

# 프라스틱 배관재의 특성과 장래성

글 松野徹朗 寺前 勝(積水化學工業(株) 管工機材部門 技術開發室)

**급수** · 급탕 용도로, 종래의 동관 대신에 프라스틱관에 의한 보호관 헛다 공법이 채용되는 일이 많아 졌다. 이것은 실용상 매우 내구성이 있고 유연한 프라스틱 배관재가 개발되어 난방 용도를 중심으로 실적을 쌓아 왔고, 부식되지 않고 위생적이고 값이 싼 재료로서 보급되었다. 여기서는 가교폴리에치렌관과 폴리부텐관을 중심으로 해서, 프라스틱관의 특성에 대해서 기술한다.

## 머릿말

프라스틱 배관재의 역사는 비교적 얇아서 일본에서는 아직 반세기도 되지 않았다. 1965년 전후로 부터 급수·급탕배관의 부식문제가 다방면에서 나타나, 부식의 염려가 없는 프라스틱 배관재가 채용되게 되었다.

〈표-1〉 건물의 프라스틱 배관재 사용률[%]

배관	관종	경질염화	내충격성경질	내열성경질
		비닐관	염화비닐관	염화비닐관
급수	수	3.7	2.2	0.03
급탕	탕	0.1	—	13.0
소화	화	—	—	—
잡배수	배수	9.3	—	—
우수배수	배수	7.7	—	—
우수배수	배수	49.2	—	—
통기	기	7.9	—	—
냉각수	수	0.05	—	0.05
냉온수	수	2.3	—	2.0

주: 1) 수치는 총연장(m)에 대하여 백분율로 표시함.

2) 가교폴리에치렌관·폴리부텐관은 급탕·상난방용도에 사용하는 것이 보이지만 미소함으로 생략함.

지금 염화비닐관·계수로 대표되는 프라스틱 배관재는 강한 시장경쟁력이 있으므로 확대 일로에 있다.

또한 재료개발이나 생산기술의 진보로 인해 가교폴리에치렌관이나 폴리부텐관등의 새로운 급수·급탕배관재가 등장했다. 이로 인해서 이전보다 공법의 자유도가

증가하여 생활양식의 고도화에 따른 급탕·급배수 설비의 다양화에 대응될수 있게끔 되었다. 여기서는 프라스틱 배관재의 내열·내압 및 기타 특성에 대해서 기술하고자 한다.

## 1. 프라스틱 배관재의 현상

프라스틱 배관재라고 하면 염화비닐, 염화비닐에 질을 개선하는 재질을 첨가하여 충격성을 향상시킨 내충격성 염화비닐, 폴리에치렌·가교폴리에치렌·폴리부텐을 얻게 되었다.

〈표-1〉에 용도별로 프라스틱 배관재가 어떻게 사용되었는가를 조사한 결과를 표시한다. 또한 호건(戸建)주택에 사용율을 〈표-2〉에 표시한다.

〈표-2〉 戸建住宅의 프라스틱 배관재사용률[%]

배관	관종	경질염화	폴리에틸렌관	내열성경질
		비닐관		염화비닐관
급수	수	41.2	15.0	—
급탕	탕	—	—	20.0
잡배수	배수	80.0	—	—

주) 〈표-1〉과 같음.

矢野經濟研究所: 각종 파이프·管繼手の 수요실태와 시장구조 분석. (1987년판)

〈표-3〉 가교화폴리에틸렌관의 寸法

호	外 徑			肉 厚	길이	参 考		
	寸法	平均外徑의	最小			許 容 差	近似内徑	質量
경	[mm]	許容差[mm]	法[mm]	[mm]	[m]	[mm]	[kg/m]	[cm]
7	10.0	±0.10	1.4	+0.24 -0	120	7.0	0.038	50이상
8	11.0	±0.10	1.4	+0.24 -0	120	8.0	0.043	50이상
10	13.0	±0.15	1.4	+0.24 -0	120	10.0	0.052	50이상
13	17.0	±0.15	1.9	+0.32 -0	120	13.0	0.091	50이상
16	21.5	±0.20	1.9	+0.32 -0	120	17.5	0.118	50이상
20	27.0	±0.30	2.3	+0.38 -0	100	22.0	0.180	80이상

주: 1) 평균외경의 허용차는 인의단면에 대한 円周測定値를 円周率 3.142로 나눈값 또는 상호 같은 간격인 2방향으로 외경측정치의 평균과 기본寸法과의 차를 말함.

2) 질량은 비중 0.94로 해서 계산한 것임.

표를 보아 알수 있듯이 戸建주택에서는 약50%의 프라스틱 배관재가 사용되는 것에 비해서, 빌딩이나 맨션 등에는 사용율이 아주 적다. 고층 건축물에는 배관작업

상의 문제나 방재상의 관점으로 보아 금속관이 압도적으로 많고, 플라스틱관은 라이닝강관으로 모양을 바꾸어 사용되고 있다. 그러나 헛다 공법이나 보호관 헛다 공법이 보급됨에 따라 급배수·급탕용도에 새로운 배관재료인 가교폴리에치렌관이나 폴리부텐관의 사용이 증가되고 있다고 생각된다.

## 2. 가교폴리에치렌관과 폴리부텐관

가교폴리에치렌이란, 열가소성 플라스틱의 고리 모양의 구조인 폴리에치렌의 분자를 결합시켜, 입체의 망목(網目)구조로 초고분자량의 폴리에치렌을 말한다. 따라서 가교반응이 완료한 시점에서 폴리에치렌은 마치 열경화성 수지와 같은 입체망목구조로 되어, 내열성·내크릴성 모두 보통의 폴리에치렌 보다 비약적으로 향상된다.

한편으로 폴리부텐은, 부텐-1을 치클로나트리움 촉매를 사용해서 중합(重合)하므로써, 고분자량으로서 입체규칙성(立體規則性)이 높은, 분자구조로된 재질이 얻어진다. 또한 특수한 분자구조를 갖는 것으로 인해 가교폴리에치렌과 같은 내열성·내크릴성이 향상된다.

〈표-4〉 폴리부텐관의 寸法

호 칭 경	外 徑		厚		參 考		
	基本 寸法 [mm]	平均外徑의 許容差 [mm]	寸法 [mm]	許 容 差 [mm]	길이 [m]	內徑 [mm]	質量 [kg/m]
7	10	±0.20	1.5	+0.40 -0	120	7	0.041
8	11	±0.20	1.5	+0.40 -0	120	8	0.046
10	13	±0.20	1.5	+0.40 -0	120	10	0.056
13	17	±0.20	2.0	+0.40 -0	120	13	0.094
16	22	±0.20	2.4	+0.40 -0	120	17	0.146
20	27	±0.25	2.4	+0.40 -0	120	22	0.183

주: 1) 평균외경의 허용차는 임의의 단면에서 원주측정치를 원주율 3.14로 나눈값 또는 상호 동등간격(45)인 4방향의 외경측정치의 평균치와 기본촌법과의 차이를 말함.

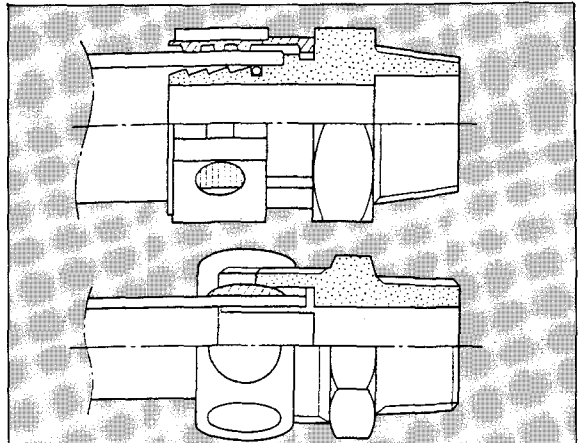
2) 질량은 비중 0.92로 계산한 것임.

3) 관의 길이는 당사자간의 협정에 의해서 위의 표 이외의 촌법으로 하는 것이 가능함.

4) 관의 색깔은 베-지색으로 한다. 단 당사자간의 협정에 의해서 다른색으로 하는 것도 가능함.

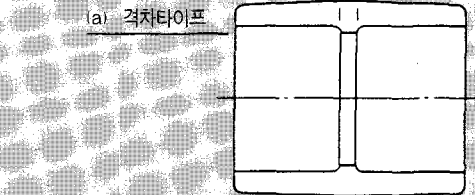
두개의 플라스틱관 모두 보통의 압출 공정에 의해서 제조할 수 있다. 〈표-3, 4〉에 여러가지 관의 규격촌법을 표시한다(25이상은 생략). 또한 〈그림-1, 2〉에 대표적인 계수(繼手)를 표시한다.

특징적인 것은 가교폴리에치렌관의 계수는 메카니칼 조인트인 것에 반하여 폴리부텐 계수는 용착 계수인 것이다. 가교폴리에치렌은 고온에서 용융유동성이 없기 때문에 용착하는 것은 안된다(가교도 40% 이하의 상태에서는 가능하지만, 현장에서는 가교도의 검사가 불가능하므로 추천할 수 없다).

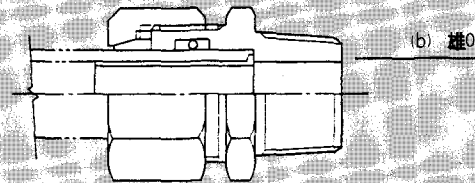


〈그림-1〉 가교폴리에치렌관계수(繼手타입)

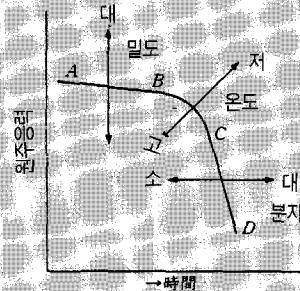
(a) 격차타이프



(b) 용접타이프



〈그림-2〉 폴리부텐관계수



〈그림-3〉 플라스틱관의 크립선도개념

### 3. 프라스틱관의 특성

#### 3.1 크리프특성 (CREEP 特性)

프라스틱관의 실용적 강도를 표시하는 매우 중요한 지표가 크리프특성이다. 크리프이란 관에 압력을 가했을 때 관의 원주 방향에 발생하는 인장응력에 의해서 장시간 압력부하가 계속 작용하면 서서히 소성변형을 일으켜서 곧이어 파괴해 버리는 현상을 말한다. 이때 내부 압력이나 온도를 변화시켜 파괴되는 시간을 대수(對數) 그래프에 표시한 것이 크리프선도이다.

고분자 재료로서 내압 또는 외압이 상시 가해지는 것에는 필히 크리프선도를 구해서 설계에 반영시키고 있다.

크리프시험의 방법은 ASTM D 2837, D1598, D3309, F877 및 DIN 16893, 16969에 기재되어 있는 것을, 각사 모두 참고로 하고 있다.

일반적으로 프라스틱에서는 크리프현상이 실용적인 사용조건하에서도 매우 현저하게 인지되므로, 이점이 급속과 다른 것이다. 즉 극히 적은 일일긴 하지만, 사용중에 가해지는 힘(급수압력)에 의해서 변형이 시간이 경과함에 따라 진행하여 응력치가 변화하므로 설계할 때는 이것을 고려할 필요가 있다.

〈그림-3〉에 프라스틱관의 크리프선 개념도를 표시한다. 선AB가 완만하게 모든쪽으로 내려가는 것은 크리프에 의한 춘법변화, 이경우는 직경이 내압에 의해서 확대되고 두께가 감소하므로, 만일 파손을 일으키는 응력이 일정하다고 해도, 시간이 경과함에 따라 관이 견디는 내압이 서서히 저하하는 것을 나타내고 있다. 또한 이시점의 관의 파괴형태를 보면 연성파괴이며 관의 강도 이상의 응력이 가해졌다는 것을 말하고 있다.

급한 구배로 된 선CD는 이 구간에서 배관재의 강도가 급격히 저하하는 것을 나타내고 있다. 이 관계에서는 파괴된 관을 폴리에치렌 등의 예로 보면 취성 파괴의 양상을 나타내며 명백한 질적변화(質的變化), 즉 열화(劣化)의 발생이 인정된다. 또한 경험적으로는 내충격성이 현저히 저하하고 있는 것을 알게 된다. 곡선부 BC는, 연성파괴와 취성파괴가 공존하는 구역으로 knee 점이라고도 부르고 있다.

이와같이 프라스틱관에서 knee점이 현저히 나타나는 재료는 장기적으로 보아 바람직하지 않다.

〈그림-3〉에서 밀도가 높고 분자량이 크면 클수록 수명이 깊게 되는 것을 나타내고 있으며 그런 의미로부터 분자량이 큰 가교폴리에치렌관이나 폴리부텐관이 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 유체온도에 의한 영향은 매우 크며 보통의 폴리에치렌관 등은 knee점이 존재하는 것으로, 급수용도로서는 실용상 충분하지만 40℃를

초과하는 부분부터 강도가 급격히 저하한다. 〈그림-4〉에는 각종 프라스틱관재의 크리프선도를 표시한다.

#### 3.2 관두께 설계와 사용한계의 설정

관의 내압력에 의해서 발생하는 원주방향의 응력은 ASTM이나 ISO에 채용된 식(1)에 나타나 있다.

$$\sigma = \frac{P(D-t)}{2t} \quad (\text{Naday의 식}) \quad \dots\dots (1)$$

여기에서

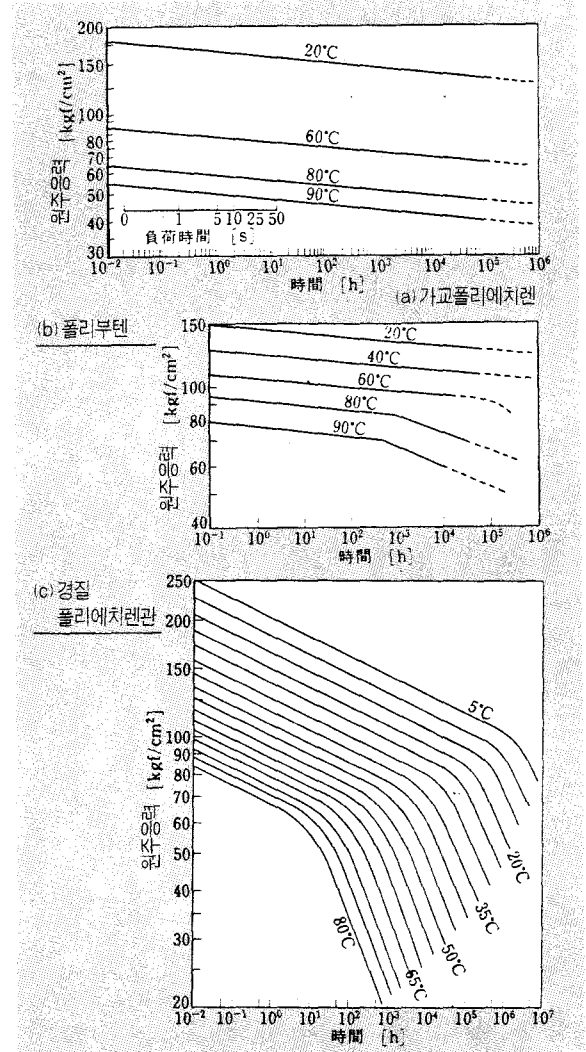
P : 내수압 [kgf/cm<sup>2</sup>]

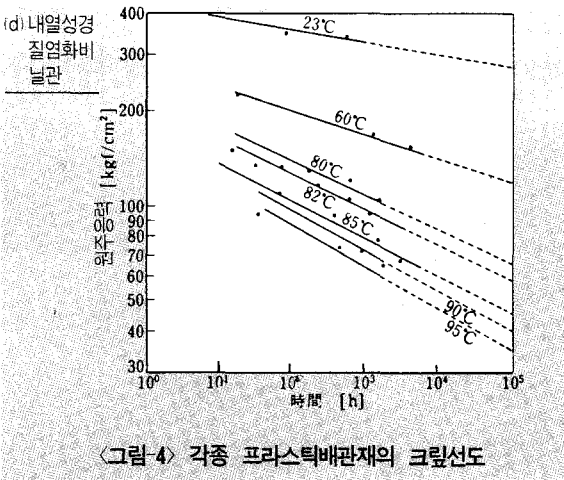
D : 관외경 [cm]

t : 관두께 [cm]

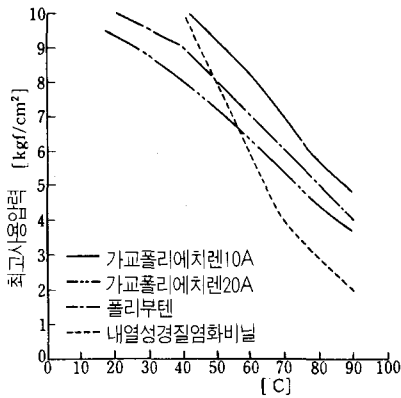
σ : 원주응력 [kgf/cm<sup>2</sup>]

크리프선도로부터, 3×10<sup>5</sup>hr(약35년)후의 파괴원주응력을 구하고, 이것을 HDB(Hydrostatic Design Basio)라고 하여, 다시 안전율2로 제한 값을 HDS(Hydrostatic Design Stress : 설계응력)로 한다.





〈그림 4〉 각종 플라스틱배관재의 크립선도



〈그림 5〉 플라스틱배관재의 사용온도와 압력의 관계

식(1)을 변형하면 식(2)가 된다.

$$P = \frac{2\sigma t}{D-t} \dots\dots\dots (2)$$

식(2)에 온도로서 구한 HDS를 대입하면 그 온도에서의 사용한계압력이 산출된다. 〈그림-5〉에 온도와 사용압력의 관계를 표시한다.

이 압력 또는 온도를 초과하는 현상이, 워터햄마나 기기등의 고장등에 의해 단시간에 일어나면 그 누적된 것이 배관재에 영향을 미친다. 따라서 배관 시스템으로서 이 한계를 넘지 않는 설계가 요망되며, 다방면의 개량개발도 필요하다고 생각된다.

플라스틱 배관재의 장기내구성에 대해서는 크립을 기초로 해서 기술하였지만 크립은 점탄성(粘彈性)이라고 하는 물리적·기계적 요인의 측면에서 본 것이고, 뜨거운 물, 용존산소, 염소등의 화학적 열화(劣化)요인도 포함된 복합화(複合化)된 환경에서의 수명추정이 필요

하다고 본다. 이것들을 근거로한 설계는 상당히 곤란하지만 적절한 촉진시험과 해석이 실시되도록 기대해본다.

### 3.3 열팽창 및 열응력

플라스틱 배관재의 열팽창율은 금속관에 비하여 10배 정도 크기 때문에 급탕이나 온수배관의 경우는, 사전에 배려하는 것이 중요하다. 상온에서 배관한 것에 온수를 통과시키면 현저하게 뱀처럼 구부러지고 반대로 냉수를 통과시키면 강하게 잡아당기는 상태로 된다. 노출배관을 하는 경우는 온수에 의한 변형에 대해서 특별히 주의할 필요가 있다.

급탕관의 경우, 배관 10m당 팽창길이는 100mm 전후가 되며, 보호관 공법의 입상부를 노출시키거나 또는 강성이 적은 보온재로 피복한 채로는 이 부분에 팽창에 의한 변형이 집중해서 조건에 따라서는 관이 급격히 구부러져 관로를 협소하게 만든다. 그때문에 보호관 출구에서 관을 고정하던가 입상부를 충분히 강성이 있는 피복을 함으로서 팽창을 보호관내에 분산되도록 억제시킬 필요가 있다.

열응력에 관해서는 앞에서 말한바와 같이 열팽창이 큼에도 불구하고 탄성계수가 금속관에 비교해서 1/200 ~ 1/1000로 매우 적기 때문에, 열응력은 비교적 적으며 실용상 문제가 되는 것은 없다.

플라스틱 배관재는 선팽창계수가 실용온도 범위라 해도 온도에 따라서, 또한 탄성계수는 온도, 변형량 및 변형속도에 따라서도 상당히 변동하고 금속의 경우와도 상이하여 열응력을 엄밀히 계산하는 것은 곤란하지만 참고적으로 개략계산 하여 보면 가교폴리에치렌관에서는 길이 10m, 호칭경 13mm, 온도차를 60°C (20~80°C)로 하였을때 발생열응력은 15.4kgf/cm, 관을 고정하는 기구에 전달하는 하중은 14.8kgf가 된다. 관 실제배관에서는 관이 용이하게 구부러지기 때문에 실제로 고정기구에 전달하는 하중은 매우 감소한다.

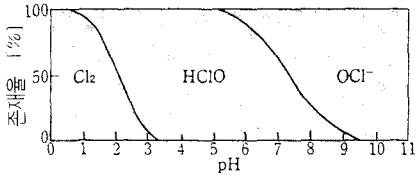
### 3.4 내염소수성(耐鹽素水性)

하천오염에 의해서 살균용으로 사용되는 염소의 양이 증가하고 특히 도시부분에서는 수도물 중에 함유되어 있는 염소의 양이 증가하고 있다.

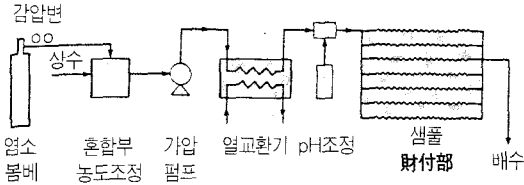
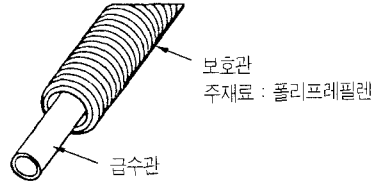
염소는 물에 상당한 비율로 용해되어 수화물을 만든다. 식(3)에 의하면 해리하여 평형을 갖고 있으나 PH에 의존하여 산성측에는 용해 염소가 많아지고 알카리측에는 CL<sub>2</sub>, CLO<sup>-</sup>가 많게 되다.

CL<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O ⇌ HCL + HCLO ⇌ H<sup>+</sup> + CL<sup>-</sup> + CLO<sup>-</sup>..... (3)  
이 차아염소산이 고분자재료를 산화염화시킨다고 생각되어 지고 있다.

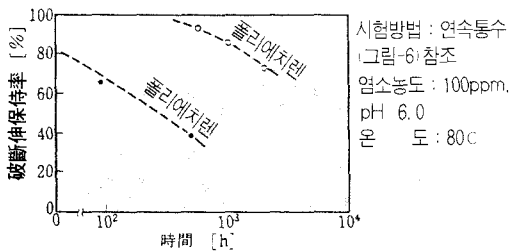
PH와 각 분자 종류의 존재비율의 관계를 그림-6에 표시한다.



〈그림 6〉 pH와 각분자종의 존재비율

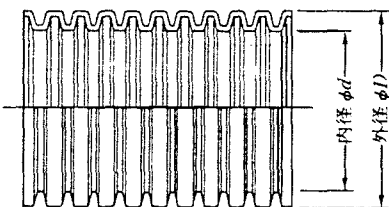


〈그림 7〉 실배관염소시험장치



〈그림 8〉 가교폴리에치렌관의 염소수시험결과

이러한 것으로 부터, 지금까지 침적(浸漬) 시험에 의한 내염소시험도, 그림-7과 같이 온도·PH등 조정이 되는 실제 배관 시험이 행해지게 되었다. 그림-8에 가교 폴리에치렌의 시험결과와 일부를 표시한다. 저농도 염소의 경우는 더욱 안전한 측에 있으며, 어떤 시료를 보아도 외관상 산화열화의 백화(白化)나 크랙 현상은 없다. 또한 표층부의 카본닐기(基) (>c=0)의 발생도 미소하였다. 1ppm에서 약1년간(온도 80°C) 실시한 것도 수포의 발생은 없고 실용상 어떤 장애도 발생하지 않은 것으로 생각된다. (폴리에치렌관의 경우는 빠른 시기에 수포가 발생한다. 이것은 배합제중의 카본이 상당히 악영향을 주고 있기 때문이며 현재에는, 카본을 첨가하지 않은 층을 내층(內層)으로한 2층계의 것도 검토되고 있어 양호한 결과가 얻어질 것이다.)



外徑φD [mm]	最小의 內徑值φd [mm]	길이/卷 [m]	重量/卷 [kg]
27.5	22.1	50	約6.5
30.5	24.3	50	6.9
34	26.7	30	5.6

### 3.5 시공성

시공에 관해서는 경량(50~100g/m)으로 후렉시블한 것이 매우 큰 이점이다. 현장에서 자재 적치장이 적어도 해결되고 중기가 불필요하며 생각지도 않은 경제 효과를 가져오기도 한다.

계수를 사용하지 않고 급수·급탕원으로부터 직업 급수전까지 배관되는 헛다, 보호관헛다 배관방식에는 최적이다. 최소 구부림 반경은 관외경의 약10배를 기준으로 하는 것이 가능하다.

접속 방법은 메카니칼 타입과 용착 방법으로 대별하지만 모두 전통적인 방법으로, 방법 그자체에 문제는 없지만, 장치 협소한 부분에서의 접속이나 급수전과의 접속, 헛다와의 접속등에 대해서 좀더 연구할 필요가 있다.

## 4. 기타 플라스틱 신배관재

### 4.1 금속강화 가교폴리에치렌관

가교폴리에치렌/알미늄합금/가교폴리에치렌의 3층구조로 된 것이 있어, 연전성(延展性)이 많은 알미늄합금 때문에 용이하게 구부러서 그형상을 유지시키는 것이 가능하다. 금속강화로 고온내압력이 높으며 보통사용압력에서는 거의 크릴되지 않기 때문에, 100°C, 10kgf/cm<sup>2</sup> 까지 사용이 가능하게 되었다. 계수는 메카니칼로서, 관을 계수코어에 삽입해서 나트를 채우면 관경이 축소해서 새지 않게 되는 구조이다.

가교폴리에치렌관이나 폴리부텐관에 비해, 유연성은 떨어지지만 가는관에는 전혀 문제가 없으며 보호관헛다 공법에도 충분히 대응이 된다.

### 4.2 불소수지코팅 가교폴리에치렌관

가교폴리에치렌관 내면을 특수점착프라이마를 칠해서 불소수지를 코팅한 관을 말한다. 기계적성질은 가교폴리에치렌관과 조금도 틀릴것이 없지만 화학적으로 안정한 불소수지를 사용하므로써 내약품성을 더욱 향상시키

고 있다.

지금 두께의 배관재 모두 일본에서는 아직 1개 회사 밖에 취급하고 있지 않으므로 메이카 규격으로 되어 있다.

### 5. 프라스틱 배관재의 전망

센추리하우징 시스템(CHS)의 도입에 의해서, 갱신 가능한 배관시스템이나 공법의 개발이 주택·도시정비 공단을 시초로 해서 각 건설회사에서 활발히 진행되고 있다. 여기서는 상세한 것은 생략하기로 하고 긴 길이의 후렉시블 배관재가 이 방법을 가능케 하고 프라스틱 배관재의 특성이 나타나 앞으로 점점 증가할 것으로 생각된다.

장차 프라스틱 배관재가 비약적으로 신장하기 위하여 다음과 같은 사항을 추천한다.

- 1) 일본수도협회(JWWA)가 인가하도록 할 것
- 2) 방화구획 관통을 명백히 할 것
- 3) 보호관 헛다 공법에 대응하는 각종의 고기능 계수를 개발할 것

1)에 관해서 말하면 <표-5>에 표시한 바와 같이 유럽 제국에서는 상당한 나라에서 가교폴리에치렌관이 인가되었고, 정확한 자료는 없지만 폴리부텐도 미국을 시초로 여러 나라에서 인가되었다고 듣고 있다. 일본에서도

수도용 폴리에치렌이 인가된 상황이므로 가교폴리에치렌관, 폴리부텐관 모두 조속히 인가될 것이 요망된다.

2)는 조속히 시험을 해서 결론을 내지 않으면 안된다.

3)에 대해서는 중간 과정으로 작업성이 좋고 신뢰성이 높은 계수의 개발이 필요하다.

### 맺음말

프라스틱 배관재의 특성을 가교폴리에치렌관·폴리부텐관을 기본으로 말씀드렸고 실제 사용상의 최대의 관심사는 온도와 압력의 관계로 몇년 전도의 수명이 있는가를 생각하여 크립과 관의 설계를 중심으로 기술했다.

이것들의 우수한 신재료·새로운 시스템이 소비자에게 신속히 제공되도록 관계자의 지원과 이해를 부탁하는 바이다.

<일본공기조화·위생공학회지 1989년 1월호에서>

<표-5> 各國의 架橋폴리에치렌管 認可狀況

國名	認可機關	用途	認可時期(年)
스웨덴	Planverket	H&C, DH	1974
노르웨이	Landsnemnda	H&C, DH	1974
덴마크	Boligministeriet	H&C	1974
핀란드	Heisingin Vesilaitos	H&C	1974
스위스	SVGW	H&C	1977
서독	DVGW	H&C	1981
화란	KIWA	H&C	1980
영국	NWC	H&C, UFH	1983
영국	Agreement Board	UFH	1982
프랑스	CSTB	UFH	1982
오스트리아	Magistrat der Stadt	H&C	1976
벨기에	C. C. Liege	H&C	1978
오스트리아	MMBW	H&C	1981
미국	NSF	H&C	1983
캐나다	CSA	H&C	1984
스페인	IET, IPC	H&C	1984

주 H&C : Hot and Cold Domestic Water

DH : District Heating

UFH : Under Floor Heating (인가필요국뿐임)