

携帶型 油中가스 分析裝置의 開發

1. 머리말

요사이 變壓器를 비롯한 油入電氣機器의 신뢰성향상, 사고·장해의 미연방지란 견지에서 豫防 또는 豫測保全의 중요성이 점점 높아지는 경향에 있다. 종래부터 油入機器의 유지 보수·관리 항목의 하나로 가스 크로마토그래프法에 의한 油中溶存가스 分析이 채용되어 절연유중에 용존하는 가스成分과 濃度の 측정 결과로써 機器內部の 異常을 診斷하여 왔다.

그러나 가스 크로마토그래프 分析은 分析코스트가 高價여서 그 대상은 주요기에 한정되고 다른 기기에 대하여는 실행되지 않고 있는 실정이다. 이와 같은 배경하에 기기의 고신뢰도화를 도모하기 위하여 가스센서를 사용한 간편한 진단장치가 최근 몇가지 보고되고 있다. 日新電氣에서도 지난해에 可搬式 油中水素가스 計測裝置 “HYDOLL”을 商品化하여 現場에서 變壓器異常의 有無를 檢出하는 필드스크리닝(1차진단)에 의한 메인テナンス코스트의 대폭적인 저감을 가능하게 하였다.

통상적으로 1차진단장치에서는 測定對象가스로 傾向管理를 목적으로 하는 水素(H₂)가스가 사용되어 왔으나 최근에는 아크放電, 部分放電에 의하여 발생하는 아세틸렌(C₂H₂) 가스가 卽應性이 있는 점이 주목되어, 손쉽고 간편한 계측수단의 개발이 요망되어 왔다.

이번에 우리는 이 요망에 부응하기 위하여 현지에서 간편하게 단시간내에 아세틸렌과 水素의 양쪽 가

스를 동시에 계측할 수 있는 携帶型油中가스分析裝置를 시작하였다. 본고에서는 油中아세틸렌가스 計測에 의한 유입전기기의 內部異常豫知에 대하여 기술함과 아울러 개발한 携帶型油中가스分析裝置의 기본특성, 구조, 특징 등에 대하여 그 개요를 소개한다.

2. 油中아세틸렌 및 水素가스計測에 대한 油入機器의 內部異常豫知

2.1 油中分解가스의 發生

變壓器, 리액터 등의 고전압유입전기기의 내부에서 운전중에 접촉불량, 국부과열, 부분방전 또는 아크방전 등의 異常이 발생하였을 경우, 절연유나 고체절연물의 일부가 熱分解하여 가스화되어 절연유중에 용해된다. 이 分解가스의 종류와 그 원인이 되는 異常의 종류는 대략 표 1에 표시하는 것과 같다.

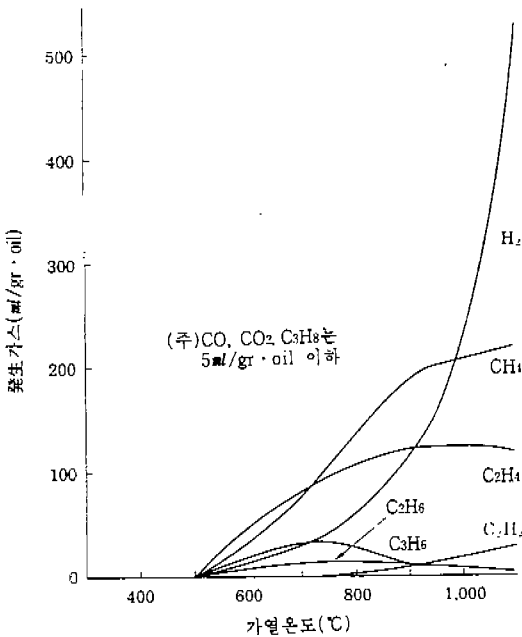
異常의 종류에 따라 발생하는 가스成分도 다른데, 이것은 이상발생개소의 온도상승이 다르기 때문이라고 생각된다. 절연유의 加熱溫度와 발생하는 分解가스의 량과 종류에 대해 검토한 결과를 그림 1에 표시하였다. 加熱溫度 즉 異常發生部의 상황에 따라서 分解가스의 발생량도 달라지는 것을 알 수 있다.

실제의 변압기, 리액터의 경우, 절연유와 고체절연물의 複合構成이라는 점과 여러 가지 現象(예를 들면 過熱과 아크放電)이 同時에 發生하는 경우도 있으므로 分解가스는 중첩되어 發生하여 油中에 溶存하게 된다.

〈표 1〉 異常種類에 따른 發生가스成分

이상의 종류	주된 발생가스
절연유의 과열	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈
油浸固體絶緣物の 과열	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈
절연유중의 방전	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆
油浸固體絶緣物の 방전	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆

H₂(수소) CH₄(메탄) C₂H₆(에탄)
 CO(일산화탄소) C₂H₂(아세틸렌) C₃H₆(프로필렌)
 CO₂(이산화탄소) C₂H₄(에틸렌) C₃H₈(프로판)



〈그림 1〉 絶緣油의 溫度와 熱分解가스

2.2 分解가스의 發生패턴

실제 운전되고 있는 변압기에서 얻은 分解가스成分은 그 異常原因과 관련하여 주로 4종의 다른 分布 패턴으로 대별할 수 있으며, 異常內容과 대비시킨 것이 보고되어 있다.

그 보고에 의하면 아세틸렌主導型에서는 아크방전이, 水素主導型에서는 아크방전이나 부분방전이, 메탄, 에틸렌主導型에서는 국부과열이 주된 異常原因인데, 구체적인 異常樣相과 상세한 패턴과의 관련은 變壓器

개개의 구조, 사용재료, 이상의 양상에 따라 여러 가지이다.

2.3 内部異常判定

油中溶存가스分析에 의한 이상진단은 일반적으로 특정가스의 量과 可燃性가스總量으로 판정된다. 그 판정기준으로서는 대략 표 2, 표 3에 표시하는 數値가 채용되고 있다. 溶存가스濃도가 要注意레벨 또는 異常레벨을 넘을 경우라든가, 아세틸렌에 대하여는 數値의 설정은 없으나 微量이라도 검출되었을 경우에는 통상 그림 2의 절차에 의하여 종합진단을 하고 있다.

2.4 아세틸렌 및 水素가스의 發生事例

이상에서 기술한 바와 같이 油中溶存가스分析은 유입전기기의 내부이상을 발견 또는 異常原因調査를 위한 方法으로서 대단히 우수하지만 다음에 표시하는 것과 같이 이상유무의 판정은 油中溶存아세틸렌 및 水素가스의 측정에 의해 가능하다고 할 수 있다.

(1) 油中溶存가스分析에서 대상이 되는 가스成分 9種(표 1 참조) 중 微量이라도 검출되었을 경우에 異常(방전현상)이라고 판단되는 成分은 아세틸렌가스이다. 표 4는 實變壓器가 油中溶存가스分析으로 異常이라고 판단된 것의 한 例이며, 해체 결과 1차측 W相코일이 層間短絡되어 2회로 並列捲線(계 4本) 중 素線 1本이 斷線되어 放電이 발생한 것이다. 이 케이스에서는 가스成分 6種의 濃도가 要注意레벨(표 2 참조) 또는 異常레벨(표 3 참조)을 넘지 않았음에도 불구하고 아세틸렌가스가 검출되고 있다.

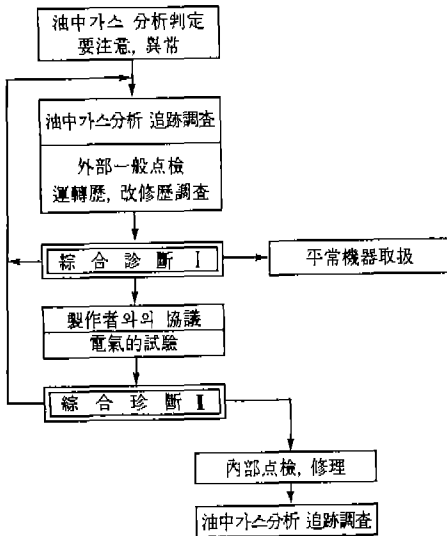
〈표 2〉 要注意 레벨

變壓器定格		총 가스 량(ppm)					
		TCG	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	CO
275kV 이하	10MVA 이하	1,000	400	200	150	300	300
	10MVA 초과	1,000	400	200	150	300	300
500kV	—	400	300	100	50	100	200

(주) C₂H₂는 微量이라도 要注意
 TCG: 可燃性가스 總量

〈표 3〉 異常 레벨

變壓器定格		油中 가스 량(ppm)					
		TCG	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	CO
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



〈그림 2〉 綜合 診 斷 순서 의 一 例

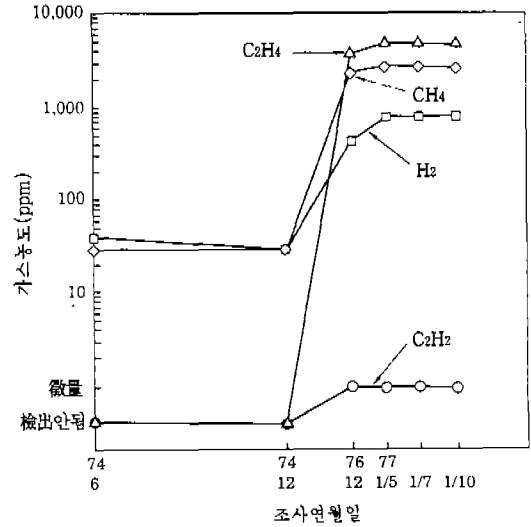
(2) 内部異常의 발견에 수반하여 水素 가스 濃度는 著실하게 增大하는 傾向이 있다. 그림 3은 實變壓器가 油中溶存 가스 分析으로 異常으로 判斷된 것의 한 例이며, 解體結果, 無電壓變換器의 操作로트의 커플링부가 접촉불량이었기 때문에 누설 磁束에 의한 순환전류로 국부과열이 발생한 것이다. 이 케이스에 서는 메탄, 에틸렌이 많이 발생하고 있는데 수소 가스 도 증가하는 傾向이 현저하게 나타나고 있다.

(3) 또한 異常이 進行된 例를 표 5에 표시하는 데 어는 것이나 油中 가스 分析에 依하여 事故를 미연에 방지할 수 있었던 예이다.

이와 같이 油中 아세틸렌 및 수소 가스 가 유입 전 기 기의 내부 이상 유무를 판정하는 지표가 될 수 있는 것 을 알 수 있다.

〈표 4〉 가스 分析 結果

油中 가스 량(ppm)							
H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂	TCG
222	32	10	10	34	190	327	490



〈그림 3〉 C₂H₂, H₂, CH₄, C₂H₄ 가스 濃度의 經時 變化

〈표 5〉 C₂H₂, H₂ 가스 발생 한 例

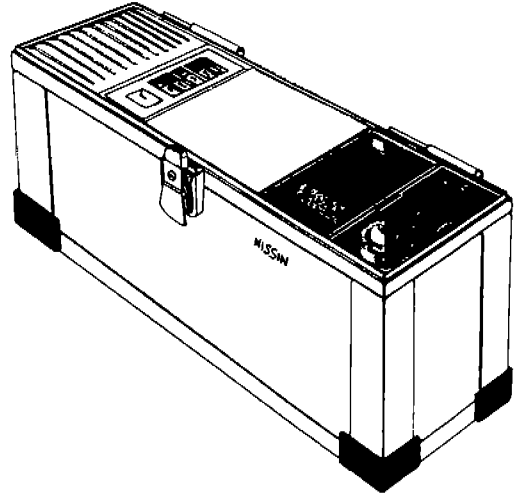
대상 기기	정 상 시 (ppm)		異 常 檢 知 (ppm)		이상 부위
	CH ₄	C ₂ H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	
변압기 77kV 10MVA	CH ₄	5	CH ₄	1,007	탭체인저의 접촉부과열
	C ₂ H ₆	ND	C ₂ H ₆	67	
	C ₂ H ₄	ND	C ₂ H ₄	1,302	
	C ₃ H ₈	ND	C ₃ H ₈	11	
	C ₃ H ₆	ND	C ₃ H ₆	289	
	C ₂ H ₂	ND	C ₂ H ₂	2,573	
	H ₂	23	H ₂	3,135	
분 로 리액터 77kV 40MVA	가연성 가스	220	가연성 가스	11,800	捲線의 핀소트
	C ₂ H ₂	ND	C ₂ H ₂	20	
	H ₂	18	H ₂	1,540	
	(탄화수소 가스총량)	162	(탄화수소 가스총량)	10,160	

3. 携帶型 油中 가스 分析 裝置

이번에 보고하는 携帶型 油中 가스 分析 裝置는 기본 구성으로서 공기 순환 방식에 依한 유중 용존 가스 의 추

〈표 6〉 装置의仕様

항목	내용
측정대상가스	C ₂ H ₂ (아세틸렌) H ₂ (수소)
측정범위	C ₂ H ₂ : 5 ~ 999ppm H ₂ : 10 ~ 2,000ppm
가스抽出방법	空氣吸入에 의한 과블링法
측정방식	C ₂ H ₂ : 非分散型 赤外線吸收式센서 H ₂ : 半導體센서
측정油量	90ml
측정시간	4min
표시방식	프린터인쇄
치수	(W) 550 × (D) 200 × (H) 250mm
중량	약 10kg
전원	AC 100V



〈그림 4〉 装置 이미지圖

출 및 적외선 이용에 의한 아세틸렌가스 농도의 측정과 半導體센서에 의한 수소가스 농도의 측정으로 되어 있다.

熟練不要, ③ 小型·輕量 등 많은 장점을 이어받고 있다.

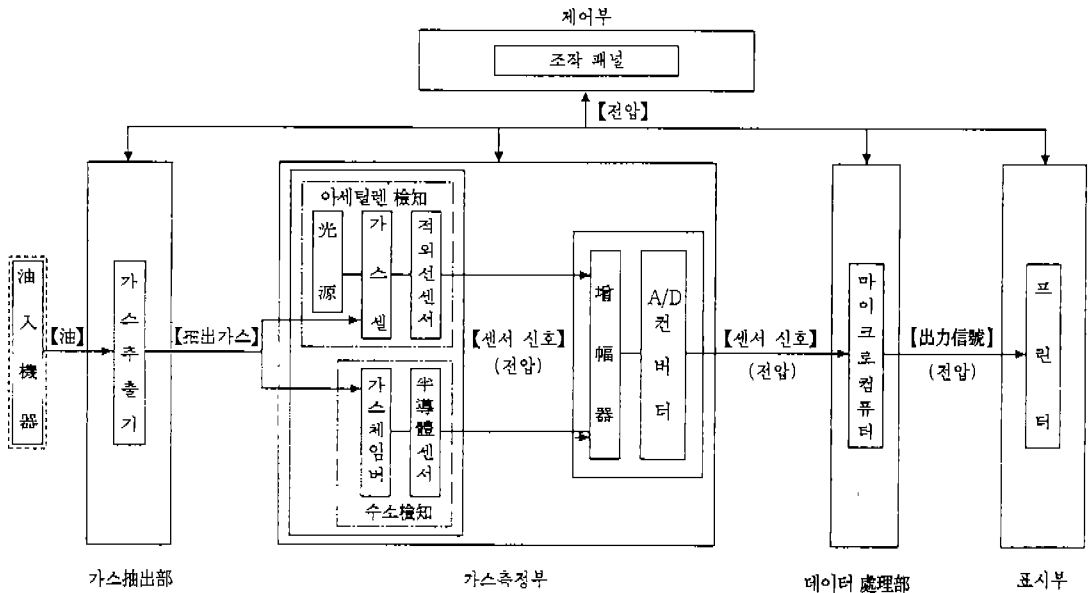
3·1仕様 및 特徵

携帶型 油中가스分析装置의仕様을 표 6 에 또 그림 4 에는 外觀 이미지圖를 표시한다. 이 装置는 "HYDOLL" 의 장점인 ① 단시간 측정, ② 측정에

3·2 構成

(1) 装置構成

이 装置의 블록構成을 그림 5 에 표시한다. 이 装置는 가스抽出部, 가스測定部, 데이터處理部, 表示部 및 制御部로 되어 있다.



〈그림 5〉 装置의 블록구성

(2) 油中가스抽出部の 構成

이 裝置는 공기순환방식에 의한 가스抽出方法을 채용하고 있으며 가스 抽出部의 配管系統을 그림 6에 표시한다.

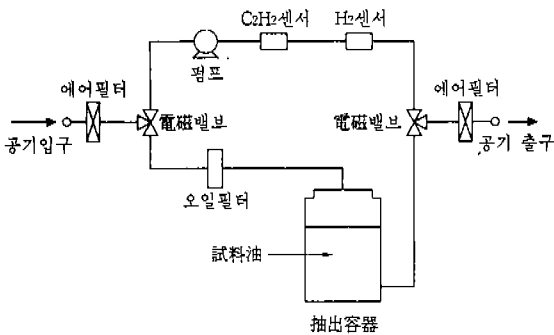
기본적으로는 試料油에서 가스를 抽出하는 가스抽出容器, 가스를 試料油에 導入하고 또한 抽出가스를 순환시키기 위한 펌프, 測定 또는 내부환기를 하기 위한 전자밸브 및 이들을 驅動하기 위한 시퀀스制御部로 構成되어 있다.

(3) 아세틸렌가스의 測定

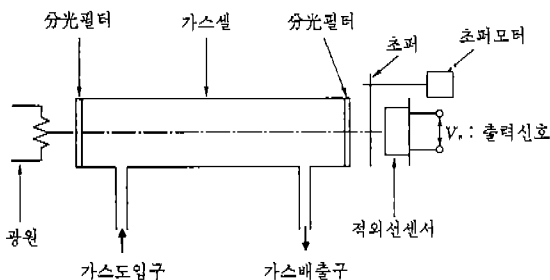
가스의 檢出·定量에는 赤外線吸收를 이용한 가스센서로서 구조가 간단하고 안정성이 높은 非分散型赤外線吸收法(NDIR)을 채용하고 있으며 그 구성을 그림 7에 표시한다.

기본적으로는 적외선을 발생하는 先源 赤外線吸收량을 측정하는 적외선센서, 아세틸렌가스를 選擇하는 分光필터 등으로 구성된다. 일반적으로 둘 이상의 다른 원자로 구성된 가스分子는 赤外線領域에 고유의 吸收波長을 가지고 있다.

이 아세틸렌가스센서는 아세틸렌가스가 가스셀內



〈그림 6〉 가스 抽出部의 配管系統



〈그림 7〉 아세틸렌 檢知部의 構成

에 도입되면 赤外線량이 변화하고 그 변화량이 가스濃도와 상관관계가 있으므로 계속수단으로 사용되고 있다.

(4) 水素가스 濃도의 測定

가스의 檢出·定量에는 可燃性가스센서로서 사용 실적이 많은 酸化朱錫(SnO₂)를 사용한 반도체센서를 水素가스만을 검지하도록 구성하는 것으로 다른 可燃性가스가 誤差로 되는 일은 거의 없는 구조로 되어 있다.

이 수소가스센서는 수소가스에 접촉하면 전기저항이 변화하고 그 변화량이 가스濃도와 상관관계가 있는 것을 이용하고 있다.

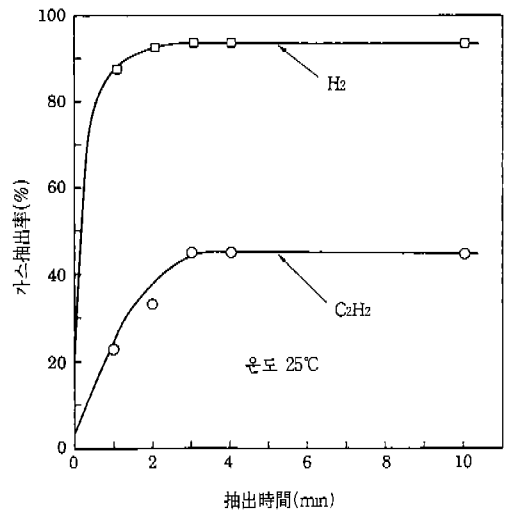
3.3 가스 抽出條件

이 裝置의 基本特性으로서는 試料油中の 溶存아세틸렌 및 수소가스를 공기중에 확산, 抽出하여 氣液平衡으로 할 것이 要求된다.

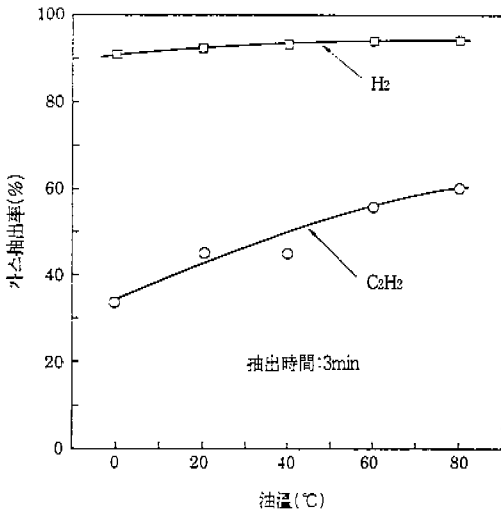
氣液平衡이 되는 條件에 관하여 檢討한 결과를 다음에 든다.

(1) 抽出時間의 영향

공기순환유속, 空氣吸入氣泡徑 및 측정온도를 일정하게 한 경우의 抽出時間과 抽出率의 관계를 그림 8에 표시한다.



〈그림 8〉 抽出時間과 가스 抽出率



〈그림 9〉 가스抽出率의 溫度依存性

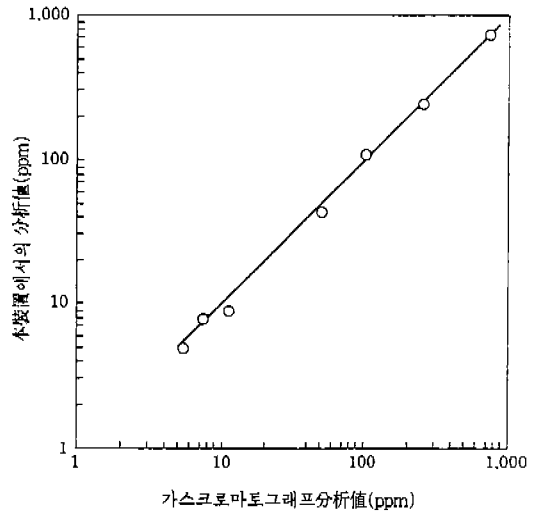
이와 같이 본裝置에서는 抽出時間 3分으로 兩가스 다 충분히 氣液平衡에 이르고 있다.

(2) 油溫의 영향

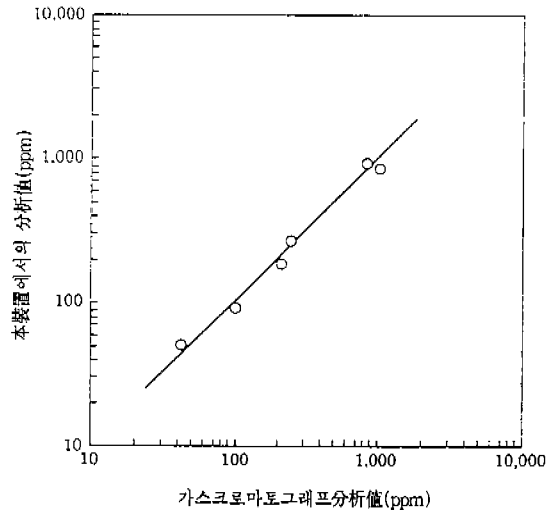
그림 9 는 油中가스의 抽出率의 온도의존성을 나타낸 것인데 油中溶存아세틸렌가스의 抽出率에 온도의존성이 있음을 알 수 있으며 농도계측시 이 점을 고려할 필요가 있다.

3·4 가스크로마토그래프 測定値와 對比例

이 裝置의 측정치와 종래부터 시행하고 있는 가스 크로마토그래프分析法의 측정치를 對比하여 그림 10, 그림 11 에 표시하는데 兩者는 잘 일치하고 있음이 확인되었다.



〈그림 10〉 아세틸렌가스의 出力對比



〈그림 11〉 水素가스의 出力對比

3·5 아세틸렌 및 수소가스 이외의 妨害가스의 影響

이 裝置에 채용하고 있는 아세틸렌 및 水素가스센서는 각각 가스 選擇性이 대단히 우수하다.

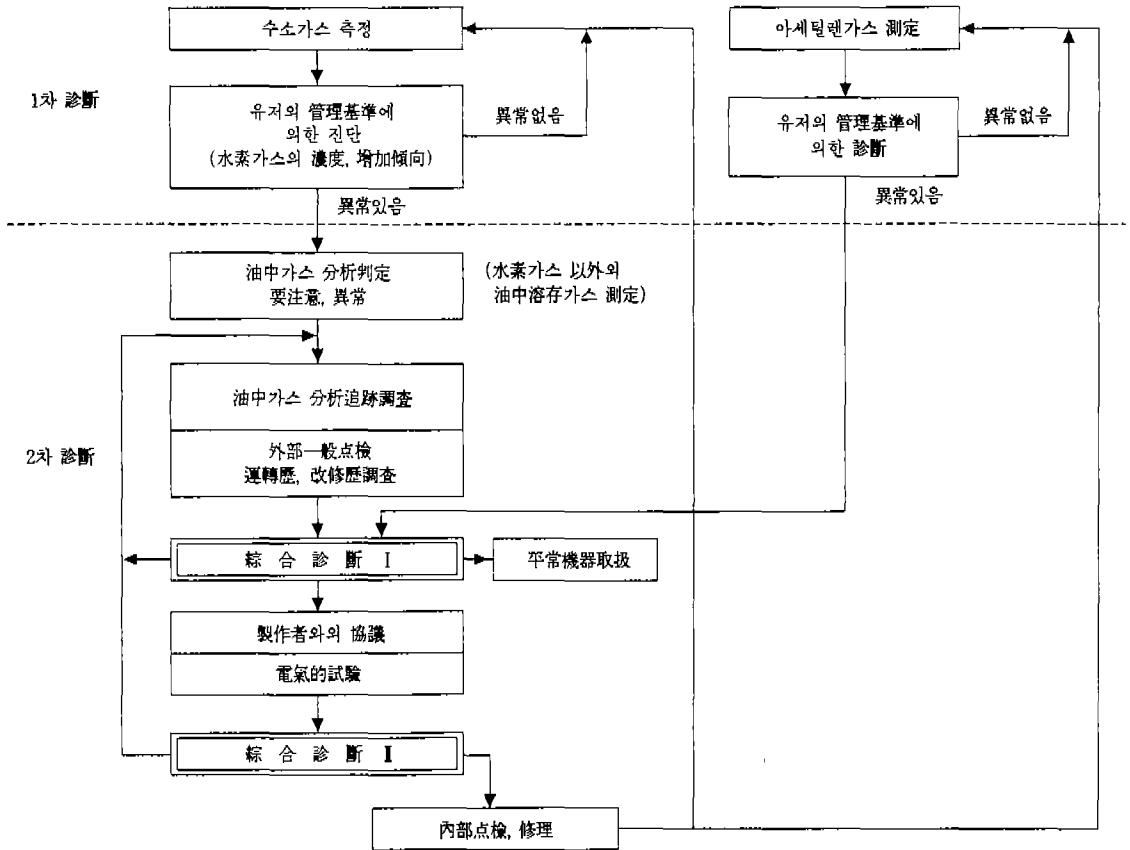
그 一例로서 가스크로마토그래프 分析으로 얻을 수 있는 9종의 가스成分에 대하여 兩센서의 應答性を 조사하였다.

應答性은 一定濃度의 각종 가스에 의한 센서가 표시하는 濃度出力을 아세틸렌 및 수소가스에 대비하였다.

결과를 표 7 에 표시하는데 妨害가스의 應答性은

〈표 7〉 妨害가스의 影響

가스의 종류	응답성	
	아세틸렌가스센서	수소가스센서
C ₂ H ₂	100%	0.2%
H ₂	없음	100%
CO ₂	0.25%	없음
C ₃ H ₈	0.25%	없음
CO	없음	0.2%
CH ₄	없음	0.05%
C ₂ H ₄	없음	0.05%
C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆	없음	없음



〈그림 12〉 診斷節次의 一例

어느 가스에서도 0.25% 以下로 되어 있고 油中아세틸렌 및 水素가스濃度測定值에의 영향은 거의 없다.

3.6 綜合診斷節次

이 裝置를 使用하여 油入機器의 內部異常을 診斷을 경우 그림 12의 방법으로 진단을 진행하는 것이 바람직하다고 생각한다.

여기서 注目하여야 할 것은 水素가스 測定에서는 一時点的 측정결과로 내부이상을 즉시 판단하는 것이 아니라, 그 후의 追跡調査(傾向管理) 및 필요에 따라 가스크로마토그래프法에 의한 다른 가스成分의 分析(2차 진단)이 중요시 된다는 것이며 이에 대하여 아세틸렌가스 측정에서는 一時点的 측정결과로 내부異常을 即斷的으로 判斷하고 있다는 것이다.

4. 맺음말

이상 이번에 개발한 携帶型 油中가스分析裝置에 대하여 그 개략적인 것을 소개하였다.

앞서 제품화한 可搬式油中水素가스計測裝置 “HYDO LL”에 의한 진단은 油中水素가스分析의 추적조사에 의한 기기내부의 傾向管理를 목적으로 한 것이지만 여기에 아세틸렌가스의 검출기능을 附加한 本裝置에서는 긴급·신속한 대응도 가능하게 되어 油入機器의 異常豫知面에서의 필드스크리닝에서 특히 사고의 미연 방지에 지대한 효과를 발휘할 것으로 기대되고 있다.