

Sensor에 있어서 M.I CABLE이란 무엇인가?

배길호 / 한다솜 계기

M.I CABLE(Mineral Insulating Cable)

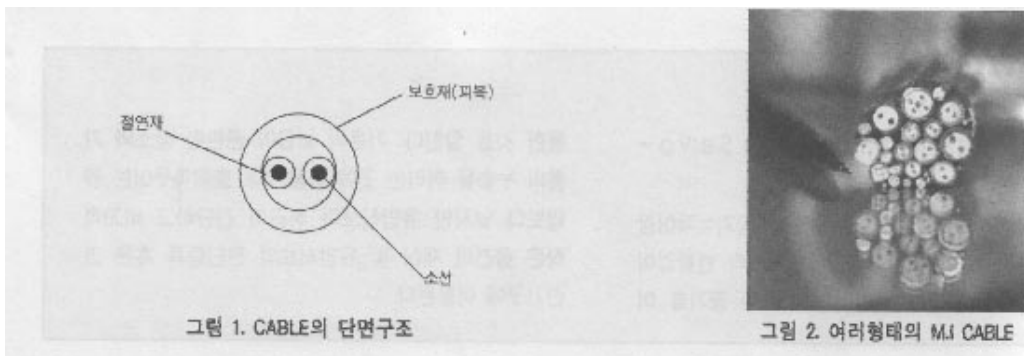
CABLE이라고 하면 우선 우리가 흔히 사용하고 있는 전기선을 연상한다. CABLE의 구조는 어떤 전기적 기능을 갖는 소선(도체)이 있고 이 소선이 전기적으로 절연되도록 절연재로 피복시켰다. 그 절연재는 기계적, 열적, 전기적 문제로부터 보호할 수 있는 용도의 재료로 피복(SHEATHED)되어 있다. 이 CABLE 구조는 사용용도에 따라 여러가지 재료의, 형태로 설계·제작된다.

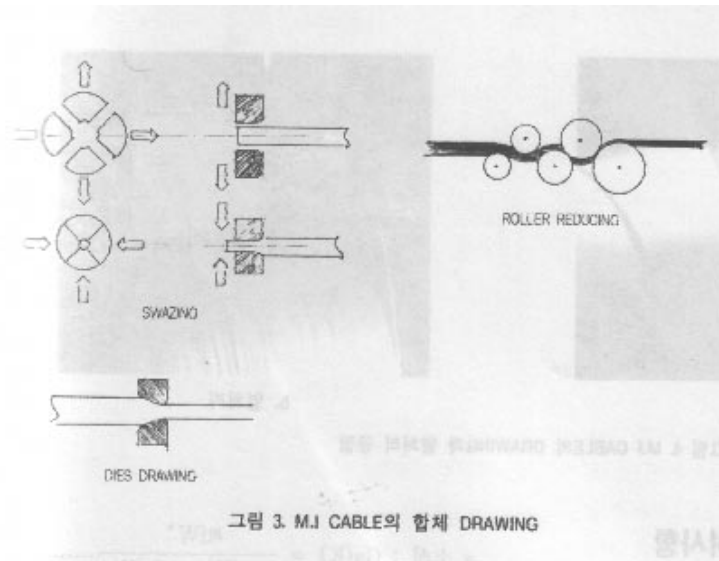
예를 들면, 가장 흔하게 사용하는 전력선에서 소선은 일반동선이고 동선을 감싸는 절연재는 보통 용도로는 일반 PVC이고, 내열용으로는 SILICONE, 불소수지 등을 사용한다. 그리고 외각의 SHEATH 재는 용도에 따라 천연고무재와 PVC, SILICONE, 불소수지 등을 내열용으로 사용한다.

(1) M.I CABLE의 구조는 일반 CABLE과 비교하여 구조와 용도가 비슷한데 일반 CABLE 이 사용할 수 없는 약조건이나 일반조건에서도 긴 수명이 요구되는 현장에 적용된다. 그런 뛰어난 능력을 갖도록 하기 위해 CABLE의 보호 외피는 금속(SHEATED METAL)으로 되어 있다.

(2) 절연재는 무기절연재(MINERAL INSULATOR)로 소선간의 소선과 금속보호관간의 절연을 유지해주는 역할을 한다. M.I CABLE의 굵힘이 있을 경우 위치를 고정시켜 주며 절연 및 내전압을 유지하게 하고 고온에 노출되었을 때에도 무기절연재의 내열특성에 의해 절연이 유지된다. 무기절연재(MINERAL INSULATOR)의 첫 자를 따서 M.I CABLE 이라고 부른다.

(3) 소선은 일반 CABLE처럼 여러 가닥의 선을 집합시키는 방식이 아니라 단일선으로 심을 구성한다. 소선의 수는 1선, 2선





(Simplex), 3선, 4선(Duplex), 6선(Triplex) 등 용도에 따라 제작할 수 있으나 일반 CABLE처럼 많은 극수의 소선을 구성하는데에는 내부 단면적의 제약으로 제조상 어려움이 있다(그림 2).

M.I CABLE의 제조방법

구조적 특성상 외피 보호관인 금속 SHEATH 관과 기능소선과 절연재가 합체 상태로 조립하여 3소재를 일체화시킨 것이다. 그러므로 금속 SHEATH 내에 절연재와 소선을 넣은 후 압축작업을 통해 금속 SHEATH관의 외경을 작게 함으로서 내부 절연재의 충전밀도를 높인다. 외경이 작아진 만큼 금속 SHEATH 관의 길이는 길어지고 SHEATH 관의 두께와 소선의 구경도 일정비율로 감소한다.

1. 압축방법

압축에는 SWAZING 작업방법, 여러 단계의 SIZE의 롤러를 거쳐 압축하는 REDUCER방법, 금속선의 신선용 다이스와 같은 종류인 다이스로 DRAWING을 통해 압축하는 3가지 방법이 있다.

위의 방법 중 CABLE과 같이 LONG

SIZE를 경제적으로 제작하고 SHEATH외경을 4.8Diamm 이하의 CABLE은 DIES 공법으로 가능하다.

2. 제조공정

M.I CABLE의 제조공정은
 ① 소선세척, 금속 TUBE 내부세척, 절연재 MgO 건조 →
 ② 소선과 MgO TUBE 조립 → ③ 선단부 압축작업 → ④ 다이스 통과 및 권취 → ⑤ DRAWING → ⑥ 열처리 과정을 거쳐 제작한다.

여기서, ① 소선, 금속 TUBE 내부는 맨손으로 만지거나 기름 등 주변의 불결한 환경에 노출시켜서는 안된다. 절연재인 MgO는 작업중에 충분히 건조시켜야 한다. “충분히”의 의미는 적정한 온도와 시간을 뜻하며 MgO 보관 상황에 따라 결정한다.

② 소선, 절연재, TUBE를 조립하는 3소재를 조립하는 공정은 매우 까다롭고 어렵더라도 그 과정에서 절연재 등을 오염시켜서는 안된다.

③ 선단부 압축작업은 현재의 TUBE SIZE보다 작은 DIES를 통과해야 하므로 권취할 수 있는 길이만큼 압축하여 다이스 공을 통과시키고 권취시킨다.

④ DRAWING은 정속도로 하며, 감면율은 SHEATH 재료에 따라 다르다.

⑤ 냉간 DRAWING 과정을 반복하면 경도가 높아지는데, 경도 HV340 정도가 되면 CABLE 자체가 끊어지고 내부의 소선이 단선되는 경우가 생긴다. 일반적으로 소둔, 열처리는 HV320정도에서 하는데, 방식은 열처리로 목적에 따라 다양할 수 있으나 SHEATH 재료가 스테인리스 강 계통은 약 1100℃, Cu 계통 약 700℃에서 처리한다.

설계단계에서 SHEATH 재와 소선재의 용융점(MELTING POINT)을 고려해야 열

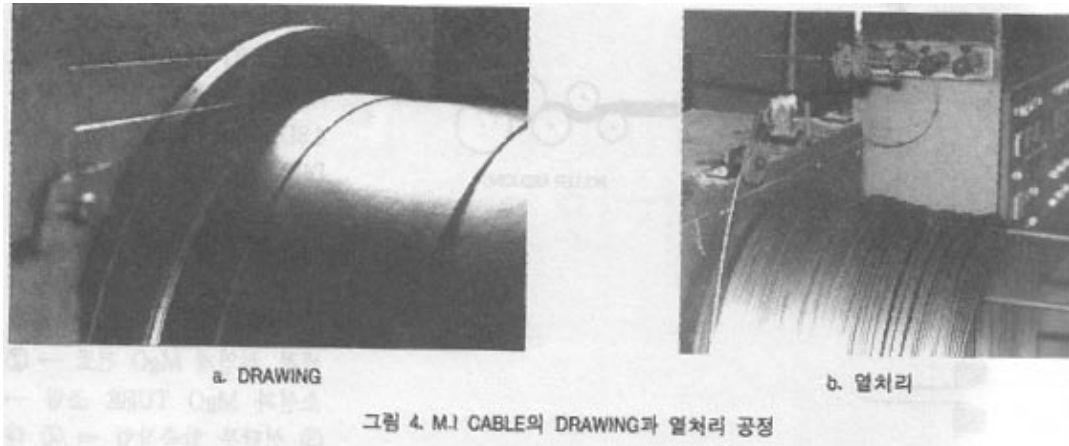


그림 4. M.I. CABLE의 DRAWING과 열처리 공정

처리 공정에서 문제가 생기지 않는다. 열처리 후 보통 경도는 240 정도가 된다.

M.I. CABLE의 설계시 고려사항

HEATER, 열전대, 전력선 등 종류에 따라 세부적으로 개념을 달리하여 접근해야 하지만, 여기서는 통상적인 것을 취급하여 지루한 설명을 피한다.

근본적인 기술은 SHEATH 재인 금속 TUBE와 무기절연재 및 기능을 갖는 소선, 3소재를 합체한 신선을 통해 일체화한 것으로 다음 설계요건을 갖는다.

1. 최종 감면상태에서의 요구규격

- (1) SHEATH 외경(D)의 최종 감면율 : 40% 이상 (절연재의 충진도 보장)
- (2) SHEATH의 두께 (t) : t/D 의 10% 이상
- (3) 소선의 굵기 (d) : d/D의 10% 이상

2. SHEATH 외경이 50% 감면시 최초상태에서 부품설계

- (1) SHEATH 두께(t) : 최종 감면시 25% 감소
- (2) 소선경(d) : MgO와 소선 TUBE 내경 간에 40% 감소

3. 3소재의 조합과 관련한 설계

SHEATH재와 소선, MgO의 재료특성상 조립구조 특성에 따라 CONDUCTANCE가 결정되어 M.I. CABLE의 특성을 결정한다.

(1) SHEATH재와 소선간의 CONDUCTANCE는,

$$\text{소선} : G_a(K) = \frac{\pi d W^2}{4 \rho a(K) \cdot \Delta L(K)} \quad (1)$$

$$\text{b 소선} : G_b(K) = \frac{\pi d W^2}{4 \rho b(K) \cdot \Delta L(K)} \quad (2)$$

$$\text{SHEATH 재} : \rho_s(K) = \frac{\pi (d^2 - d^b)}{4 \rho a(K) \cdot \Delta L(K)} \quad (3)$$

a 와 b(다른 재질일 경우)간의 Conductance는,

$$G_1(K) = \frac{\pi \cdot \Delta L(K)}{\rho_s(K) \cdot \ln \frac{2d_2 \left[1 - (d_3/d_1)^2 \right]}{dW \left[1 + (d_3/d_1)^2 \right]}} \quad (4)$$

b와 SHEATH 간의 CONDUCTANCE는

$$G_2(K) = \frac{2\pi \cdot \Delta L(K)}{\rho_s(K) \cdot \ln \frac{d_1 \left[1 - (d_3/d_1)^2 \right]}{dW}} \quad (5)$$

a와 SHEATH간의 CONDUCTANCE는 $G_3(K) = G_1(K) - G_2(K)$

여기서,

d_1 = SHEATH 내경 [Cm]

d_2 = SHEATH 외경 [Cm]

d_3 = 소선의 중심간격거리 [Cm]

$dw =$ 소선경 ($dw \ll d_1$) [Cm]
 $\Delta L(K) =$ SEGMENT 의 길이 [Cm]
 $\rho_a(K) = a$ 축의 비저항 [$\Omega \cdot Cm$]
 $\rho_b(K) = b$ 축의 비저항 [$\Omega \cdot Cm$]
 $\rho_s(K) =$ SHEATH 의 비저항 [$\Omega \cdot Cm$]
 $\rho_i(K) =$ 절연물의 비저항 [$\Omega \cdot Cm$]
 ρ 는 SEGMENT의 온도 (입력회로 MODE 온도를 단순 평균한 것)과 관계가 있다(그림 5).

(2) 시스열전대 구성재의 물성표

온도의 관련된 PROGRAM 중에서 설정한 물성치로서 문헌의 조사결과를 아래 설명한다.

① 비저항

a. 소선

$\rho_a = P(1) + P(2)T + P(3)T^2$ [$\Omega \cdot Cm$]

$\rho_b = P(4) + P(5)T + P(6)T^2$ [$\Omega \cdot Cm$]

여기서,

	P(1) P(4)	P(2) P(5)	P(3) P(6)
	$\Omega \cdot cm \cdot 10^{-6}$	$\Omega \cdot cm / deg \cdot 10^{-8}$	$\Omega \cdot cm / deg^2 \cdot 10^{-11}$
KP	7.022	2.66	-0.395
KN	2.993	4.55	-1.441
Pt	0.983	3.92	-0.579
NCH-W1	12.5	*	*
Ni	0.96	6.70	*
Cu	0.153	4.20	*

② SHEATH 재료는

$\rho_s = P(7) + P(8)T + P(9)T^2 + P(10)T^3$ [$\Omega \cdot Cm$]

	P(7)	P(8)	P(9)	P(10)
	$\Omega \cdot cm \cdot 10^{-6}$	$\Omega \cdot cm / deg \cdot 10^{-8}$	$\Omega \cdot cm / deg^2 \cdot 10^{-11}$	$\Omega \cdot cm / deg^3 \cdot 10^{-14}$
sus 304	6.98	9.31	-5.26	2.03
Inc 600	10.2	1.78	-0.16	-0.244
Pt	0.983	3.92	-0.579	0
Cu	0.153	4.20	*	*

* 빠진 곳은 조사 및 계산하여 얻을 것

③ 절연재는

$\rho_i = P(11)Exp[P(12)T] + P(13)Exp[P(14)T]$ [$\Omega \cdot Cm$]

(2) 열기전력(Pt 기준)

① 열전대소선

$emf. a = Tx[P(15) + P(16)T + P(17)T^2]$ (μV)

$emf. b = Tx[P(18) + P(19)T + P(20)T^2]$

(μV)

② SHEATH 재료

$emf. c = Tx[P(21) + P(22)T + P(23)T^2]$ (μV)

M.I CABLE의 용도

M.I CABLE은 기능소선 재료에 따라 용도가 결정된다. 기능소선이 열전대 소선이면 SHEATH 열전대가, 전열선이면 SHEATH HEATER가 된다. 그리고 Ni 또는 Cu선을 쓰면 전력 통신CABLE이 된다.

다음은 기능소선에 따른 M.I CABLE의 용도를 요약했다.

M.I CABLE이 일반의 CABLE과 다른 점은 내진동성에 따른 내구성이 있는 금속보호관재와 무기절연재의 내열성으로 고온 중에 절연저항이 유지될 수 있고 형체를 임의의 모양으로 구부려 가공할 수 있는 강력한 특성이 있다. 그런 조건 때문에 고온의 열악한 환경 속에서 많이 적용하고 있다

1. M.I.CABLE의 재료선택

(1) 절연재

M.I. CABLE에서 무기절연재는 주로 마그네시아를 사용한다. 마그네시아는 용도에 따라 순도가 다른데 최고로 높은 순도는 99.7%(특수 M.I CABLE) 정도 되며, 일반적으로 유통되고 있는 M.I CABLE은 96%~98%선(일반 M.I CABLE)이다. 순도에 따라 가격 차이가 크고 특히 M.I. CABLE 제조 원가 구성비에서 마그네시아가 70%를 차지함으로 써 그 영향이 크다. 일반 M.I. CABLE은 상온에서 수분제거를 잘하여 절연이 $\infty \Omega$ 되어도 700~800℃에서는 30MΩ 이하로 떨어지게 된다. 이는 고온에서 절연특성이 저하되어 SHUNNT ERROR가 발생되기 때문이다. 이 SHUNNT ERROR는 열전대의 경우 측온접점에서 발생한 열기전력이 +선에서 -선으로 LEACK 되어 생기는 오차다.

표 1. 기능 소선에 따른 M.I CABLE 의 용도

이는 전력 CABLE, HEATING CABLE 에

분류 Cable	소 선	SHEATH	용 도
T/C	R, S, B, N, K, J, T, E	Inc Sus316L	시즈 열전대용 (KS C1615)
	Cu, Alloy #11	Cu	R, S 열전대용 보상도선(KS C1609)
Heater	Ni80, Cr20(NCH)	Inc 600 Sus 316 Inc 825	Micro heater (700℃ heating)
	K-70(Fe-Ni)	Inc 600 Sus 316 Inc 825	PTC HEATER (500℃ 정온용)
	Cu-Ni	Inc 600 Sus 316 Cu	Long Size Heating Cable(Snow Melting, 온돌용)
Electric Cable	Ni	Inc 600 Sus 316 Inc 825	heater의 cold section Lead
	Cu	Cu	heater의 cold section Lead

서도 전압이 인가된 상태에서 생기는 문제로 설계시 유의할 사항이다. 그래서 항공기, 원자력분야에서는 무기절연재의 순도를 99.6%이상으로 규격화 하고 있다.

(2) SHEATH재

SHEATH 재는 고온과 환경조건에 따라 재질을 선택한다. 내열, 내화학 특성에 따른 재료특성표는 자료가 많아서 따로 설명하지 않겠다. 고온, 열악한 환경에서는 그에 맞는 TUBE를 선택한다. SHEATH 재인 금속 TUBE가 WELDING한 SEAM TUBE인지 SEAMLESS TUBE인지에 따라 그 견디는 정도가 다르다. 두 가지의 종류 TUBE는 가격 차이가 커서일반적으로 WELDING상태의 SEAM TUBE로 된 M.I CABLE이 유통되고 있다. 특수 용도에서는 SEAMLESS TUBE를 사용한 M.I CABLE을 주문하여 사용해야 된다. SHEATH의 두께는 SHEATH 열전대의 경우 외경의 15%이상으로 규정하고 있으나 MICRO HEATER에

서는 별도 규정이 없다.

일본의 경우 MAKER 별로 조사한 결과 10% 정도에서 제작되고 있다.

무기절연재의 충전밀도는 ASTM에서 2.3g/Cm3 정도를 규정하는데, 이 밀도가 감면한다고 한없이 올라가는 것은 아니다. 소선에 안전한 범위 내에서 높을 수록 좋으며 충전밀도가 높은 M.I CABLE 경우는 SHEATH 외경의 변형에 따라 소선도 변형되어서 서로간에 위치를 움직이지 않아 전기적으로 절연구조가 유지된다.

무기절연재 중

MgO의 경우 습기에

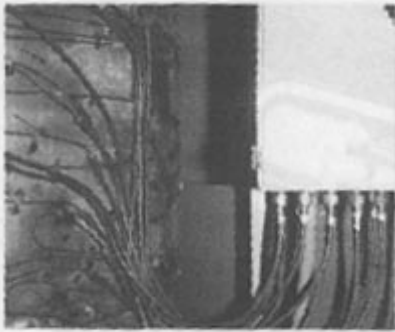
노출되어 습기가 침투된 경우 길이가 짧으면 건조하여 쉽게 처리할 수 있으나 길이가 30M 이상되는 LONG SIZE는 여간 해서 제거되지 않는다. 이론적으로 400℃ 정도에서 이탈된다고 하나 실제에서는 쉽지가 않다.

두 가지의 종류 TUBE는 가격적으로 차이가 많아 일반적으로 WELDING한 SEAM TUBE로 된 M.I CABLE이 유통되고 있다. 특수 용도에서는 SEAMLESS TUBE를 사용한 M.I CABLE을 주문하여 사용해야 한다.

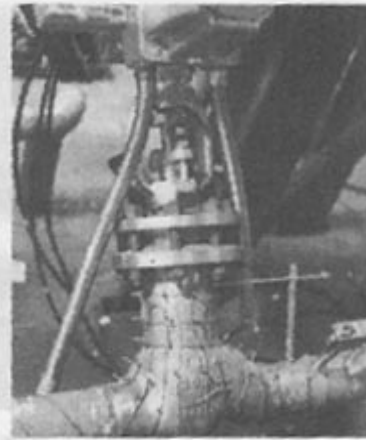
SHEATH의 두께는 SHEATH 열전대의 경우 외경의 15% 이상으로 규정하고 있으나 MICRO HEATER에서는 별도 규정이 없다.

일본의 경우 MAKER 별로 조사한 결과 10% 정도에서 제작되고 있다.

(3) 소선



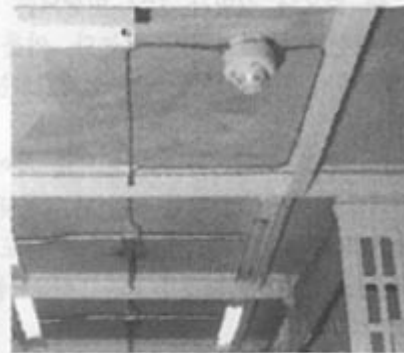
a. 온수보일러에 취부
(micro heater, ϕ 3.2mm, NCH)



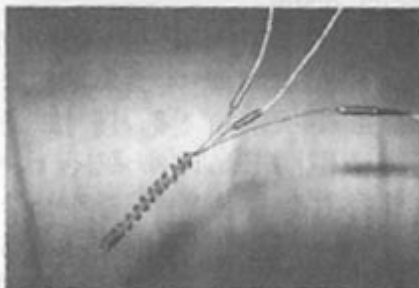
b. VALVE에 취부
(micro heater, ϕ 3.2mm)



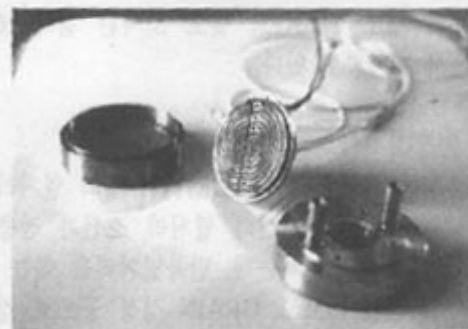
c. 지하철, 전동, Pump, FAN용의 전력 Cable로 사용**
(화재시에도 동작: Pyrotex, W1001C/1/11 인명)



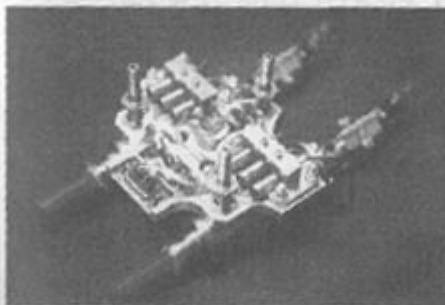
d. Smoke detector용 통신 Cable**



e. 고도기용 PTC Heater
(micro heater ϕ 1.5mm, K-70)



f. 반도체 공정을 heater
(micro heater, ϕ 1.9mm, NCH)



g. 인공위성 액츄레이터용 예열히터
(micro heater, Inconel600, ϕ 1.6mm, NCH)

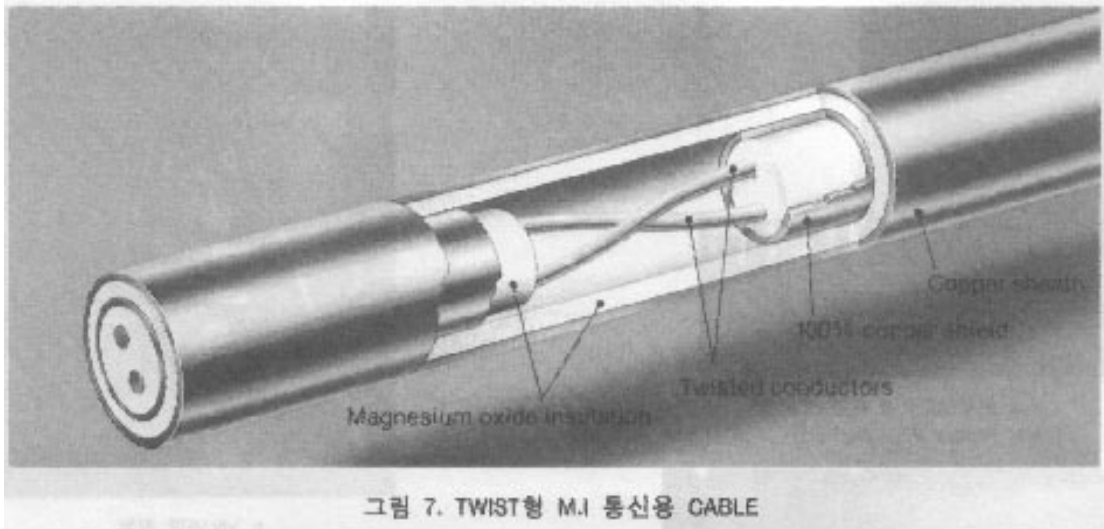
**SuAngawa Electric, Ltd의 micro Heater 카탈로그사진 인용
** Pyrotex 카탈로그 사진인용

그림 6. MI CABLE의 활용도

① 열전대

소선은 열전대의 경우 SHEATH 재의 열처리온도 조건과 열전대 소선의 열처리 소선과 절충된 온도에서 처리해야 하는데, 반복열처리를 하는 과정에서 소선의 피로도, GRAIN 성장 등으로 정밀도에 제약을 받기

SHEATH의 내경간 간격에 따른 내전압 문제, 소선의 단면적과 통과시키는 전류밀도를 감안해서 결정한다. 통신선은 NOISE 차폐를 위한 두 극의 소선의 형태가 TWIST 형으로 진행되도록 제작한 것과 내부에 절연층을 두고 또 하나의 SHEATH TUBE가



때문이다.

또한 임의 온도 대역에서 수명을 갖고 있어야 하므로 소선경은 SHEATH 외경의 15%선 이상으로 규정되어 있다.

② HEATER

HEATER는 단위저항 ($R_0 = \Omega/M$) 이 열선의 경에 따라 크게 변하므로 HEATER 용량에 따라 다를 수밖에 없다. 그러나 소선이 과도하게 가늘면 좋지 않다.

전열선의 굵기가 굵을 수록 수명이 오래 가지만 SHEATH의 재질과 외경을 무시하고 규격을 만들 수는 없다. HEATER의 전열선은 M.I CABLE의 길이에 따라 전열선의 재질을 니크롬선 또는 Cu-Ni 선으로 구별 선택한다.

③ 통신선, 전력선

M.I CALBE이 300℃ 이하에서 노출되는 경우에는 소선을 Cu선으로 사용한다. 그러나 1200℃의 불꽃에 노출될 경우에는 Ni 선을 사용하고 그 굵기는 소선과 소선간,

내장되는 특수형이 있다(그림 7).

결론

M.I CABLE을 간단하게 설명하였다.

일단 M.I CABLE의 개론을 가볍게 취급한 것으로 보아두면 좋겠다.

M.I CABLE은 열전대용으로는 국내 열전대 제조업체에서 수입품을 많이 사용하고 있으며, HEAT TRACING용으로 M.I HEATER도 전설회사를 통해 많이 사용하고 있다. HEATER CABLE과 전력, 통신 CABLE은 아직까지 국내생산이 처음이다 보니 알려지지 않은 점과 희소한 품목이라 설계시 쉽게 고려하지 않고 있다. HEATER를 일본산업계에서 MICRO HEATER라고 칭하는데 SHEATH경이 $\Phi 1mm$ 에서 $\Phi 4.8mm$ 까지이며 고온용으로 사용된다.

반도체, 항공기 고도계, 진공로 분야에서 특수하게 사용되고 있으며 미국산업계에서

는 M.I HEATER는 보통 $\Phi 4.8\text{mm}$ 로 70M, 100M 단위의 길이로 SNOW MELTING 바닥 난방용으로 사용하는 HEATER로 사용하고 있다. 그러므로 SHEATH재, 전열선의 종류나 제품제작, 설계 방향이 많이 다르다. M.I CABLE을 분야별로 구체적으로 들어가는 것과 완제품으로 조립공정을 소개하려면 다음에 기회를 봐야 할 것 같다.

이상 본고에서는 M.I CABLE에 대한 개요와 제조방법및 설계시의 고려사항과 용도 등에 대해서 대략적으로 기술하여 보았다.