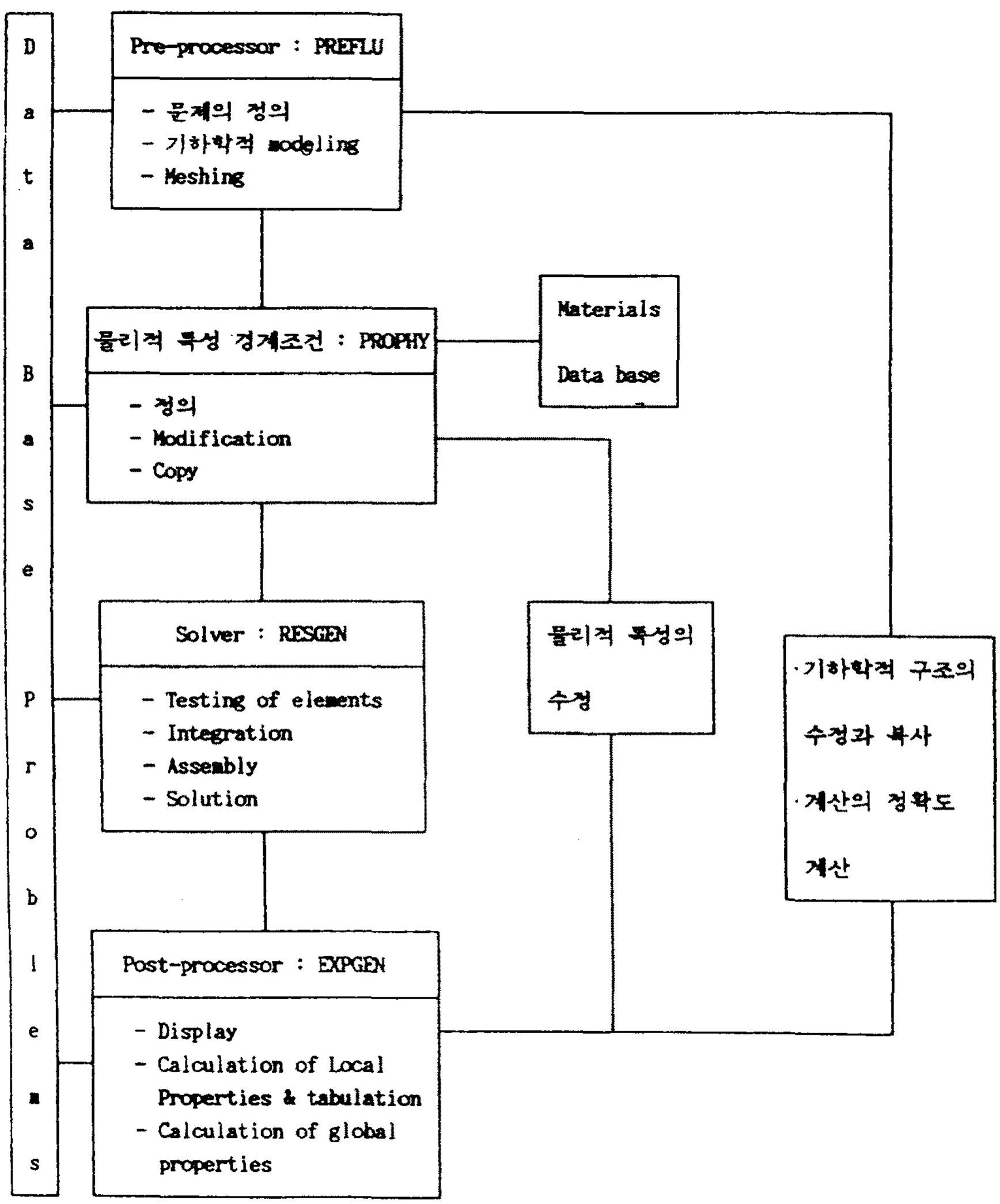



그림 부-1-1 Flux-2D의 구성도

## 제 2 절　유한요소법(FEM)의 적용

공학분야에서 제기되는 물리적인 제반현상들은 일반적으로 복잡한 분포특성을 가지는 연속적인 현상이라 할 수 있는데, 그 물리량을 지배하는 지배방정식인 미분방정식에 의해 표현되는 것이 일반적이다. 또한, 이와 같은 지배방정식을 만족하는 분포함수는 그 함수에 의해서 성립되는 미분방정식의 해를 구함으로써 알 수 있다. 즉, 물리장의 계변수에 의해 특성화되는 연속매질 문제의 경계치 문제를 풀어 물리장을 만족하는 분포함수를 구하는 것이다.

분포함수를 구하는 방법으로는 해석적인 방법과 수치해석적인 방법이 있는데 지배방정식의 해를 해석적으로 구한다는 것은 매우 어렵고 또한 불가능한 경우가 많다. 한편 컴퓨터의 급속한 보급과 더불어 발달한 수치해석적인 방법으로 분포함수를 구하는 경우가 현재는 많이 이용되고 있으며, 이중 유한요소법(Finite Element Method; FEM)은 복잡한 경계조건의 처리 및 재질의 비선형성과 이매질처리 등이 매우 용이하여 현재 가장 널리 이용되고 있는 수치해법이다.

유한요소법의 역사는 1950년대 항공기의 기체강도를 계산하기 위하여 구조공학분야에 도입한 이래, 대용량 전자계산기의 출현과 더불어 타공학분야로 급속히 확산되었다. 그중 전기공학분야에서는 1970년 캐나다 McGill대학의 P.Silvester 교수가 전기기기의 자기적 특성해석에 유한요소법을 적용한 것이 시초가 되어 전기기기의 최적설계인 형상 최적화까지 응용되고 있는 실정이다.

유한요소법이란 미분방정식을 이산화하는 대신 현상 그 자체를 이산화시켜서 문제를 취급하므로 다루고자 하는 전체영역을 유한개의 영역으로 나누고, 각 영역에서의 특성을 근사화시켜 유한개의 미지수를 구함으로써 전체의 영역을 해석하는 방법이다.

즉, 유한요소법은 해석 대상영역을 미소영역으로 세분하고 분할된 각 영역에서의 함수를 단순함수로 근사시켜서 이 근사함수가 주어진 방정식과 경계조건을

만족하는 관계조건을 구하여 분할된 각 미소영역에 적용함으로써 관계 방정식을 유도하고, 전체해석영역을 이 관계방정식군의 집합에 의해서 성립되는 해석장으로 취급하여 해를 구하는 방법이다.

## 1. 개 념

어떤 영역을 해석하고자 할때 전위 $\phi$는 그 영역內에서 복잡하게 변화하지만, 영역을 여러개의 요소들로 잘게 나누면 단순한 함수형으로 근사되고 큰 오차는 발생하지 않는다.

유한요소법은 그림 부-1-1과 같이 영역을 잘게 나누었을때 각각의 요소내 전위분포를 단순한 함수로 근사시키는 방법을 이용한다. 그림 부-1-1에서 각각의 면적을 요소 (element)라고 부르며, 각 요소에는 연속적인 번호가 붙여진다. 유한요소법에서 요소의 종류는 해석하고자 하는 영역이 2차원장, 축대칭 3차원장 또는 일반 3차원장 중 어떤 장인가에 따라 삼각형, 사각형, 사면체 또는 육면체 등 여러가지로 나뉜다.

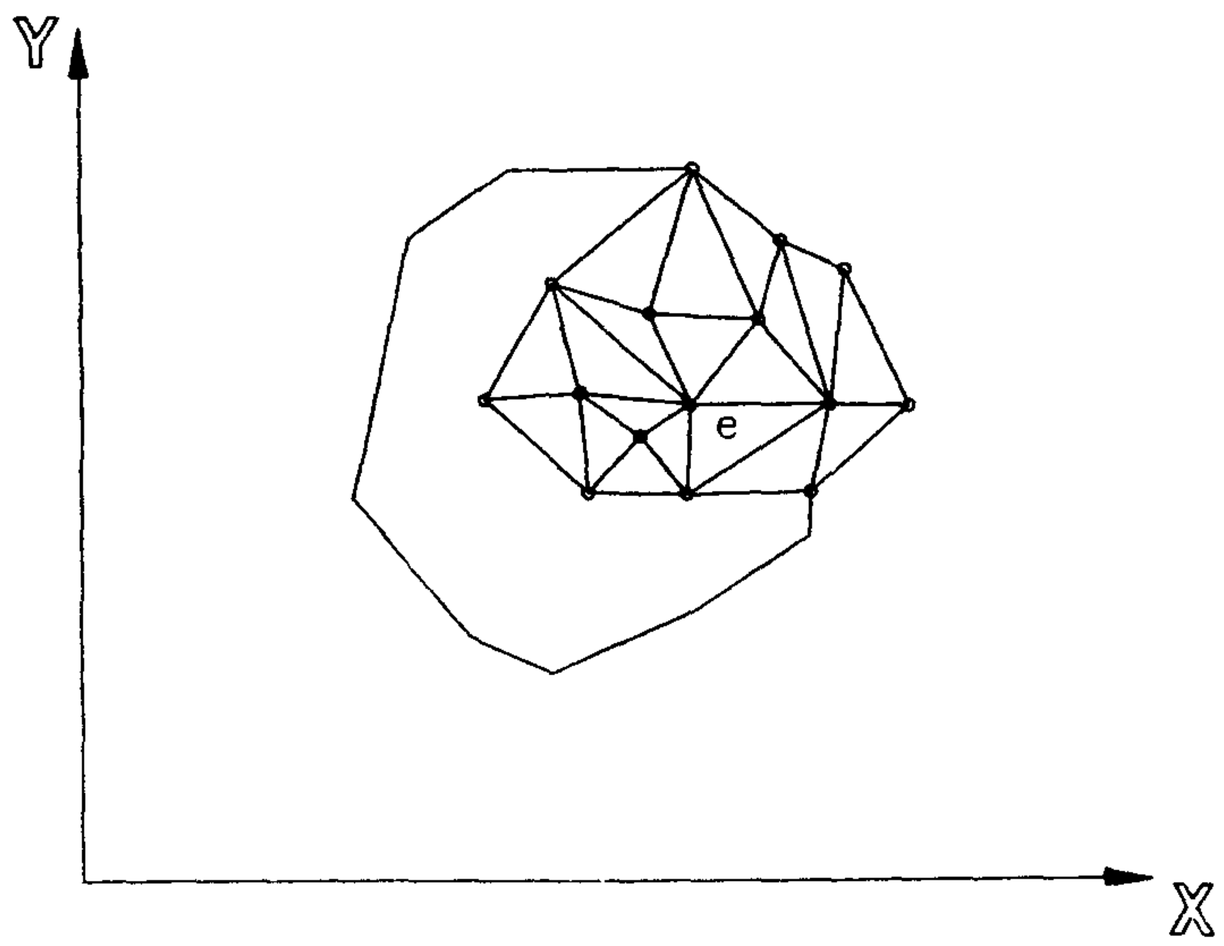



그림 부-1-2 영역의 요소분할

그림 부-1-3는 해석영역에서 y 또는 z 좌표가 일정할 때, 즉 y=c 선상에서의 전위분포를 보여준다. 실선은 실제의 전위분포를 나타내며 점선은 영역을 여러 개로 나누었을때 각 요소마다의 전위를 근사시킨 경우를 보여준다.

그림 부-1-4은 자주 이용되는 1차 근사 삼각형요소를 나타낸다. 그림에서 삼각형의 정점을 절점(node)이라고 부르며 연속적인 번호가 붙여진다. 이 점은 영역의 경계조건에 따라 전위를 알고 있는 절점과 전위를 구하고자 하는 영역의 절점으로 나눠진다. 요소 e의 절점 i, j, k의 좌표를 $(x_i, y_i)$, $(x_j, y_j)$, $(x_k, y_k)$라 하고 각각의 전위를 $\phi_i$, $\phi_j$, $\phi_k$라고 하자.

각 요소의 전위 근사함수로는 일반적으로 좌표의 1차식으로 나타내며 여기서도 1차 근사를 사용한다. 이때 $\phi_i$, $\phi_j$, $\phi_k$가 구해지면 영역내 임의의 점 P의 전위를 구할수 있다. 그림 부-2-3과 같이 요소가 3절점을 가지고, 이 요소내의 전위 좌표가 1차식으로 근사된 경우, 이러한 요소를 1차 삼각형 요소라 한다.

해석영역 각 절점의 전위를 안다면 임의의 점의 전위를 구할수 있다. 결국 문제는 어떻게 각 절점의 전위를 알 수 있는가이다. 각 절점의 전위는 일반적으로 변분법의 원리를 이용하여 구한다. 변분법의 원리는 에너지 법칙이라고도 불리우는 물리적 법칙으로서 전위는 그 계의 에너지가 최소가 되게 분포한다는 사실에 기초를 두고 있다.

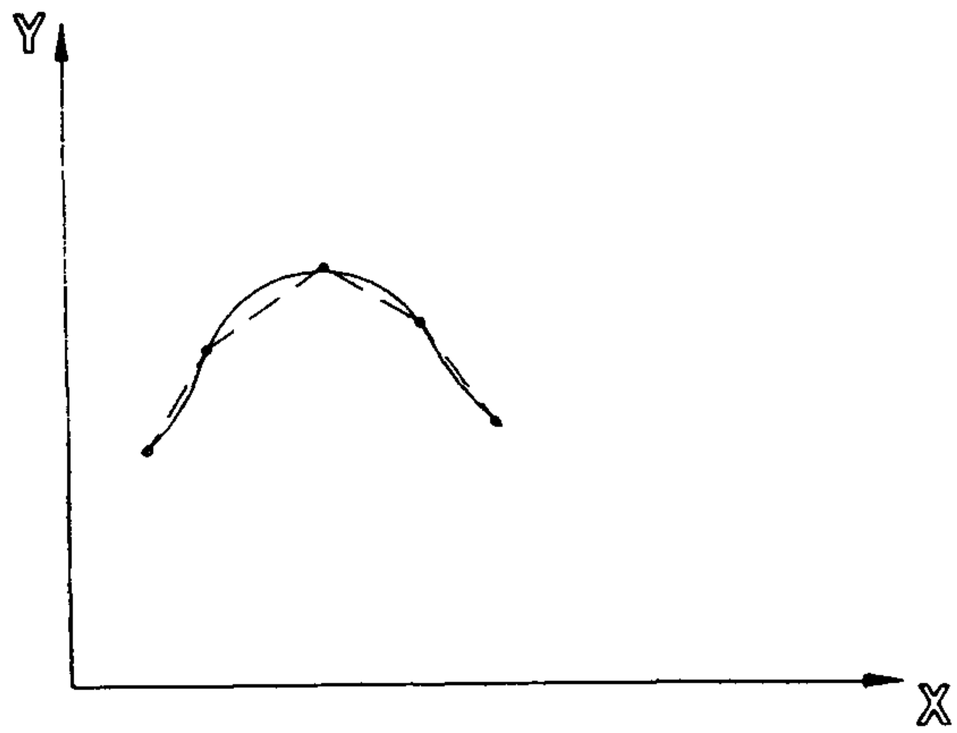



그림 부-1-3 전위의 직선근사

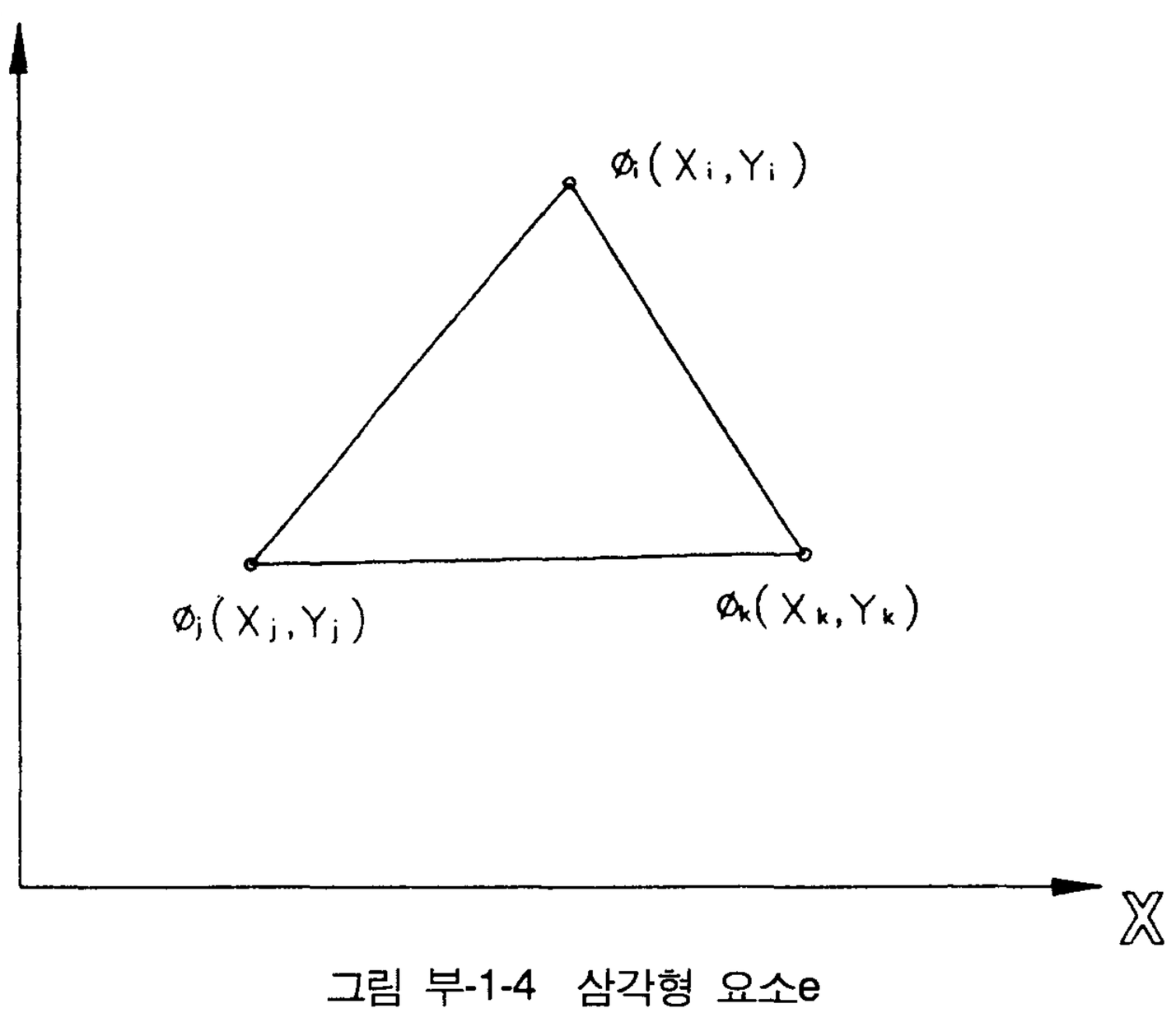



그림 부-1-4 삼각형 요소e

각 절점의 전위를 Laplace나 Poisson방정식으로부터 직접 구할수 없을 때, 변분법 원리를 쓰게 되면 미분방정식이 적분방정식으로 표현되고 수치계산이 쉬워진다. 왜냐하면 영역이 나뉘어진 각 요소의 전위가 저차 다항식의 간단한 근사함수로 표현되기 때문에 적분이 용이하게 된다.

## 2. 지배방정식

Electrostatics의 Source는 electric charge density와 경계상의 Prescribed potential등이며, Variable은 electric potential V인데, electrostatics의 문제에 유한요소법을 적용하는 경우의 지배방정식을 고찰해보면 다음과 같다.

전자기 현상을 수학적으로 해석하는 기본방정식은 다음의 Maxwell 방정식이다.

$$\begin{cases} \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{D} = \rho \\ \nabla \cdot \vec{B} = 0 \end{cases} \qquad \text{(부-1-1, 2, 3, 4)}$$

여기에서 E는 전계 [V/m], B는 자속밀도 [$Wb/m^2$], J는 전류밀도 [$A/m^2$], D는 전속밀도 [$C/m^2$], $\rho$는 전하량 [$C/m^3$]을 나타내고 있다. 정전계의 경우는 자계가 변화하지 않으므로 $\partial \vec{B}/\partial t = 0$ 이 되어 (부-1-1)식은

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \qquad \text{(부-1-5)}$$

이 되며, 전계 $\vec{E}$ 는 Conservative field가 됨을 알 수 있다.

또한, 전계 $\vec{E}$ 는 스칼라 포텐셜 $\varphi$의 함수로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\vec{E} = -\nabla \varphi \qquad \text{(부-1-6)}$$

또한, 전속 $\vec{D}$ 와 전계 $\vec{E}$ 의 관계식,

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \qquad \text{(부-1-7)}$$

에 의해서 (부-1-3)식은 다음과 같이 된다.

$$\nabla \cdot \varepsilon \vec{E} = \rho \qquad \text{(부-1-8)}$$

(부-1-5)식을 (부-1-7)식에 대입하면,

$$\nabla \cdot \varepsilon \nabla \varphi = -\rho \qquad \text{(부-1-9)}$$

가 되며, 이 방정식은 Poisson 방정식의 형태로서 정전계의 지배방정식이 된다. 이 방정식의 해를 구하기 위하여 해석영역의 경계조건은 일반적으로 다음과 같이 고정경계조건과 자연경계조건으로 주어진다.

고정경계조건은 해석영역의 경계 $\nu_1$ 상에서 전위 $\varphi$가 임의로 주어진다.

$$\varphi = \varphi 1 \qquad \text{(부-1-10)}$$

자연경계조건은 해석영역의 경계 $\nu_2$ 상에서

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \qquad \text{(부-1-11)}$$

여기서 n은 경계 $\nu_2$ 에서의 법선성분 단위 vector이다.

한편, 식(부-1-9)는 3차원 정전계에서 다음과 같은 Poisson 방정식으로 전개할 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial z}) = -Q \qquad \text{(부-1-12)}$$

또한, 2차원장에서는

$$\frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon\frac{\partial \varphi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\varepsilon\frac{\partial \varphi}{\partial y}) = -Q \qquad \text{(부-1-13)}$$

이다. 이 식을 주어진 경계조건에서 해를 구하여 $\varphi$가 얻어지면 (부-1-5)식에 의해서 전계 $\vec{E}$를 구할 수 있게 된다. 즉,

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y,} \quad E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \qquad \text{(부-1-14)}$$

## 3. 적용이론

해석영역의 지배방정식이 다음과 같은 편미분방정식으로 주어졌다고 가정하여 유한요소법을 적용해 보면 다음과 같다.

- 영역 D에서 $-\nabla 2\varphi = f$ (부-1-15)
- 경계 S1에서 $\varphi = g(x,y)$ (부-1-16)
- 경계 S2에서 $\partial\varphi/\partial n + \alpha\varphi + q = 0$ (부-1-17)

2차원 해석인 경우 삼각형 요소로 전체해석영역을 분할하였을때, 각 삼각형 요소의 정점들을 절점이라 부르며, 유한요소해석에 의해 구하게 되는 유한개의 분포 특성치의 좌표이다. 삼각형 요소로 분할된 각 요소내에서의 함수치의 분포는 단순변화한다고 가정하여 저차다항식의 근사함수로 설정하는 예를 들어 보자.

임의의 요소(e)를 다음과 같이 1차 근사화 한다.

$$\varphi(e) = a_{1e} + a_{2e}x + a_{3e}y = [\ 1, x, y] \begin{bmatrix} a_{1e} \\ a_{2e} \\ a_{3e} \end{bmatrix} \qquad \text{(부-1-18)}$$

여기서 $a_{1e}$, $a_{2e}$, $a_{3e}$ 는 요소의 절점좌표에 의해 결정되는 값으로 다음과 같다. 근사함수 $\varphi(e)$는 삼각형의 절점 i, j, k 에서 각각 $\varphi_{ie}, \varphi_{je}, \varphi_{ke}$ 에 대응된다.

즉,

$$\varphi ie = a1e + a2exi + a3eyi \quad \text{(부-1-19)}$$

$$\varphi je = a1e + a2exj + a3eyj \quad \text{(부-1-20)}$$

$$\varphi ke = a1e + a2exk + a3eyk \quad \text{(부-1-21)}$$

이다. 따라서

$$\begin{bmatrix} a_{1e} \\ a_{2e} \\ a_{3e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \varphi_{ie} \\ \varphi_{je} \\ \varphi_{ke} \end{bmatrix} \quad \text{(부-1-22)}$$

와 같다.

이제 $\{a_{ie}\}$를 (부-1-19)~(부-1-22)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\varphi(e) = \sum_{p=i}^{K} N_{pe}(x, y)\, \varphi_{pe} \quad \text{(부-1-23)}$$

여기서

$$[\ N_{pe}(x, y)] = [\ 1\ x\ y] \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{bmatrix}^{-1} \quad \text{(부-1-24)}$$

이며, $N_{pe}(x,y)$를 보간함수 (interpolation function)라 한다.

(부-1-15)식의 미분방정식 양변에 $\delta\varphi$를 곱하고 영역적분을 0으로 놓으면,

$$\int_D \left[ \frac{\partial}{\partial x}(\varphi_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\varphi_y) + f \right] \delta\varphi \, dD = 0 \qquad (부-1-25)$$

이다. (부-1-25)식에 Chain rule과 Gauss-Green의 정리를 적용하여 정리하면,

$$\begin{aligned} &\int_D \left[ \frac{\partial}{\partial x}(\varphi_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\varphi_y) + f \right] \delta\varphi \, dD \\ &= \delta\varphi \left[ \int_{S2} \left\{ \frac{1}{2} a\varphi^2 + q\varphi \right\} ds \right] \\ &+ \delta\varphi \int_D \left[ \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)^2 \right\} - f\varphi \right] dD \\ &= 0 \end{aligned} \qquad (부-1-26)$$

로 되며, 이때 $\delta x = 0$ 으로부터 (부-1-15)에 대한 범함수는

$$x = \int_D \left[ \frac{1}{2} \{ \varphi x^2 + \varphi y^2 \} - f\varphi \right] dD + \int_{S2} \left\{ \frac{1}{2} a\varphi^2 + q\varphi \right\} dS_2 \qquad (부-1-27)$$

이다. $x = \sum x(e)$ 이므로 $\varphi$(e)를 각 요소에 대입하여 정유조건을 적용하면 요소 매트릭스는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial x(\varphi^e)}{\partial \varphi_i(e)} &= 0 \\ &= \int_{\Delta}^{e} \left[ \frac{\partial \varphi^e}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \varphi_i^e} \left\{ \frac{\partial \varphi_e}{\partial x} \right\} + \frac{\partial \varphi^e}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \varphi_3^e} \left\{ \frac{\partial \varphi_e}{\partial y} \right\} - f \frac{\partial \varphi^e}{\partial \varphi_i^e} \right] dxdy \\ &+ \int_{S2}^{e} \left[ a\varphi^e \frac{\partial \varphi^e}{\partial \varphi_i^e} + q\varphi^e \right] ds_2 \end{aligned} \qquad (부-1-28)$$

여기서,

$$\frac{\partial}{\partial \varphi_i^e}\left(\frac{\partial \varphi^e}{\partial x}\right) = \frac{\partial}{\partial \varphi_i^e}\left(\left[\frac{\partial N^e}{\partial x}\right]\{\varphi_i^e\}\right) = \frac{\partial N_i}{\partial x} \qquad (부-1-29)$$

이므로 (부-1-29)를 (부-1-28)에 대입하여 정리하면,

$$\int_\Delta^e \left[\left[\frac{\partial N^e}{\partial x}\right]\{\varphi^e\}\frac{\partial N_i^e}{\partial x} + \left[\frac{\partial N^e}{\partial y}\right]\{\varphi^e\}\frac{\partial N_i^e}{\partial y} - fN_i^e\right] dxdy$$

$$+ \int_{s2}^e \left(a[N^e]\{\varphi^e\}N_i^e + q[N^e]\{\varphi^e\}\right) ds_2 = 0 \qquad (부-1-30)$$

이다. 즉

$$[s]^e\{\varphi^e\} = \{f\}^e - \{\tilde{b}\}^e \qquad (부-1-31)$$

여기서

$$S_{ij} = \int_D^e \left[\frac{\partial N_i}{\partial x}\cdot\frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y}\cdot\frac{\partial N_j}{\partial y}\right] dxdy \qquad (부-1-32)$$

$$\widetilde{f_i} = \int_\Delta^e f\cdot N_i dxdy \qquad (부-1-33)$$

$$\widetilde{b_{ij}} = \int_{s2}^e (aN_iN_j + qN_i)\, ds_2 \qquad (부-1-34)$$

이다. (부-1-25)~(부-1-34)는 범함수의 변분에 의한 방법으로서 범함수가 존재하는 장의 제를 해석하는데는 유효하지만, 범함수의 구성이 곤란하거나 범함수

가 존재하지 않을 경우에는 적용할 수가 없다. 이러한 경우에 있어서는 그 장의 주어진 지배방정식에 대해 가중잔차법을 적용하여 방정식의 해를 구할 수 있다. (부-1-15)식에 Galerkin Method를 적용하면,

$$\int_{\Delta}^{e} N_i^e \left[ \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial \varphi^e}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial \varphi^e}{\partial y}\right) + f \right] dxdy = 0 \qquad (부-1-35)$$

이다. (부-1-35)식에서 좌변 첫항을 정리하면,

$$\int_{\Delta}^{e} N_i \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial \varphi^e}{\partial x}\right) dxdy = \int_{s}^{e} \frac{\partial \varphi^e}{\partial x} N_i^e ds - \int_{\Delta}^{e} \frac{\partial \varphi^e}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x} dxdy$$
$$= \int_{s2}^{e} \frac{\partial \varphi^e}{\partial x} nx \cdot N_i^e ds - \int_{\Delta}^{e} \frac{\partial \varphi^e}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x} dxdy$$

이므로 둘째항도 같은 방법으로 정리하여 대입하면,

$$\int_{\Delta}^{e} \left( \frac{\partial \varphi^e}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_i^e}{\partial x} + \frac{\partial \varphi^e}{\partial y} \cdot \frac{\partial N_i^e}{\partial y} \right) dxdy + \int_{\Delta}^{e} N_i^e f dxdy$$
$$+ \int_{s2}^{e} \left( \frac{\partial \varphi^e}{\partial x} nx + \frac{\partial \varphi^e}{\partial y} ng \right) N_i ds_2 = 0 \qquad (부-1-36)$$

이다. 따라서 $\varphi^e = [N^e]\{\varphi^e\}$를 대입하여 정리하면,

$$\int_{\Delta}^{e} \left[ [\frac{\partial N^e}{\partial x}]\{\varphi^e\} \frac{\partial N_i^e}{\partial x} + [\frac{\partial N^e}{\partial y}]\{\varphi^e\} \frac{\partial N_i^e}{\partial y} - f N_i^e \right] dxdy$$
$$+ \int_{s2}^{e} \left( a[N^e]\{\varphi^e\} N_i^e + q[N^e]\{\varphi^e\} \right) ds_2 = 0 \qquad (부-1-37)$$

이다.

이 두가지 방법에 의하여 정식화한 요소 방정식이 동일함을 알 수 있다. (∵ 식 (부-1-30) = 식 (부-1-37) 변분원리나 Galerkin Method에 의하여 구한 요소 매트릭스를 전체 해석영역에  대하여 적용한 후 이를 조합하여 시스템 방정식을 구성한다.

$$[\ S\ ]\{\ \varphi\ \} = \{\ f\ \} - \{\ b\ \} \qquad \text{(부-1-38)}$$

여기서

$$[S] = \sum_{i=1}^{M}[\ S]^{ei} \qquad N\times N\ \ Matrix \qquad \text{(부-1-39)}$$

$$\{\varphi\} = \sum_{i=1}^{m}\{\varphi\}^{ei} \qquad N\times 1\ \ Matrix \qquad \text{(부-1-40)}$$

$$\{\ f\ \} = \sum_{i=1}^{m}\{f\}^{ei} \qquad N\times 1\ \ Matrix \qquad \text{(부-1-41)}$$

$$\{\ b\ \} = \sum_{i=1}^{m}\{b\}^{ei} \qquad N\times 1\ \ Matrix \qquad \text{(부-1-42)}$$

이다.

이제 경계조건을 적용하여 미지 절점위치를 계산하는데, 고정경계조건을 적용하여 경계 $S_1$ 에서 $\varphi \mid_{s1} = g(x, y)$라 하고 $S_1$ 상의 절점을 P라 하면

$$\frac{\partial x}{\partial \varphi_p} = 0 \qquad (\varphi \mid_p = g(x, y))$$

이 된다. 따라서 시스템 매트릭스에서 P번째 행을 다음과 같이 처리한다.

$$[\ 0,0,0,\cdots,1,0,0,\cdots]\begin{bmatrix}\varphi_1\\ \varphi_2\\ \vdots\\ \varphi_p\\ \vdots\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}f_1\\ f_2\\ \vdots\\ f_p\\ \vdots\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}b_1\\ b_2\\ \vdots\\ b_p\\ \vdots\end{bmatrix} \qquad (부-1-43)$$

즉, 시스템 매트릭스 [S]의 P번째 행의 주대각 요소만을 "1"로 하고 나머지는 "0"으로 놓는다. 그리고 우변에 $-\varphi_p$ 를 더한다. 그 다음에 시스템 방정식을 풀어서 미지 절점치의 함수값을 구한다. 구하는 방법에는 Gauss 소거법, Choleski법과 SOR, CG, ICCG, BCG등과 같은 반복법이 있다.

## 4. 적용방법 요약

① 우선 함수분포영역을 유한개수의 요소로 분할한다.

② 분할된 요소내의 함수분포를 적당한 근사함수로 설정한다. 예를 들어, 삼각형 요소로 분할한 경우에는 대표요소(e)의 함수 $\phi^{(e)}$를 서로 직교관계에 있는 위치(좌표)함수 $N_{ie}(x,y)$와 절점함수치 $\phi_{ie}$가 선형결합되어 있는 단순한 함수형태를 설정하여 다음과 같이 근사화한다.

$$\phi^{(e)}(x,y)=\sum_{i=1}^{3}N_{ie}(x,y)\phi_{ie} \qquad (부-1-44)$$

$N_{ie}(x,y)$를 형상함수(Shape function) 또는 보간함수(interpolation function)라 부르며, $\phi_{ie}$는 요소(e)의 절점함수치를 나타낸다. 또는 $N_{ie}(x,\ y)$는서로 직교관계에 있으므로 자신의 절점 ie에서는 그 값이 $N_{ie}(x_{ie},\ y_{ie})=1$ 이 되지만 그 외의 다른 절점 je등에서는 그 값이 $N_{ie}(x_{je},\ y_{je})=0$ 이 되는 함수이다. 따라서 $\phi^{(e)}$는 절점 ie에서는 $\phi_{ie}$가 되며, 그 요소 내의 임의점 $P(x_p,\ y_p)$에서는 그점의 좌표치를

(부-1-44)에 대입하면 다음과 같이 결정된다.

$$\phi^{e}(x_p, y_p) = \sum_{i=1}^{3} N_{ie}(x_p, y_p)\phi_{ie} \qquad \text{(부-1-45)}$$

그러므로 요소의 절점함수치 $\phi_{ie}$가 주어지면 요소내 임의점의 함수치 $\phi^{(e)}(x, y)$가 구해지므로, 이것을 구하기 위해서는 절점함수치 $\phi_{ie}$를 구하는 것이 선행되어야 한다.

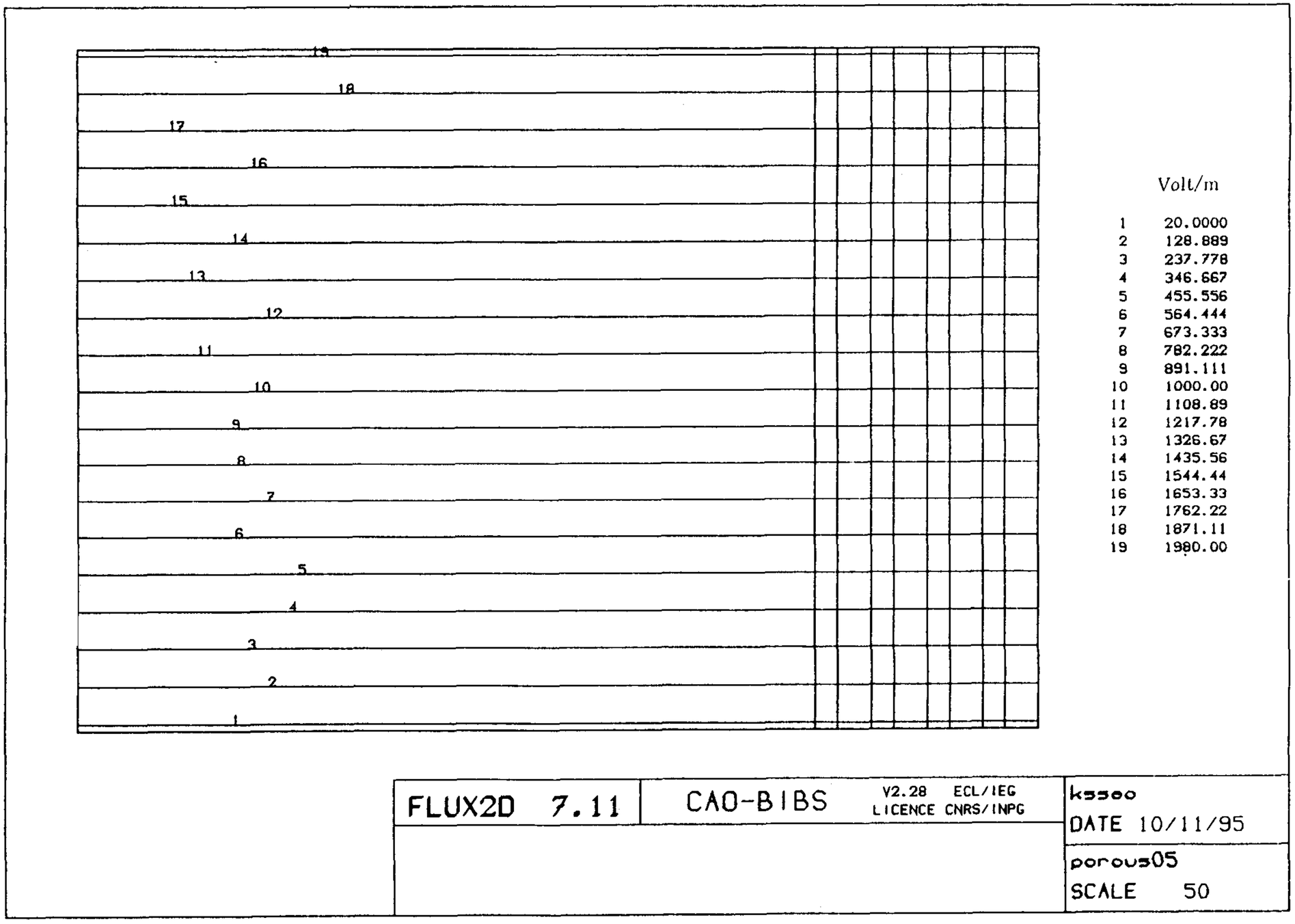
③ 요소 (e)의 미지 절점 함수치 $\phi_{ie}$를 구하기 위해서는, 우선 주어진 지배 방정식과 경계조건에 등가가 되는 범함수 극치문제의 범함수를 구하여 여기에 변분원리를 적용하든가, 또는 지배방정식과 경계조건에 가중잔차법을 적용하여 정식화에 의해 $\phi_{ie}$들을 미지수로 하는 관계식을 유도한다.

④ $\phi_{ie}$들을 이에 대응하는 계절점함수치 $\phi_i$로 변환하여, 전영역에서 성립하는 연립 방정식을 구성한다.

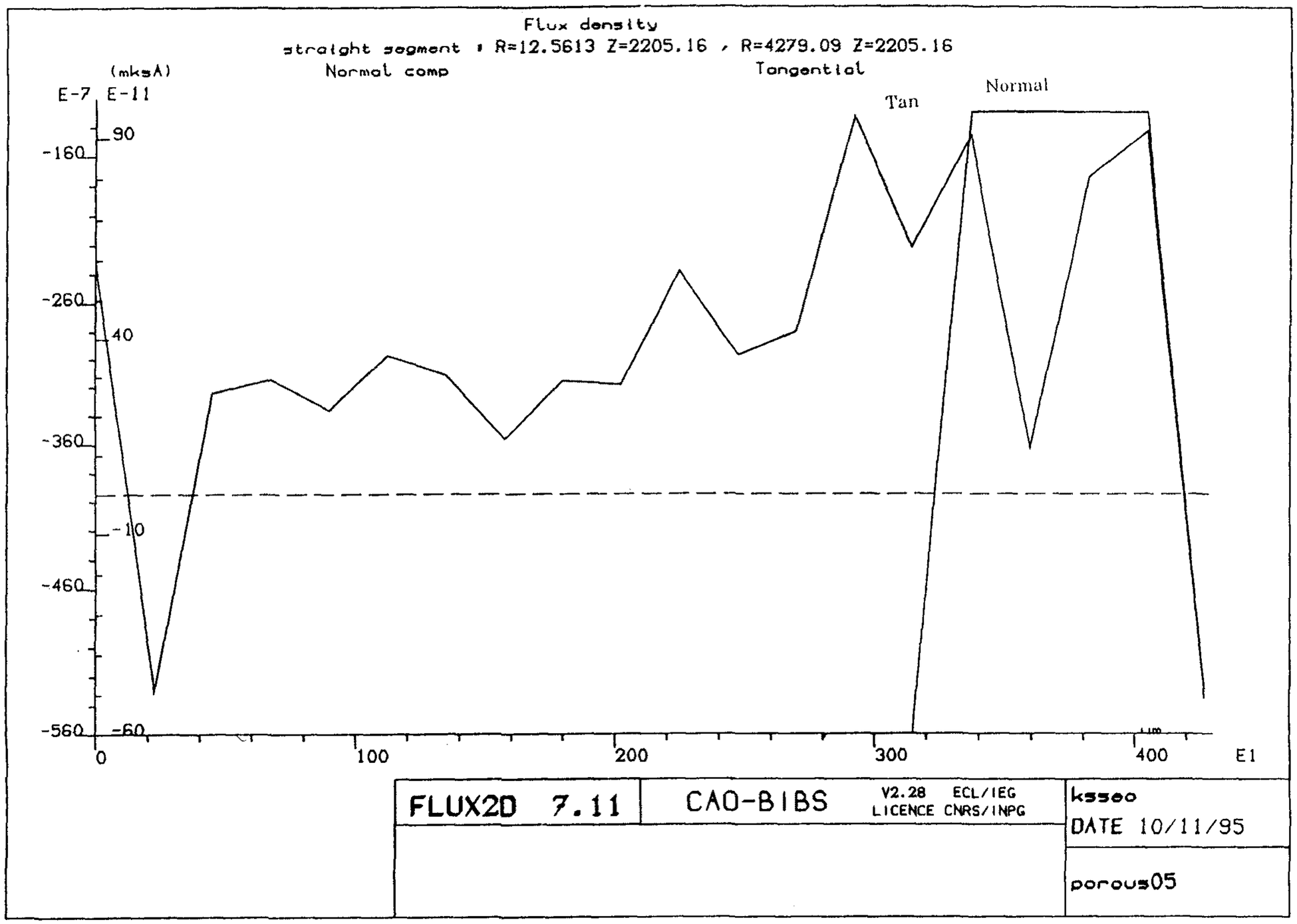
$$[K]\{\phi\} - \{F\} = \{0\} \qquad \text{(부-1-46)}$$

⑤ 이 matrix방정식 (부-1-46)식을 수치계산에 의해 풀어 $\{\phi\}$에 관한 해를 구한다.

이상과 같이하여 $\{\phi\}$의 계수 $\phi_i$를 구하면, 이에 대응되는 $\phi_{ie}$의 값을 (부-1-44)에 대입하여 $\phi^{(e)}(x,y)$를 결정한다.

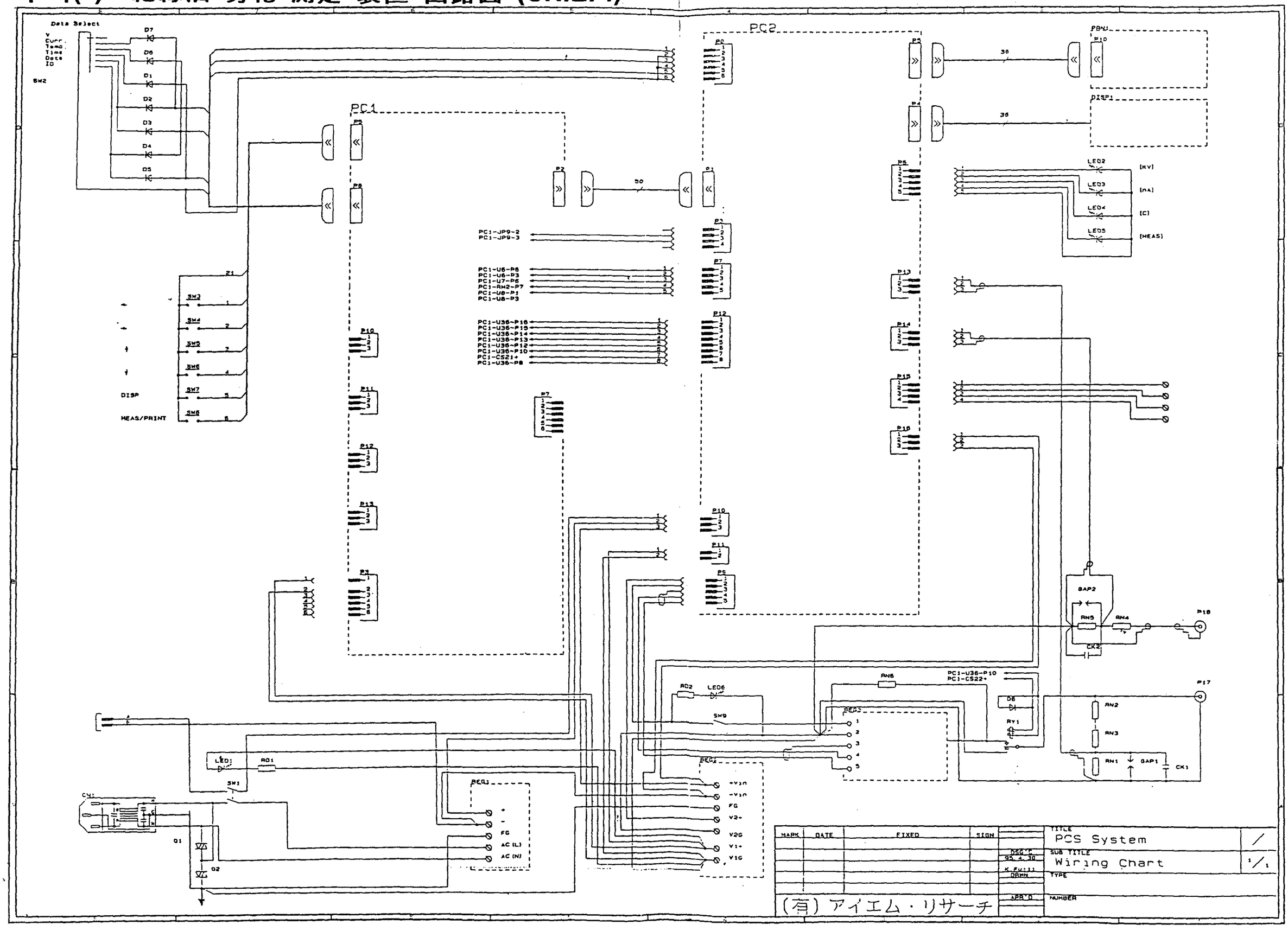


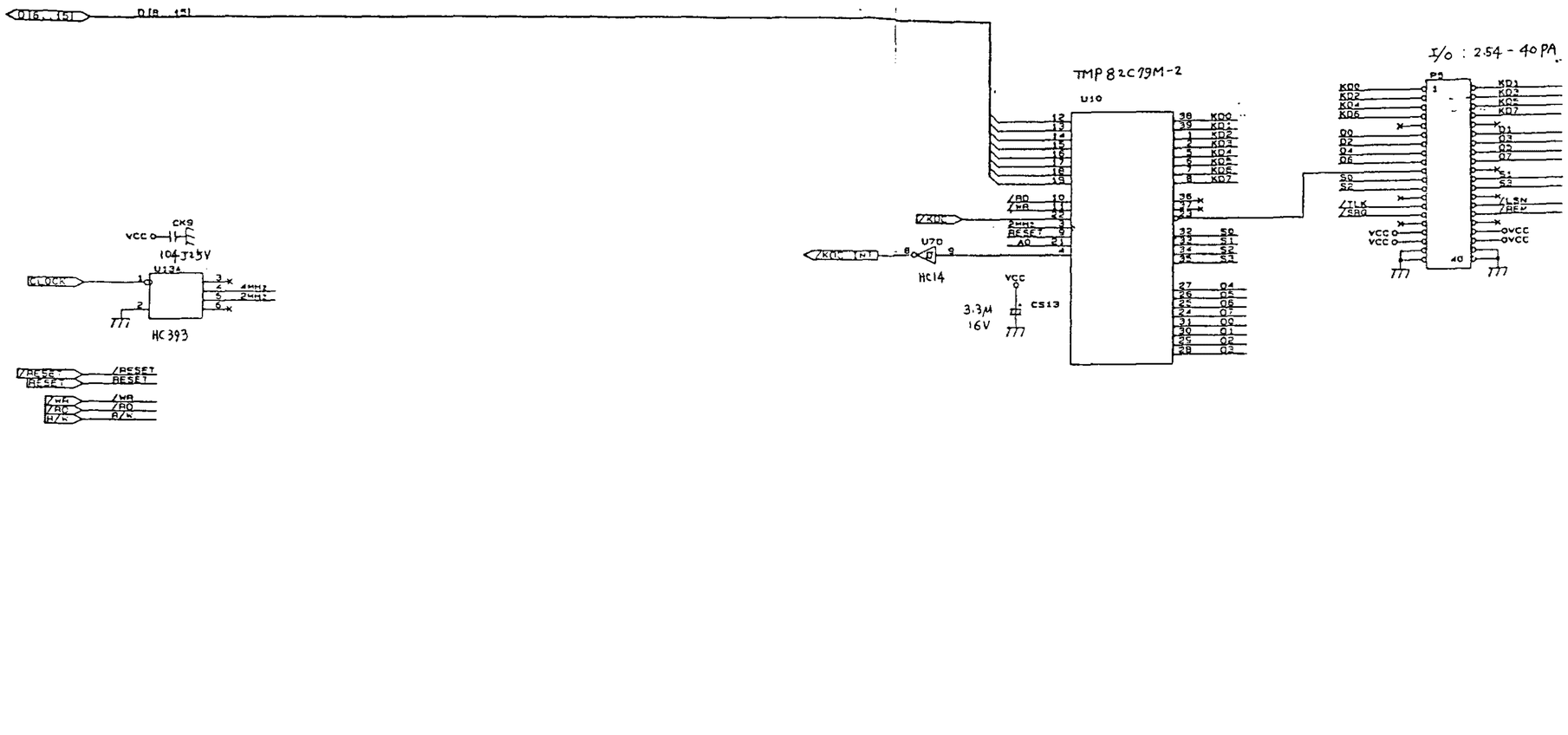

부록 그림 1-5 劣化센서의 동전위 분포도 (V/m)




부록 그림 1-6 劣化센서의 電界 密度 (tan 성분 + Normal 성분)

# 부록(2) 絶緣油 劣化 測定 裝置 回路圖 (CRIEPI)






| MARK | DATE | FIXED | SIGN | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 256°C 95.5.20 |
| | | | | K.Fujii DRWN |
| | | | | APP'D |

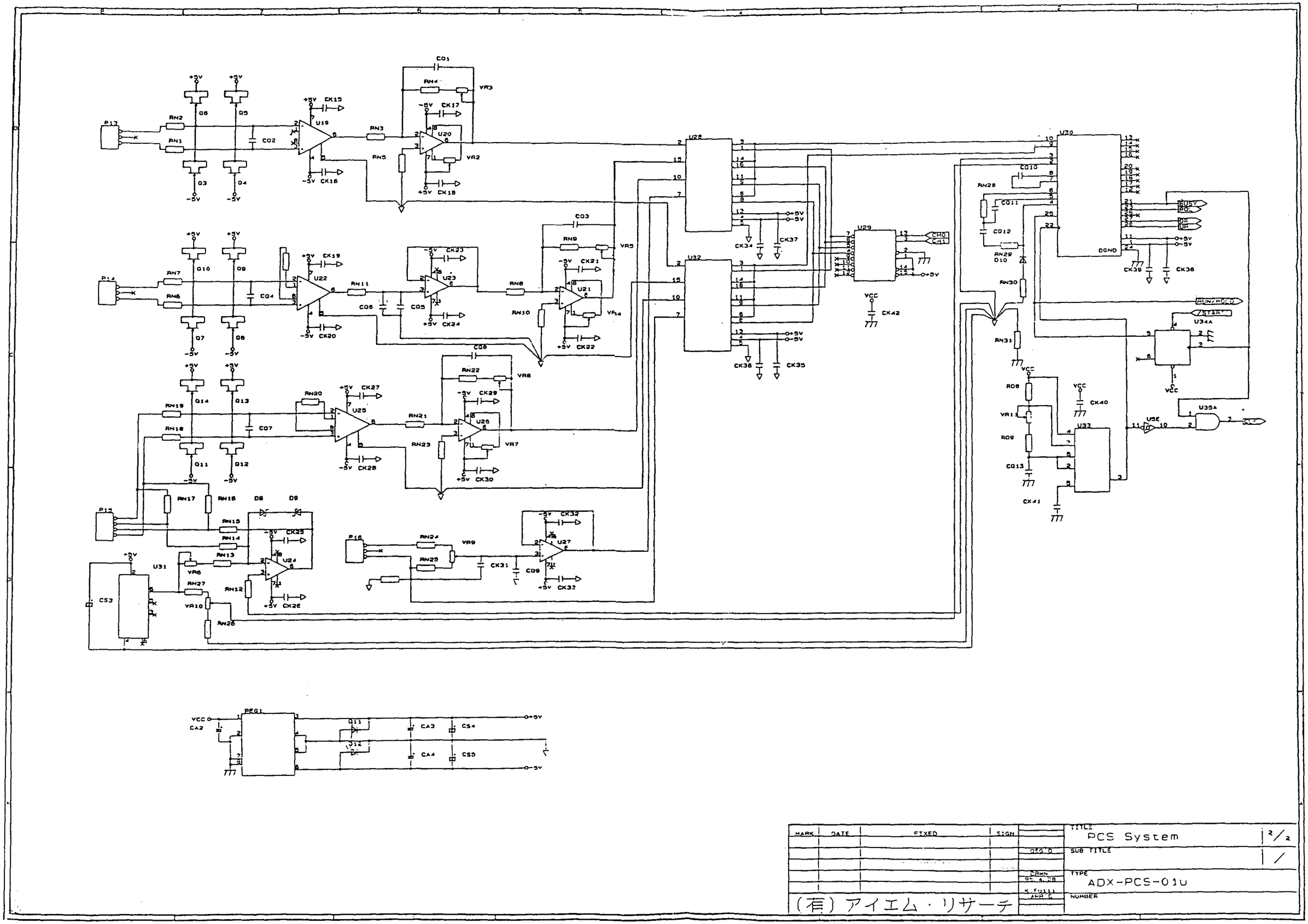
(有) アイエム・リサーチ

TITLE: PCS Controller 2/3

SUB TITLE:

TYPE: ADX-PCSCONT-01

NUMBER:




| MARK | DATE | FIXED | SIGN | | TITLE PCS System | 2/2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DSG'D | SUB TITLE | / |
| | | | | DRWN 95.4.28 | TYPE ADX-PCS-01u | |
| | | | | K.Fujii APP'D | NUMBER | |
| (有) アイエム・リサーチ | | | | | | |

(PCC05-044-322T)

MC68332CFC

27C1024HCC-85

HM628128LFP-10

2.54DSA-50PA

MAX232CWE

HC151AF

HCT32AF

HC14

3.3/16×3

MAX692CPA

BNX002-01

EC10DS-1

Sheet 2

Sheet 3

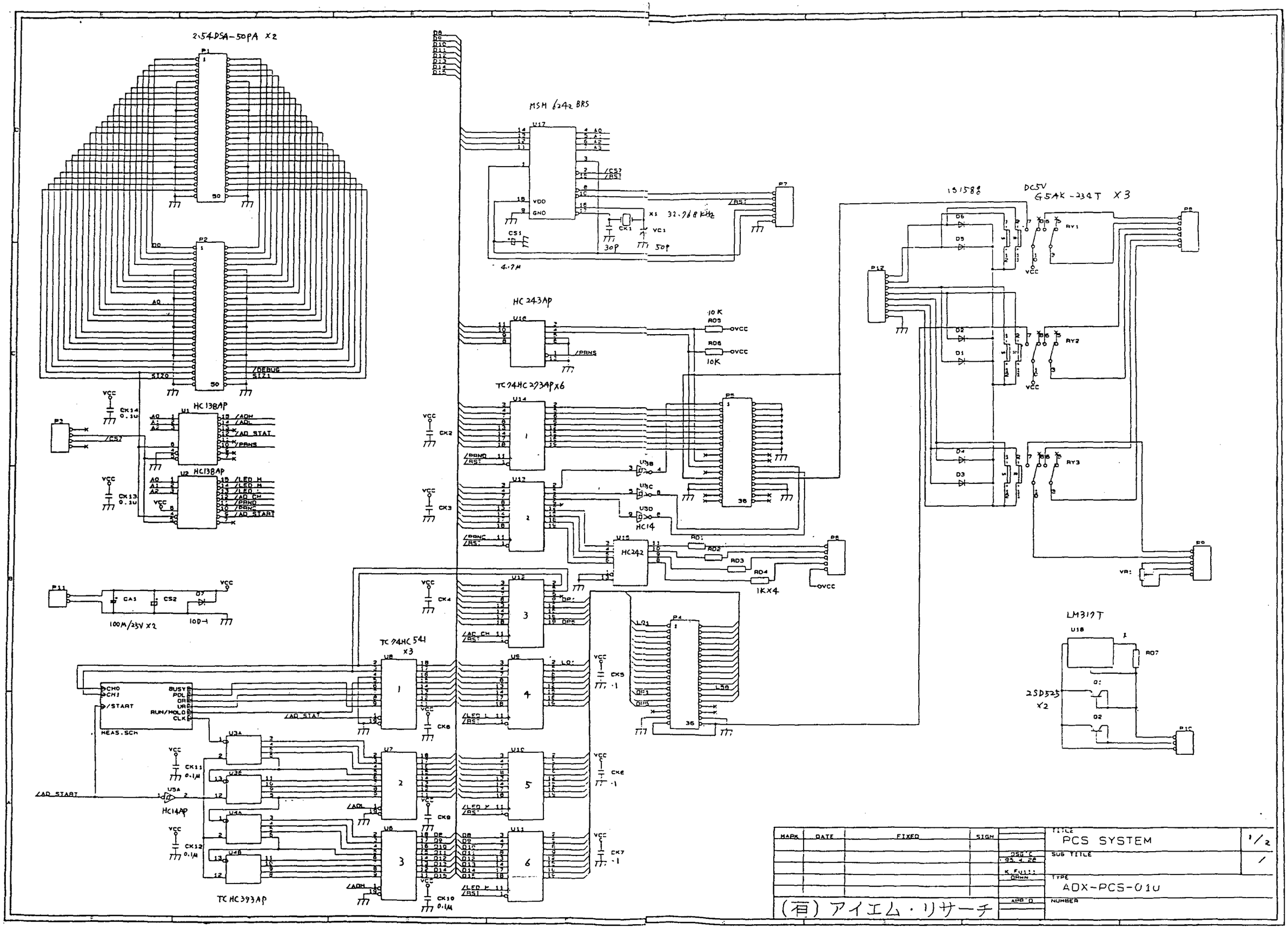
| MARK | DATE | ETYED | SIGN |
|---|---|---|---|
| | | | |

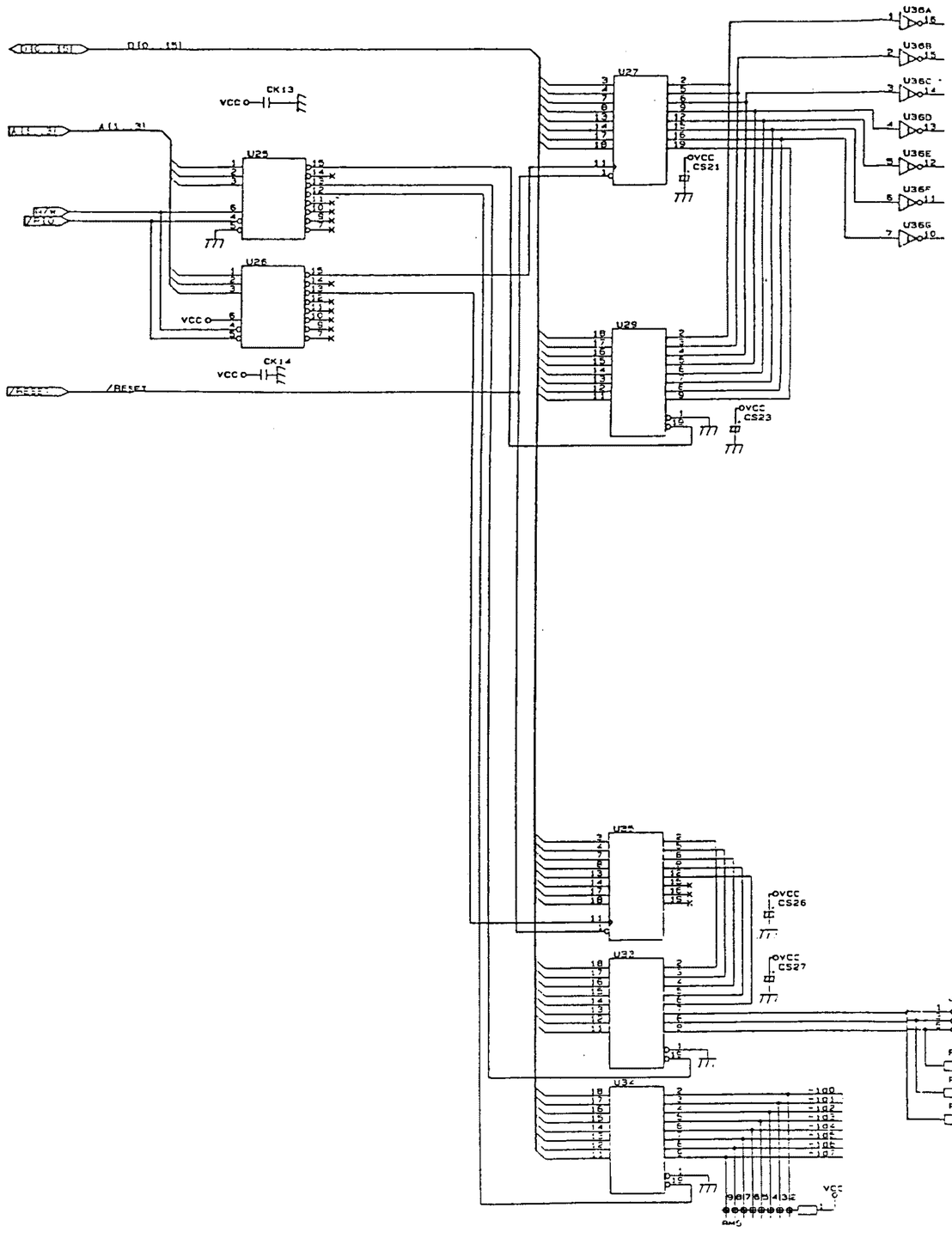
(有) アイエム・リサーチ

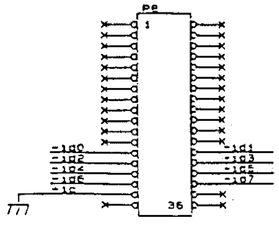
PCS Controller 1/3

ADX-PCS1F-01

ADX-PCSCONT-01


2.54DSA-50PA X2
MSM 6242 BRS
HC 243AP
TC74HC273AP X6
HC138AP
HC138AP
TC 74HC 541 X3
TC HC393AP
HC14AP
HC242
HC14
1S1588
DC5V
G5AK-234T X3
LM317T
2SD525 X2
100M/25V X2
MEAS.SCH
PCS SYSTEM
ADX-PCS-01U
(有) アイエム・リサーチ



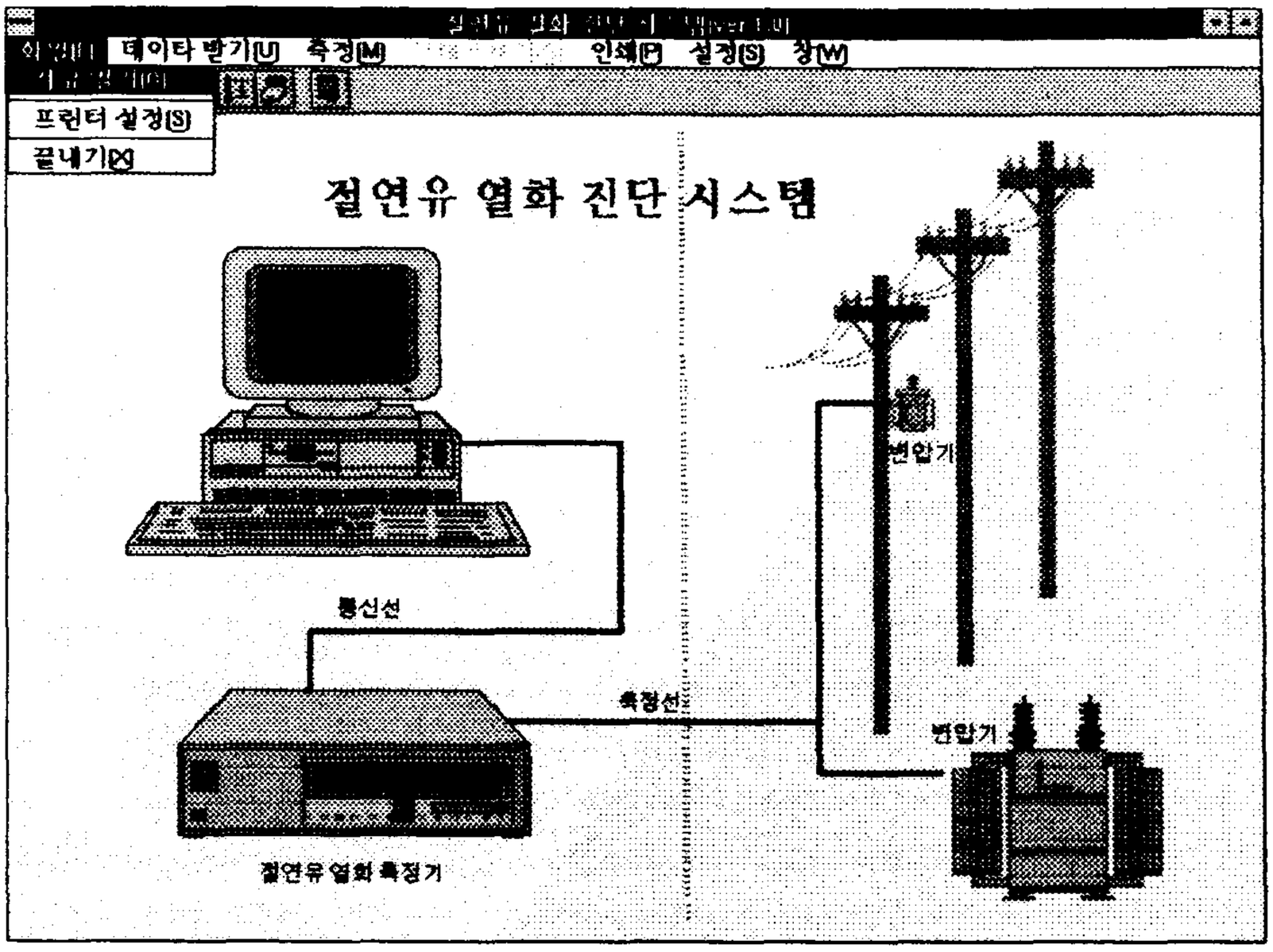




| MARK | DATE | FIXED | SIGN | | TITLE: PCS Controller | 3/3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DSC'K 95. 6. 20 | SUB TITLE | / |
| | | | | K.FUJII DHWN | TYPE: ADX-PCSCONT-01 | |
| (有)アイエム・リサーチ | | | | APP'D | NUMBER | |

# 부록(3)　計測器 畵面 構成 및 測定 프로그램

가. 기본 명령

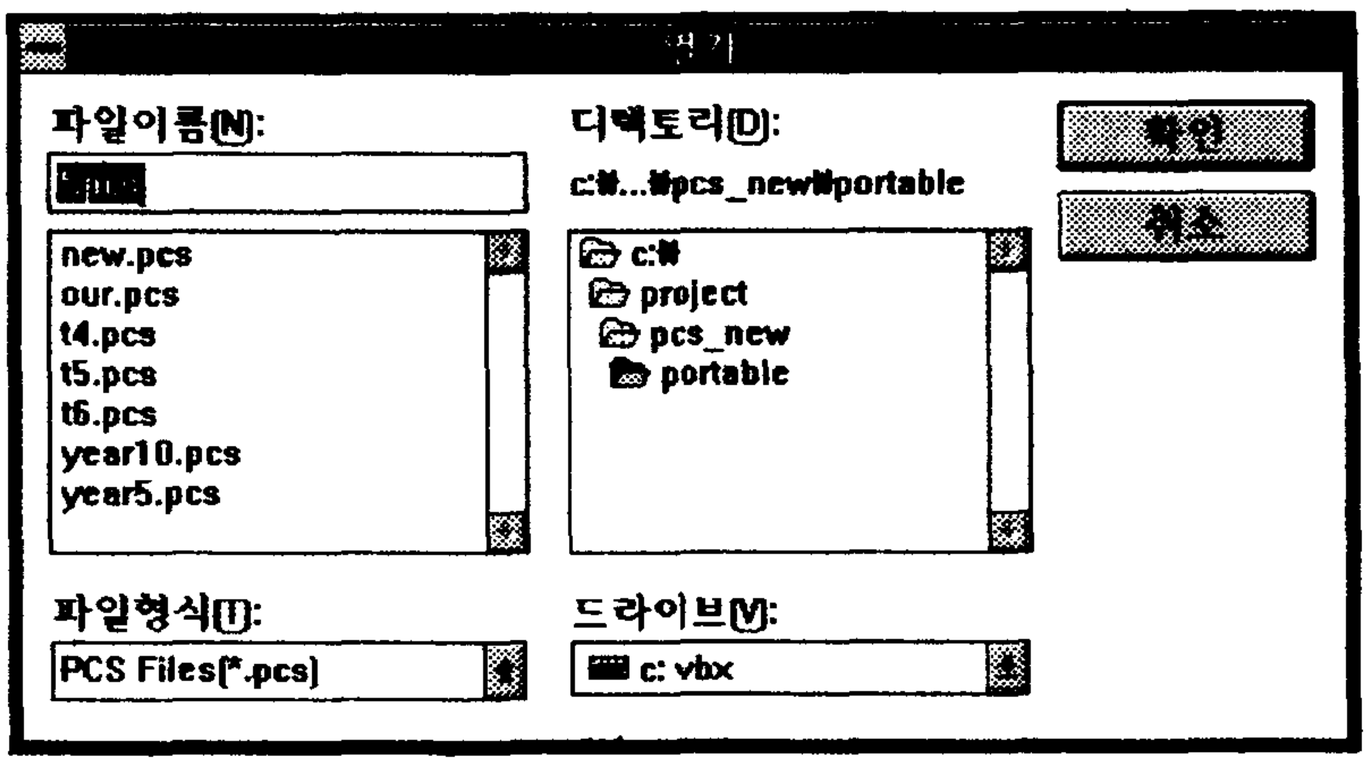
■ 화 일



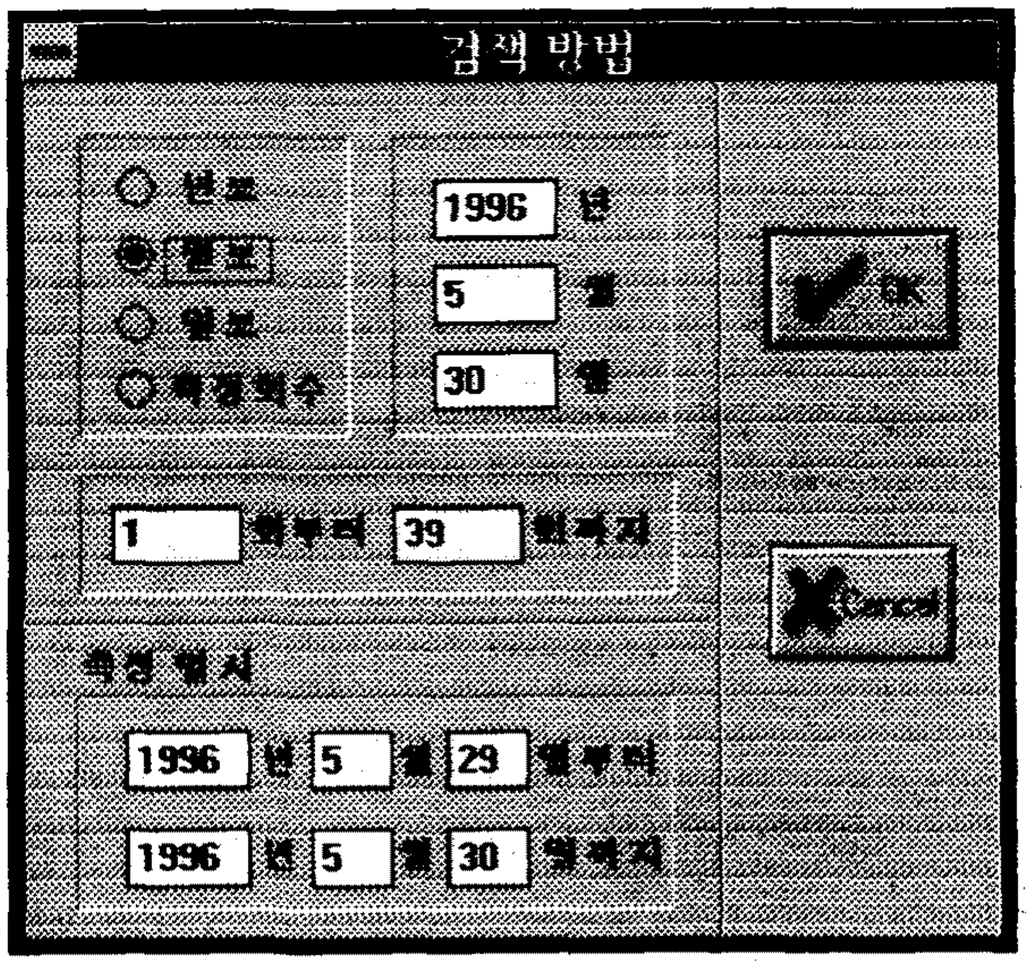

■ 자료검색

저장되어 있는 자료를 열람하고 싶을때에는 메뉴중 화일의 자료검색을 선택한다.

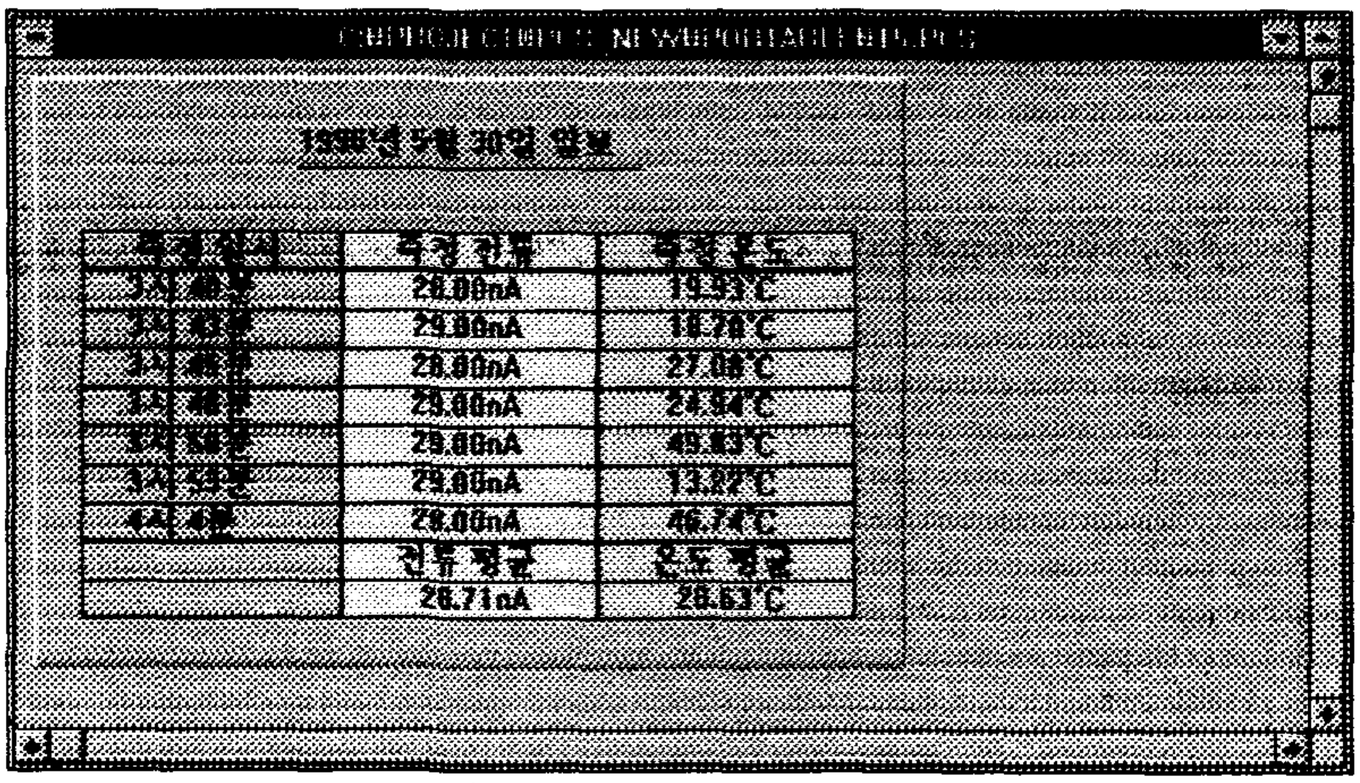
다음과 같은 열기 대화상자가 나타난다.



원하는 화일명을 선택한 후 확인버튼을 누르면 검색 방법 대화상자가 나타나고 이 대화상자에서 여기서 원하는 형태를 선택한다. 검색방법 대화상자가 생성되면서 나타나는 숫자들은 화일에 있는 데이타의 정보들이다.




검색방법 대화상자의 OK를 선택하면 선택한 데이타들이 표시된다.



## ■ 프린터 설정

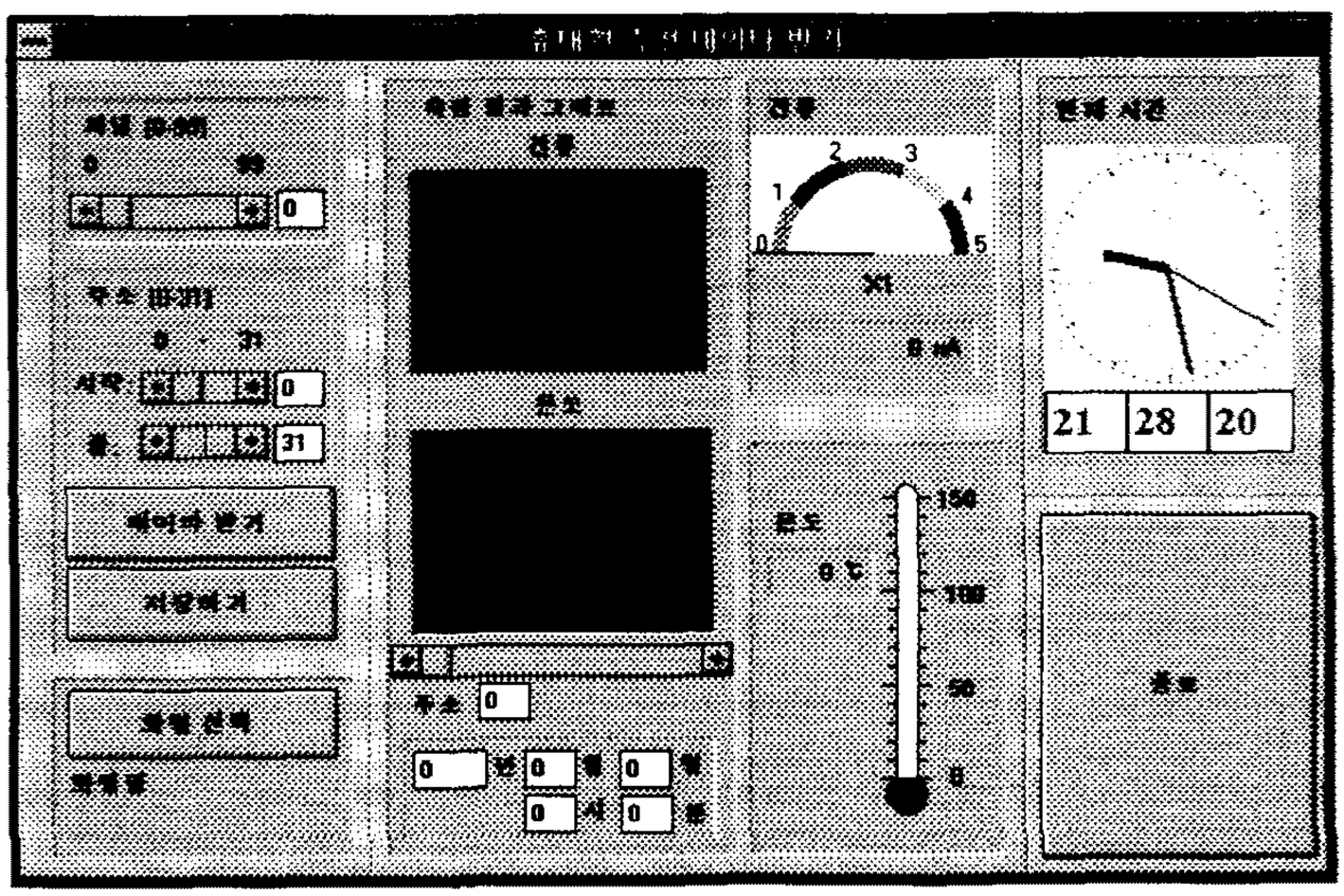
기본 프린터의 선택, 설정 변경등을 원할때 이 명령을 사용하면 프린터 설정 대화상자가 나타난다.

## ■ 끝내기

이 프로그램을 종료하고자 할때 사용한다.

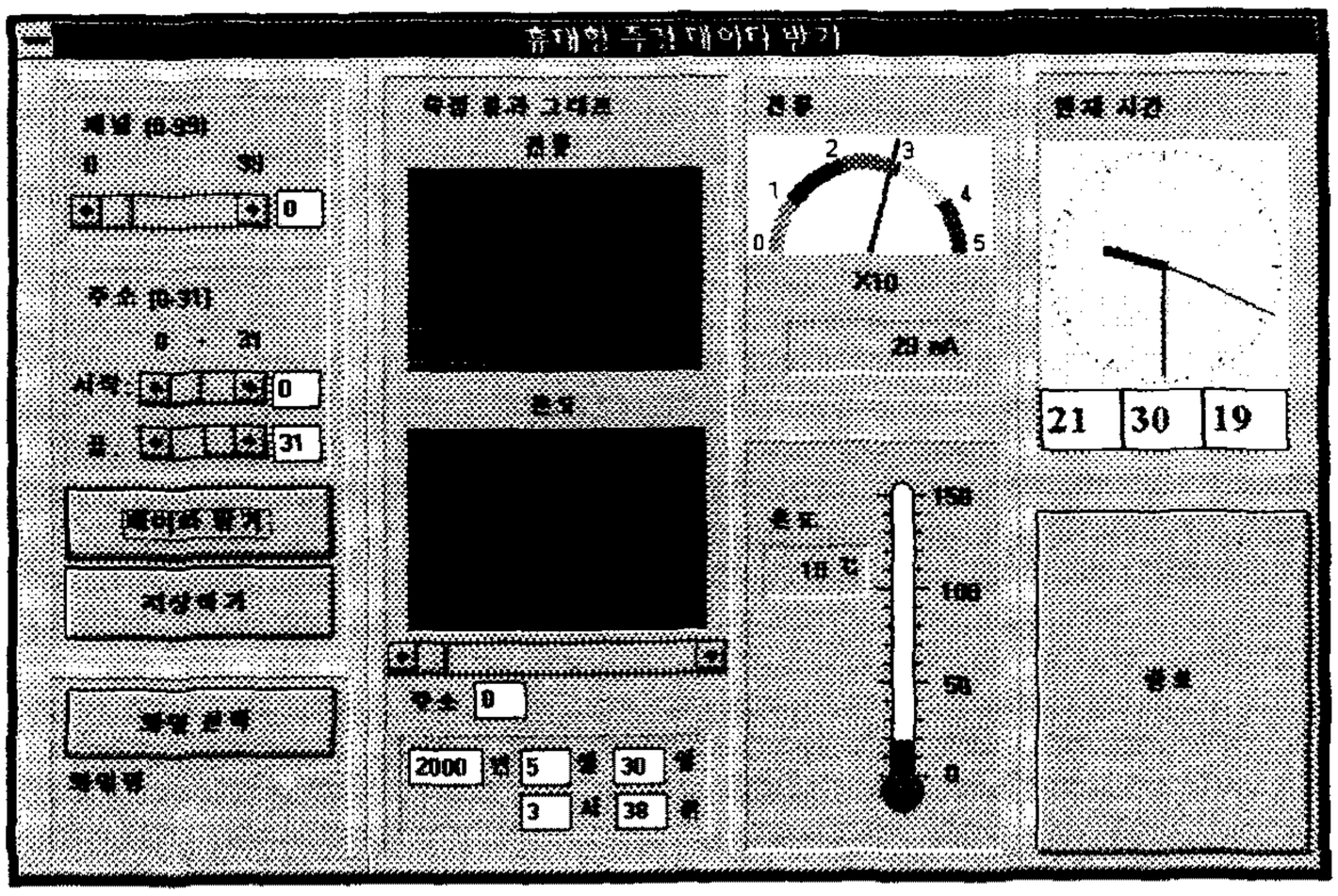
## ■ 휴대형 데이타 받기

외부에서 휴대형 측정기로 측정해온 데이타를 PC에 저장하고자 할때 사용한다.




원하는 채널을 선택한후 그 채널에서 가져올 데이타의 시작 주소와 마지막 주소를 설정한후 데이타 받기 버튼을 눌러 데이타를 가져온다. 설정된 주소중 측정기에서 가져올 데이타가 없는 경우 자동적으로 데이타를 가져오는 작업은 중

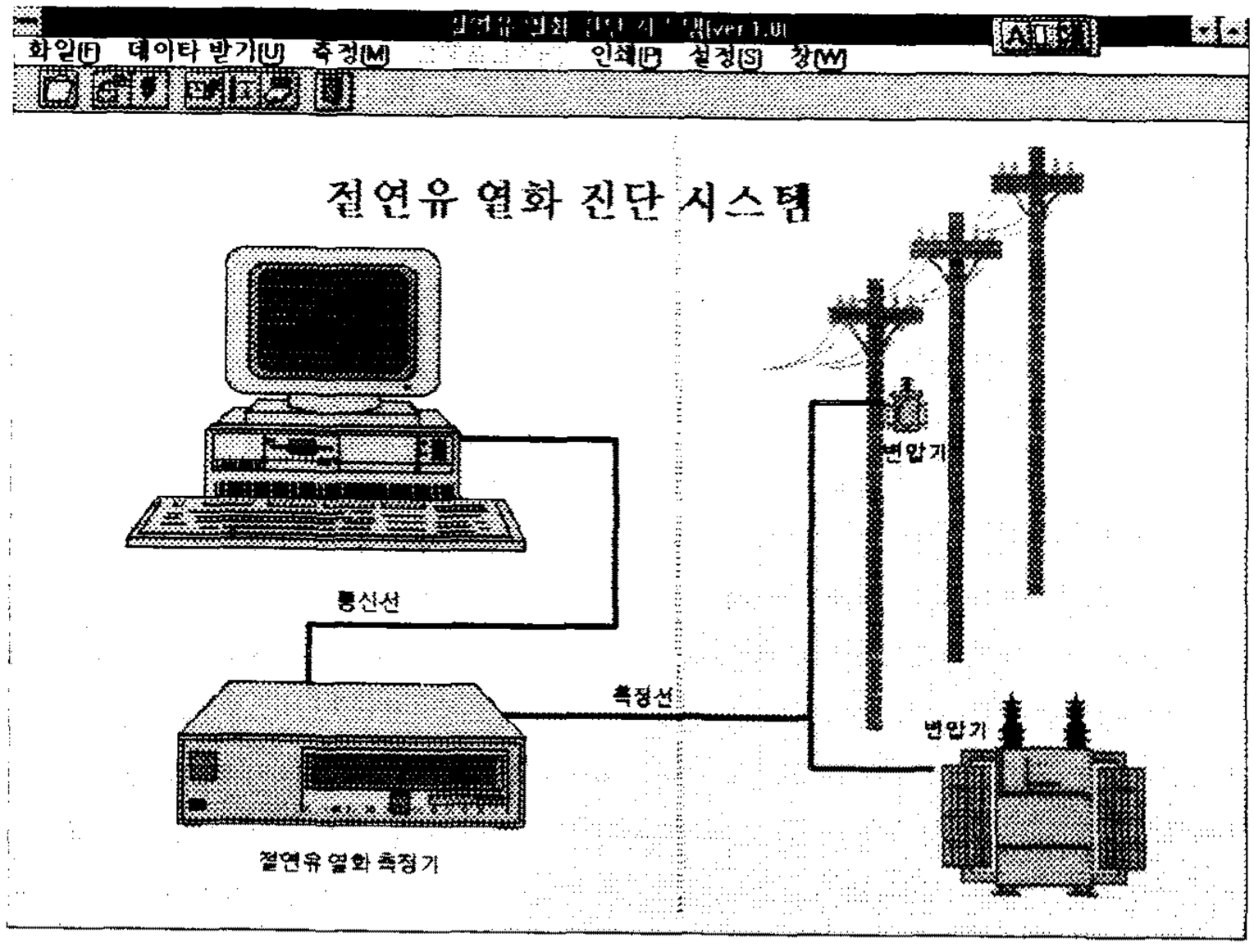
지된다. 따라서 시작 주소를 0, 끝 주소를 31로 하면 선택된 채널의 처음 주소부터 데이타가 있는 만큼 가져오기 때문에 일반적으로 사용할수 있다.




## 5. 프로그램의 구성

측정을 위하여 측정기와 통신선을 연결한후 프로그램을 기동하거나 저장된 자료를 참조하기 위하여 측정기와 통신연결을 하지 않고 프로그램을 기동할 수 있다.

WINDOWS에서 프로그램을 기동시키면 다음과 같은 화면이 나타난다.




화면의 구성은 다음과 같다.

| 프로그램 이름 |
| --- |
| 메뉴 |
| 콘트롤바 메뉴 |
| 작업 영역 |

1. 프로그램 제목 : 이 프로그램의 이름

2. 메 뉴 : 프로그램에서 사용할 수 있는 명령

이 프로그램에는 자료검색, 프린터 설정, 종료, 휴대형 데이타받기, 측정, 그래프 보기, 서식 인쇄, 도표인쇄, 자동측정 설정, 온도 보상 테이블 설정, 통신포트 설정의 명령이 준비되어 있다.

3. 콘트롤바 메뉴 : 메뉴중에서 중요한 명령에 보다 빨리 접근할 수 있도록 버튼식으로 만들어진 메뉴

이 프로그램에는 자료 검색, 휴대형 데이타 받기, 측정, 자동측정 설정, 온도 보상 테이블 설정, 통신포트 설정의 콘트롤바 메뉴가 차례대로 있다.

## 나. 測定 프로그램

```
code unsigned int ChannelToAddr [100]={
        0x0,0x20,0x40,0x60,0x80,0xA0,0xC0,0xE0,0x100,0x120,
        0x140,0x160,0x180,0x1A0,0x1C0,0x1E0,0x200,0x220,0x240,0x260,
        0x280,0x2A0,0x2C0,0x2E0,0x300,0x320,0x340,0x360,0x380,0x3A0,
        0x3C0,0x3E0,0x400,0x420,0x440,0x460,0x480,0x4A0,0x4C0,0x4E0,
        0x500,0x520,0x540,0x560,0x580,0x5A0,0x5C0,0x5E0,0x600,0x620,
        0x640,0x660,0x680,0x6A0,0x6C0,0x6E0,0x700,0x720,0x740,0x760,
        0x780,0x7A0,0x7C0,0x7E0,0x800,0x820,0x840,0x860,0x880,0x8A0,
        0x8C0,0x8E0,0x900,0x920,0x940,0x960,0x980,0x9A0,0x9C0,0x9E0,
        0xA00,0xA20,0xA40,0xA60,0xA80,0xAA0,0xAC0,0xAE0,0xB00,0xB20,
        0xB40,0xB60,0xB80,0xBA0,0xBC0,0xBE0,0xC00,0xC20,0xC40,0xC60}

#define UCHAR1          ((unsigned char*)0x010000)
#define IoInCs                  UCHAR1[0]
#define IoOutCs                 UCHAR1[1]
#define ECODE                   UCHAR1[5]
#define LCDX                    UCHAR1[6]
#define LCDY                    UCHAR1[7]
#define LCDW                    UCHAR1[8]
#define LCDH                    UCHAR1[9]
#define PIXELON                 UCHAR1[10]
#define KeyState                UCHAR1[15]
#define OldKeyState             UCHAR1[16]
#define MainMenuPos             UCHAR1[17]
#define SetMenuPos              UCHAR1[18]
#define AD_HI                   UCHAR1[20]
#define AD_LO                   UCHAR1[21]
#define Year                    UCHAR1[26]
#define Day                     UCHAR1[27]
#define Hour                    UCHAR1[28]
#define Min                     UCHAR1[29]
#define Sec                     UCHAR1[30]
#define TimeRegA                UCHAR1[31]
#define TimeRegB                UCHAR1[32]
#define TimeRegC                UCHAR1[33]
#define TimeRegD                UCHAR1[34]
#define Mon                     UCHAR1[35]


#define CHAR1           ((char*)0x010040)
#define Prt_Code                CHAR1[0]
#define Prt_Error               CHAR1[1]

#define UINTIGER1       ((unsigned int*)0x010060)
#define LCDSX                   UINTIGER1[0]
#define LCDSY                   UINTIGER1[1]
#define LCDEX                   UINTIGER1[2]
#define LCDEY                   UINTIGER1[3]
#define ItoA_Size               UINTIGER1[10]
#define ItoA_I                  UINTIGER1[11]
#define ItoA_Count              UINTIGER1[12]
#define PrintCount              UINTIGER1[15]
#define Current                 UINTIGER1[20]
#define Temp                    UINTIGER1[21]
#define Volt                    UINTIGER1[22]
#define TEMP                    UINTIGER1[23]
#define AD_RESULT               UINTIGER1[24]
#define CCOUNT                  UINTIGER1[25]
#define TCOUNT                  UINTIGER1[26]
#define RUN_COUNT               UINTIGER1[27]
#define HIVOLT_ONOFF            UINTIGER1[28]
#define TempError               UINTIGER1[29]
#define TAddr                   UINTIGER1[30]
#define SCount                  UINTIGER1[35]
#define SCOUNT                  UINTIGER1[36]
#define STATE                   UINTIGER1[37]


#define INTIGER1    ((int*)0x010090)
#define LCDPX                   INTIGER1[0]
#define LCDPY                   INTIGER1[1]
#define TEMPSX                  INTIGER1[2]
#define TEMPSY                  INTIGER1[3]
#define TEMPEX                  INTIGER1[4]
```

```
#define TEMPEY              INTIGER1[5]
#define GRPx                INTIGER1[10]
#define GRPy                INTIGER1[11]
#define GRPey               INTIGER1[12]
#define BufI                INTIGER1[15]
#define BufJ                INTIGER1[16]


#define ULONG1        ((unsigned long*)0x0100C0)
#define T0Check             ULONG1[0]
#define CTOTAL              ULONG1[1]
#define TTOTAL              ULONG1[2]

#define UINTIGER2     ((unsigned int*)0x0100E0)
#define CRATE               UINTIGER2[0]
#define TRATE               UINTIGER2[1]
#define VRATE               UINTIGER2[2]

#define ItoA_A        ((char*)0x010100)

#define PrintData     ((char*)0x010180)

#define DBUF          ((unsigned char*)0x010300)

#define RBUF          ((unsigned char*)0x010380)

#define CBUF          ((unsigned int*)0x010400)

#define TBUF          ((unsigned int*)0x010600)

#define MeasureYear      ((unsigned char*)0x018000)
#define MM               ((unsigned char*)0x018C80)
#define MeasureDay       ((unsigned char*)0x019900)
#define MeasureHour      ((unsigned char*)0x01A500)
#define MeasureMin       ((unsigned char*)0x01B280)
#define MeasureCurrent   ((unsigned  int*)0x01BE00)
#define MeasureTemp      ((unsigned  int*)0x01D700)

#define CHAR100          ((char*)0x01F000)
#define Channel             CHAR100[0]
#define Saddr               CHAR100[1]
#define Count               CHAR100[2]
#define Addr                CHAR100[3]

#define SetupSaddr       ((char*)0x01F040)

#define LCD_BUF          ((unsigned char*)0x01F100)
```

```
#define LOGO_WIDTH 30
#define LOGO_HEIGHT 64

code unsigned char LOGO[64][30]={

  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x3F,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x7F,0xC0,0x7C,0x3 ,0xE0,0x80,0x7C,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x7 ,0x8F,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x7F,0xE1,0xFF,0xF ,0xF8,0x81,0xFF,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x7 ,0x8F,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x7F,0xF1,0xFF,0x1F,0xFC,0x81,0xFF,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
xE0,0x0 ,0x0 ,0x7 ,0x8F,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0xF3,0xC7,0x9E,0x3C,0x83,0xC7,0x80,0x0 ,0x0 ,0x
xE0,0x0 ,0x0 ,0x7 ,0x8F,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0xF3,0xC7,0x9E,0x3C,0x83,0xC7,0x83,0xE0,0x79,0x
xE1,0xEC,0x3E,0x7 ,0x8F,0x3 ,0xC0,0xF6,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0xF3,0xC7,0x9E,0x3C,0x83,0xC7,0x87,0xF8,0x7F,0x
xF9,0xFC,0x7F,0x87,0x8F,0xF ,0xF0,0xFE,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0xF3,0xC7,0x9E,0x0 ,0x83,0xC7,0x87,0xF8,0x7F,0x
xF9,0xFC,0x7F,0x87,0x8F,0xF ,0xF0,0xFE,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0xF3,0xC0,0x1F,0x0 ,0x83,0xC0,0xF ,0x3C,0x78,0x
xF9,0xFC,0xF3,0xC7,0x8F,0x1E,0x78,0xFE,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1F,0xFF,0xFF,0xFF,0x7F,0xF3,0xDF,0xDF,0xC0,0x83,0xC0,0xF ,0x3C,0x78,0x
xE1,0xF0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1E,0x78,0xF8,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x10,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x7F,0xF3,0xC0,0x2F,0xF0,0x83,0xC0,0xF ,0x3C,0x78,0x
xE1,0xE0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1E,0x78,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x17,0xFF,0xFF,0xFF,0x7F,0xEB,0xDF,0xA7,0xFC,0x83,0xC0,0xF ,0x3C,0x78,0x
xE1,0xE0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1F,0xF8,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x17,0xFF,0xFF,0xFF,0x7F,0xDB,0xDE,0xA1,0xFC,0x83,0xC0,0xF ,0x3C,0x78,0x
xE1,0xE0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1F,0xF6,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0x3 ,0xC0,0xA0,0x3E,0x83,0xC0,0xF ,0x3C,0x78,0x
xE1,0xE0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1F,0xF6,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0x3 ,0xC0,0x20,0x1E,0x83,0xC0,0xF ,0x3C,0x78,0x
xE1,0xE0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1E,0x0 ,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0x3 ,0xC7,0x9E,0x1E,0x83,0xC7,0x8F,0x3C,0x78,0x
xE1,0xE0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1E,0x78,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0x3 ,0xC7,0x9E,0x1E,0x83,0xC7,0x8F,0x3C,0x78,0x
xE1,0xE0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1E,0x78,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0x3 ,0xC7,0x9E,0x1E,0x83,0xC7,0x8F,0x3C,0x78,0x
xE1,0xE0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1E,0x78,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x21,0xF8,0xF8,0xFC,0x7E,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0x3 ,0xC7,0x9E,0x3E,0x83,0xC7,0x8F,0x3C,0x78,0x
xE1,0xE0,0xF3,0xC7,0x8F,0x1E,0x78,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x21,0xF8,0xF8,0xFC,0x7E,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0x1 ,0xFF,0x2F,0xFC,0x81,0xFF,0xF ,0xF8,0x78,0x
xF9,0xE0,0xFF,0x87,0x8F,0xF ,0xF0,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x21,0xF8,0xF8,0xFC,0x7E,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0x1 ,0xFE,0xA7,0xFC,0x81,0xFE,0x7 ,0xF8,0x78,0x
xF9,0xE0,0x7F,0x87,0x8F,0xF ,0xF0,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x78,0x0 ,0x7C,0xA3,0xF0,0x80,0x7C,0x3 ,0xE0,0x78,0x
xF9,0xE0,0x3E,0x7 ,0x8F,0x3 ,0xE0,0xF0,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0xA0,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x16,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0xA0,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x17,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xA0,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x23,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0x10,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x20,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
```

```
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x1F,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xE0,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0x0 ,0x0 ,0xF ,0x79,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x3F,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x20,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0xFF,0xFF,0xFF,0xFD,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x20,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0xBF,0xFF,0xFF,0xF5,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x20,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0xBF,0xFF,0xFF,0xF5,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x20,0x80,0x0 ,0x0 ,0x3F,0xF0,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0xBF,0xFF,0xFF,0xF5,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x3F,0x80,0x0 ,0x0 ,0x20,0x10,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0xBF,0xFF,0xFF,0xF5,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x2F,0xD0,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0xBF,0xFF,0xFF,0xF5,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x2F,0xD0,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0x80,0x0 ,0x0 ,0x5 ,0xF ,0xE3,0xF8,0x3F,0x87,0xF0,0xFE,0x2F,0xD0,0x80,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0xFF,0xFF,0xFF,0xFD,0x8 ,0x22,0x8 ,0x20,0x84,0x10,0x82,0x2F,0xD0,0x80,0x1 ,0x83,0x81,0xC0,0x
x1 ,0xC1,0xC0,0x60,0x7 ,0xC0,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x8 ,0x22,0x8 ,0x20,0x84,0x10,0x82,0x2F,0xD0,0x80,0x1 ,0x87,0x1 ,0xC0,0x
x1 ,0xC1,0xE0,0x60,0x1F,0xF0,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x8 ,0x22,0x8 ,0x20,0x84,0x10,0x82,0x2F,0xD0,0x80,0x1 ,0x8E,0x3 ,0x61,0x
x83,0x61,0xE0,0x60,0x38,0x38,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x8 ,0x22,0x8 ,0x20,0x84,0x10,0x82,0x20,0x10,0x80,0x1 ,0x9C,0x3 ,0x61,0x
x83,0x61,0xF0,0x60,0x30,0x18,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x22,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0xF ,0xE3,0xF8,0x3F,0x87,0xF0,0xFE,0x3F,0xF0,0x80,0x1 ,0xB8,0x6 ,0x31,0x
x6 ,0x31,0xB8,0x60,0x60,0x0 ,0x70,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x23,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x1 ,0xF0,0x6 ,0x30,0x
x6 ,0x31,0x98,0x60,0x60,0x1 ,0xFC,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x1 ,0xE0,0x6 ,0x30,0x
x6 ,0x31,0x9C,0x60,0x60,0x1 ,0x8C,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x20,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x80,0x1 ,0xF0,0xC ,0x18,0x
xC ,0x19,0x8E,0x60,0x60,0x3 ,0x6 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x3F,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0xFF,0x80,0x1 ,0xB8,0xF ,0xF8,0x
x8F,0xF9,0x86,0x60,0x60,0x3 ,0x6 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x7 ,0xF0,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0xFC,0x0 ,0x1 ,0x9C,0x1F,0xFC,0x
x9F,0xFD,0x87,0x60,0x60,0x3 ,0x6 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x8E,0x18,0xD ,0x
x98,0xD ,0x83,0xE0,0x30,0x1B,0x6 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x87,0x18,0xD ,0x
x98,0xD ,0x81,0xE0,0x38,0x39,0x8C,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x83,0xB0,0x6 ,0x
x30,0x7 ,0x81,0xE0,0x1F,0xF1,0xFC,0x60,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x1 ,0x81,0xF0,0x6 ,0x
x30,0x7 ,0x80,0xE0,0x7 ,0xC0,0x70,0x60,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
  { 0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x
x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 }};
```

```
void ItoA(void);
void PortInit(void);
void TimmerInit(void);
void TimeClockInit(void);
void TimeInc(void);
void DateInc(void);
void GetTime(void);
void SetTime(void);
void SerialInit(void);
void SerialCheck(void);
void ReadSerial(void);
void WriteSerial(void);
void BuzzerNormal(void);
void BuzzerError(void);
void KeyInit(void);
void KeyCheck(void);
void KeyCheck2(void);
void LcdInit(void);
void LcdLogo(void);
void LcdClear(void);
void LCD_ClearArea(void);
void LCD_LineDisplay(void);
void LCD_PutPixel(void);
void LCD_LineXY(void);
void LCD_LineX(void);
void LCD_LineY(void);
void LCD_AllX(void);
void LcdPutChar(void);
void LcdRevPutChar(void);
void LCD_3DBox(void);
void StatCheck(void);
void StatCheck2(void);
void MainMenuDisplay(void);
void SetMenuDisplay(void);
void PrintInit(void);
void MainMenuProc(void);
void SetProc(void);
void ChannelSetProc(void);
void SaddrSetProc(void);
void CountSetProc(void);
void TimeSetProc(void);
void ClearProc(void);
void HV_Enable(void);
void ADC(void);
void ADK(void);
void ADT(void);
void Run(void);
void RunProc(void);
void CurrentDisplay(void);
void TempDisplay(void);
void ReadProc(void);
void PrintProc(void);
void Print(void);
void UploadProc(void);
```

```
code unsigned char ENG[128][8]={
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
{0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x10,0x38,0x10,0x10,0x0 ,0x0 ,0x10},
 {0x0 ,0x14,0x14,0x14,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x14,0x14,0x3E,0x14,0x3E,0x14,0x14},
 {0x0 ,0x8 ,0x1E,0x28,0x1C,0xA ,0x3C,0x8 },
 {0x0 ,0x30,0x32,0x4 ,0x8 ,0x10,0x26,0x6 },
 {0x0 ,0x10,0x28,0x28,0x12,0x2A,0x24,0x1A},
 {0x0 ,0x18,0x8 ,0x10,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x4 ,0x8 ,0x10,0x10,0x10,0x8 ,0x4 },
 {0x0 ,0x10,0x8 ,0x4 ,0x4 ,0x4 ,0x8 ,0x10},
 {0x0 ,0x8 ,0x2A,0x1C,0x8 ,0x1C,0x2A,0x8 },
 {0x0 ,0x0 ,0x8 ,0x8 ,0x3E,0x8 ,0x8 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x18,0x8 ,0x10},
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x3E,0x0 ,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x18,0x18},
 {0x0 ,0x0 ,0x2 ,0x4 ,0x8 ,0x10,0x20,0x0 },
 {0x0 ,0x1C,0x22,0x26,0x2A,0x32,0x22,0x1C},
 {0x0 ,0x8 ,0x18,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x1C},
 {0x0 ,0x1C,0x22,0x2 ,0x4 ,0x8 ,0x10,0x3E},
 {0x0 ,0x3E,0x4 ,0x8 ,0x4 ,0x2 ,0x22,0x1C},
 {0x0 ,0x4 ,0xC ,0x14,0x24,0x3E,0x4 ,0x4 },
 {0x0 ,0x3E,0x20,0x3C,0x2 ,0x2 ,0x22,0x1C},
 {0x0 ,0xC ,0x10,0x20,0x3C,0x22,0x22,0x1C},
 {0x0 ,0x3E,0x2 ,0x4 ,0x4 ,0x8 ,0x8 ,0x8 },
 {0x0 ,0x1C,0x22,0x22,0x1C,0x22,0x22,0x1C},
 {0x0 ,0x1C,0x22,0x22,0x1E,0x2 ,0x4 ,0x18},
 {0x0 ,0x0 ,0x18,0x18,0x0 ,0x18,0x18,0x0 },
 {0x0 ,0x0 ,0x18,0x18,0x0 ,0x18,0x8 ,0x10},
 {0x0 ,0x4 ,0x8 ,0x10,0x20,0x10,0x8 ,0x4 },
 {0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x3E,0x0 ,0x3E,0x0 ,0x0 },
 {0x0 ,0x10,0x8 ,0x4 ,0x2 ,0x4 ,0x8 ,0x10},
 {0x0 ,0x1C,0x22,0x2 ,0x4 ,0x8 ,0x0 ,0x8 },
 {0x0 ,0x1C,0x22,0x2E,0x2A,0x2E,0x20,0x1E},
 {0x0 ,0x8 ,0x14,0x22,0x22,0x3E,0x22,0x22},
 {0x0 ,0x3C,0x22,0x22,0x3C,0x22,0x22,0x3C},
 {0x0 ,0x1C,0x22,0x20,0x20,0x20,0x22,0x1C},
 {0x0 ,0x38,0x24,0x22,0x22,0x22,0x24,0x38},
 {0x0 ,0x3E,0x20,0x20,0x3C,0x20,0x20,0x3E},
 {0x0 ,0x3E,0x20,0x20,0x3C,0x20,0x20,0x20},
 {0x0 ,0x1C,0x22,0x20,0x2E,0x22,0x22,0x1E},
 {0x0 ,0x22,0x22,0x22,0x3E,0x22,0x22,0x22},
 {0x0 ,0x1C,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x1C},
 {0x0 ,0xE ,0x4 ,0x4 ,0x4 ,0x4 ,0x24,0x18},
```

```
};
{0x0 ,0x8 ,0x14,0x8 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
{0x0 ,0x10,0x2A,0x4 ,0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x0 },
{0x0 ,0x30,0x8 ,0x8 ,0x4 ,0x8 ,0x8 ,0x30},
{0x0 ,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x0 ,0x8 ,0x8 ,0x8 },
{0x0 ,0x6 ,0x8 ,0x8 ,0x10,0x8 ,0x6 ,0x6 },
{0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x3E,0x4 ,0x8 ,0x10,0x3E},
{0x0 ,0x0 ,0x0 ,0x22,0x22,0x1E,0x2 ,0x1C},
{0x0 ,0x0 ,0x22,0x14,0x8 ,0x14,0x22},
{0x0 ,0x0 ,0x22,0x22,0x2A,0x14},
{0x0 ,0x22,0x22,0x22,0x22,0x8 },
{0x0 ,0x8 ,0x14,0x22,0x0 ,0x0 ,0x0 },
{0x0 ,0x1C,0x4 ,0x4 ,0x4 ,0x4 ,0x4 ,0x1C},
{0x0 ,0x20,0x10,0x8 ,0x4 ,0x2 ,0x0 },
{0x0 ,0x1C,0x10,0x10,0x10,0x10,0x1C},
{0x0 ,0x3E,0x2 ,0x4 ,0x8 ,0x10,0x20,0x3E},
{0x0 ,0x22,0x22,0x14,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x8 },
{0x0 ,0x22,0x22,0x14,0x8 ,0x14,0x22,0x22},
{0x0 ,0x22,0x22,0x22,0x2A,0x2A,0x14},
{0x0 ,0x22,0x22,0x22,0x2A,0x2A,0x2A},
{0x0 ,0x22,0x22,0x22,0x22,0x22,0x22},
{0x0 ,0x22,0x22,0x22,0x22,0x22,0x1C},
{0x0 ,0x22,0x22,0x22,0x22,0x22,0x22},
{0x0 ,0x1C,0x22,0x22,0x2A,0x24,0x1A},
{0x0 ,0x3C,0x22,0x22,0x3C,0x28,0x24,0x22},
{0x0 ,0x1C,0x22,0x20,0x1C,0x2 ,0x22,0x1C},
{0x0 ,0x3E,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x8 ,0x8 },
{0x0 ,0x22,0x22,0x22,0x22,0x22,0x22,0x1C},
{0x0 ,0x22,0x22,0x22,0x22,0x22,0x14,0x8 },
{0x0 ,0x22,0x24,0x28,0x30,0x28,0x24,0x22},
```

```
#define TRUE      1
#define FALSE     0

#define UPKEY     1
#define DOWNKEY   2
#define LEFTKEY   3
#define RIGHTKEY  4
#define ESCKEY    5
#define ENTERKEY  6

#define LF        0x0A
#define CR        0x0D
#define SO        0x0E
#define SI        0x0F
#define CAN       0x18
#define ESC       0x1B

#define STX       0x02
#define ETX       0x03
#define ENQ       0x05
#define ACK       0x06
#define NAK       0x15

#define ALL_INT           IE=0x97
#define SER_INT           IE=0x90
#define EX1_INT           IE=0x84
#define ET0_INT           IE=0x82
#define EX0_INT           IE=0x81

#define IO_IN_CS     0x7000
#define IO_OUT_CS    0x6800
#define AD_L_BYTE    0x6000
#define AD_H_BYTE    0x5800
#define AD_EXT_CH_H  0x5000
#define PRT_STROBE   0x4000
#define LCD_CS       0x3800
#define TIMMER_CS    0x4800

#define CTS          0X01
#define COLUMN1      0X02
#define COLUMN2      0X04
#define PRT_PE       0X08
#define PRT_ERROR    0X10
#define AD_POL       0X20
#define AD_OR        0X40
#define AD_RUNHOLD   0X80

#define AD_CH0       IoOutCs&=0XFC;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define AD_CH1       IoOutCs&=0XFC;IoOutCs|=0X01;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define AD_CH2       IoOutCs&=0XFC;IoOutCs|=0X02;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define AD_HV_ON     IoOutCs|=0X04;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define AD_HV_OFF    IoOutCs&=0XFB;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define LED_RUN_ON   IoOutCs|=0X08;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define LED_RUN_OFF  IoOutCs&=0XF7;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define LED_HV_ON    IoOutCs|=0X10;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define LED_HV_OFF   IoOutCs&=0XEF;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define LED_ERR_ON   IoOutCs|=0X20;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define LED_ERR_OFF  IoOutCs&=0XDF;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define LCD_EL_ON    IoOutCs|=0X40;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define LCD_EL_OFF   IoOutCs&=0XBF;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define BUZZER_ON    IoOutCs|=0X80;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)
#define BUZZER_OFF   IoOutCs&=0X7F;write_XDATA(IO_OUT_CS,IoOutCs)

#define LCD_CD       P1.0
#define AD_START     P1.1
#define ROW1         P1.2
#define ROW2         P1.3
#define RTS          P1.4
#define PRT_FEED     P1.5
#define TEMP_ERROR   P1.6
#define PRT_BUSY     P1.7
```

```
#include <io51.h>
#include "eng.h"
#include "define.h"
#include "memdef.h"
#include "function.h"
#include "logo.h"

typedef  struct {
   char  name[10];
   unsigned  char  namelen;
   unsigned  char  sx,sy;
} Menu;

#define SetMenuMax   4
#define MainMenuMax  4
code  Menu  SetMenu[SetMenuMax]={
                {{'C','H','A','N','N','E','L',},7,0,2},
                {{'A','D','D','R',' ',' ',' ',},7,0,3},
                {{'C','L','E','A','R',' ',' ',},7,0,4},
                {{'T','I','M','E',' ',' ',' ',},7,0,5}};

code  Menu  MainMenu[MainMenuMax]={
                {{'S','E','T',},3,0,0},
                {{'R','U','N',},3,7,0},
                {{'R','E','A','D',},4,14,0},
                {{'P','R','I','N','T',},5,21,0}};

code  char  LcdWidth=0x1E, LcdHeight=8;
code  unsigned  int  LCD_COLUMN_ADDR[8]= {0,0xF0,0x01E0,0x2D0,
                        0x03C0,0x4B0,0x05A0,0x690};
code  unsigned  int  LCD_TEXT_XPIXEL[30]= {0,8,0x10,0x18,0X20,0x28,0x30,0x38,
                        0x40,0x48,0X50,0x58,0x60,0x68,0x70,0x78,0X80,0x88,
                        0x90,0x98,0xA0,0xA8,0XB0,0xB8,0xC0,0xC8,0xD0,0xD8,
                        0x90,0x98};
code  unsigned  int  LCD_TEXT_YPIXEL[8]= {0,8,0x10,0x18,0X20,0x28,0x30,0x38};

code  char  Mon_1[13]={0,31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31};
code  char  TimeMax[6]={99,12,31,23,59,59};
code  char  TimeMin[6]={0,1,1,0,0,0};
code  char  TimeName[6][3]={{'y','y',' '},{'m','m',' '},{'d','d',' '},
                           {'h','h',' '},{'m','m',' '},{'s','s',' '}};


typedef  struct {
   char  name[20];
   unsigned  char  namelen;
} DisplayFormat;

code  char  Print_Format_Max=8;
code  DisplayFormat  Print_Format[8]={
                        {{'=','<',' ','M','e','a','s','u','r','e',
                          ' ','R','e','s','u','l','t',' ','>','='},20},
                        {{' ',' ',' ',' ',' ','O','u','t',
                          'p','u','t',' ',' ','2','K','V',},16},
                        {{' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',},7},
                        {{' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',},7},
                        {{'C','h','a','n',' ',' ',':',},7},
                        {{'A','d','d','r',' ',' ',':',},7},
                        {{'C','u','r','r',' ',' ',':',},7},
                        {{'T','e','m','p',' ',' ',':',},7}};

code  DisplayFormat  Print_Name={{'P','r','i','n','t','i','n','g','.','.'},10}

code  char  Run_Format_Max=5;
code  DisplayFormat  Run_Format[5]={
                        {{'C','h','a','n',' ',' ',':',' ',' ',' ',},10},
                        {{'A','d','d','r',' ',' ',':',' ',' ',' ',},10},
                        {{'C','u','r','r',' ',' ',':',},7},
                        {{'T','e','m','p',' ',' ',':',' ',' ',},9},
                        {{'V','o','l','t',' ',' ',':',' ',},8}};

code  char  TempErr_Format_Max=3;
code  DisplayFormat  TempErr_Format[3]={
                      {{'T','h','e','r','m','o','_',
                        'C',' ','O','p','e','n','!',' ',},15},
                      {{' ',' ',' ','C','o','n','t','i',
                        'n','u','e','?',},12},
```

```
                        {{' ',' ','(','E','n','t','/',
                          'O','t','h','e','r',')',' ',' ',},15}};

code char AddrErr_Format_Max =3;
code DisplayFormat  AddrErr_Format [3]={
                        {{'T','h','i','s',' ','C','h',' ',
                        'i','s',' ','F','u','l','l','!',},16},
                        {{' ',' ',' ',' ','C',
                        'o','n','t','i','n','u','e','?',},13},
                        {{' ',' ','(','E','n','t','/',
                          'O','t','h','e','r',')',' ',},16}};

code char Read_Format_Max =8;
code DisplayFormat  Read_Format [8]={
                             {{' ','C','h',},3},{{' ','A','d',},3},
                             {{' ','D','a',},3},{{'t','e',' ',},3},
                             {{' ','T','i',},3},{{'m','e',' ',},3},
                             {{' ','C','u','r','r','.',},6},
                             {{' ','T','e','m','p','.',},6}};
code DisplayFormat  ReadErr_Format ={{'D','a','t','a',' ','n','o','t',
                                      ' ','F','i','n','d',},13};



code unsigned char C_ZoomRate_Max =12;
code float C_ZoomRate [12]={1,2,5,10,20,50,100,200,500,1000,2000,4000}
code unsigned char T_ZoomRate_Max =5;
code float T_ZoomRate [5]={1,2,5,10,25};

code char Serial_Error_Format_Max =2;
code DisplayFormat  Serial_Error_Format [2]={
   {{'N','o',' ','R','e','s','p','o','n','s','e',},11},
   {{'P','r','e','s','s',' ','A','n','y',' ','K','e','y',},13}};

data unsigned char BusyCheck;

/*****************************************************************************/
/*                              intrrupt                                     */
/*****************************************************************************/
/* BUSY Interrupt */
interrupt  [0x03] void EX0_int (void)
{
  EA =0;
  AD_LO= read_XDATA (AD_L_BYTE);
  AD_HI=read_XDATA (AD_H_BYTE);
  AD_RESULT=AD_HI*0x100+AD_LO;
  BusyCheck=0;
  EA =1;
}

 /*Timer 0 Overflow */
interrupt  [0x0B] void T0_int (void)
{
  EA=0;
  TCON.4=0;
  if(T0Check>600){
      LCD_EL_OFF;
  }
  else{
     T0Check++;
     TCON.4=1;
  }
  EA=1;
}

/* Serial Communication*/
interrupt  [0x23] void SCON_int (void)
{
    EA = 0;
    SCount=0;
    while(1){
       if(RI==1){
          RI=0;
          DBUF[SCount]=SBUF;
          if(SCount>1){
             if( (DBUF[0]==STX)&&  (DBUF[SCount-1]==ETX) ){
```

```
                SerialCheck ();
                SCON=0x50;      EA=1;
                return ;
            }
        }
        SCount++;
    }
    if(DBUF[0]!=STX) break;
    if(SCount>30) break;
  }
  SCON=0x50;
  EA=1;
}

/*****************************************************************************/
/*                                main                                       */
/*****************************************************************************/
void main(void)
{
    EA=0;
    SerialInit();
    TimmerInit();
    PortInit();
    TimeClockInit();
    KeyInit();
    PrintInit();
    LcdInit();
    LCD_EL_ON;
    LcdLogo();
    CRATE=1;TRATE=1;VRATE=2;
    TCON.0=1;
    T0Check=0;
    LCD_EL_ON;
    TCON.4=1;
    EA=1;
    KeyCheck();
    while(1){
        LcdClear();
        MainMenuPos=0;
        MainMenuProc();
    }
}

/*****************************************************************************/
/*                            Math                                           */
/*****************************************************************************/
/* Intiger to String  */
void ItoA(void)
{
    if(ItoA_Size>0){
        for(ItoA_Count=0;ItoA_Count<ItoA_Size;ItoA_Count++)
            ItoA_A[ItoA_Count]=' ';
        ItoA_A[ItoA_Size]=0;
        for(ItoA_Count=1;ItoA_Count<=ItoA_Size;ItoA_Count++){
            ItoA_A[ItoA_Size-ItoA_Count]=ItoA_I%10+'0';
            ItoA_I/=10;
            if(ItoA_I==0) return;
        }
    }
}

/*****************************************************************/
/*                      Port  Init                               */
/*****************************************************************/

void PortInit(void)
{
data unsigned int i;
    for(i=0;i<0x800;i++)   write_XDATA(i,0);
    IoInCs=0;
    IoOutCs=0;
    Saddr=0;
    Count=1;
    Addr=0;
    BuzzerNormal();
    LCD_EL_ON;
}
```

```
/*****************************************************************/
/*                      Milisecond Delay                         */
/*****************************************************************/
void Delay(unsigned int temp)
{
data unsigned int i,j;

  for(i=0;i<temp;i++){
      for(j=0;j<80;j++);
  }
}

/*****************************************************************/
/*                      Buzer  Control                           */
/*****************************************************************/
void BuzzerNormal (void)
{
   BUZZER_ON;  Delay(100); BUZZER_OFF;
}

void BuzzerError (void)
{
   BUZZER_ON;  Delay(300); BUZZER_OFF; Delay(100);
   BUZZER_ON;  Delay(300); BUZZER_OFF; Delay(100);
   BUZZER_ON;  Delay(300); BUZZER_OFF;
}

/*****************************************************************************/
/*                                  Time                                     */
/*****************************************************************************/

void TimmerInit(void)
{
  TCON&=0xCF;
  TMOD&=0xF0;
  TMOD|=0x01;
  TH0=0x3C;  TL0=0xAF;   /*50m sec*/
  IE.1=1;
}

void TimeClockInit(void)
{
   TimeRegA=0x2A;
   write_XDATA(TIMMER_CS+10,TimeRegA);
   write_XDATA(TIMMER_CS+10,TimeRegA);
   TimeRegA=read_XDATA(TIMMER_CS+10);

   TimeRegB=0x0E;
   write_XDATA(TIMMER_CS+11,TimeRegB);
   write_XDATA(TIMMER_CS+11,TimeRegB);
   TimeRegB=read_XDATA(TIMMER_CS+11);
}

void GetTime(void)
{
   Min=read_XDATA(TIMMER_CS+2);
   Min=read_XDATA(TIMMER_CS+2);
   Hour=read_XDATA(TIMMER_CS+4);
   Hour=read_XDATA(TIMMER_CS+4);
   Day=read_XDATA(TIMMER_CS+7);
   Day=read_XDATA(TIMMER_CS+7);
   Mon=read_XDATA(TIMMER_CS+8);
   Year=read_XDATA(TIMMER_CS+9);
   Year=read_XDATA(TIMMER_CS+9);
}

void SetTime(void)
{

   TimeRegB=0x8E;
   write_XDATA(TIMMER_CS+11,TimeRegB);
   write_XDATA(TIMMER_CS+11,TimeRegB);
   write_XDATA(TIMMER_CS+11,TimeRegB);

   write_XDATA(TIMMER_CS+2,Min);
```

```
    write_XDATA (TIMMER_CS+4,Hour);
    write_XDATA (TIMMER_CS+7,Day);
    write_XDATA (TIMMER_CS+8,Mon);
    write_XDATA (TIMMER_CS+9,Year);

    TimeRegB=0x0E;
    write_XDATA (TIMMER_CS+11,TimeRegB);
    write_XDATA (TIMMER_CS+11,TimeRegB);

}

/*****************************************************************************/
/*                          SERIAL                                           */
/*****************************************************************************/

void SerialInit(void)
{
  TMOD= 0x20;   /* auto reload mode */
  TCON= 0x40;   /* timer 1run for communication */
  SCON= 0x50;   /* serial mode=1, ren=1,ti=1 */
  PCON= 0x00;   /* */
  TH1 = 0xFD;   /* 9600 BPS */
  IE  = 0x90;   /* enable serial,timer 1/0*/
  IP  = 0x10;   /* make serial interrupt highest */
  RTS=1;
}

void SerialCheck(void)
{
data  unsigned char i,bcc;
   bcc=DBUF[1];
   for(i=2;i<SCount;i++)    bcc^=DBUF[i];
   if(DBUF[SCount]!=bcc){
      TI=0; SBUF=NAK; while(TI==0);  TI=0;   return;
   }
   else{
      TI=0; SBUF=ACK;    while(TI==0);
   }
   while(1){
      if(RI==1){
         RI=0;
         if(ENQ==SBUF){
            ReadSerial();
            break;
         }
      }
   }
}

void ReadSerial(void)
{
data char i;
   SCOUNT=0;
   if((DBUF[1]=='C') &&  (DBUF[2]=='4') && (DBUF[3]=='0')){
      if(SCount==9){
         Channel=(DBUF[4]-'0')*10+DBUF[5]-'0';
         Saddr=(DBUF[6]-'0')*10+DBUF[7]-'0';
         UploadProc();
      }
      else{
         RBUF[SCOUNT++]=STX; RBUF[SCOUNT++]='N'; RBUF[SCOUNT++]=DBUF[2]
         RBUF[SCOUNT++]=DBUF[3]; RBUF[SCOUNT++]='0'; RBUF[SCOUNT++]='2'
         RBUF[SCOUNT++]=ETX;
         WriteSerial();
      }
   }
   else{
      RBUF[SCOUNT++]=STX; RBUF[SCOUNT++]='N'; RBUF[SCOUNT++]=DBUF[2];
      RBUF[SCOUNT++]=DBUF[3]; RBUF[SCOUNT++]='0'; RBUF[SCOUNT++]='1';
      RBUF[SCOUNT++]=ETX;
      WriteSerial();
   }
}

void WriteSerial(void)
{
data  unsigned int i,j;
```

```
EA=0;
TI=0;
RTS=1;

RBUF[SCOUNT]=RBUF[1];
for(i=2;i<SCOUNT;i++)    RBUF[SCOUNT]^=RBUF[i];
for(i=0;i<=SCOUNT;i++){
   TI=0;
   SBUF=RBUF[i];
   while(TI==0);
}

TI=0;
EA=1;
}


/*************************************************************************/
/*                              LCD                                      */
/*************************************************************************/
void LcdInit(void)
{
  StatCheck();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x89);
  StatCheck();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x98);
  StatCheck();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0);
  StatCheck();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0);
  StatCheck();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x42);
  StatCheck();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,LcdWidth);
  StatCheck();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0);
  StatCheck();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x43);
}

/* Logo Display  */
void LcdLogo(void)
{
  StatCheck();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0);
  StatCheck();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0);
   StatCheck();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x24);
  StatCheck();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB0);
  for(LCDY=0;LCDY<64;LCDY++){
    for(LCDX=0;LCDX<LcdWidth;LCDX++){
      StatCheck2();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,LOGO[LCDY][LCDX]);
    }
  }
  StatCheck2();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB2);
}

void LcdClear(void)
{
  StatCheck();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0);
  StatCheck();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0);
  StatCheck();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x24);
  StatCheck();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB0);
  for(LCDY=0;LCDY<64;LCDY++){
    for(LCDX=0;LCDX<LcdWidth;LCDX++){
      StatCheck2();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0);
    }
   }
  StatCheck2();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB2);
}

/* Select Area Clear  */
void LCD_ClearArea()
{
  data unsigned int x,y,temp;
  data char i,k;

  if(LCDSX>LCDEX){
     x=LCDSX; LCDSX=LCDEX; LCDEX=x;
  }
  if(LCDSY>LCDEY){
     y=LCDSY; LCDSY=LCDEY; LCDEY=y;
  }
  i=LCDSX/8;
  k=LCDEX/8;
  PIXELON=0;
  if(i==k){
```

```
     for(y=LCDSY;y<=LCDEY;y++){
       for(x=LCDSX;x<=LCDEX;x++){
         LCDPX=x;LCDPY=y;
         LCD_PutPixel();
       }
    }
}
else{
    for(y=LCDSY;y<=LCDEY;y++){
       for(x=LCDSX;x<LCD_TEXT_XPIXEL[i+1];x++){
         LCDPX=x;LCDPY=y;
         LCD_PutPixel();
       }
       temp=y*30+i+1;
       StatCheck(); P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,temp&0xFF)
       StatCheck(); P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,temp>>8);
       StatCheck(); P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x24);
       StatCheck(); P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB0);
       for(x=i+1;x<k;x++){
          StatCheck2();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0x0);
        }
       StatCheck2();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB2);
       for(x=LCD_TEXT_XPIXEL[k];x<=LCDEX;x++){
         LCDPX=x;LCDPY=y;
         LCD_PutPixel();
       }
     }
  }
}

void LCD_PutPixel(void)
{
  data unsigned int temp;
  data char i,j;

  if((LCDPX<0)||(LCDPX>240)) return;
  if((LCDPY<0)||(LCDPY>64)) return;
  i=LCDPX/8;
  j=LCDPX%8;
  j=7-j;
   temp=LCDPY*30+i;
  P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,temp&0xFF);
  write_XDATA(LCD_CS,temp>>8);
  P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x24);
  if(PIXELON==0){
    P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0);
    P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xF0+j);
  }
  else {
    P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0xff);
    P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xF8+j);
  }
}

void LCD_LineXY(void)
{
  data int t,distance;
  data int xerr=0,yerr=0;
  data int incx,incy;

   TEMPSX=LCDSX;  TEMPSY=LCDSY;
  TEMPEX=LCDEX;  TEMPEY=LCDEY;
  TEMPEX=TEMPEX-TEMPSX;
  TEMPEY=TEMPEY-TEMPSY;
  if(TEMPEX>0) incx=1;
  else{
    if(TEMPEX==0) incx=0;
    else incx=-1;
  }
  if(TEMPEY>0) incy=1;
  else{
    if(TEMPEY==0) incy=0;
    else incy=-1;
  }
  if(TEMPEX<0) TEMPEX=TEMPEX*(-1);
  if(TEMPEY<0) TEMPEY=TEMPEY*(-1);
  if(TEMPEX>TEMPEY) distance=TEMPEX;
```

```
else distance=TEMPEY;
for(t=0;t<=distance+1;t++){
  LCDPX=TEMPSX;  LCDPY=TEMPSY;
  LCD_PutPixel();
  xerr+=TEMPEX;
  yerr+=TEMPEY;
  if(xerr>distance) {
    xerr-=distance;
    TEMPSX+=incx;
  }
  if(yerr>distance) {
    yerr-=distance;
    TEMPSY+=incy;
  }
}

void LCD_LineX(void)
{
  data unsigned int x,temp;
  data char i,k;

  if(LCDSX>LCDEX){
      x=LCDSX; LCDSX=LCDEX; LCDEX=x;
  }
  i=LCDSX/8;
  k=LCDEX/8;
  if(i==k){
     for(x=LCDSX;x<=LCDEX;x++){
       LCDPX=x;LCDPY=LCDSY;
       LCD_PutPixel();
     }
  }
  else{
     for(x=LCDSX;x<LCD_TEXT_XPIXEL[i+1];x++){
          LCDPX=x;LCDPY=LCDSY;
          LCD_PutPixel();
     }
     temp=LCDSY*30+i+1;
     StatCheck(); P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,temp&0xFF)
     StatCheck(); P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,temp>>8);
     StatCheck(); P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x24);
     StatCheck(); P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB0);
      for(x=i+1;x<k;x++){
        StatCheck2();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0xFF);
     }
     StatCheck2();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB2);
     for(x=LCD_TEXT_XPIXEL[k];x<=LCDEX;x++){
       LCDPX=x;LCDPY=LCDSY;
       LCD_PutPixel();
     }
  }
}

void LCD_LineY()
{
  data unsigned int y;

  if(LCDSY>LCDEY){
     y=LCDSY; LCDSY=LCDEY; LCDEY=y;
  }
  for(y=LCDSY;y<=LCDEY;y++){
    LCDPX=LCDSX;LCDPY=y;
    LCD_PutPixel();
  }
}

/* X Line from 0 to End  */
void LCD_AllX(void)
{
  data unsigned int temp;

  temp=LCDSY*30;
  StatCheck(); P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,temp&0xFF);
  StatCheck(); P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,temp>>8);
  StatCheck(); P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x24);
  StatCheck(); P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB0);
```

```
  if(PIXELON==1){
     for(temp=0;temp<LcdWidth;temp++){
        StatCheck2();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0xFF)
     }
  }
  else{
      for(temp=0;temp<LcdWidth;temp++){
        StatCheck2();P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,0x0);
     }
  }
  StatCheck2();P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xB2);
}

/* Make 3D Effect */
void LCD_3DBox(void)
{
    if((LCDX+LCDW)>29) return;
    if((LCDY+LCDH)>7) return;
    if(PIXELON==1){
        if(LCDX==0)  LCDSX=LCD_TEXT_XPIXEL[LCDX];
        else  LCDSX=LCD_TEXT_XPIXEL[LCDX]-4;
        LCDEX= LCD_TEXT_XPIXEL[LCDX+LCDW]+4;
        if(LCDY==0)  LCDSY=LCD_TEXT_YPIXEL[LCDY];
        else  LCDSY=LCD_TEXT_YPIXEL[LCDY]-4;
        LCDEY=LCDSY;
        LCD_LineX();
        LCDSY=LCD_TEXT_YPIXEL[LCDY+LCDH]+4;
        LCDEY=LCDSY;
        LCD_LineX();
        LCDSX++;  LCDSY++;
        LCDPX=LCDSX;  LCDPY=LCDSY;
        LCD_PutPixel();
        LCDSX++;  LCDSY++;   LCDEX++;  LCDEY=LCDSY;
        LCD_LineX();
        if(LCDY==0)  LCDSY=LCD_TEXT_YPIXEL[LCDY];
        else  LCDSY=LCD_TEXT_YPIXEL[LCDY]-4;
        LCDEY= LCD_TEXT_YPIXEL[LCDY+LCDH]+4;
        if(LCDX==0)  LCDSX=LCD_TEXT_XPIXEL[LCDX];
        else  LCDSX=LCD_TEXT_XPIXEL[LCDX]-4;
        LCDEX=LCDSX;
        LCD_LineY();
        LCDSX=LCD_TEXT_XPIXEL[LCDX+LCDW]+4;
        LCDEX=LCDSX;
        LCD_LineY();
        LCDSX++;  LCDSY++;
        LCDPX=LCDSX;  LCDPY=LCDSY;
        LCD_PutPixel();
        LCDSX++;  LCDSY++;   LCDEY++;
        LCDEX=LCDSX;
        LCD_LineY();
    }
    else{
        if(LCDX==0)  LCDSX=LCD_TEXT_XPIXEL[LCDX];
        else  LCDSX=LCD_TEXT_XPIXEL[LCDX]-4;
        LCDEX= LCD_TEXT_XPIXEL[LCDX+LCDW]+6;
        if(LCDY==0)  LCDSY=LCD_TEXT_YPIXEL[LCDY];
        else  LCDSY=LCD_TEXT_YPIXEL[LCDY]-4;
        LCDEY= LCD_TEXT_YPIXEL[LCDY+LCDH]+6;
        LCD_ClearArea();
    }
}

void LcdPutChar(void)
{
  data unsigned int temp;
  data char i;
   temp=LCD_COLUMN_ADDR[LCDY]+LCDX;
  for(i=0;i<8;i++){
    P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,temp&0xFF);
    write_XDATA(LCD_CS,temp>>8);
    P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0x24);
    P1.0=0;write_XDATA(LCD_CS,ENG[ECODE][i]);
    P1.0=1;write_XDATA(LCD_CS,0xC4);
    temp+=LcdWidth;
  }
}
```

```
/* Reverse Char Display */
void LcdRevPutChar (void)
{
  data unsigned int temp;
  data char i,ch;
  temp=LCD_COLUMN_ADDR [LCDY]+LCDX;
  for(i=0;i<8;i++){
    P1.0=0;write_XDATA (LCD_CS,temp&0xFF);
    write_XDATA (LCD_CS,temp>>8);
    P1.0=1;write_XDATA (LCD_CS,0x24);
    ch=ENG[ECODE][i]^0xFF;
    P1.0=0;write_XDATA (LCD_CS,ch);
    P1.0=1;write_XDATA (LCD_CS,0xC4);
    temp+=LcdWidth;
  }
}

/* Lcd State Check */
void StatCheck(void)
{
  data unsigned char tt;
  P1.0=1;
  while(1){tt=read_XDATA(LCD_CS);tt=tt&0xA3;if(tt==0xA3) return;}
}

void StatCheck2(void)
{
  data unsigned char tt;
  P1.0=1;
   while(1){tt=read_XDATA(LCD_CS);tt=tt&0xA8;if(tt==0xA8) return;}
}


void MainMenuDisplay(void)
{
data int i,j;
   for(i=0;i<MainMenuMax;i++){
      LCDY=MainMenu[i].sy;
      LCDX=MainMenu[i].sx;
      for(j=0;j<MainMenu[i].namelen;j++){
         ECODE=MainMenu[i].name[j];
         LcdPutChar();
         LCDX++;
      }
   }
   LCDY=MainMenu[MainMenuPos].sy;
   LCDX=MainMenu[MainMenuPos].sx;
   for(j=0;j<MainMenu[MainMenuPos].namelen;j++){
      ECODE=MainMenu[MainMenuPos].name[j];
      LcdRevPutChar();
      LCDX++;
   }
   PIXELON=1;
   LCDSY=8;
   LCD_AllX();
   PIXELON=1;
   LCDSY=10;
   LCD_AllX();
}


void SetMenuDisplay(void)
{
data int i,j;
   for(i=0;i<SetMenuMax;i++){
      LCDY=SetMenu[i].sy;
      LCDX=SetMenu[i].sx;
      for(j=0;j<SetMenu[i].namelen;j++){
         ECODE=SetMenu[i].name[j];
         LcdPutChar();
         LCDX++;
      }
   }
   LCDY=SetMenu[SetMenuPos].sy;
   LCDX=SetMenu[SetMenuPos].sx;
   for(j=0;j<SetMenu[SetMenuPos].namelen;j++){
      ECODE=SetMenu[SetMenuPos].name[j];
```

```
        LcdRevPutChar ();
        LCDX++;
    }
    PIXELON=1;
    LCDX=0;LCDY=2;LCDW=7;LCDH=SetMenuMax ;
    LCD_3DBox ();
}

/*****************************************************************************/
/*                              keyboard                                     */
/*****************************************************************************/
void KeyInit(void)
{
    KeyState=0;
    OldKeyState=0;
    MainMenuPos=0;
    SetMenuPos=0;
}

void KeyCheck(void)
{
data int i;
    KeyState=0;
    for(i=0;i<10000;i++) i=i;
    while(1){
        ROW1=0; ROW2=0;
        for(i=0;i<100;i++) i=i;
        IoInCs=read_XDATA(IO_IN_CS);
        IoInCs&=0x06;
        switch(IoInCs){
            case 4:
                while(1){
                    IoInCs=read_XDATA(IO_IN_CS);
                    IoInCs&=0x06;
                    if(IoInCs!=0x04) break;
                }
                KeyState= ENTERKEY;
                goto CHECK1_END;
            case 2:
                KeyState=RIGHTKEY;
                goto CHECK1_END;
            default :
                break;
        }
        ROW1=1; ROW2=0;
        for(i=0;i<100;i++) i=i;
        IoInCs=read_XDATA(IO_IN_CS);
        IoInCs&=0x06;
        switch(IoInCs){
            case 4:
                KeyState=UPKEY;
                goto CHECK1_END;
            case 2:
                KeyState=LEFTKEY;
                goto CHECK1_END;
            default :
                break;
        }
        ROW1=0; ROW2=1;
        for(i=0;i<100;i++) i=i;
        IoInCs=read_XDATA(IO_IN_CS);
        IoInCs&=0x06;
        switch(IoInCs){
            case 4:
                while(1){
                    IoInCs=read_XDATA(IO_IN_CS);
                    IoInCs&=0x06;
                    if(IoInCs!=0x04) break;
                }
                KeyState=ESCKEY;
                goto CHECK1_END;
            case 2:
                KeyState=DOWNKEY;
                goto CHECK1_END;
            default :
                break;
    }
```

```
    }
CHECK1_END:
    TCON.4=0;
    T0Check=0;
    TCON.4=1;
    LCD_EL_ON;
}

/*****************************************************************************/
/*****************************************************************************/
/*****                          MainMenu                                 ******/
/*****************************************************************************/
/*****************************************************************************/
void MainMenuProc(void)
{
    while(1){
        MainMenuDisplay();
        KeyCheck();
        switch(KeyState){
            case LEFTKEY:
                if(MainMenuPos<=0)  MainMenuPos=MainMenuMax-1;
                else MainMenuPos-=1;
                break;
            case RIGHTKEY:
                if(MainMenuPos>=(MainMenuMax-1))  MainMenuPos=0;
                else MainMenuPos+=1;
                break;
            case ENTERKEY:
                switch(MainMenuPos){
                    case 0:
                        SetMenuPos=0;
                        SetProc();
                        break;
                    case 1:
                        RunProc();
                        break;
                    case 2:
                        ReadProc();
                        break;
                    case 3:
                        LCD_EL_OFF;
                        PrintProc();
                        LCD_EL_ON;
                        break;
                    default:
                        break;
                }
                LcdClear();
                break;
            default:
                break;
        }
    }
}

/*****************************************************************************/
/*                              SetMenu                                      */
/*****************************************************************************/
/* Set menu Display */
void SetProc(void)
{
    while(1){
        SetMenuDisplay();
        KeyCheck();
        switch(KeyState){
            case UPKEY:
                if(SetMenuPos<=0)  SetMenuPos=SetMenuMax-1;
                else SetMenuPos-=1;
                break;
            case DOWNKEY:
                if(SetMenuPos>=(SetMenuMax-1))  SetMenuPos=0;
                else SetMenuPos+=1;
                break;
            case LEFTKEY:
                MainMenuPos=MainMenuMax-1;
                return;
            case RIGHTKEY:
```

```
        MainMenuPos=1;
        return;
    case ESCKEY:
        return;
    case ENTERKEY:
        switch(SetMenuPos){
            case 0:
                ChannelSetProc();
                break;
            case 1:
                SaddrSetProc();
                break;
            case 2:
                ClearProc();
                break;
            case 3:
                TimeSetProc();
                break;
        }
        break;
    default:
        break;
    }
}

void ChannelSetProc(void)
{
data char channel;

    channel=Channel;
    PIXELON=1;
    LCDX=9;LCDY=4;LCDW=11;LCDH=1;
    LCD_3DBox();
    while(1){
        LCDY=4;
        LCDX=14;
        ECODE=channel/10+'0';
        LcdPutChar();
        LCDX++;
        ECODE=channel%10+'0';
        LcdPutChar();
        KeyCheck();
        switch(KeyState){
            case UPKEY:
                channel++;
                break;
            case DOWNKEY:
                channel--;
                if(channel<0) channel=99;
                break;
            case LEFTKEY:
                channel-=10;
                if(channel<0) channel=99;
                break;
            case RIGHTKEY:
                channel+=10;
                break;
            case ENTERKEY:
                Channel=channel;
            case ESCKEY:
                PIXELON=0;
                LCDX=9;LCDY=4;LCDW=11;LCDH=1;
                LCD_3DBox();
                return;
            default:
                break;
        }
        channel%=100;
    }
}

void SaddrSetProc(void)
{
data char addr;

    addr=Saddr;
```

```
PIXELON=1;
LCDX=9;LCDY=4;LCDW=11;LCDH=1;
LCD_3DBox();
while(1){
    LCDY=4;
    LCDX=14;
    ECODE=addr/10+'0';
    LcdPutChar();
    LCDX++;
    ECODE=addr%10+'0';
    LcdPutChar();
    KeyCheck();
    switch(KeyState){
        case UPKEY:
            addr++;
            break;
        case DOWNKEY:
            addr--;
            if(addr<0) addr=31;
            break;
        case LEFTKEY:
            addr-=10;
            if(addr<0) addr=31;
            break;
        case RIGHTKEY:
            addr+=10;
            break;
        case ENTERKEY:
            Saddr=addr;
        case ESCKEY:
            PIXELON=0;
            LCDX=9;LCDY=4;LCDW=11;LCDH=1;
            LCD_3DBox();
            return;
        default:
            break;
    }
    addr%=32;
}
}

/* Data Clear */
void ClearProc(void)
{
data unsigned int i;

    Channel=0;
    Saddr=0;
    Count=1;
    Addr=0;
    for(i=0;i<100;i++){
        SetupSaddr[i]=0;
    }
    for(i=0;i<0x8000;i++)   write_XDATA(0x8000+i,0)
}

void TimeSetProc(void)
{
data char time[5];
data char pos,i,j;
    pos=4;
    GetTime();
    time[0]=Year; time[1]=Mon; time[2]=Day;
time[3]=Hour; time[4]=Min;
PIXELON=1;
LCDX=9;LCDY=3;LCDW=16;LCDH=2;
LCD_3DBox();
while(1){
    LCDY=3;
    LCDX=9;
    for(i=0;i<5;i++){
        for(j=0;j<3;j++){
            ECODE=TimeName[i][j];
            LcdPutChar();
            LCDX++;
        }
    }
```

```
LCDY=4;
LCDX=9;
for(i=0;i<5;i++){
    if(i==pos){
        ECODE=time[i]/10+'0';
        LcdRevPutChar();
        LCDX++;
        ECODE=time[i]%10+'0';
        LcdRevPutChar();
        LCDX++;
    }
    else{
        ECODE=time[i]/10+'0';
        LcdPutChar();
        LCDX++;
        ECODE=time[i]%10+'0';
        LcdPutChar();
        LCDX++;
    }
    switch(i){
        case 0:  case 1:
            ECODE='/';      LcdPutChar();      LCDX++;
            break;
        case 2:
            ECODE=' ';      LcdPutChar();      LCDX++;
            break;
        case 3:
            ECODE=':';      LcdPutChar();      LCDX++;
            break;
    }
}
KeyCheck();
switch(KeyState){
    case UPKEY:
        time[pos]++;
        break;
    case DOWNKEY:
        time[pos]--;
        break;
    case LEFTKEY:
        pos--;
        if(pos<0) pos=4;
        break;
    case RIGHTKEY:
        pos++;
        if(pos>4) pos=0;
        break;
    case ENTERKEY:
        Year=time[0]; Mon=time[1]; Day=time[2];
        Hour=time[3]; Min=time[4];
        SetTime();
    case ESCKEY:
        PIXELON=0;
        LCDX=9;LCDY=3;LCDW=16;LCDH=2;
        LCD_3DBox();
        return;
    default:
        break;
}
if(pos==2){
    if((time[1]<13)&&(time[1]>0)){
        if(time[pos]>Mon_1[time[1]]) time[pos]=TimeMin[pos];
        else if(time[pos]<TimeMin[pos]) time[pos]=Mon_1[time[1]]
    }
    else{
        if(time[pos]>31) time[pos]=1;
        else if(time[pos]<1) time[pos]=31;
    }
}
else{
    if(time[pos]>TimeMax[pos]) time[pos]=TimeMin[pos];
    else if(time[pos]<TimeMin[pos])
        time[pos]=TimeMax[pos];
}
}
}
```

```
/*****************************************************************************/
/*                                  RunMenu                                  */
/*****************************************************************************/
/* Hi Voltage On/Off */
void   HV_Enable (void)
{
  if(HIVOLT_ONOFF ==TRUE){
     AD_HV_ON;
  }
  else{
     AD_HV_OFF;
     Delay(1000);
  }
}

/* A/D Volts */
void ADK(void)
{
  AD_CH0;
   for(BufI=0;BufI<100;BufI++);
  while(1){
     AD_START=1;
     AD_START=0;
     AD_START=1;
     IoInCs = read_XDATA(IO_IN_CS);
     IoInCs &= AD_RUNHOLD;
     if(IoInCs == AD_RUNHOLD) break;   /* R/H On Break*/
  }
  EX0=1;
  BusyCheck=1;
  while(BusyCheck);
  EX0=0;
  if(AD_RESULT>=10001)   AD_RESULT-=10001;
  else{
    AD_RESULT=0;
    BuzzerNormal();
  }
}

/* A/D Current */
void ADC(void)
{
  AD_CH1;
  for(BufI=0;BufI<100;BufI++);
  while(1){
     AD_START=1;
     AD_START=0;
     AD_START=1;
     IoInCs = read_XDATA(IO_IN_CS);
     IoInCs &= AD_RUNHOLD;
     if(IoInCs == AD_RUNHOLD) break;   /* R/H On Break*/
  }
  EX0=1;
  BusyCheck=1;
  while(BusyCheck);
  EX0=0;
  if(AD_RESULT>=10001)   AD_RESULT-=10001;
  else{
    AD_RESULT=0;
    BuzzerNormal();
  }
}

/* A/D Temperate */
void ADT(void)
{
  if(TempError==1){
       AD_RESULT=0;
       return;
  }
  if(TEMP_ERROR==0){
       AD_RESULT=0;
       BuzzerNormal();
       return;
  }
  AD_CH2;
  for(BufI=0;BufI<100;BufI++);
```

```
while (1){
    AD_START=1;
    AD_START=0;
    AD_START=1;
    IoInCs = read_XDATA(IO_IN_CS);
    IoInCs &= AD_RUNHOLD;
    if(IoInCs == AD_RUNHOLD) break;   /* R/H On Break*/
}
EX0=1;
BusyCheck=1;
while(BusyCheck);
EX0=0;
if(AD_RESULT>=10001)   AD_RESULT-=10001;
else{
    AD_RESULT=0;
    BuzzerNormal();
  }
}

void  Run(void)
{
  STATE=1;
  RUN_COUNT=0;
   Addr=SetupSaddr[Channel];
   LCDY=2;
   LCDX=7;
   for(BufI=0;BufI<5;BufI++){
      for(BufJ=0;BufJ<Run_Format[BufI].namelen;BufJ++){
         ECODE=Run_Format[BufI].name[BufJ];
         LcdPutChar();      LCDX++;
      }
      LCDY++;
      LCDX=7;
   }
   LCDY=2;
   LCDX=7+Run_Format[0].namelen;
   ECODE=Channel/10+'0';
   LcdPutChar();          LCDX++;
   ECODE=Channel%10+'0';
   LcdPutChar();          LCDX++;
   LCDY=3;
   LCDX=7+Run_Format[1].namelen;
   ECODE=SetupSaddr[Channel]/10+'0';
   LcdPutChar();          LCDX++;
   ECODE=SetupSaddr[Channel]%10+'0';
   LcdPutChar();          LCDX++;
do{
   switch(STATE){
     case 0:    /* KV */
          ADK();
           AD_RESULT*=VRATE;
           LCDY=6;
           LCDX=7+Run_Format[4].namelen;
           ECODE=AD_RESULT/10000+'0';
           LcdPutChar();      LCDX++;
           ECODE='.';
           LcdPutChar();      LCDX++;
           ECODE=(AD_RESULT%10000)/1000+'0';
           LcdPutChar();      LCDX++;
           ECODE=(AD_RESULT%1000)/100+'0';
           LcdPutChar();      LCDX++;
           ECODE='K';
           LcdPutChar();      LCDX++;
           ECODE='V';
           LcdPutChar();      LCDX++;
     break;
case 1:   /* CURRENT */
     ADC();
     CBUF[RUN_COUNT]=AD_RESULT;
      AD_RESULT*=CRATE;
      LCDY=4;
      LCDX=7+Run_Format[2].namelen;
      ItoA_I=AD_RESULT;
      ItoA_Size=5;
      ItoA();
      for(BufI=0;BufI<ItoA_Size;BufI++){
         ECODE=ItoA_A[BufI];
```

```
            LcdPutChar ();      LCDX++;
          }
          ECODE='n';
          LcdPutChar ();      LCDX++;
          ECODE='A';
          LcdPutChar ();      LCDX++;
        break;
case  2:   /*  TEMP   */
        ADT ();
        TBUF[RUN_COUNT]=AD_RESULT;
         AD_RESULT*=TRATE;
         LCDY=5;
         LCDX=7+Run_Format[3].namelen;
         ItoA_I=AD_RESULT;
         ItoA_Size=5;
         ItoA();
         if(ItoA_A[2]==' ') ItoA_A[2]='0';
         for(BufI=0;BufI<3;BufI++){
            ECODE=ItoA_A[BufI];
            LcdPutChar ();      LCDX++;
         }
         ECODE=0x7F;
         LcdPutChar ();      LCDX++;
         ECODE='C';
         LcdPutChar ();      LCDX++;
       RUN_COUNT++;
       if(RUN_COUNT>160){
         for(BufI=0;BufI<100;BufI++){
           for(BufJ=0;BufJ<(100-BufI);BufJ++){
              if(CBUF[BufJ+50]>CBUF[BufJ+51]){
                 TEMP=CBUF[BufJ+50]; CBUF[BufJ+50]=CBUF[BufJ+51];
                 CBUF[BufJ+51]=TEMP;
              }
              if(TBUF[BufJ+50]>TBUF[BufJ+51]){
                 TEMP=TBUF[BufJ+50]; TBUF[BufJ+50]=TBUF[BufJ+51];
                 TBUF[BufJ+51]=TEMP;
              }
           }
         }
                 CTOTAL=0;    TTOTAL=0;
                 for(BufI=70;BufI<130;BufI++){
                    CTOTAL+=CBUF[BufI]; TTOTAL+=TBUF[BufI];
                 }
                 CTOTAL/=60;     TTOTAL/=60;
                 TAddr=ChannelToAddr[Channel]+SetupSaddr[Channel];
                 SetupSaddr[Channel]++;
                 GetTime();
                 MeasureYear[TAddr]=Year;
                 MM[TAddr]=Mon;
                 MeasureDay[TAddr]=Day;
                 MeasureHour[TAddr]=Hour;
                 MeasureMin[TAddr]=Min;
                 MeasureCurrent[TAddr]=(int)(CTOTAL*CRATE);
                 MeasureTemp[TAddr]=(int)(TTOTAL*TRATE);
                 return;
               }
              break;
      }
      STATE++;
      if(STATE>2) STATE=0;
   }while(1);
}

/* Measure Run */
void  RunProc(void)
{
    ES=0;
    TCON.4=0;
    T0Check=0;
    TempError=0;
    if(SetupSaddr[Channel]>31){
        PIXELON=1;
        LCDX=7; LCDY=3; LCDW=16; LCDH=AddrErr_Format_Max ;
        LCD_3DBox();
        LCDY=3;
        for(BufI=0;BufI<AddrErr_Format_Max ;BufI++){
           LCDX=7;
```

```
    for(BufJ=0;BufJ<AddrErr_Format[BufI].namelen;BufJ++){
        ECODE=AddrErr_Format[BufI].name[BufJ];
        LcdPutChar();      LCDX++;
    }
    LCDY++;
}
KeyCheck();
PIXELON=0;
LCDX=7; LCDY=3; LCDW=16; LCDH=AddrErr_Format_Max ;
LCD_3DBox();
switch(KeyState){
    case ENTERKEY:
        for(BufI=1;BufI<=31;BufI++){
            TAddr=ChannelToAddr[Channel]+BufI;
            MeasureYear[TAddr-1]=MeasureYear[TAddr];
            MM[TAddr]=MM[TAddr-1];
            MeasureDay[TAddr-1]=MeasureDay[TAddr];
            MeasureHour[TAddr-1]=MeasureHour[TAddr];
            MeasureMin[TAddr-1]=MeasureMin[TAddr];
            MeasureCurrent[TAddr-1]=MeasureCurrent[TAddr];
            MeasureTemp[TAddr-1]=MeasureTemp[TAddr];
        }
        SetupSaddr[Channel]=31;
        break;
    default:
        T0Check=0;
        TCON.4=1;
        ES=1;
        return;
}
}

if(TEMP_ERROR==0){
    TempError=1;
    PIXELON=1;
    LCDX=7; LCDY=3; LCDW=16; LCDH=TempErr_Format_Max ;
    LCD_3DBox();
    LCDY=3;
    for(BufI=0;BufI<TempErr_Format_Max ;BufI++){
        LCDX=7;
        for(BufJ=0;BufJ<TempErr_Format[BufI].namelen;BufJ++){
            ECODE=TempErr_Format[BufI].name[BufJ];
            LcdPutChar();      LCDX++;
        }
        LCDY++;
    }
    KeyCheck();
    PIXELON=0;
    LCDX=7; LCDY=3; LCDW=16; LCDH=TempErr_Format_Max ;
    LCD_3DBox();
    switch(KeyState){
        case ENTERKEY:
            break;
        default:
            T0Check=0;
            TCON.4=1;
            ES=1;
            return;
    }
}
PIXELON=1;
LCDX=10; LCDY=4; LCDW=10; LCDH=1;
LCD_3DBox();
LCDY=4;   LCDX=10;
ECODE='W';   LcdPutChar();      LCDX++;
ECODE='a';   LcdPutChar();      LCDX++;
ECODE='i';   LcdPutChar();      LCDX++;
ECODE='t';   LcdPutChar();      LCDX++;
ECODE='i';   LcdPutChar();      LCDX++;
ECODE='n';   LcdPutChar();      LCDX++;
ECODE='g';   LcdPutChar();      LCDX++;
ECODE='.';   LcdPutChar();      LCDX++;
ECODE='.';   LcdPutChar();      LCDX++;
ECODE='.';   LcdPutChar();
LED_RUN_ON;
LCD_EL_OFF;
HIVOLT_ONOFF=1;
```

```
    HV_Enable ();
    Delay(1000);
    PIXELON=0;
    LCDX=10; LCDY=4; LCDW=10; LCDH=1;
    LCD_3DBox ();
    PIXELON=1;
    LCDX=5;LCDY=2;LCDW=16;LCDH=5;
    LCD_3DBox ();
    Run();
    HIVOLT_ONOFF=0;
    HV_Enable ();
    BuzzerError ();
    PIXELON=0;
    LCDX=5;LCDY=2;LCDW=16;LCDH=5;
    LCD_3DBox ();
    T0Check=0;
    TCON.4=1;
    ES=1;
    LED_RUN_OFF;
    Saddr=SetupSaddr[Channel]-1;
    LCD_EL_ON;
}

/*****************************************************************************/
/*                              ReadMenu                                     */
/*****************************************************************************/
void CurrentDisplay (void)
{
data unsigned int i;
data char zoom;
    for(zoom=0;zoom<C_ZoomRate_Max;zoom++){
        if(MeasureCurrent[ChannelToAddr[Channel]]/C_ZoomRate[zoom]<=6) break
        zoom++;
    }
    while(1){
        LcdClear();
        PIXELON=1;
        LCDSY=0;  LCDSX=48;  LCDEY=52;  LCDEX=LCDSX;
        LCD_LineY();
        PIXELON=1;
        LCDSY=52;  LCDSX=48;  LCDEX=239; LCDEY=LCDSY;
        LCD_LineX();
        LCDY=7;
        for(GRPx=0;GRPx<32;GRPx++){
            PIXELON=1;
            LCDPX=GRPx*6+48; LCDPY=53;
            LCD_PutPixel();
            if(GRPx%5==0){
                PIXELON=1;
                LCDPX=GRPx*6+48; LCDPY=54;
                LCD_PutPixel();
                LCDX=(GRPx*6+48)/8-1;
                ItoA_I=GRPx;
                ItoA_Size=2;
                ItoA();
                for(i=0;i<ItoA_Size;i++){
                    ECODE=ItoA_A[i];
                    LcdPutChar();      LCDX++;
                }
            }
        }
        LCDY=7;
        GRPx=0;
        for(GRPy=52;GRPy>=0;GRPy-=8){
            if(LCDY==0) break;
            PIXELON=1;
            LCDPX=47; LCDPY=GRPy;
            LCD_PutPixel();
            LCDY--;
            LCDX=0;
            ItoA_I=GRPx*C_ZoomRate[zoom];
            GRPx++;
            ItoA_Size=5;
            ItoA();
            for(i=0;i<ItoA_Size;i++){
                ECODE=ItoA_A[i];
                LcdPutChar();      LCDX++;
```

```
    }
}
for(GRPx=1;GRPx<SetupSaddr[Channel];GRPx++){
    i=ChannelToAddr[Channel]+GRPx;
    GRPy=52-(int)(MeasureCurrent[i-1]*8/C_ZoomRate[zoom]);
    GRPey=52-(int)(MeasureCurrent[i]*8/C_ZoomRate[zoom]);
    PIXELON=1;
    LCDSX=(GRPx-1)*6+48;LCDSY=GRPy;LCDEX=GRPx*6+48;LCDEY=GRPey;
    LCD_LineXY();
}
KeyCheck();
switch(KeyState){
    case UPKEY:
        zoom--;
        if(zoom<0) zoom=0;
        break;
    case DOWNKEY:
        zoom++;
        if(zoom>(C_ZoomRate_Max-1)) zoom=C_ZoomRate_Max-1;
        break;
    case ENTERKEY:
    case ESCKEY:
        return;
    default:
        break;
    }
  }
}

void TempDisplay(void)
{
data unsigned int i;
data char zoom;
  for(zoom=0;zoom<T_ZoomRate_Max;zoom++){
    if(MeasureCurrent[ChannelToAddr[Channel]]/T_ZoomRate[zoom]<=6) break;
    zoom++;
  }
  while(1){
LcdClear();
PIXELON=1;
LCDSY=0;  LCDSX=48;  LCDEY=52;  LCDEX=LCDSX;
LCD_LineY();
PIXELON=1;
LCDSY=52;  LCDSX=48;  LCDEX=239;  LCDEY=LCDSY;
LCD_LineX();
LCDY=7;
for(GRPx=0;GRPx<32;GRPx++){
    PIXELON=1;
    LCDPX=GRPx*6+48;  LCDPY=53;
    LCD_PutPixel();
    if(GRPx%5==0){
        PIXELON=1;
        LCDPX=GRPx*6+48;  LCDPY=54;
        LCD_PutPixel();
        LCDX=(GRPx*6+48)/8-1;
        ItoA_I=GRPx;
        ItoA_Size=2;
        ItoA();
        for(i=0;i<ItoA_Size;i++){
            ECODE=ItoA_A[i];
            LcdPutChar();      LCDX++;
        }
    }
}
LCDY=7;
GRPx=0;
for(GRPy=52;GRPy>=0;GRPy-=8){
    if(LCDY==0) break;
    PIXELON=1;
    LCDPX=47;  LCDPY=GRPy;
    LCD_PutPixel();
    LCDY--;
    LCDX=0;
    ItoA_I=GRPx*T_ZoomRate[zoom];
    GRPx++;
    ItoA_Size=5;
    ItoA();
```

```
    for(i=0;i<ItoA_Size;i++){
        ECODE=ItoA_A[i];
        LcdPutChar();       LCDX++;
    }
}
for(GRPx=1;GRPx<SetupSaddr[Channel];GRPx++){
    i=ChannelToAddr[Channel]+GRPx;
    GRPy=52-(int)(MeasureTemp[i-1]/100*8/T_ZoomRate[zoom]);
    GRPey=52-(int)(MeasureTemp[i]/100*8/T_ZoomRate[zoom]);
    PIXELON=1;
    LCDSX=(GRPx-1)*6+48;  LCDSY=GRPy;  LCDEX=GRPx*6+48;  LCDEY=GRPey;
    LCD_LineXY();
}
KeyCheck();
        switch(KeyState){
            case UPKEY:
                zoom--;
                if(zoom<0) zoom=0;
                break;
            case DOWNKEY:
                zoom++;
                if(zoom>(T_ZoomRate_Max-1)) zoom=T_ZoomRate_Max-1;
                break;
            case ENTERKEY:
            case ESCKEY:
                return;
            default:
                break;
        }
    }
}

void ReadProc(void)
{
data char countpos,countend;
data char readpos,lcdy;

    if(SetupSaddr[Channel]==0){
        PIXELON=1;
        LCDX=8; LCDY=3; LCDW=ReadErr_Format.namelen; LCDH=1;
        LCD_3DBox();
        for(countend=0;countend<ReadErr_Format.namelen;countend++){
            ECODE=ReadErr_Format.name[countend];
            LcdPutChar();       LCDX++;
        }
        KeyCheck();
        PIXELON=0;
        LCDX=8; LCDY=3; LCDW=ReadErr_Format.namelen; LCDH=1;
        LCD_3DBox();
        return;
}


readpos=6;
if(SetupSaddr[Channel]>6) countpos=SetupSaddr[Channel]-6;
else   countpos=0;
while(1){
    LcdClear();
    LCDY=0;
    LCDX=0;
    for(GRPy=0;GRPy<Read_Format_Max;GRPy++){
        if(GRPy==readpos){
            for(GRPx=0;GRPx<Read_Format[GRPy].namelen;GRPx++){
                ECODE=Read_Format[GRPy].name[GRPx];
                LcdRevPutChar();       LCDX++;
            }
        }
        else{
            for(GRPx=0;GRPx<Read_Format[GRPy].namelen;GRPx++){
                ECODE=Read_Format[GRPy].name[GRPx];
                LcdPutChar();          LCDX++;
            }
        }
}
PIXELON=1;
LCDSY=12;
LCD_AllX();
```

```
countend=countpos+6;
if(countend>SetupSaddr[Channel]) countend=SetupSaddr[Channel]
LCDY=1;
for(GRPy=countpos;GRPy<countend;GRPy++){
   TAddr=ChannelToAddr[Channel]+GRPy;
   LCDY++;
   LCDX=1;
   if((Channel/10)==0){
      ECODE=' ';      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   else{
      ECODE=Channel/10+'0';
      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   ECODE=Channel%10+'0';
   LcdPutChar();      LCDX++;
   LCDX++;

   if((GRPy/10)==0){
      ECODE=' ';      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   else{
      ECODE=GRPy/10+'0';
      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   ECODE=GRPy%10+'0';
   LcdPutChar();      LCDX++;
   LCDX++;

   if((MM[TAddr]/10)==0){
      ECODE=' ';      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   else{
      ECODE=MM[TAddr]/10+'0';
      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   ECODE=MM[TAddr]%10+'0';
   LcdPutChar();      LCDX++;
   ECODE='/';
   LcdPutChar();      LCDX++;

   if((MeasureDay[TAddr]/10)==0){
      ECODE=' ';      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   else{
      ECODE=MeasureDay[TAddr]/10+'0';
      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   ECODE=MeasureDay[TAddr]%10+'0';
   LcdPutChar();      LCDX++;
   LCDX++;

   if((MeasureHour[TAddr]/10)==0){
      ECODE=' ';      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   else{
      ECODE=MeasureHour[TAddr]/10+'0';
      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   ECODE=MeasureHour[TAddr]%10+'0';
   LcdPutChar();      LCDX++;
   ECODE=':';
   LcdPutChar();      LCDX++;
   if((MeasureMin[TAddr]/10)==0){
      ECODE=' ';      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   else{
      ECODE=MeasureMin[TAddr]/10+'0';
      LcdPutChar();      LCDX++;
   }
   ECODE=MeasureMin[TAddr]%10+'0';
   LcdPutChar();      LCDX++;
   LCDX++;

   ItoA_I=MeasureCurrent[TAddr];
   ItoA_Size=5;
   ItoA();
```

```
    for(GRPx=0;GRPx<ItoA_Size;GRPx++){
        ECODE=ItoA_A[GRPx];
        LcdPutChar();       LCDX++;
    }
    LCDX++;   LCDX++;
    ItoA_I=MeasureTemp[TAddr];
    ItoA_Size=5;
    ItoA();
    if(MeasureTemp[TAddr]<100)  ItoA_A[2]='0';
    for(GRPx=0;GRPx<3;GRPx++){
        ECODE=ItoA_A[GRPx];
        LcdPutChar();       LCDX++;
    }
}
KeyCheck();
switch(KeyState){
    case UPKEY:
        countpos--;
        if(countpos<=0) countpos=0;
        break;
    case DOWNKEY:
        countpos++;
        if(countpos>=SetupSaddr[Channel]) countpos=SetupSaddr[Channel]-1
        break;
    case LEFTKEY:
        if(readpos==6) readpos=7;
        else readpos=6;
        break;
    case RIGHTKEY:
        if(readpos==6) readpos=7;
        else readpos=6;
        break;
    case ENTERKEY:
        if(readpos==6) CurrentDisplay();
        else  TempDisplay();
        break;
    case ESCKEY:
        return;
    default:
            break;
        }
    }
}


/*****************************************************************************/
/*                              PrintMenu                                    */
/*****************************************************************************/
void PrintInit(void)
{
    PRT_FEED=1;
}

void Print(void)
{
    TCON.4=0;
    T0Check=0;
    TCON.4=1;
    while(PRT_BUSY==1){
        IoInCs=read_XDATA(IO_IN_CS);
        IoInCs&=PRT_PE;
        if(IoInCs==PRT_PE){
            Prt_Error=1;
            return;
        }
        if(T0Check>40){
            Prt_Error=1;
            return;
        }
    }
    write_XDATA(PRT_STROBE,Prt_Code);
    Prt_Error=0;
}

/* Select Data Print */
void PrintProc(void)
{
```

```
data unsigned int i,j;
data unsigned char c;

    LCD_EL_OFF;
    IoInCs=read_XDATA(IO_IN_CS);
    if((IoInCs&PRT_PE)==PRT_PE){
        LCD_EL_ON;
        return;
    }
    Addr=Saddr;
    PrintCount=0;
    PIXELON=1;
    LCDX=10; LCDY=4; LCDW=10; LCDH=1;
    LCD_3DBox();
    LCDY=4;
    LCDX=10;
    for(j=0;j<Print_Name.namelen;j++){
        ECODE=Print_Name.name[j];
        LcdPutChar();
        LCDX++;
    }
    TAddr=ChannelToAddr[Channel]+Saddr;
    for(j=0;j<60;j++)     PrintData[j]=0x20;

    if((MeasureYear[TAddr]/10)==0)    PrintData[PrintCount++]=' '
    else      PrintData[PrintCount++]=MeasureYear[TAddr]/10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=MeasureYear[TAddr]%10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=0xF2;

    if((MM[TAddr]/10)==0)       PrintData[PrintCount++]=' ';
    else      PrintData[PrintCount++]=MM[TAddr]/10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=MM[TAddr]%10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=0xF3;

    if((MeasureDay[TAddr]/10)==0){
        PrintData[PrintCount++]=' ';
    }
    else{
        PrintData[PrintCount++]=MeasureDay[TAddr]/10+'0';
    }
    PrintData[PrintCount++]=MeasureDay[TAddr]%10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=0xF4;

    PrintCount=13;
    if((MeasureHour[TAddr]/10)==0)    PrintData[PrintCount++]='
    else   PrintData[PrintCount++]=MeasureHour[TAddr]/10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=MeasureHour[TAddr]%10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=0xF5;

    if((MeasureMin[TAddr]/10)==0)  PrintData[PrintCount++]=' ';
    else   PrintData[PrintCount++]=MeasureMin[TAddr]/10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=MeasureMin[TAddr]%10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=0xF6;

    PrintCount=27;
    if((Channel/10)==0)   PrintData[PrintCount++]=' ';
    else   PrintData[PrintCount++]=Channel/10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=Channel%10+'0';

    PrintCount=37;
    if((Saddr/10)==0)  PrintData[PrintCount++]=' ';
    else   PrintData[PrintCount++]=Saddr/10+'0';
    PrintData[PrintCount++]=Saddr%10+'0';

    PrintCount=43;
    ItoA_I=MeasureCurrent[TAddr];
    ItoA_Size=5;
    ItoA();
    for(j=0;j<ItoA_Size;j++)
       PrintData[PrintCount++]=ItoA_A[j];
    PrintData[PrintCount++]='n';
    PrintData[PrintCount++]='A';
    PrintCount=55;
    ItoA_I=MeasureTemp[TAddr];
    ItoA_Size=5;
    ItoA();
    if(MeasureTemp[TAddr]<100)  ItoA_A[2]='0';
```

```
for (j=0;j<3;j++)
    PrintData [PrintCount ++]=ItoA_A [j];
PrintData [PrintCount ++]=0xDF;
PrintData [PrintCount ++]='C';

for (i=0;i<2;i++){
    for (j=0;j<Print_Format [i].namelen ;j++){
        Prt_Code =Print_Format [i].name [j];
        Print ();
    }
    Prt_Code =CR;       Print ();
    Prt_Code =LF;       Print ();
}
for (;i<Print_Format_Max ;i++){
    for (j=0;j<Print_Format [i].namelen ;j++){
        Prt_Code =Print_Format [i].name [j];
        Print ();
    }
    for (j=0;j<10;j++){
        Prt_Code =PrintData [(i-2)*10+j];
        Print ();
    }
    Prt_Code =CR;       Print ();
    Prt_Code =LF;       Print ();
}
for (j=0;j<20;j++){
    Prt_Code ='=';
    Print ();
}
Prt_Code =CR;    Print ();
Prt_Code =LF;    Print ();
Prt_Code =CR;    Print ();
Prt_Code =LF;    Print ();
Prt_Code =CR;    Print ();
Prt_Code =LF;    Print ();
Prt_Code =CR;    Print ();
Prt_Code =LF;    Print ();
Prt_Code =CR;    Print ();
Prt_Code =LF;    Print ();

    PIXELON=1;
    LCDX=10; LCDY=4; LCDW=10; LCDH=1;
    LCD_3DBox ();

    LCD_EL_ON ;
}

/*****************************************************************************/
/*                              UploadMenu                                   */
/*****************************************************************************/
/* Upload To PC */
void UploadProc (void)
{
data unsigned int i;
    if (Channel >99){
        SCOUNT =0;
        RBUF [SCOUNT ++]=STX;
        RBUF [SCOUNT ++]='N';
        RBUF [SCOUNT ++]='4';
        RBUF [SCOUNT ++]='0';
        RBUF [SCOUNT ++]='2';
        RBUF [SCOUNT ++]='0';
        RBUF [SCOUNT ++]=ETX;
    }
    else{
        if (Saddr >=SetupSaddr [Channel ]){
            SCOUNT =0;
            RBUF [SCOUNT ++]=STX;
            RBUF [SCOUNT ++]='N';
            RBUF [SCOUNT ++]='4';
            RBUF [SCOUNT ++]='0';
            RBUF [SCOUNT ++]='2';
            RBUF [SCOUNT ++]='1';
            RBUF [SCOUNT ++]=ETX;
        }
        else{
            i=ChannelToAddr [Channel ]+Saddr;
```

```
SCOUNT=0;
RBUF[SCOUNT++]=STX;
RBUF[SCOUNT++]='P';
RBUF[SCOUNT++]='4';
RBUF[SCOUNT++]='0';
RBUF[SCOUNT++]=Channel/10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=Channel%10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=Saddr/10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=Saddr%10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureYear[i])/10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureYear[i])%10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MM[i])/10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MM[i])%10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureDay[i])/10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureDay[i])%10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureHour[i])/10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureHour[i])%10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureMin[i])/10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureMin[i])%10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureCurrent[i])/10000+'0';
RBUF[SCOUNT++]=((MeasureCurrent[i])%10000)/1000+'0'
RBUF[SCOUNT++]=((MeasureCurrent[i])%1000)/100+'0';
RBUF[SCOUNT++]=((MeasureCurrent[i])%100)/10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureCurrent[i])%10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureTemp[i])/10000+'0';
RBUF[SCOUNT++]=((MeasureTemp[i])%10000)/1000+'0';
RBUF[SCOUNT++]=((MeasureTemp[i])%1000)/100+'0';
RBUF[SCOUNT++]=((MeasureTemp[i])%100)/10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=(MeasureTemp[i])%10+'0';
RBUF[SCOUNT++]=ETX;
        }
    }
    WriteSerial();
}
```