球狀黑鉛鑄鐵

金　水　泳

1. 槪　　說

普通灰鑄鐵의 조직은 片狀黑鉛이 pearlite, ferrite와 또는 이것들이 혼합된 基地組織中에 들어 있는 상태이다. 1948年 영국의 Morrogh등이 鑄鐵中에 Ce을 첨가 하므로 또는 미국의Gagnebin이 Mg을 사용하므로 球狀黑鉛을 얻는데 성공하므로 球狀黑鉛鑄鐵이 세상에 나오게 된것이다. Ce使用은 공업화하지 못하였으며 Mg과 Ca 첨가 방법이 현재 공업화 되고 있다.

그 외에도 실험적으로는 Na, Ba, Sr, Zn 등이 첨가 되었으나 공업화에는 이르지 못 하였다. 처음으로 球狀黑鉛 鑄鐵을 만든Morrogh는 鑄入직전의 鑄鐵熔湯에 Ce을 첨가 했다. 이때 熔湯으로서 요구되는 조건으로서는 $C \geqq 4.3-(S+P)/3$ %의 過共晶組成이어야하며 硅素는 될수 있는대로 높고 硫黃과 燐은 적어야 한다. Morrogh는 Ce첨가후 接種은 하지 않았다 Mg첨가법은 전기 Ce법에 비 하면 값도 싸며 黑鉛球狀化作用도 우수하다.

亞共晶組成의 鑄鐵에서도 이용이 가능하며 공업적으로 훨씬 유리하다 다만 Mg은 그것만을 첨가하면 鑄鐵의 용해온도에 있어서 그 자체의 끓는점이상이 되어 반응이 격렬하기 때문에 Ni-Mg, Cu-Mg, Fe-Si-Mg合金으로 첨가하는 수가 많다. 다만 이와같은 合金을 첨가 하면 용탕 온도가 저하되는 결점을 면할 수 없다.

실제작업에 있어서는 Mg殘留量을 많게하기 위해서 또한 작업을 용의하게 하기 위해서 여러가지 合金이 만들어 지고 있으나 그 효과는 대동소이 하다. 또한 Ce, Mg와는 달리 日本등지에서는 Ca을 사용한 球狀黑鉛鑄鐵 製造方法이 연구 개발되었다. Ca 첨가방법으로서는 여러가지 방법이 있으나 Ca-Si合金을 첨가하는 방법이 가장 많다. 이것이 OZ方法으로 알려진 방법이다. 기타 Ca-Si合金을 MgF_2, CaF, NaF, $CaCN_2$등의 熔劑와 병용해서 첨가하는 경우도 있으나 많은 것은 아니다. Mg첨가나,

Ca첨가의 경우 대체로Fe-Si의 接種을 행하는 二重處理를 하는것이 보통이다. 이상 논한것과 같이 현재 실용화된 방법으로서는 Mg, Ca을 主體로한 合金이 많으나 이와같은 元素들은 대체로 강력한 脫硫黃, 脫酸作用을 하는것이므로 黑鉛의 球狀化는 이와같은 작용과 관련성이 있는 것으로 생각된다.

전술 한바와 같이 球狀黑鉛鑄鐵이란 鑄放상태에서 球狀黑鉛을 晶出하는 鑄鐵을 말하며 美國에서는 nodular cast iron, ductile iron, DCI등으로 불리워 지며 英國에서는 主로 spheroidal graphite cast iron, SG iron등으로 부르고 있다. 獨逸에서는 Sphärolithischer Gusseisen, Kugelförmiger Gusseisen등으로 말 하고있다. 日本에서는 粒狀鑄鐵, 延性鑄鐵, 球狀黑鉛鑄鐵鑄鐵, nodular이라고 한다. 學名은, 球狀黑鉛鑄鐵이라고 하는 것이 옳은 것으로 생각된다.

球狀黑鉛이 鑄鐵의 凝固過程중에서 晶出한것을 본것은 1935~1936년경이며 獨逸의 아아헨大學의 보고가 최초이며 C=1.5%, Si=3.5인 低炭素, 高硅素의 黑鉛鋼에서 보게된 것이다. 그후 1937년C, Adey가 高炭素의 피스톤링에서 球狀黑鉛

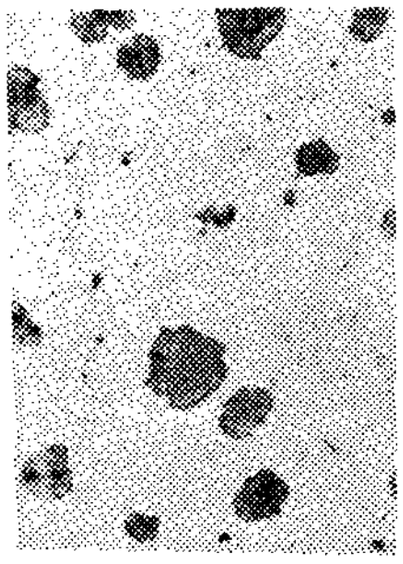
漢陽大學校 工科大學教授

이 존재한 것을 발견했으며 H. Hanemann이 만든 Atlas Metallographicus중에 그 사진을 게재한 것이다. 그후 球狀黑鉛은 高炭素鑄鐵을 鹽基性 스래그(slag)로 고온 용해하여 비교적 빠른 냉각속도로 냉각시키므로서 鑄放狀態에서 만든 것이다. 이와같은 硏究는 工業的으로 발전시킬 수 없었다. 그후에 전술한바와 같은 사람들에 의해서 공업화 할수 있게 된것이다. 1974년에는 우리나라의 球狀黑鉛鑄鐵은 2만 5천톤 정도의 生産이 있었으며 大部分이 鑄鐵管이다. 日本의 生産量은 1974년에 150만톤 程度라고 한다.

2. 特　　性

가. 組　織

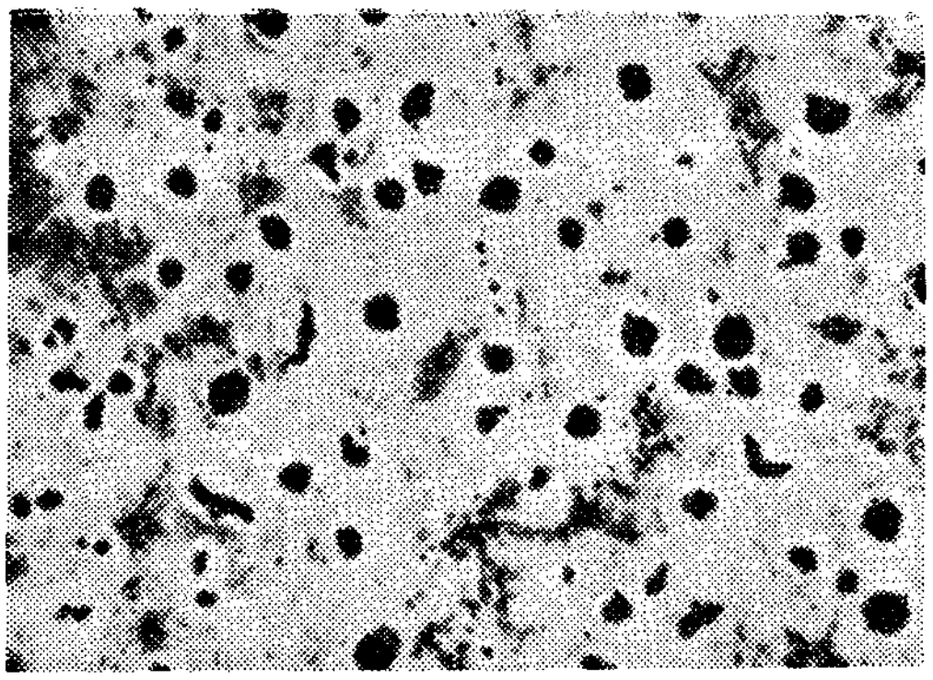
球狀黑鉛鑄鐵 組織의 특성은 黑鉛이 鑄放狀態에서 球狀化되어 있다는 點이다. 可鍛鑄鐵에서도 球狀黑鉛은 존재하나 그것은 熱處理에 의해서 Fe_3C를 분해시켜서 球狀으로 만드는 點에 큰 差異가 있으며 또한 一般鑄鐵의 경우는 黑鉛은 片狀이다. 勿論 片狀이라고 총괄적으로 말하고 있



〈Fig. 1〉 Ferrite型 球狀黑鉛鑄鐵

으나, 편의상 AFS에서는 이것을 A, B, C, D, E型으로 五分類하고 있는것은 周知의 사실이다. 또한 基地組織은 모든 種類의 鑄鐵에 있어서 ferrite, pearlite, 其他 特殊組織을 하고 있다. 一般型으로는 ferrite基地가 그 代表的인 것이다. 다음 Fig 1과 Fig. 2는 ferrite型 pearlite型 球狀黑鉛鑄鐵의 顯微鏡組織을 表示한다.

동일한 基地組織이라 할지라도 黑鉛의 型態가 다르면 즉 片狀이냐 球狀이냐에 의해서 그 機械的性質은 大端히 다르다 여기에 球狀黑鉛鑄鐵의



〈Fig. 2〉 Pearlite型 球狀黑鉛鑄鐵

重要性이 있는 것으로 생각된다. 다음 Fig. 3, Fig. 4는 ASTM의 黑鉛의 型態分類 및 黑鉛의 크기 分類를 表示한다. 그 型態는 特殊한것을 除外하고 六分類를 했으며 球狀黑鉛의 크기도 역시 六分類를 한것이다. 黑鉛의 크기는 다음 Table 1과 같다.

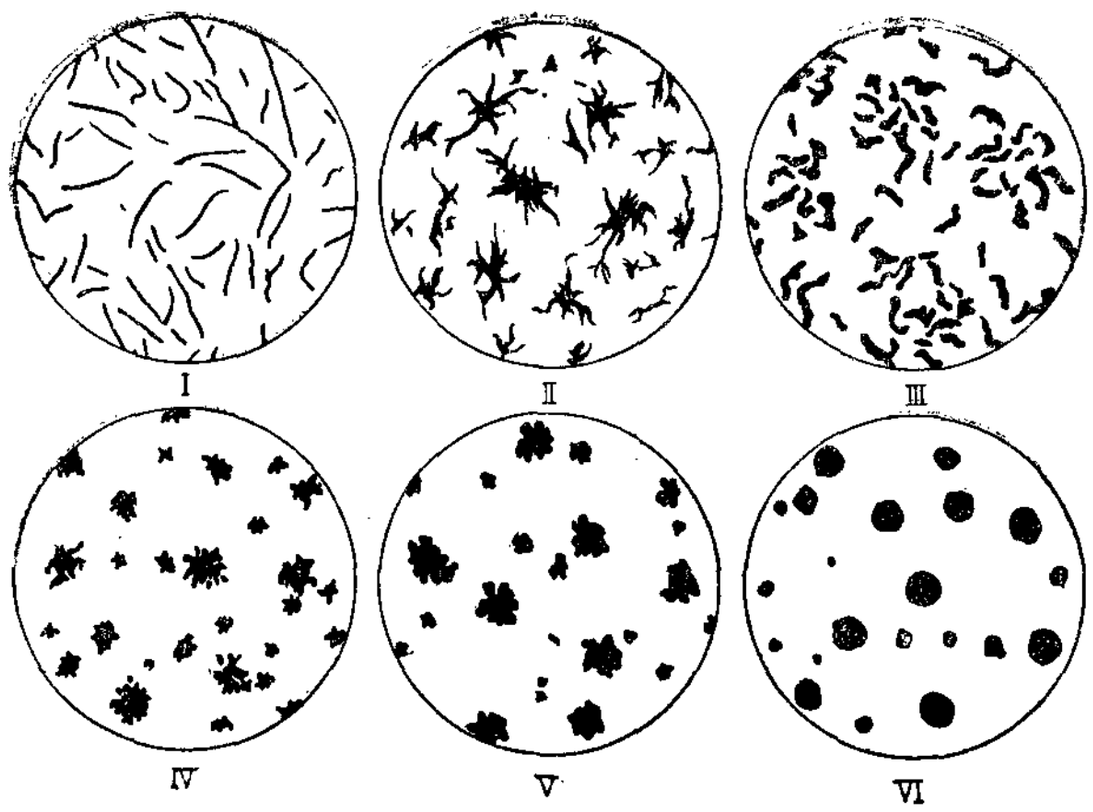
〈Table 1〉 黑鉛의 크기 分類

黑鉛크기의 指示番號	100倍의 顯微鏡寫眞에서의 크기 (mm)	實際의 크기 (mm)
3	25～50	0.25～0.5
4	12～25	0.12～0.25
5	6～12	0.06～0.12
6	3～6	0.03～0.06
7	1.5～3	0.015～0.03
8	<1.5	<0.015

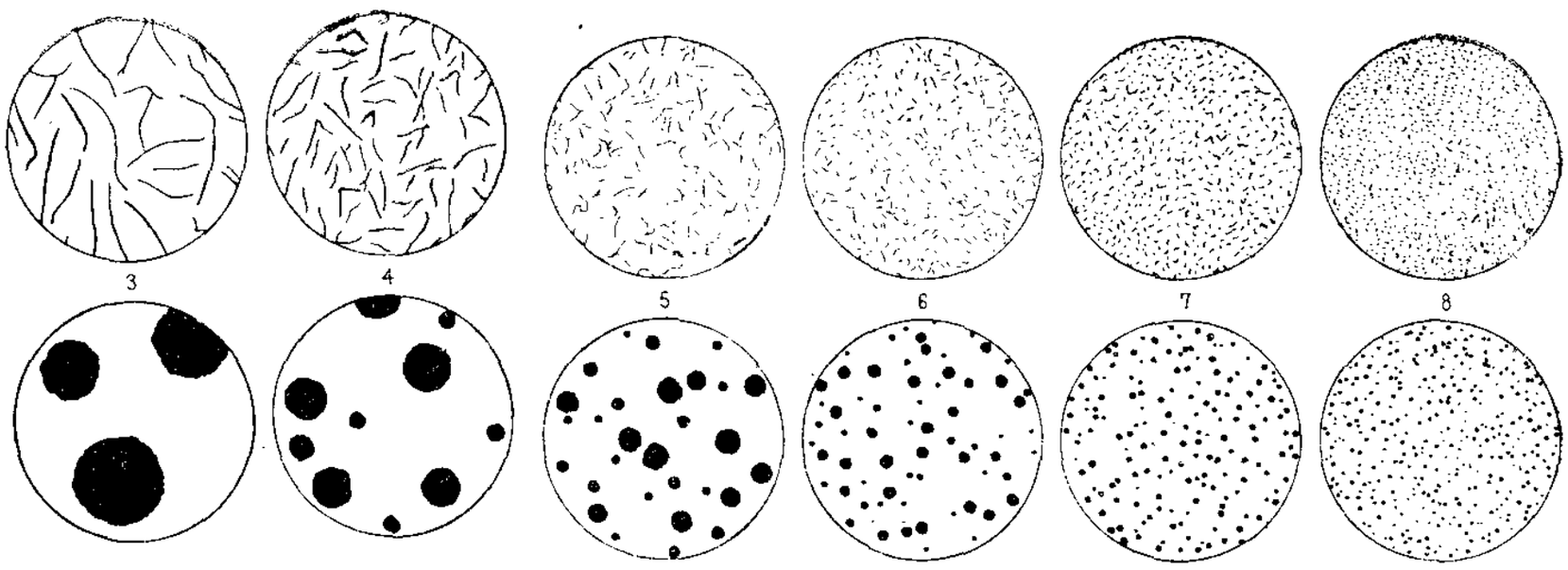
나. 物理的性質

Mg處理를 한 鑄鐵의 密度에 미치는 炭素 硅素및 Mg의 영향은 Table 2와 같다.

C+Si=6～7%의 一般鑄鐵(灰鑄鐵)의 pearlite 基地에 있어서의 密度 7.1～7.5 g/cm³, ferrite 基地의 6.7～7.2g/cm³에 比하면 比較的 크다. Mg量이 증가 할수록 cementite量이 증가하여 密度는 커진다. C, Si量이 증가하면 黑鉛化가 커져서 密度는 감소한다. P에 의해서 密度는 變化하지 않는다. 熔融狀態의 Mg處理 鑄鐵의 (C 3.44%, Si 2.56%, Mn 0.22%, P 0.11%, S 0.006%의 경우) 密度는 7 g/cm³程度이며 温度上昇으로 Table 3과 같이 減少한다.



〈Fig. 3〉 黑鉛의 型態分類



〈Fig. 4〉 黑鉛의 크기의 分類

〈Table 2〉 密度에 미치는 C, Si, Mg의 영향

Mg의 영향			C의 영향					Si의 영향				
Mg %	C+$\frac{1}{3}$(Si+P)%	密度 (g/cm³)	C (%)	Si (%)	C+$\frac{1}{3}$(Si+P)%	Mg(%)	密度 (g/cm³)	Si(%)	C (%)	C+$\frac{1}{3}$(Si+P)%	Mg(%)	密度 (g/cm³)
—	4.16	6.80	1.94	3.27	3.03	0.074	7,381	1.21	3.16	3.56	0.045	7,441
0.034	4.08	7.21	2.70	3.37	3.82	0.056	7,351	2.00	3.12	3.78	0.050	7,411
0.075	4.13	7.37	2.96	3.28	4.05	0.056	7,349	2.57	3.23	4.09	0.058	7,353
0.082	4.16	7.39	3.35	3.35	4.45	0.067	7,200	2.89	3.16	4.12	0.068	7,344
0.117	4.19	7.45	3.60	3.28	4.69	0.060	7,061	4.40	2.96	4.30	0.064	7,071

〈Table 3〉 熔融 Mg處理鑄鐵의 密度

温度 °C	1225	1300	1335	1350	1375	1415
密度g/cm³	7.05	6.94	6.91	6.85	6.78	6.75

本鑄鐵의 熱膨張係數値는 測定者에 의해서 一致되지않는다. 一般鑄鐵의 熱膨張係數는 10~11×10^{-6}/°C) (0~100°C)이나 球狀黑鉛鑄鐵은 11.6×10^{-6}/°C이다. 若干 一般鑄鐵보다 큰 셈이다. 또한 熱傳導率은 一般鑄鐵의 0.11~0.12 cal/cm·s°C 또는 可鍛鑄鐵의 0.15~0.16 cal/cm·s°C 보다 약간 낮다 즉 0.085~0.095 cal/cm·s°C 이다. 이와같은 差異는 主로 黑鉛의 形狀, 分布, 硅素量이 많은데 기인 된것으로 생각된다. 熱傳導率은 Table 4가 表示한 것같이 硅素量 증가에 의해서 감소한다. 즉 硅素量이 增加하므로 黑鉛의 크기가 작아지며 pearlite基地가 감소하며ferrite가 증가 하기 때문이다. ferrite, pearlite, cem

〈Table 4〉 Mg 處理鑄鐵의 Si量과 熱傳導率

種類	化學組成 %							組織量%			黑鉛粒子의크기 (mm×100)	熱傳導率 cal/cm·S°C
	TC	Si	Mn	S	P	Ni	Mg	pearlite	ferrite	黑鉛		
1	3.57	1.12	0.33	0.004	0.035	1.33	0.06	61	30	9	4.71	0.0900
2	3.56	2.27	0.33	0.010	0.025	1.30	0.06	40	50	10	3.07	0.0888
3	3.47	3.53	0.29	0.012	0.030	1.30	0.06	35	55	9	2.44	0.0865
4	3.36	4.34	0.40	0.010	0.030	1.23	0.06	5	85	10	2.06	0.0840
5	3.32	2.28	0.50	0.010	0.055	1.12	0.06	85	5	10	4.44	0.0852

〈Table 5〉 球狀黑鉛鑄鐵의 機機的性質의 範圍

引張强度kg/mm²	降伏高kg/mm²	伸率 %	彈性率kg/mm²	硬度 H_B
42~98	28~85	18~1	15000~18000	134~140

〈Table 6〉 球狀 黑鉛鑄鐵品(JISG 5502—1961)

種類	記號	引張試驗			硬度
		引張强度kg/mm²	耐力 kg/mm²	伸率 %	
1 種	FCD 40	40 以上	28 以上	12 以上	120—190
2 〃	FCD 45	45 以上	30 以上	5 以上	140~240
3 〃	FCD 55	55 以上	38 以上	2 以上	170~290
4 〃	FCD 70	70 以上	43 以上	1 以上	230~350

〈Table 7〉 球狀黑鉛鑄鐵品 (JISG 5502—1971)

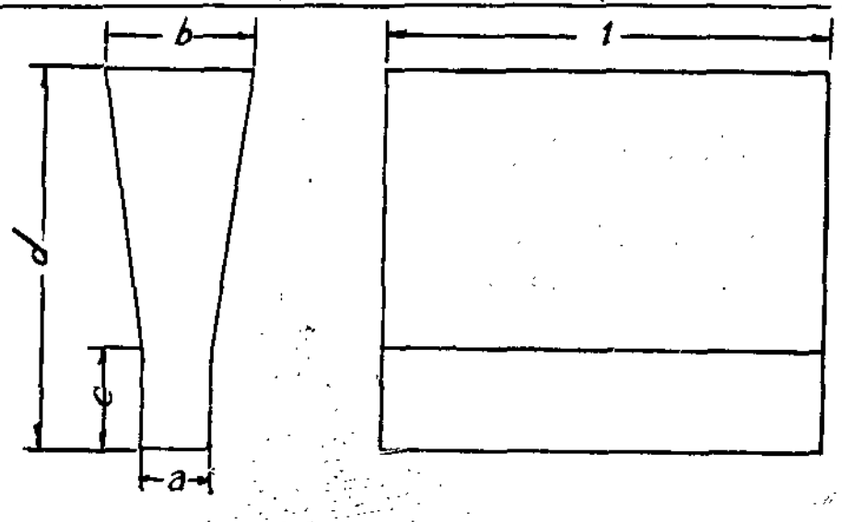
種類	記號	引張試驗			硬度 H_B
		引張强度kg/mm²	耐力kg/mm²	伸率 %	
1 種	FCD 40	40 以上	26 以上	15 以上	121~197
2 〃	FCD 45	45 以上	30 以上	10 以上	143~217
3 〃	FCD 50	50 以上	35 以上	7 以上	170~241
4 〃	FCD 60	60 以上	40 以上	2 以上	207~285
5 〃	FCD 70	70 以上	45 以上	2 以上	229~321

entite 및 黑鉛의 熱傳導率은 各各, 0.184, 0.12 0.017 및 0.25~0.3 cal/cm·s°C이다. Mg處 理鑄鐵의 熱傳導率은 主로 基地의 性質에 의해서 決定된다고 생각할수 있다.

다. 機械的性質

球狀黑鉛鑄鐵의 機械的諸性質은 化學組成, 顯微鏡組織등에 의해서 다르나 大體的으로 다음 Table 5가 表示하는 範圍이다.

여기에 日本의 경우를 一例로 들어 보겠다. 즉



종 류	a	b	c	d	l
A 호	25	55	40	140	150 이상
B 호	50	90	50	160	150 이상

〈Fig. 5〉 球狀黑鉛鑄鐵(JIS 5502)의 供試材의形狀및寸法

〈Table 8〉 球狀黑鉛鑄鐵의 衝擊値에미치는硅素의 영향

化學成分 %		16kg-m Amsler 試驗機衝擊値備考 kg-m	添 加
C	Si		
3.51	2.62	15	—
3.29	3.22	15	Mn 0.75%
3.61	4.01	9.7	P 0.17%
2.93	4.95	6.6	S 0,03%
2.44	5.94	2.6	Mg 0.55%

日本은 1961年에 球狀黑鉛鑄鐵의 規格을 만들었다. 그後 그들은 1971年에 이것을 다시 改正하여 改良한것이다. 다음 Table 6은 舊規格이며 Table 7은 改正規格이다.

勿論 이것의 試驗片으로서는 Fig. 5와 같은 Y block가 定해졌다.

이와같은 Y block을 使用하는 것은 球狀黑鉛鑄鐵이 內部 shrinkage-cavity가 크게 생기기 때문이다. 즉 鑄鋼과 同一하게 생각하고 있다.

(1) 引張强度

一般的인 組織이라면 約60~80 kg/mm²程度이며 그 값은 主로 黑鉛의 形狀 및 基地組織에 의해서 變化한다. 熱處理를 行하면 80 kg/mm²以上이 될수 있다.

(2) 降伏點

片狀黑鉛鑄鐵의 stress-strain curve에는 直線部가 없으며 軟鋼에서 보여주는 것과같은 降伏點은 나타나지 않는다. 그러나 球狀黑鉛鑄鐵에서는 stress-strain curve에 直線部가 存在하며 降伏點도 觀察할수 있다. 높은 降伏點과 降伏點引張强度 즉 降伏比가 높으며 0.7~0.8 程度이다.

(3) 伸 率

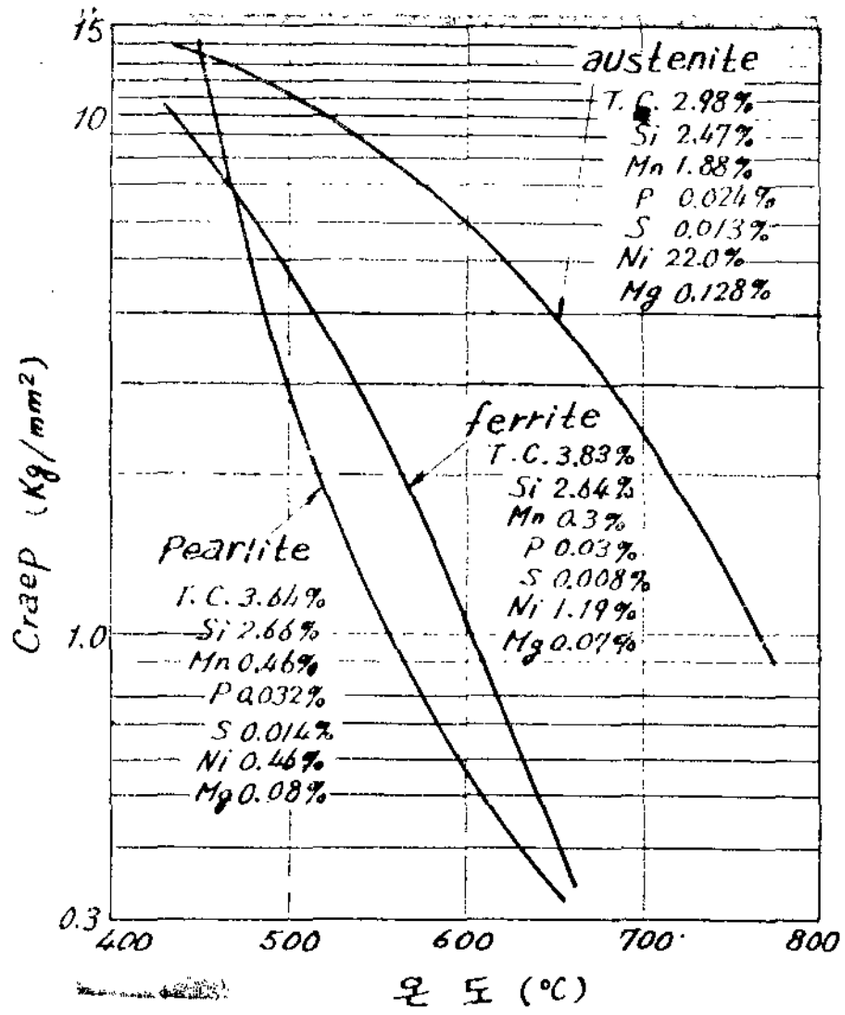
片狀黑鉛鑄鐵에 比해서 크다. 25%程度를 나타내는 것도 있다.

(4) 硬 度

Ferrite基地의 경우는 160~210H_B, pearlite基地의 경우는 200~270 H_B정도이다. 片狀黑鉛鑄鐵에 比해서 球狀黑鉛鑄鐵의 硬度가 높은것은 黑鉛의 形狀이 球狀인것과 基地의 硅素量이 많은것에 기인한다.

(5) 耐衝擊强度

球狀黑鉛鑄鐵의 衝擊에 對한 抵抗, 遷移温度는 극히 重要한 性質이다. Table 8에 表示한것과같



〈Fig. 6〉 各種基地의 球狀黑鉛鑄鐵의Creep最小 10,000 hr creep (kg/mm²)

이 衝擊値는 硅素量이 많아지면 減少한다. P에 對한 영향도 크며 P가 많아지면 減少한다.

衝擊値는 pearlite量에 의해서도 變化한다. 一般的으로 量의 증가에 의해서 衝擊値는 低下한다. 遷移温度는 反對로 上昇한다. 이와같이 球狀黑鉛鑄鐵의 衝擊値는 pearlite 6~10 kg-m/mm²程度이며 鋼, 可鍛鑄鐵에 比해서 比較的 낮은 값을나타낸다. 또한 添加元素의 效果로서는 C 3.5%, Si 2.5%, Mn 0.3%의 球狀黑鉛鑄鐵에 있어서는 衝擊値가 큰 範圍는 Ni 1.5~2.25%, Mo 0.5~1.0%이다. 一般的으로 Cr는 적게한다.

(6) 疲勞强度

球狀黑鉛鑄鐵의 疲勞强度는 黑鉛의 形狀이 球狀인 경우가 가장 높으며 燒鈍, 黑鉛, 片狀黑鉛의 순서로 低下한다. 球狀黑鉛鑄鐵의 反復回轉 굽힘 疲勞限은 ferrite量이 증가 할수록 높아진다.

(7) Creep 强度

球狀黑鉛鑄鐵의 creep强度에 對한 硏究는 그렇게 많지 않다. 一般的으로 ferrite基地의 球狀黑鉛鑄鐵의 370~650°C에서의 强度 creep는 鋼과 類似하다. 다음 Table 9는 各温度의 creep限度를 表示한다.

또한 creep强度는 基地組織의 相違에 의해서도 달라진다. Fig. 6은 이것을 表示한다. 즉 球狀黑鉛鑄鐵의 425°C~760°C範圍에서의 各種 基地

〈Table 9〉 Ferrite 基地球狀黑鉛鑄鐵의 creep限

種　類	10,000 creep (kg/mm²)				100,000 creep (kg/mm²)			
	400°C	425°C	450°C	475°C	400°C	425°C	450°C	475°C
A	18	14	11.5	9.5	14	10.5	8.5	?
B	20	15	11.5	8.5	14	9	7	—
C	19	16.5	13	10.5	15	12	10	0.5

	C	Si	Mn	P	S
A	3.02%	2.48%	0.65%	0.08%	0.009%
B	2.73%	2.58%	0.65%	0.08%	0.009%
C	2.55%	6.45%	0.65%	0.08%	0.009%

〈Table 10〉 各種　蝕劑中에서의 鐵鋼材料의 耐蝕性

腐蝕劑및腐蝕條件		機驗中腐蝕生成物의除去의有無	機驗時間 (hr)	腐蝕速度 (g/m²·hr)					
				ferrite地球狀黑鉛	ferrite pearlit 地球狀黑鉛	pearlite地球狀黑鉛	pearlite地片狀黑鉛	鑄放의鑄鋼	燒準壓延鋼
硫酸	3%, 25°C	無	6	30.7	230.0	234.1	39.7	122.7	5.6
	5%, 50°C	有	65	99.5	—	780.7	1,280.0	—	—
		無	3	160.1	—	988.0	925.0	—	—
酢　酸	0.5%	無	52	—	—	0.043	1.800	—	—
鹽　酸	1%, 20°C	有	46	1.7	—	3.4	24.8	—	—
		無	49	2.9	—	4.5	23.3	—	—
硫酸암모니아	10%, 20°C	有	121	0.422	—	0.605	0.695	—	—
		無	120	0.312	—	0.354	0.518	—	—
苛性曹達	10%, 50°C	有	730	0.0079	—	0.0054	0.0137	—	—
		無	736	0.0083	—	0.0104	0.0154	—	—
0.037% SO_2 添加 空氣中 濕度 95~99%)		無	1,440	0.2375	0.1959	0.1834	0.2014	0.1472	—
工場雰圍氣建物의屋上		無	2,880	0.1512	0.1259	0.1173	0.1175	0.1016	—
流動海水 20°C (2.38m/s)		有	480	0.292	—	0.288	0.229	—	—
		無	454	0.206	—	0.206	0.200	—	—
食　鹽 3%, 15~19°C		無	720	0.0641	0.0691	0.0699	0.0700	0.0659	—
水道水 20°C 스크류 裝置付		無	2,160	0.1799	0.2147	0.2376	0.2229	0.1918	—

의 creep限을 나타내고 있다. 이것에 의하면 pearlite基地나 ferrite基地는 650°C에서는 그 差가 없어지고 있다. Cu 0.56%, Mo 0.81%添加에 의해서 creep强度는 改良된다고 하는 研究報告가 있다.

(8) 耐摩耗性

球狀黑鉛鑄鐵의 耐摩耗性은 一般鑄鐵의 경우와 同一하게 摩耗條件에 따라서 그 摩耗性은 달라진다. ferrite量이 증가하면 摩耗量은 增加하며 不良하다. 一般的으로 潤滑摩耗에 對해서는 普通鑄鐵보다 良好하다.

(9) 熔接性

一般的으로 鑄鐵의 熔接은 어렵다. 特히 熔接部의 温度, 加熱連度, 冷却速度등이 달라지기 때문

에 熔接部와 그 周邊部의 組織이 들려지며 內部應力이 發生해서 熔接의 强度가 問題가 된다. 그러나 近來 熔接方法이 改善되어서 좋은 結果를 얻고 있다. 특히 留意해야 할 것은 熔接部의 組織이 母材의 組織과 同一하게 한다는 것이다.

(10) 切削性

球狀黑鉛鑄鐵의 切削性은 鋼의 切削性과 類似한 것으로 생각된다. 片狀, 球狀 다같이 ferrite 基地의 경우는 極히 切削性이 良好하나 pearlite基地의 경우는 變化가 없다. 球狀黑鉛鑄鐵의 切削性은 그 鑄物의 表面狀態에 의해도 달라지며 潤滑油의 使用에 의해서도 달라진다. 一般的으로 球狀黑鉛鑄鐵의 切削性은 다른 鑄鐵에 比해서 切削性은 良好하지 않는것으로 알려져있다.

라. 化學的性質

(1) 耐蝕性

다음 Table 10은 여러 研究者들의 結果를 綜合한것이다. 이것에 의하면 3%, 5%硫酸中의 腐蝕은 大端히 甚하다. 一般的으로 ferrite 基地의 球狀黑鉛鑄鐵은 普通鑄鐵보다 耐蝕性이 良好하다 硅素, Ni, Cu 등을 添加하면 耐蝕性은 더욱 改善된다.

(2) 耐熱性

一般的으로 pearlite基地 球狀黑鉛鑄鐵의 pearlite는 550°C 附近에서 부터 黑鉛化하기 시작한다. 硅素 4~6%의 경우는 變態開始溫度가 上昇한다.

3. 用 途

球狀黑鉛鑄鐵은 그 性質이 優秀하여 多方面으로 그 用途가 넓다. 여기에 그用途에 對해서 論하고자 한다.

(A) 機械部品

(B) 鑄鐵管

(C) Roll 및 壓延機

(D) 耐熱部品

가) 機械部品

前述한바와 같이 球狀黑鉛鑄鐵은 普通鑄鐵에 比해서 여러가지 長點을 갖고 있기때문에 鑄鋼可鍛鑄鐵, 普通鑄鐵등의 機械部品 代用으로 널리 使用되어 그適用分野가 漸次擴大되어 가고 있다.

(1) 强靱性의 應用例

球狀黑鉛鑄鐵은 그 製法에 의해서 差異는 있으나 含有하고 있는 黑鉛이 大部分 球狀化되어 있으므로 普通鑄鐵에서 볼 수 있는것과 같은 notch 效果가 적으며 大端히 强靱한 材料이다. 즉 引張强度가 普通鑄鐵보다 3~4倍이며 鑄鋼과 類似하다. 그러므로 이와같은 性質이 要求되는 機械部品으로 使用되고 있다.

a) Crank-shaft類

本鑄鐵은 內燃機關의 crank-shaft등에 多量으로 使用되며 FCD 55, FCD 45의 材質을 많이 쓰워진다.

b) 耐壓 gauge類

從來 材質的인 强度때문에 鑄鋼材가 많이 使用되었으나. 鑄造性이 良好하며 强靱한 本材料가 많이 使用되며 複雜한 形狀의 것은 이 材料가 最適이다. 또한 耐蝕性이 要求되는 경우는 niresist 系本材料가 使用된다.

c) Engine-block

內燃機關 特히 自動車의 engine에는 本材料가 漸次 多量으로 使用되며 shell鑄型에 의한 칫수精度가 向上되어 더욱 好條件이다.

d) 船用 piston-ring

船用 diesel engine에서 C重油의 使用增加에 따라 piston ring의 折損이 甚해져서 FCD55를 使用한 船用 ring이 耐摩耗性이 大端히 優秀하여 이材料가 使用된다.

(2) 耐摩耗性의 應用例

球狀黑鉛鑄鐵의 特徵의 하나는 耐摩耗性이 良好하다는 點이다. 鑄鋼에 比較했을 때 黑鉛이 있기 때문에 自己潤滑性이 있어서 動摩擦係數가 낮기 때문에 燒着現象이 이러나지 않는다. 또한 普通鑄鐵과 比較하여도 耐摩耗性이 좋은 良材이다. 그러나 組織이 ferrite가 많아지면 耐摩耗性은 低下된다. 故로 Mn, Cu, Sn 添加에 의해서 析出 ferrite을 막아야 한다. 本鑄鐵에 Ni, Cr, Mo, 등을 加하여 調質하면 더욱 良好해 진다.

〈Table 11〉 型鋼用 各種 Roll의 機械的 性質

Roll 材 ＼ 性質	引張强度kg/mm²	伸率%	衝擊値kg/cm²	硬度 H_S
球狀黑鉛鑄鐵	40~50	0~3	0.3~1.0	40~50
鑄　　鋼	60~70	5~10	2~3	30~35

〈Table 12〉 球狀黑鉛鑄鐵 Roll의 硬度 및 組成

用　　途	硬　度	化學組成 %							
		C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Cr
分　　塊	35~40	3.0~3.5	1.8~2.3	0.2~0.6	0.04~0.10	0.005~0.015	0.2~0.6	1.5~2.5	0.2~0.5
大形一般型鋼	35~40	2.8~3.3	1.5~2.0	0.2~0.6	同上	同上	同上	同上	同上
大形特殊型鋼	45~55	3.0~3.5	1.5~2.0	0.3~0.7	同上	同上	同上	2.5~4.0	0.4~0.7
中形型鋼	55~60	3.0~3.5	1.4~1.9	0.2~0.6	同上	同上	同上	0.5~1.5	同上
連續鋼片	55~60	3.0~3.5	1.4~1.9	0.2~0.6	同上	同上	同上	同上	同上
鋼　　板	60~80	3.0~3.5	1.2~1.8	0.3~0.7	同上	同上	同上	1.5~4.0	0.5~0.8

a) Cylinder liner

Diesel用 cylinder liner로서 많이 使用된다. 大體로 FCD 55 程度이다.

b) Brake-dram

Brake-dram로서 鑄鋼을 使用하면 lining와의 사이에 異常摩耗가 이러나서 從來에는 普通鑄鐵을 썼으나 周速이 빨라지므로 强度的이나 壽命的으로 좋지 않아서 球狀黑鉛鑄鐵의 使用으로 上記缺點을 막게 되었다. 硅素가 많으면 熱傳導가 惡化되므로 留意해야한다.

c) 齒車類

齒車用 材料로서도 本材料는 大端히 많이 使用되고 있다.

(3) 鑄造性의 應用例

球狀黑鉛鑄鐵의 炭素含量은 3.5~4.0%로 普通鑄鐵보다는 높으며 黑鉛球狀化處理에 의해서 充分한 脫酸脫黃이 되기 때문에 普通鑄鐵에 떠러지지 않는 流動性을 表示한다. 故로 鑄鋼으로서는 鑄造困難한 薄肉鑄物, 形狀이 複雜한 鑄物을 普通鑄鐵과 同一하게 製造可能하다. 그러나 特殊한 凝固機構를 나타내기 때문에 shrinkage-cavity, dross發生에는 留意가 必要하다.

a) Pump材質

3mm程度의 薄肉品도 製造可能하다.

b) 各種 lever類 c) 各種複雜한 齒車類 d) 各種 工作機械部品 등을 만들수 있다.

나) 鑄鐵管

鑄鐵管은 그 耐蝕性과 强度에 의해서 옛날부터 上水道 gas 輸送用으로 使用되었다. 鑄鐵의 材質向上에 의해서 普通鑄鐵에서 高級鑄鐵로 變했으며, 球狀黑鉛鑄鐵이 生產되면서 부터는 이 鑄鐵이 使用되기 시작하였다. 1974年度에는 우리나라 球狀黑鉛鑄鐵의 生產量의 大部分은 鑄鐵管이었다 日本에서도 1962年度의 日本의 全鑄鐵生產量의44%가 球狀黑鉛鑄鐵管이였다. 또한 全球狀黑鉛鑄鐵品의 66%가 鑄鐵管이였다. 이것은 球狀黑鉛鑄鐵管이 强度가 높으며 故로 薄肉輕量이며 耐壓, 耐蝕性이 優秀한데 기인 된다.

다) Roll 및 壓延機

球狀黑鉛鑄鐵은 그 優秀한 强靱性, 耐摩耗性. 耐熱性을 兼備하고 있기 때문에 各種壓延機에 使用된다. 現在 使用되고 있는 主要한 用途를 들면

다음과 같다. 즉 roll을 爲始하여 table-roller, 등의 各種 roller類, 鋼片冷却臺, 各種 guide類 frame類, stand類, 모두 從來의 鋼, 鑄鐵製에 比較하면 良好한 成績을 나타내고 있다. 特히 이것들 中에서 눈부신 進出을 한것으로는 鋼材壓延用 roll이다. Roll이 가져야 할 여러가지 特性, 化學組成, 組織에 對해서는 詳細한것은 다음 機會에 미루고 省略한다. 다만 各種 roll의 機械的 性質, 一般的인 組成에 對해서만 表로 나타내기로 한다.

라) Ingot-case

Ingot-case는 使用할때 熔鋼注入과 同時에 內面은 800°C以上의 高温으로 急速히 加熱되었다. 그 後 急冷되는 苛酷한 熱履歷을 反復하게 된다. 故로 case材質은 熱應力에 견딜수 있는 强度를 가져야 하며 應力吸收性과 耐熱性을 兼備한 鑄鐵이 一般的으로 使用된다. 鑄鐵材質이 case의 壽命에 미치는 영향이 大端히 크므로 材質이 不適當하면 早期에 갈라져서 case의 耐用命數를 甚하게 低下시킨다. 球狀黑鉛鑄鐵은 强靱性에 있어서나 耐熱性에 있어서 普通鑄鐵보다 훨씬 優秀하므로 case用材料로서 最適인 것으로 알려져 있다. case用 材料는 前述한바와 같이 큰 熱應力에 견디며 耐酸化, 耐成長性등의 熱的性質에 있어서 優秀하지 않으면 않되기 때문에 一般的인 機械部品이나 鑄鐵管등과 달라서 多少 다른 材質이 要求된다. 化學成分은 特히 T.C.는 基地中에 ferite組織을 晶出시켜서 靱性을 크게 하며, 彈性係數를 적게 하기 때문에 T.C.를 3.6~3.9%로 높인다. 硅素는 耐熱性과 靱性의 面에서 Si 1.6~2.0%로 低硅素가 좋다. 其他의 主要元素는 Mn 0.3~0.6%, P<0.1%, S<0.01%, Mg 0.05~0.08%가 가장 適當하다. Mn은 其他組織의 調整劑로서 有効하므로 Mn>0.5%로 하면 第2段黑鉛化를 阻止해서 pearlite를 安定하게 하므로 耐熱性을 向上시킨다. 그러나 反面材質을 硬하게 해서 case가 깨지기 쉽게 되기 때문에 留意해야 한다. P는 steadite를 만들어 靱性을 害하므로 낮은 것이 좋다. Mg은 苦干 많은 것이 좋다. 一般的으로 case는 두꺼워서 20ton 級에 있어서는 250 mm以上이 되므로 鑄造後 凝固完了까지의 時間이 길며 그 間에 球狀黑鉛이 나빠지는 傾向이 있기 때문이다. 最近에는 特殊鋼用 case로서 耐熱性向上을 위해서 少量의 Ni, Cr, Mo등을 添加하든지 大型 case에 있어서 pearlite 安定劑로서 Sn을 添加해서 좋은 結果를 얻은 例가 있다. 基地組織은 pearlite와 ferrite의 混合組織이 良好하며 그 比率은 case의 形狀, 두께, 使用條件에 의해서 變化한다. 一例를 들면 15ton 以上의 大型 case는 큰 熱應力이 發生하기 때문에 깨지는 것을 防止하기 위해서 ferrite量을 많이 해야 하며 200kg級의 特殊鋼丸型 case는 깨지는 危險性은 적음으로 耐熱性을 重視하여 pearlite量을 많이 해야 한다. 機械的 性質은 化學成分, 基地組織에 의해서 變化한다. 그 範圍는 40~80 kg/mm², 伸率은 3~15% 硬度는 140~200H_B程度 이다.

마) 耐熱部品

各種鑄鐵中에서 特히 球狀黑鉛鑄鐵은 耐熱性이 優秀하여 耐熱部品으로 널리 利用되고 있다. 耐熱部品으로 使用되는 球狀黑鉛鑄鐵은 化學組成組織등에 의해서 다음種으로 分類한다.

(1) 普通球狀黑鉛鑄鐵

(2) 高硅素球狀黑鉛鑄鐵

(3) 特殊球狀黑鉛鑄鐵

上記와 같은 各種球狀黑鉛鑄鐵을 耐熱部品으로 使用할 때에는 그 材料의 特性을 充分히 살려서 耐熱部品으로서의 效果를 높이기 위해서 使用目的條件에 最適인 材料를 選擇해야 한다. 耐熱部品으로 使用時의 變形, 龜裂을 防止하기 위한 熱處理도 必要하다. 또한 calorizing과 같은 表面處理를 하면 더욱 良好하다.

(1) 普通球狀黑鉛鑄鐵

耐熱温度는 900°C以下이고 强靱하며 耐摩耗性 耐衝擊性이 優秀하다. 또한 鑄造性도 良好한 材料이다. 값이 싸기 때문에 耐熱用球狀黑鉛鑄鐵로서 널리 使用되고 있다. 本材料의 化學組成은 Table 13과 같다. 熱處理에도 鑄造應力除去와 ferrite化의 二種이있다.

이 材料가 使用되는 것은 大體로 다음과 같다.

a) 燒結機 dust catcher

b) 平爐用 frame

c) 厚板用 slab 冷却臺

〈Tabel 13〉 普通球狀黑鉛鑄鐵의 化學組成 (%)

C	Si	Mn	P	S
3.3~3.8	2.0~3.0	0.2~0.6	0.10以下	0.05以下

d) 熔鑛爐煙導管

e) 熔鑛爐 溶滓鍋

(2) 高硅素球狀黑鉛鑄鐵

硅素를 3.0~5.0%含有시켜 一層耐熱性을 向上시킨 것으로 그 耐熱温度는 1000°C程度이며 高温에 있어서의 强度도 크며 優秀한 耐熱材料이다 反面 靱性이 不足되며 急熱急冷을 받는 材料로서는 使用不適이다. 이와같은 脆性, 龜裂 防止策으로서 Ni등을 加하는것보다는 硅素量을 適切하게 調節하는 것이 좋다. 즉 硅素量을 5.0%以上으로 하지 않는 것이 上策이다. 一般的인 化學組成은 Table 14와 같다. 鑄造應力 除去 燒鈍을 하는 것이 普通이다.

〈Table 14〉 高珪素球狀黑鉛鑄鐵의化學組成 (%)

C	Si	Mn	P	S
2.8~3.8	3.0~5.0	0.2~0.6	0.10	0.05

本材料가 使用되는 곳으로 다음과 같은 것이 있다.

a) 熱交換器傳熱管

b) 燒結機用 bar

c) 均熱爐 damper

(3) 特殊球狀黑鉛鑄鐵

Ni, Cr등을 多量으로 含有시켜서 그 基地織組을austenite로 만든 球狀黑鉛鑄鐵(別名 niresist)은 大端히 좋은 耐熱材料이다. 耐熱温度는 1000°C이며 高硅素球狀黑鉛鑄鐵과 同一한 程度이나 大端히 靱性, 耐衝擊性이 優秀하며 高温에 있어서의 强度도 높아서 18~8 stainless steel과 比等할 程度이다. 一般的인 化學組成은 Table 15와 같다. 熱處理로서는 鑄造應力을 除去하는 燒鈍을 行하며, 때로는 析出物(炭化物)의 析出을 防止하여 機械的性質을 改善하기 위해서 高温으로 加熱하여 急冷을 시키는 수도 있다.

鑄造性, 機械加工性도 優秀하여 Z engine部品으로 應用하고 있다. 本材料는 製造法도 難點이 많으며 값도 비싸기 때문에 特殊한 用途外에는使用하기가 어렵다.

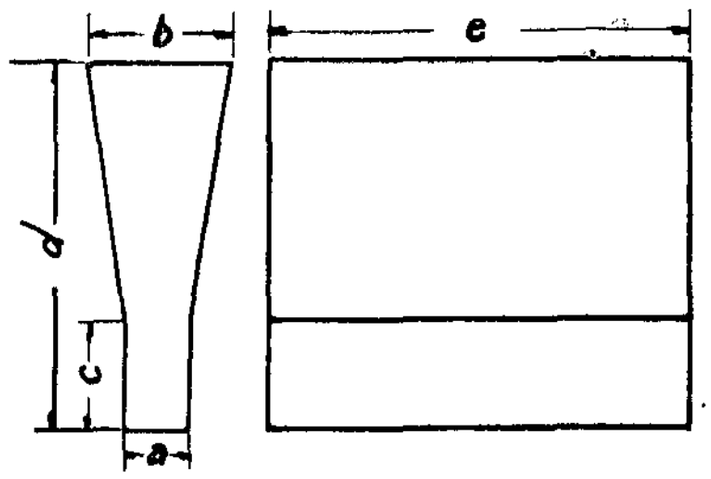
4. 規 格

球狀黑鉛鑄鐵의 各國規格을 簡單하게 論하고자 한다. 日本에서는 1961年에 規格을 制定했다. 歐美 諸國의 規格과 比較하여 너무 떨어진 感이 있어서 1971年에 이것을 改正한바 있다. 우리나라 規格은 日本의 JIS를 基本으로 해서 制定된것이며 1962年에 처음으로 定했으며 1974年에 이것을 改正한것이다. 이 改定한것은 日本에서 1971年에 改正한것을 基本으로 해서 한것으로 思料된다. 처음에 우리나라 規格을 考察하고 日本을 위시해서 先進諸國의 規格을 紹介하기로 한다.

Table 16은 現在우리나라에서 使用하고 있는 KS D 4302를 表示한다. 즉 KSD 4302는 1962年에 定했으며 이것을 1974年에 改正한것이다.

다음 Fig. 7은 供試材의 形狀, 方法을 表示한다. 普通 特別한 경우를 除外하고는 原則的으로 A號를 使用한다.

Table 17은 日本의 規格이다.



단위 mm

품 목	a	b	c	d	e
A 호	25	55	40	140	150이상
B 호	50	90	50	160	150이상

〈Table 17 日本球狀黑鉛鑄鐵 規格〉

다음 Table 18은 ISO規格(歐羅巴)을 表示한다.

다음 Table 19는 美國 ASTM의 球狀黑鉛鑄鐵規格을 表示한다.

Table 20은 英國規格을 表示한다.

Table 21은 독일 規格을 表示한다.

〈Table 15〉 特殊球狀黑鉛鑄鐵의 化學組成(%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
2.5~3.5	1.5~3.0	0.8~2.0	0.10	0.05	18.0~25.0	0.5~3.0

〈Table 16〉 韓國 球狀黑鉛鑄鐵 規格

KS-D 4302 제정 1962—07—06 개정 1974—06—01

(1) 種類 및 記號

종 류	기 호	종 류	기 호
1 종	DC 38	2 종	DC 42
3 종	DC 50	4 종	DC 60
5 종	DC 70	5 종	DC 70

(2) 引張强度 耐力 伸率

종류	기호	인장강도 kg/mm²	내력 kg/mm²	伸率 %	참고	
					경도 H_B	조직
1 종	DC 38	38 이상	24 이상	17 이상	140~180	ferrite
2 〃	DC 42	42 이상	28 이상	12 이상	150~200	ferrite
3 〃	DC 50	50 이상	35 이상	7 이상	170~240	pearlite
4 〃	DC 60	60 이상	40 이상	2 이상	210~280	pearlite
5 〃	DC 70	70 이상	45 이상	2 이상	230~300	pearlite

비고 : 내력의 영구연신율 0.2%를 사용한다

(3) 충격치

시 험 편	충격치 kg.t.m/cm²	
	평균치 (3 개의	개 개 치
U-notch (KS 참조)	1.9 이상	1.6 이상
V notch		
KSBO 809의 나호시험편	1.7 이상	1.5 이상

(1) 舊球狀黑鉛鑄鐵規格 (1961) JIS G5502 제정 1961 개정 1971

種 類	記 號	引張試驗		
		引張强度kg/mm²	耐力 kg/mm²	伸率 %
1 種	FCD 40	40 以上	28 以上	12 以上
2 〃	FCD 45	45 以上	30 以上	5 以上
3 〃	FCD 55	55 以上	38 以上	2 以上
4 〃	FCD 70	70 以上	43 以上	1 以上

Table 22는 JIS規格에서 定한 種類와 組織을 表示한다.

Table 23은 ISO에서 定한 種類와 組織을 表示한다.

以上 各國의 規格을 檢討하여 본 結果 다음과 같이 綜合 할수 있다.

(2) 改正 規格 JIS G 5502—1971

種　類	記　號	引　張　試　驗		
		引張强度 kg/mm²	耐力 kg/mm²	伸率 %
1 種	FCD 40	40 以上	26以上	15 以上
2 〃	FCD 45	45 以上	30 以上	10 以上
3 〃	FCD 50	50 以上	35 以上	7 以上
4 〃	FCD 60	60 以上	40 以上	2 以上
5 〃	FCD 70	70 以上	45 以上	2 以上

〈Table 18〉 ISO規格(歐羅巴)

(1) 引張强度耐力 伸率

記　號	引張强度 kg/mm²	耐力 0.2% strain kg/mm²	伸率 %
70～2	70 以上	45 以上	2 以上
60～2	60 以上	40 以上	2 以上
50～7	50 以上	35 以上	7 以上
42～12	42 以上	28 以上	12 以上
38～17	38 以上	24 以上	17 以上

(2) 38～17에 對한 衝擊値

試　驗　片	衝擊値 kg-m/cm²	
	3 個의 平均値	1 個의 値
V notch	1.7	1.5
U notch	1.9	1.6

〈Table 19〉 美國 ASTM 球狀黑鉛鑄鐵規格

規格 番號	記　號	引張强度 kg/mm²	耐力 kg/mm²	伸率 %
A536—65T	60—40—18	42 以上	28 以上	18 以上
	65—45—12	45.6 以上	31.5 以上	12 以上
	80—55—06	56 以上	39 以上	6 以上
	100—70—03	70 以上	49 以上	3 以上
	120—90—02	84.5 以上	68 以上	2 以上

各國의 規格은 거이 類似하다. 初年에 定해진 것은 低級이였으나, 그와같은 것은 漸次材料의 强靱性을 高度로 要求됨에 따라서 그 規格을 改正하여 優秀한 것을 얻기 위해서 努力하고 있을 것을 엿볼수 있다. 一例를 JIS에 取해보면 1961年에 定한 것에 比하면 1971年度에 改正한것을 좀 높게 定해진 것을 알수 있으며 JIS에 基本을 둔 우리나라 規定도 1962年에 처음으로 定해진 것이 1974 年에 改正하여 高級으로 變更한것을 알수있다. 앞으로 더욱 嚴格하게 改正할 可能性도 있다는 것을 우리는 認識하여야 한다.

5. 結　論

以上球狀黑鉛鑄鐵에 對한 特性. 用途, 規格. 外國規格 비교를 論하였다.

紙面關係로 詳細하게 하지는 못하였으나 讀者에게 多少의 參考가 되었으면 하면서 끝을 맺고자 한다.

〈Table 20〉 英國球狀黑鉛鑄鐵規格

規格番號	記　號	引張强度 kg/mm²	耐力0.5% 永久 strain kg/mm²	耐力 0.2%永久 strain kg/mm²	伸率 %	硬　度 H_B
2789	SNG 24/17	37.8 以上	23.6 以上	23.6 以上	17 以上	171 以下
	〃 27/12	42.5 以上	28.3 以上	28.3 以上	12 以上	187 以下
	〃 32/7	50.4 以上	34.6 以上	33.1 以上	7 以上	
	〃 37/2	58.3 以上	39.4 以上	36.2 以上	2 以上	
	〃 42/2	66.1 以上	44.1 以上	39.4 以上	2 以上	
	〃 47/2	74.0 以上	47.2 以上	42.5 以上	2 以上	

衝擊値(V-notch) (kg-m)

記　號	3個의 平均	低　最
32/7	1.4 以上	1.26 以上
37/2	0.84 以上	0.56 以上

〈Table 21〉 독일 球狀黑鉛鑄鐵規格

(1) 普通球狀黑鉛鑄鐵

種　類		機械的 性質		
記　號	材料番號	引張强度 kp/mm² min.	耐力 kp/mm² min.	伸率 min. %
GGG-40	0.7040	40	25	15
GGG-50	0.7050	50	32	7
GGG-60	0.7060	60	38	3
GGG-70	0.7070	70	44	2
GGG-80	0.7080	80	50	2

kp/mm²=980665 dynl.

(2) 耐衝擊性球狀黑鉛鑄鐵

種　類		機械的 性質						
記號	材料番號	引張强度 kp/mm² min.	耐力 kp/mm² min.	伸率 min. %	衝擊値 (DVm) KPm/cm²			
					20°C		低　溫	
					3 試料平均値	1 個試料値	3低温試料平均値	1 個試料値
GGG-35.3	0.7033	35	22	22	3.0	2.5	2.0 bei~40°C	1.6 bei~40°C
GGG-40.3	0.7043	40	25	18	2.3	2.0	2.0 bei~20°C	1.6 bei~20°C

〈Table 22〉 球狀黑鉛鑄鐵의 種類와 組織(JIS)

種　類	組　織
FCD 40	ferrite
FCD 45	ferrite+pearlite 混合
FCD 50	ferrite+pea rite 混合
FCD 60	pearlite
FCD 70	徵細한 pearlite

〈Table 23〉 球狀黑鉛鑄鐵의 種類와 組織(ISO)

種　類	組　織
ISO 38—17	ferrite
42—12	ferrite
50—7	ferrite+pearlite
60—2	pearlite
70—2	pearlite