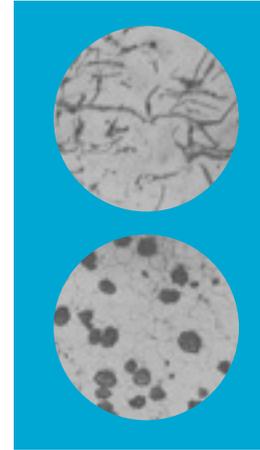


## II. 덕타일 주철관의 특징



1. 정의 및 조직 .....	23
2. 기계적성질 및 화학적 성질 .....	26
3. 시공 및 유지관리상의 경제성 .....	37
4. 제조 공정 .....	38
5. 관종 및 조인트 방법에 따른 약호 .....	39

## 1. 정의 및 조직

철(鐵)과 탄소(炭素)의 합금계(合金系)에서 탄소량이 2% 이하인 것을 강(鋼)이라 하고, 2%이상인 것을 주철이라 한다. 주철의 주요 성분은 표1에서 알수 있는 바와같이 C, Si, Mn, P, S로 되어 있고, 덩타일 주철에는 Mg 또는 Ca 등의 흑연구상화(黑鉛球狀化) 원소(元素)가 미량(微量) 함유되어 있다.

표 1 주철의 화학조직성분

(wt%)

성분	덩타일주철	회주철
T.C	2.8~3.7	3.2~3.8
Si	1.7~2.5	1.4~2.2
Mn	0.2~0.4	0.4~0.6
P	0.1 이하	0.5 이하
S	0.015 이하	0.1 이하
Mg	0.03 이상	-

일반적으로 주철은 이들 성분의 함량과 용해조건, 냉각속도에 따라서 구조 조직이 변화하게 된다. 주철사에 있어서 가장 오랜 역사를 갖는 회주철은 일반적으로 ferrite나 pearlite 또는 이들이 혼재한 기지에 흑연이 편상으로 정출(晶出)해 있는 상태로서 파면(破面)이 회색(灰色)을 띠는 주철을 말한다.

여기서 ferrite는 상온에서 0.01%이하의 탄소가 고용상태(固溶狀態)로 존재하는 철을 일컫는 것으로 대단히 질긴 성질을 가지며, pearlite는 철탄화물(鐵炭化合物)인 cementite( $Fe_3C$ )가 층상(層狀)으로 집합한 조직으로 대단히 강한 성질을 갖는다.

일반 회주철에 나타나는 흑연의 형상은 여러가지가 있으나 그림1의 (a)에서 보는 바와 같이 편상으로 되어 있는 것이 보통이다. 한편 구상흑연주철(nodular graphite cast iron 또는 spheroidal graphite cast iron)은 주철의 일종이나 용융 상태의 주철에 특수 원소를 첨가하므로써 주방 상태에서 흑연이 구상으로 정출하게 된 주철을 말하며, 회주철에서 볼 수 없는 좋은 강도와 높은 전연성(展延性)을 가지므로 ductile 주철이라고도 한다.

덕타일 주철은 1948년 영국의 H. Morrogh와 W.J. Williams가 주철용탕에 Ce를 첨가하여 흑연이 구상화하는 것을 발견하므로써 세상에 나오게 되었다. 같은해 미국 A.P.Gagnebin은 Mg의 첨가로 덕타일 주철을 제조하는데 성공하였고 그후 이에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다. 오늘날에는 Mg계 합금을 첨가하여 덕타일 주철을 제조하는 것이 보편화되어 있다.

그림 1의 (b)와 (c)는 덕타일 주철의 현미경 조직 사진이다. 여기에서 그림(b)는 주방 상태의 조직으로 탄소의 일부가 구상으로 정출되어 있고 기지는 pearlite와 소량의 cementite로 되어 있으므로 매우 경한 성질을 가진다. 그러므로 다시 이것을 900℃가량의 높은 온도에서 충분히 열처리한 다음 노냉(爐冷)하면 그림(c)에서 보는 바와 같이 기지 중의 철탄화물(cementite)이 완전히 분해하여 구상흑연과 ferrite로 되고 구상흑연의 수도 증가하게 됨을 알수 있다. 특히 이러한 조직의 것을 ferrite 덕타일 주철이라고 부르며, 이는 강도와 연성이 높으므로 수도용 송배수관으로 가장 많이 사용되고 있다.

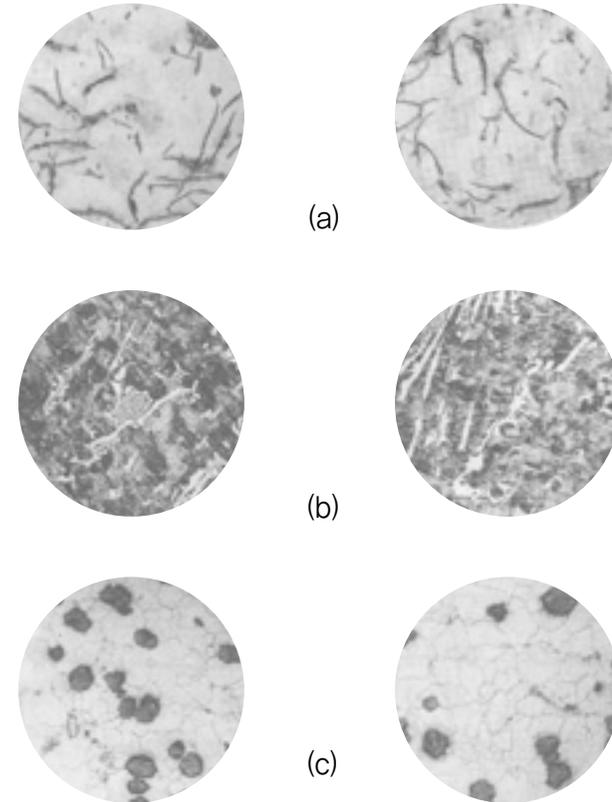


그림 1 주철의 조직 (Nital etched, X100)

(a)회주철 (b)주방(鑄放)상태의 덕타일주철 (c)열처리후의 덕타일주철

## 2. 기계적 성질 및 화학적 성질

### 1) 인장강도(引張強度)와 연신율(延伸率)

주철제품의 양부(良否)는 일반적으로 인장강도에 의해서 구별할 수 있다. 특히 주철관은 극심한 압력에 견뎌야 하므로 인장 강도가 높아야 함은 두말할 나위가 없다.

일반적으로 주철은 기지 내에 흑연이 분산하여 존재하고 있기 때문에 인장강도는 기지의 강도 표 1에 덕타일 주철의 인장강도, 연신율 등 기계적성질을 나타내고 표 2에 각국의 주철관 표준 규격에 정해진 인장 강도, 연신율, 경도 값을 당사주철관의 그것과 비교하여 나타내었다. 여기에서 덕타일 주철은 회주철에 비하여 인장강도가 훨씬 높음을 알 수 있다. 그이유는 다음과 같이 설명된다.

주철 중의 흑연은 대단히 약한 성분이다. 그런데 흑연이 편상으로 길게 존재하는 회주철의 경우에는, 재료의 하중을 받는 유효 단면적이 흑연으로 인하여 감소하게 되며, 또 응력이 편상흑연의 첨단부에 집중하게 되므로 쉽게 파단(破斷)하여 강도가 저하된다. 반대로 덕타일 주철의 경우에는 흑연의 형상이 구형(球形)이므로 비교적 강도가 높은 넓은 면적의 기지에 인장응력이 작용하므로 자연히 높은 강도를 나타낸다고 볼 수 있다.

한편 연신율은 앞서서도 언급한 바와 같이, 기지가 단단한 회주철은 연신율이 전혀없는데 반해 덕타일주철관은 기지가 질긴 ferrite로 되어 있으므로 대단히 높은 연신율을 갖음을 표 2에서 알 수 있다.

표 1. 덕타일 주철관의 기계적 성능

구분 \ 기계적성질	덕타일관	비 고
인장강도 N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	420(43) 이상	ISO 2531/ KS D4311
굽힘강도 N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	600(61.2) 이상	
내 력 N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	270(27.5) 이상	ISO 2531
연신율(%)	10 이상	ISO 2531/KS D4311
탄성 계수 kN/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	157~167 (1.6×10 <sup>4</sup> ~1.7×10 <sup>4</sup> )	
경 도	브리넬 230이하	ISO 2531/KS D4311
포아송비	0.28-0.29	
충격치(kg/m)	아이조도 5~10이하	
비 중	7.15	
선팽창계수	1.0×10 <sup>-5</sup> °C	

표 2. 덕타일 주철관의 규격 비교도

규격별	KS	ISO	JIS	당사제품
재 질	덕타일주철	덕타일주철	덕타일주철	덕타일주철
인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )	420	420이상	420	420
연신율 (%)	*1 10~7이상	*2 10~7이상	10 이상	10~18
경 도 (HB)	230 이하	230 이하	230 이하	145~200
규격번호	KSD4311	ISO2531	JISG5526	KPS-II-1041

\*1. DN1000mm이하는 10이상이고, 1100mm이상은 7이상임

\*2. DN40~1000mm는 10이상이고, DN1200~2000mm는 7이상임.

## 2) 경도

주철의 경도는 일반적으로 Brinell 경도 시험기로 측정한다. 이것은 조직내에 흑연이 비교적 조대(粗大)한 상태로 존재하기 때문에 될 수 있는 한 넓은 표면에서 평균적인 경도를 측정하여야 되기 때문이다.

주철의 경도에 미치는 조직내의 성분중 가장 중요한 것은 탄소의 존재상태라고 하겠다. 즉 탄소가 기지 중에 철탄화물로 존재하는 양이 많아지면 경도는 높아지고, 흑연화한 양이 많아지면 경도는 저하한다. 그런데 경도가 높으면 기계가공성은 상대적으로 불량하므로 주철의 경우에는 경도가 낮아야 한다.

표 2의 주철관의 표준규격에서 경도의 상한치를 표시한 것을 봐도 알 수 있다.

회주철은 경도가 보통 HB 150~300범위이고, 덕타일주철은 일반적으로 ferrite 기지인 경우는 HB 160~210정도이며 pearlite 기지인 경우에는 HB 200~270 정도이다.

## 3) 내충격 강도

주철의 충격에 대한 저항성과 충격전이온도(衝擊遷移溫度)는 극히 중요한 기계적 성질의 하나이다. 충격치는 규소량과 P의 증가에 따라 감소하고, 기지가 pearlite일 때 보다는 ferrite일 때 충격치가 높다. 그림 2에 덕타일 주철과 회주철의 온도 변화에 따른 charpy 충격치를 나타내었다.

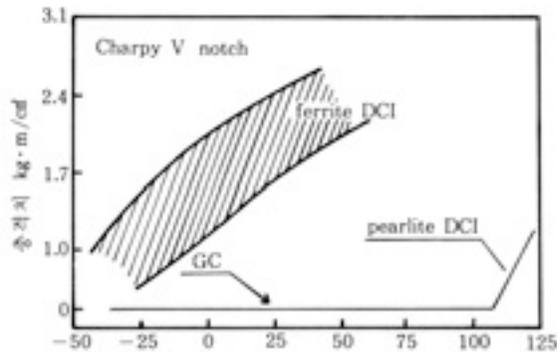


그림 2. 덕타일 주철관과 회주철의 충격전이곡선(衝擊遷移曲線)

여기에서 덕타일 주철은 회주철보다 충격치가 현저히 높고 0°C이하 온도에서도 높은 값을 갖고 있음을 알 수 있다.

이와같이 회주철이 낮은 충격치를 갖는 것은, 기지가 대부분 경한 pearlite로 되어 있을 뿐 아니라 1)에서도 언급한 바와 같이 흑연이 편상으로 존재하므로 이들 흑연이 기지를 불연속적으로 절단하는 상태가 되어, 재료내에 일종의 notch 역할을 하므로 충격하중에 쉽게 파단(破斷)되기 때문인 것으로 보인다. 반면에 덕타일주철은 기지 자체가 전연성이 좋은 ferrite로 되어 있고, 흑연이 기지 내에 노출되는 표면적이 최소 상태인 구상으로 존재하며, 또 기지가 거의 연속적으로 이어져 있으므로 충격 흡수 능력이 높고 따라서 높은 충격치를 나타낸다고 설명할 수 있다.

## 4) 내부식성

송배수관의 부식문제는 송배수의 위생적인 측면이나 경제적인 측면에서 그 중요성이 매우 높다.

관의 내부가 수분에 의해 부식을 당하게 되면 첫째로 수질을 해치게 되고 부식 생성물인 녹의 침지와 도관 내면의 거칠음으로 인하여 관의 송배수 능력을 저하시키게 되며, 장기적으로 공식(pitting)이나 관 두께의 감소로 주철관의 수명에 절대적인 영향을 주게 된다.

부식이란 일반적으로 어떤 외부 물질이 금속과 반응하여 더 안정한 화합물을 생성시키므로 금속에 손상을 일으키는 화학 또는 전기화학적 작용을 말한다.

화학적 부식이란 그 금속표면에 접촉하는 비금속 원소나 화합물이 직접적인 화학 또는 화합물 중의 다른 원소와의 치환에 의하여 진행되는 부식으로 주철의 경우 가장 일반적인 것은 산소와 수분에 의한 부식이다.

송배수용 주철관에 있어서는, 수분은 계면(界面)에서 주철과 반응할 음이온을 공급하거나 수분이 주철을 양이온으로 분해시키려는 경향이 있을 때 수중의 음이온 성분과 주철중의 양이온 성분이 화합하여 관을 부식시키게 되며, 이때 수산화제이철 또는 붉은 녹이 수중에 발생하게 된다.

또한 주철의 조직 성분중 흑연은 전기화학적으로 최상의 물성을 나타내며 기지 성분은 철탄화물, pearlite, ferrite순으로 귀하므로 흑연과 기지 조직의 전위차(電位差)에 의하여 기전력(起電力)이 발생되고 기지가 선택적으로 부식된다. 이러한 현상을 전기화학적 국부 전지 작용에 의한 국부 침식(局剖浸蝕-local pitting)이라 하는데 흑연가 기지의 접촉면적이 넓을수록 국부전지의 발생과 동시에 부식량도 증가하게 된다.

이러한 과정들로 부식이 진행되면 주철 표면은 수산화철 혹은 산화철로 변화하나, 흑연은 그대로 잔존하여 표면에 흑연피막을 형성하게 되고 부식생성물이 교착상태로 되어 강고한 보호피막을 형성하며, 더 이상의 내부 부식을 방지하게 된다. 표 3은 덕타일 주철과 회주철의 상수도물 중 침지 시간과 부식량의 관계를 나타낸 것이다.

표 3. 상수도물 중에서 부식양비교

재 질	부식량(mg/dm <sup>2</sup> / day)
덕타일 (주방상태)	32.4
회 주 철	34.9

한편 상수도용 주철관은 보통 지하에 매설하므로 토양(土壤) 조건에 따라 발생하는 외부 표면의 부식 문제도 고려해야 한다. 주철관의 토양에 대한 내부식 실험은 여러 사람에 의해 수행되어 왔는데 1968년 미국의 Romanoff는, 덕타일 주철관과 회주철관을 8~12년 동안 각기 다른 토양조건에서 실험하여 비교하였다.

그림 3은 이 결과를 나타낸 것으로 각지의 토양에 대하여 최대공식(孔蝕) 깊이와 주철관의 중량 손실을 시간의 경과에 따라 나타내었다. 실험방법은 직경 2 inch, 두께 1/4 inch의 주철관을 대략 3~4ft 지하에 매설한 다음, 시간의 경과에 따라 측정하여 그 평균치를 계산하였다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 토양조건에 따라 부식량의 차가 현저하고 동일한 토양 조건에서는 덕타일 주철과 회주철의 부식 속도도 서로 비슷함을 알 수 있다.

그런데 또 다른 문헌에서는 덕타일주철 중에서도 ferrite 기지의 주철관은 흑연이 구상으로 유리해서 존재하며 기지의 치밀도가 비교적 손실되지 않기 때문에 제반 부식제가 내부에 침입하기 어렵게 되어 회주철보다 내식성이 우수한 것으로 보고된 바도 있다.

결국, 주철관의 내부식성에 대한 많은 조사결과들을 종합하여 동일한 토양조건일 때 이들 주철관의 부식 양상(樣狀)과 부식 생성물은 동일하고, 덕타일주철관의 내부식성은 최소한 회주철과 동일하거나 우수한 것으로 평가된다. ANSI standard A21.51에 따르면 덕타일주철관은 어떠한 토양조건에도 설치 가능하고 부식으로 인한 파열을 걱정할 필요가 없다고 되어 있다.

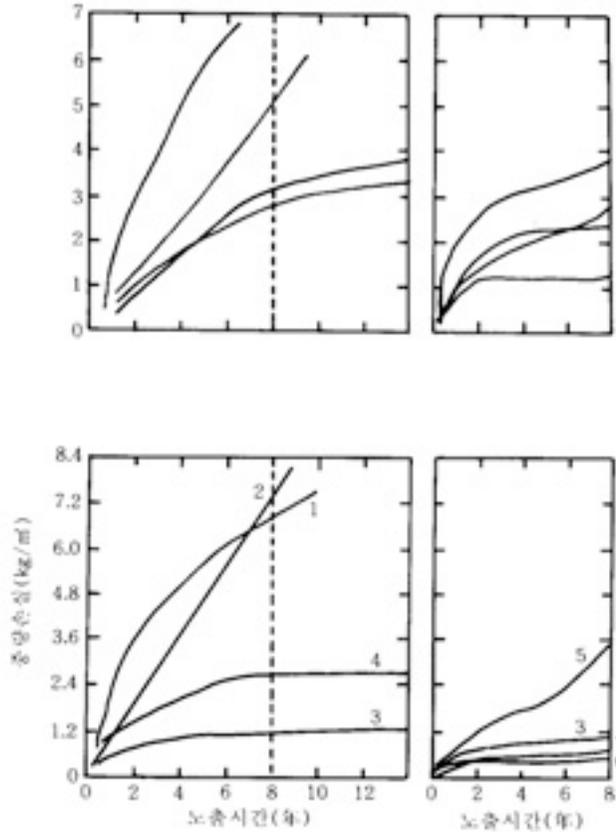


그림 3. 주철관의 토양중 부식에 따른 공식(孔蝕)깊이와 중량(重量)감소 관계

- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| 1. Acadia 지역     | 2. Lake Charles 지역 |
| 3. Hagerstown 지역 | 3. Susquehannd 지역  |
| 5. Cape May 지역   | 6. Sagemoor 지역     |
| 7. Lake wood 지역  |                    |

### 5) 내파열압력

송배수관이 지하에 부설되어 그 기능을 발휘하게 되면 관의 내외로부터 막대한 압력을 받게 된다. 먼저 내부압을 고찰하면 송수에 필요한 정수압(靜水壓)과 물의 갑작스런 흐름으로 물기둥이 관벽과 충돌할 때 일어나는 파괴적인 수충압(water hammer)이 작용한다.

지금까지 사례로 보아 송배수관의 내부압력으로 인한 파괴는 거의 이러한 수충압 때문인 것으로 알려졌다. 더욱이 오늘날에는 송배수관로가 장거리화하고 위치수두의 차가 증가하게 되며 대량의 물을 집중 급수해야 하는 지역이 많아지므로 수충압의 문제는 더욱 심각하게 되었다. 또한 내부압력이 증가하면 필연적으로 도관(道管)에서의 누수(漏水) 현상도 많이 발생하게 된다.

그러나 내압 능력을 향상시키기 위하여 무조건 관벽의 두께를 증가시킬 수는 없기 때문에 이러한 점에서도 강도가 높은 덕타일주철은 적당한 재료임이 입증된다.

주철관의 내파열 압력은 대략  $P=2ts/D$ 의 식에 의하여 구하는데 표 4는 이 식을 사용하여 구한 덕타일주철관과 회주철관의 내파열 압력을 보였다.

위 식에서 P는 파열수압, s는 관재(管財)의 인장강도, t는 관의 두께(관 두께에서 주조공차 10%를 뺀 두께, 10mm이상은 1mm를 뺀 두께) 그리고 D는 관의 내경이다.

표 4. 내파열 압력

호칭지름	관중		1 종관		2 종관		3 종관	
	관두께 (mm)	파열수압 (kgf/cm <sup>2</sup> )						
80	7.4	690	6.7	610	6.0	540		
100	7.5	564	6.8	506	6.1	445		
125	7.6	457	6.9	411	6.2	364		
150	7.7	385	7.0	347	6.3	311		
200	7.8	293	7.1	264	6.4	237		
250	8.3	250	7.5	224	6.8	202		
300	8.8	221	8.0	200	7.2	179		
350	9.4	203	8.5	182	7.7	164		
400	9.9	187	9.0	169	8.1	152		
450	10.5	178	9.5	160	8.6	144		
500	11.0	169	10.0	151	9.0	136		
600	12.1	156	11.0	140	9.9	125		
700	13.2	147	12.0	132	10.8	118		
800	14.3	141	13.0	126	11.7	112		
900	15.4	135	14.0	122	12.6	108		
1000	16.5	131	15.0	118	13.5	105		
1100	17.6	129	16.0	116	14.4	103		
1200	18.7	125	17.0	113	15.3	100		

덕타일 주철관의 파열수압은 제품의 수압시험에서의 시험수압과는 관계가 없다. 수압 시험은 구조상의 결함을 발견하기 위한 한가지 방법으로 석면관, 흙관, PVC관 등에서 말하는 보증수압 또는 시험수압등과는 본질적으로 다르다.

표 5. 덕타일 주철관의 시험수압

## ○ 덕타일 주철 직관

호칭지름 mm	시험수압 Mpa			
	1 종관	2 종관	3 종관	4 종관
300 이하	7	6	5	-
350~600	6	5	4	3.2
700~1000	5	4	3.2	2.5
1100~1200	4	3.2	2.5	1.8

## ○ 덕타일 주철 이형관

호칭지름(mm)	시험수압 (Mpa)
300 이하	3.0
350~600	2.5
700~1200	2.0

※ 수압시험은 구조 당시에 결함이 발생되는가를 확인하는데 그 목적이 있다.

## ○ 덕타일 주철관의 접합부 수압시험

종 류	호 칭(mm)	시 험 항 목	시 험 결 과
KP메커니컬 조인트 2종관	200	접합부 수압시험(100kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음
	300	접합부 수압시험(100kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음
	400	접합부 수압시험(90kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음
	600	접합부 수압시험(80kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음
	800	접합부 수압시험(70kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음
	1000	접합부 수압시험(60kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음
	1200	접합부 수압시험(50kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음
타이트 조인트 2종관	200	접합부 수압시험(100kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음
	300	접합부 수압시험(100kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음
	1000	접합부 수압시험(60kgf/cm <sup>2</sup> )	이상없음

## ○ 덕타일 주철관의 보증수압(Mpa)

관중	1 종관	2 종관	3 종관	4 종관
80	10	10	10	-
100	10	10	10	-
125	10	10	10	-
150	10	10	10	-
200	10	10	10	-
250	10	10	10	-
300	10	10	10	-
350	10	10	10	-
400	10	10	10	-
450	10	10	10	-
500	10	10	9.3	-
600	10	9.6	8.5	7.5
700	10	9.0	8.0	7.0
800	9.6	8.6	7.6	6.7
900	9.2	8.3	7.3	6.4
1000	8.9	8.0	7.1	6.2
1100	8.8	7.9	7.0	6.1
1200	8.5	7.7	6.8	5.9

비고) 표에 나타난 보증수압은 관의 파열수압의 70%로서 최고 10Mpa으로 했다. 단, 토압, 차량하중 등의 외압은 고려하지 않았다. 또한 규정대로 접합 시킨 접합부의 보증수압도 관의 보증수압과 같다.

현장에서 내파열압력은 관의 전장을 밀폐시키고 관이 파열될 때까지 수압을 가하여 측정한다.

표 5는 KS, ISO, JIS가 규정하는 두 재료의 관에 대한 수압 시험 규격으로 이와 같은 수압을 가한 후 test hammer로 두들겨서 손상되지 않아야 하며 누수도 없어야 한다고 규정하고 있다.

이와 같은 자료들을 조사하여 볼 때 덕타일 주철관은 내수압성이 크고, 파열압력도 높음을 알 수 있다.

미국의 주철관 연구 협회의 발표에 따르면 아직까지 덕타일 주철관이 수충압으로 파괴된 보고는 없으며, 이 재료만이 수충압의 위협을 해결할 수 있는 유일한 배수관용 재료임을 강조하고 있다.

### 3. 시공 및 유지관리상의 경제성

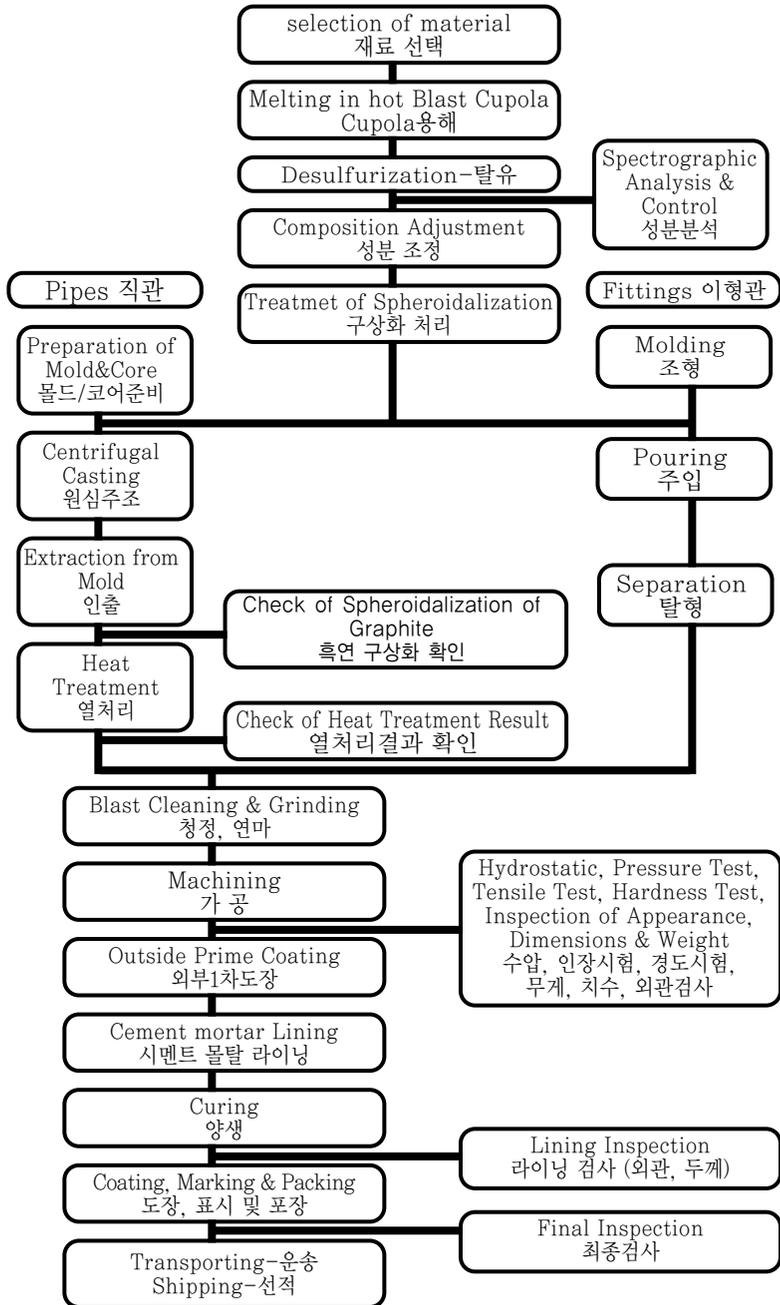
#### 1) 시공의 경제성

- 간편하고 경제적이다.
- 날씨와 지하수등 자연조건변화에 관계없이 일일계획량을 일정하게 시공할 수 있기 때문에 시공계획수립이 용이하고 공기도 짧아 경제적이다.
- 도심혼잡구간 및 미개발지역에서도 특수한 장비나 기술이 없어도 시공이 가능하고, 접합부 조인트에 필요한 최소굴착만으로 시공이 가능하여 토목공사비가 저렴하다.
- 연결부가 고무링으로 되어 있어 지반의 이동이나 침하에 잘 적응하고 전식에 대한 우려가 없어 별도의 전식설비가 필요없다.

#### 2) 유지관리시의 경제성

- 부단수천공으로 분기관설치가 용이하다
- 관이 무거워 과거 인력 시공시에는 시공이 어려웠으나 장비의 사용으로 용이하게 되었고 하천구간등에서 지하 수위 상승시 부상의 우려가 적다.
- 단순한 볼트만으로 체결하므로 시공시 인체에 미치는 영향이 전혀없다.
- 관로탐사가 용이하고, 규격품이 다양하므로 완벽한 보수작업이 용이하다.
- 절관 및 분기작업이 용이하다.
- 이설및 철거시 분해가 용이하다.
- 온도변화나 매설환경의 변화에 영향을 받지 않는다.

### 4. 제조공정



### 5. 관종 및 조인트 방법에 따른 약호

○ 조인트 방법에 따른 약호

조인트방법	관종(덕타일)
K: KP식 조인트	D1: 1종관
T: 타이튼 조인트	D2: 2종관
M: 메커니컬 조인트	D3: 3종관
	D4: 4종관

○ 약호표시 방법

분류	조인트 방법			
	관종	KP	타이튼	메커니컬
덕타일	1 종 관	D1K	D1T	D1M
	2 종 관	D2K	D2T	D2M
	3 종 관	D3K	D3T	D3M
	4 종 관	D4K	D4T	D4M

\*시멘트 라이닝관은 뒤에 “C자를” 쓴다. “예) D2KC

○ 관종에 따른 도시 방법

관종류	KP	타이튼	메커니컬	플랜지
도시방법	{	)}	)	┌

○ 내면시공방법 약호

약호	시공방법	비고
C	시멘트라이닝	
EL	액상에폭시도장	
ET	타르에폭시도장	
EP	에폭시분체도장	
C-B	시멘트 라이닝+흑페인트	역청솔류션
C-EL	시멘트 라이닝+액상에폭시	

표기에: 1) KP 메커니컬 조인트 덕타일 2종관에 시멘트 라이닝 및 액상에폭시를 실시한 경우  
 ⇨ D2KC-EL ← 외부시공방법  
 ↑ 내부시공방법  
 ※ 내부시공방법을 먼저 표기하고 외부시공방법을 나중에 표기한다  
 2) KP 메커니컬 조인트 덕타일 2종관에 에폭시 분체도장 및 흑페인트 도장을 실시한 경우  
 ⇨ D2K EP-B