

技術資料

灰鑄鐵

朴利潤

Grey Cast Iron

L.Y. Park

1. 서론

自動車の 수 많은 部品中에서 회주철로 만들어 지고 있는 部品이 상당한 部分을 차지하고 있지만, 그중 중요한 部分을 차지하고 있는 內燃機關의 重要部 즉 cylinder block, cylinder head 및 cylinder liner 가 회주철로 되어 있으며, 또한 제동장치에 必須的인 brake drum 및 brake disc 도 회주철로 되어있다. 이러한 部品들의 여러가지 性質중 耐摩耗性의 우수성, 運轉性能이 좋은, 또한 scuffing 現象이 적은 材質이 要求되어 지고있다. 이를 위해서는 상당한 pearlite 基地 組織內에 適當한 크기의 A型 黑鉛이 보이는 것이 좋다고 보고되어지고 있으며 또한 적당한 P의 含量과 더불어 Ni, Cr, Mo 등의 少量 含有 혹은 V, Ti의 少量이 첨가되어 사용되어 지고 있다. 引張強度는 대개 GC 25정도가 充分하며, 強靱한 것은 運轉中에 scuffing 이 되기 쉽기 때문에 不適當하다. 이것에 反해 대체적으로 cylinder head는 GC 30 이 이용되어 지고 있다. 그리고, cylinder case, crank case 및 head 등의 鑄物은 振動吸收能이 큰 것이 必要하여 GC 25로 사용되어 지고 있다. 低C의 不必要 以上의 高強度鑄物은 次後에 構造應力의 分布, 變形 및 균열 發生이 쉬운 點을 留意깊게 생각할 必要가 있다.

또한 自動車는 高性能化에 대한 엄격한 要求에는 말할 必要도 없으며, 經濟性 및 信賴性에 對한 要求도 강력히 要求되어지고 있다. 따라서, 이것을 構成하는 鑄鐵部品에 있어서는 鑄수, 材質面에서 高品質이 要求되어 지며 또한 生産性이 높은 동시에 低 cost 的인 것이 한층 要求되어지고 있다. 이에 따른 주요한 特徵을 살펴보면,

- ① 大量生産으로 인한 機械化
- ② 鑄수精度와 材質의 均一性

- ③ 輕量의 강력한 要求
- ④ 피로강도, 내열성, 내마모성이 要求되어지고 있는 실정이다.

2. 組 織

鑄鐵의 顯微鏡 組織은 鋼의 경우와 달리 상당히 複雜한 組織을 가지고 있으나, 一般的으로는 析出 黑鉛의 形狀, 이의 크기(size) 및 量 등이 다루어지며, 또한 matrix 內의 pearlite의 緻密性, pearlite사이 에 存在하는 MnS의 偏析, steadite의 分布 狀態 및 temper ferrite量 등이 問題가 되어 지고 있다.

우리들은 普通 鑄造하고 있는 회주철주물은 대개 5 종류의 形으로 分類, 대체적으로는 거의 A型이지만, 때로는 A와 B의 混合型도 나타나고, 急冷組織이 되면 E, D 등의 黑鉛型이 나타난다. 特히 高溫熔解을 한 強靱鑄鐵에서는 E型에 가까운 黑鉛이 나타나기 쉽다. (特히 接種을 하지 않았을 경우)

D型은 T.C.와 Si 이 많은 鑄鐵 용탕을 金型에 鑄込 時에 나타나기 쉽고, chill metal 등에 접촉되어 急冷되어도 나타나기 쉬운 組織이다. 또 Ti 등을 添加시켜도 나타나기 쉽다. C型은 T.C.이 높을 때 나타나게 되는데, 예를 들면 pig iron 자체에서도 볼 수 있으며, 보통 주물에서는 보기가 어렵다. 一般的으로, 가장 바람직한 黑鉛 形態는 A型 즉 自由方向의 黑鉛이 각각 잘 뻗어 있는 것으로 鑄物의 크기, 重量, 두께에 따라 변하지만, No 3~5가 실제의 製造에 많이 나타나고 있다. D型, E型은 特히 強度는 충분하지만 靱性이 적으며, 또한, 耐摩耗性도 적다는 것이 各各 claim 上에서 대두되어 지고 있다. (特히 brake disc에서)

그림 1, 그림 2 및 그림 3은 鑄鐵의 C, Si 量이 一定範圍內에 있는 경우로서, 黑鉛의 量이 각각 引張強度, 抗析荷重 및 硬度에 미치는 영향에 있어서 F.Wust와 K.Kettenbach가 연구한 結果로서, 黑鉛의 量이 增加할수록 引張強度, bending strength 및 hardness

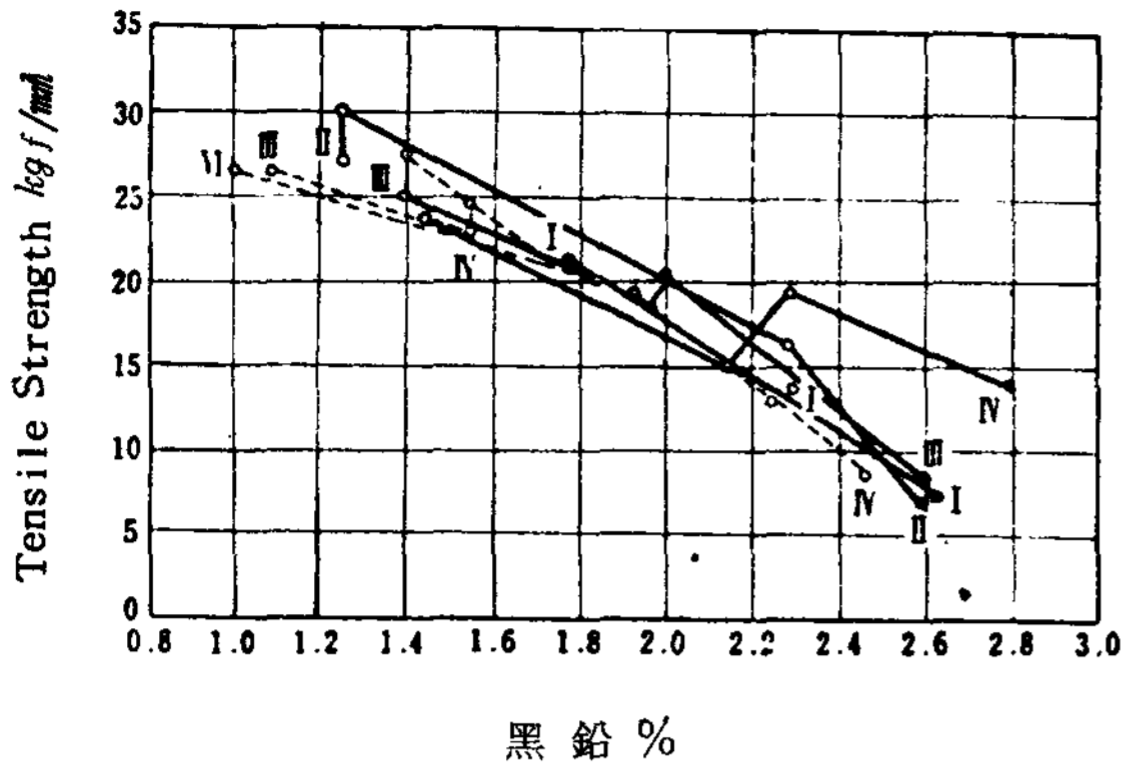


그림 1. 灰鑄鐵의 引張強度에 미치는 黑鉛量의 영향

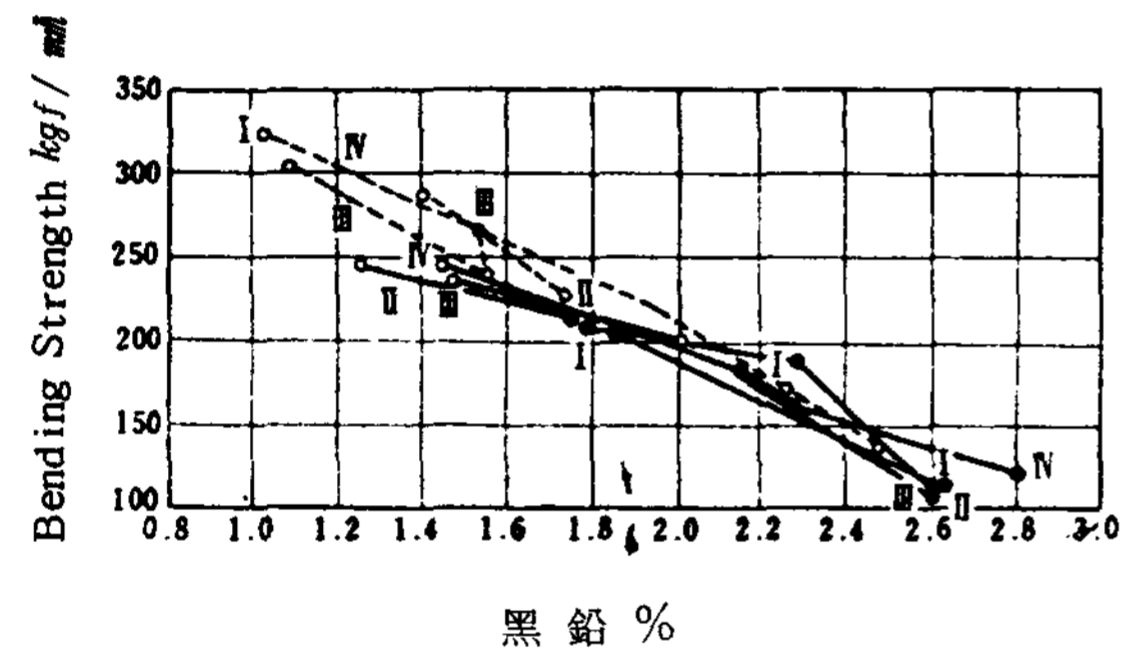


그림 2. 灰鑄鐵의 굽힘강도에 미치는 흑연량의 영향

가 점차로 減少하는 것을 알 수 있다.

다음은, 基地의 영향에 對해서는, 표 1 및 표 2는 同一한 黑鉛을 가진 경우에 이의 基地 組織이 變化하면, 強度가 현저히 變化되는 것을 알 수 있다. 灰鑄鐵의 基地가 pearlite로부터 ferrite가 되면 현저히 引張強度, 硬度가 減少되며, 針狀 bainite 組織이 되면, 이것

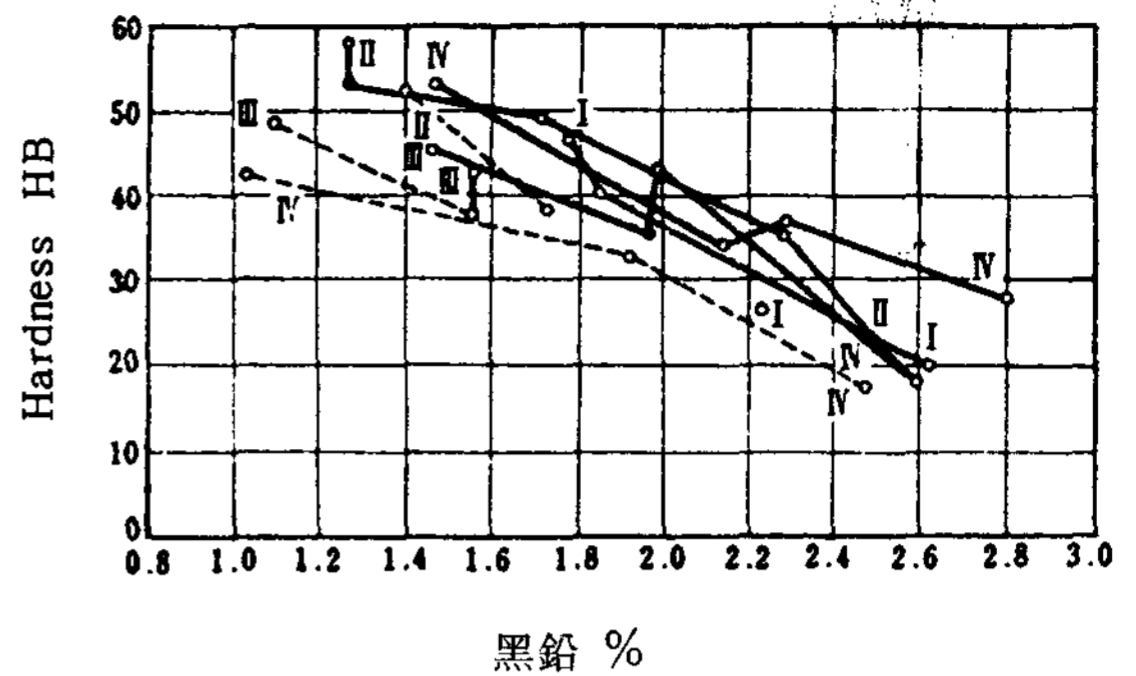


그림 3. 灰鑄鐵의 硬도에 미치는 흑연의 영향

- I : Si 0.8 ~ 1.0 %      II : Si 1.1 ~ 1.4 %
- III : Si 1.5 ~ 1.9 %    IV : Si 2.1 ~ 2.4 %

들의 수치는 상당히 增加되는 것을 알 수 있다.

실제의 鑄物製品 및 as-cast dia. 30 mm의 specimen으로 부터 採取한 鑄鐵의 顯微鏡 matrix에 關하여 설명하면, 처음 強度가 적은 GC 15의 組織은 사진 1에서 보여지는데 析出黑鉛은 상당히 粗大한 조직이 되어 強度가 나오질 않았으며 또한 steadite 偏析도 볼 수 있었다. 사진 3은 GC 20 시험편의 組織이며 GC15에 비해 黑鉛이 形이 적어진 정도이며 P의 含有量이 적기 때문에 steadite의 析出이 거의 볼 수 없었다. 사진 4는 GC 25의 시험편의 組織이며, 黑鉛의 形狀이 작아졌으며, 基地組織도 상당히 緻密해져 있음을 알 수 있다. 사진 5은 mottle 組織의 一例를 든 것으로서 특히 V을 약간 含有한 cylinder liner用 鑄鐵 시험편 조직이다. V은 炭化物 安定作用이 強하기 때문에 상당한 量의 cementite가 析出되어져 있음을 알 수 있다. mottle을 防止키 위한 V最大 許容値는 0.25 % 정도이

표 1. 鑄鐵의 強度에 미치는 黑鉛의 形狀 및 基地의 영향(P. P. Jevtunov)

機械的 性質	片狀 黑鉛		dendrite間 黑鉛		球狀 黑鉛	
	pearlite 組織	ferrite 組織	pearlite 組織	ferrite 組織	pearlite 組織	ferrite 組織
引張強度 kgf/mm <sup>2</sup>	18 ~ 45	12 ~ 18	15 ~ 25	10 ~ 15	50 ~ 80	40 ~ 45
Elongation %	0.2 ~ 0.5	0.3 ~ 1.0	0.2 ~ 0.5	0.1 ~ 0.3	1 ~ 6	8 ~ 20
Bendig Strength kgf/mm <sup>2</sup>	36 ~ 80	24 ~ 36	32 ~ 45	24 ~ 32	75 ~ 140	-
壓縮強度 kgf/mm <sup>2</sup>	90 ~ 140	60 ~ 90	70 ~ 100	50 ~ 70	150 ~ 250	-
Impact Strenght (20 × 20 un notch)	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	3 ~ 6	5 ~ 10
彈性係數 kgf/mm <sup>2</sup>	6,000 ~ 14,000	5,000 ~ 12,000	10,000 ~ 15,000	8,000 ~ 12,000	15,000 ~ 20,000	14,000 ~ 18,000

표 2.鑄鐵의 機械的 性質에 미치는 黑鉛의 形狀 및 基地의 영향(A.B.Everest)

基 地	黑 鉛 形 狀	引張強度 kgf / mm <sup>2</sup>	降 伏 強 度 kgf / mm <sup>2</sup>	Elongation %	경 도 HB	충격치(比較)
Pearlite	片 狀	31 - 36	-	0	220 - 250	5
"	塊 狀	47 - 78	34 - 35	< 5	180 - 220	5
"	球 狀	55 - 71	39 - 52	1 - 3	230 - 280	3 - 5
Ferrite	片 狀	12 - 19	-	< 1	100 - 140	1
"	塊 狀	34 - 39	22 - 25	12 - 18	110 - 120	10 - 15
"	球 狀	47 - 55	31 - 39	10 - 20	140 - 180	10 - 15
Bainite	片 狀	41 - 56	-	0	250 - 350	2
"	球 狀	63 - 95	47 - 63	< 5	250 - 350	-
Austenite	片 狀	16 - 22	-	1 - 2	140 - 200	6
"	球 狀	38 - 42	23 - 25	5 - 10	140 - 200	20

며, 또 Si 이 너무 적어도 一部 chill 組織이 發生하는 것을 사진 6을 보아서 알 수 있다.

以上은 鑄鐵의 시험편에서 채취한 試料의 組織을 나타냈지만, 鑄物 製品 自體에서의 組織의 特徵으로서는 一般的으로 製品의 크기에 따라 달라지지만, 直徑 30 mm의 試驗片에 比較 이의 冷却速度가 느리기 때문에 析出黑鉛이 크며 이에 基地 pearlite의 緻密度에 다소 차이가 있고, 어떤 때는 temper ferrite가 나타나는 경우등이 있지만 대개는 試驗片의 組織과 別 差異가 없었다. 단지 鑄物 本體의 組織이 試驗片과 달리 A 型 外에 B型 및 D型 黑鉛의 混合組織을 띄는 것이 있다. 그런데, 이와 같은 部分은 強靱성이 없어 熱應力을 받을 경우에는 균열이 발생하기 쉬우며, 또한 MnS의 편석을 수반하는 경우도 있다. 또 冷却速度가 빠른 압

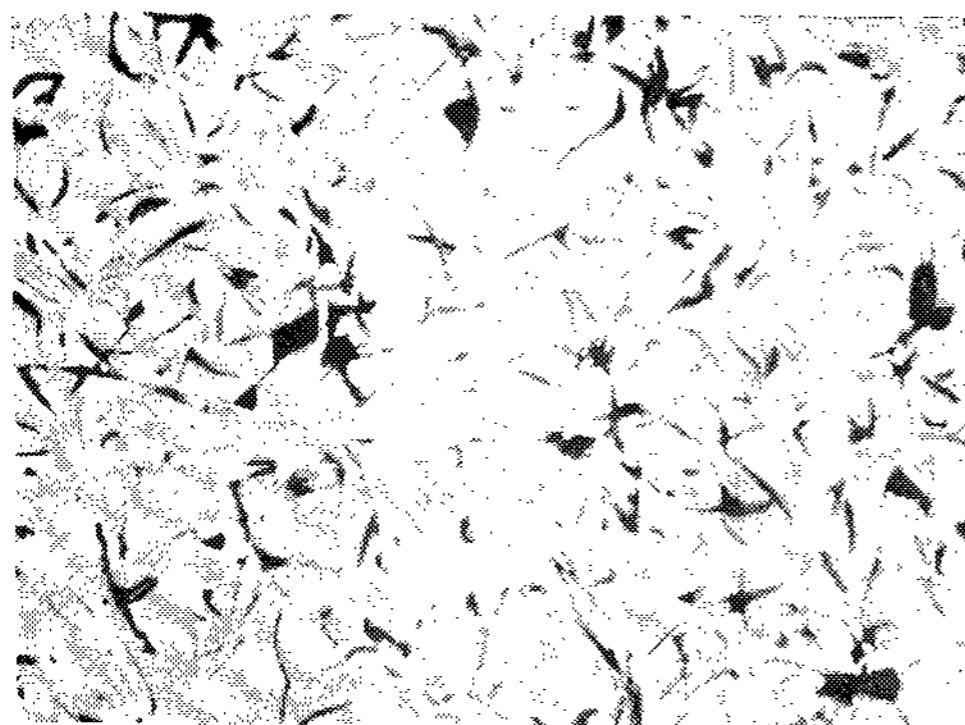
은 두께 部分에서는 E 혹은 D型黑鉛이 析出할 수도 있으므로 全部가 均一한 A型 黑鉛으로 形成되기에 는 어렵다고 생각되어 진다.

### 3. 性 質

#### 3-1. 機械的 性質

##### ① 引張強度

鑄鐵의 기계적 性質은 化學成分, 熔解條件, 冷却條件에 의해 廣範圍하게 變化되어, 간단히 表現하기에는 어렵지만, 第一 注目되어지는 引張強度에 對해서는 炭素飽和度(Sc) 혹은 炭素當量(C.E.)으로 一元化된



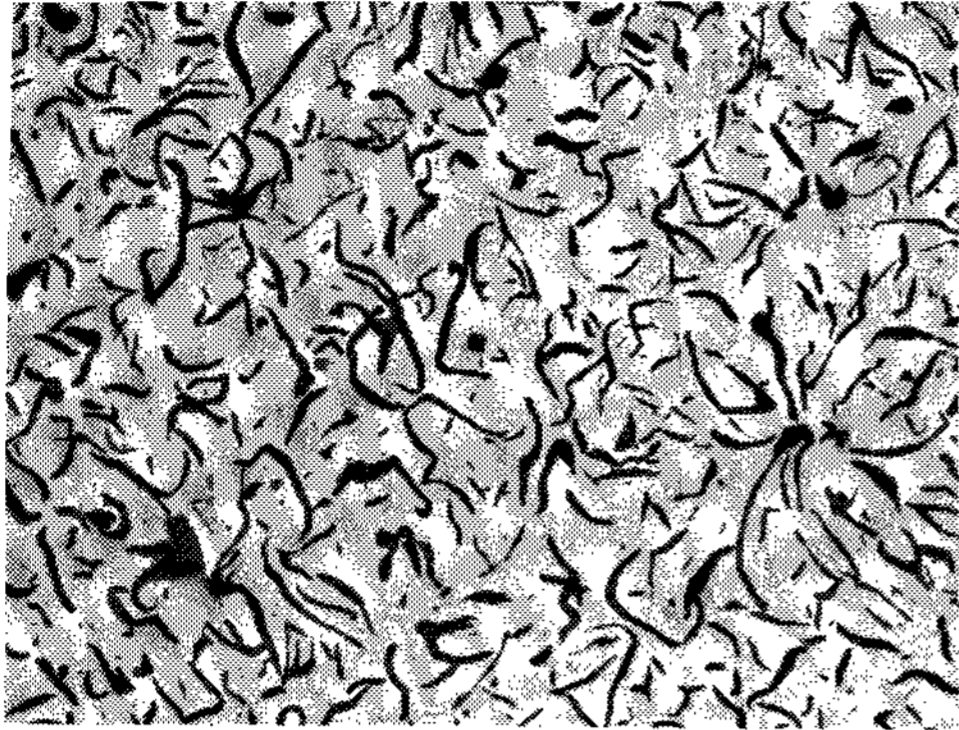
T.C. 3.52 %      Si 2.1 %      × 100  
 Mn 0.45 %      P 0.06 %  
 S 0.07 %  
 引張強度 18.5 kgf / mm<sup>2</sup>, HB 164

사진 1. GC 15 組織



T.C. 3.5 %      Si 1.94 %      × 100  
 Mn 0.4 %      P 0.08 %  
 S 0.06 %  
 引張強度 20.1 kgf / mm<sup>2</sup>, HB 176

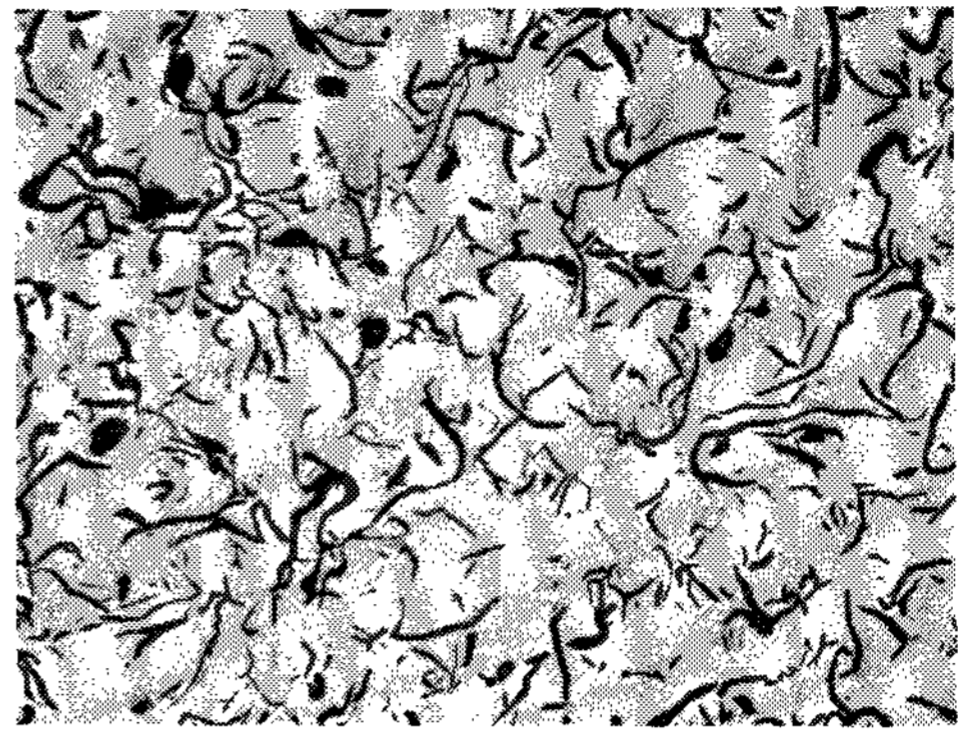
사진 2. GC 15 組織



T.C. 3.4 %	Si 2.06 %	× 100
Mn 0.65 %	P 0.05 %	
S 0.07 %		

引張強度 23.5 kgf/mm<sup>2</sup>, HB : 194  
 제품명 : Brake Shoe

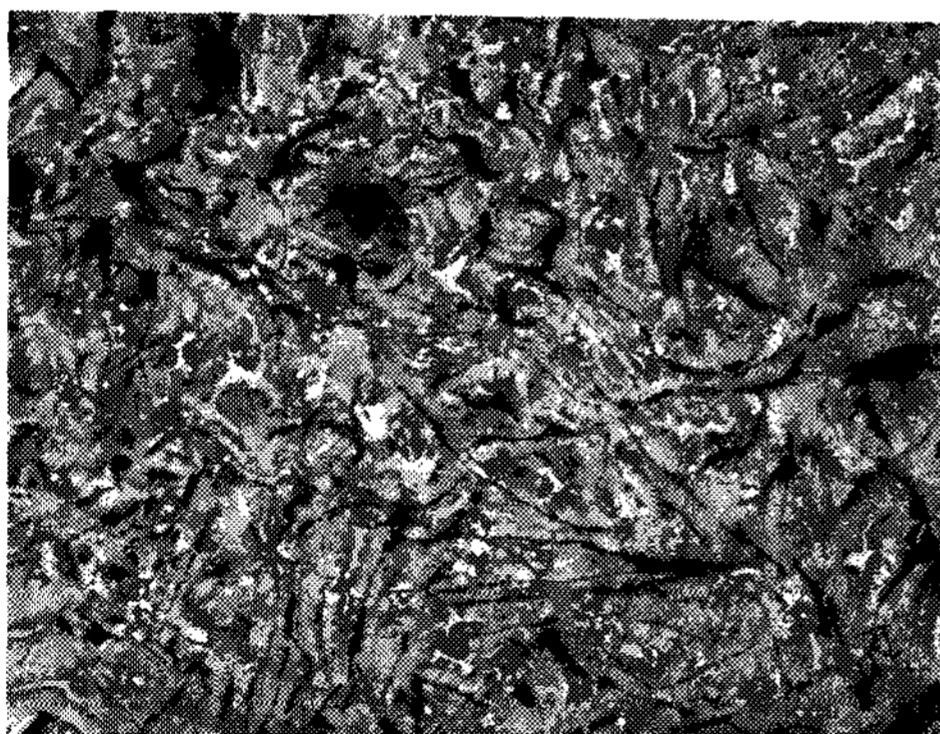
사진 3 . GC 20 組織



T.C. 3.3 %	Si 1.9 %	× 100
Mn 0.5 %	S 0.065 %	
P 0.06 %		

引張強度 27.3 kgf/mm<sup>2</sup>, HB : 206  
 제품명 : Brake drum iron

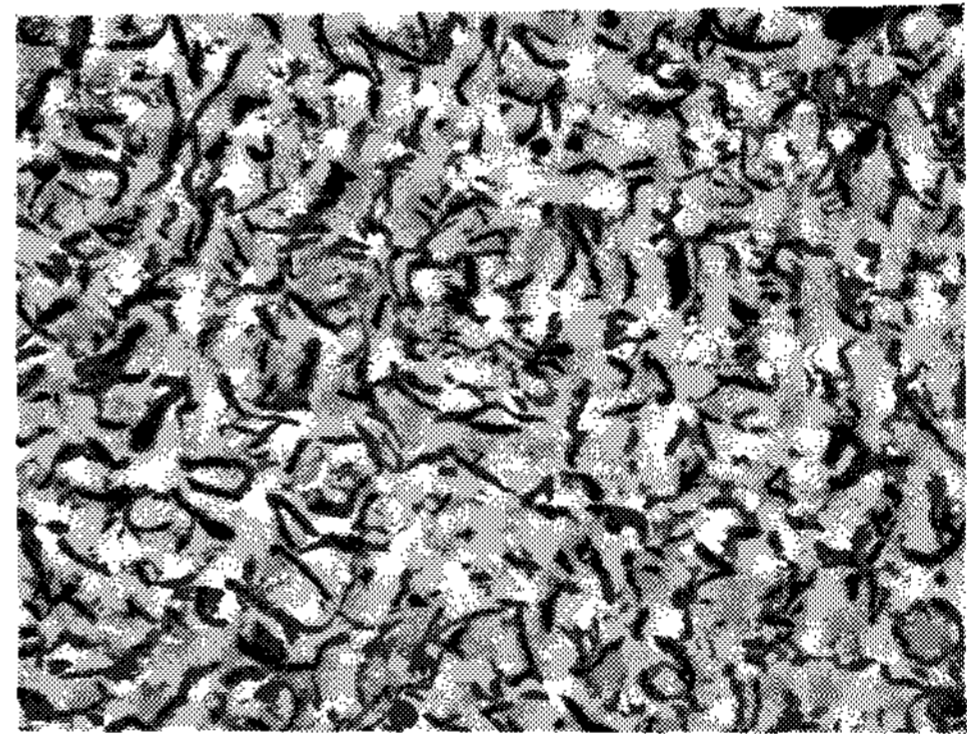
사진 4 . GC 25 組織



T.C. 3.45 %	Si 1.85 %	× 100
Mn 0.7 %	P 0.16 %	
S 0.06 %		

引張強度 28.5 kgf/mm<sup>2</sup>, HB : 238

사진 5 . Chill組織이 있는 mottled iron



T.C. 3.3 %	Si 1.7 %	× 100
Mn 0.4 %	P 0.04 %	
S 0.06 %		

引張強度 29.5 kgf/mm<sup>2</sup>, HB : 215

사진 6 . Chill이 보이는 GC 25의 組織

化學成分의 影響과 冷却速度의 影響에 對해 調査된 자료는 수없이 많이 提示되어 지고 있다. 그림 4는 Heller 및 Jungbluth에 의해 정리된 炭素飽和度 및 引張強度의 關係를 表示한 것으로서 冷却速度의 影響을 試驗棒의 直徑의 變化에 의해 表示했다. 直徑을 두께로 환산하면 該當되는 두께는 直徑의 1/2 정도가 된다. 炭素當量에 따른 引張強度의 關係는 그림 5

로 表示될 수 있다. 自動車 部品의 鑄物은 20~35 kgf/mm<sup>2</sup>의 範圍에 있으며, 炭素飽和度(Sc)가 적을수록, 두께가 얇을수록, 引張強度가 增加한다는 것은 組織의 變化를 생각하면 當然하지만, 궁극적으로는 白銹化되어 도리어 不適하게 된다. 얇은 鑄物을 除外하면 一般적으로 Sc 0.8~0.9 정도일때 組織도 pearlite化되어 引張強度가 높아질 것이라고 생각되어 진다.

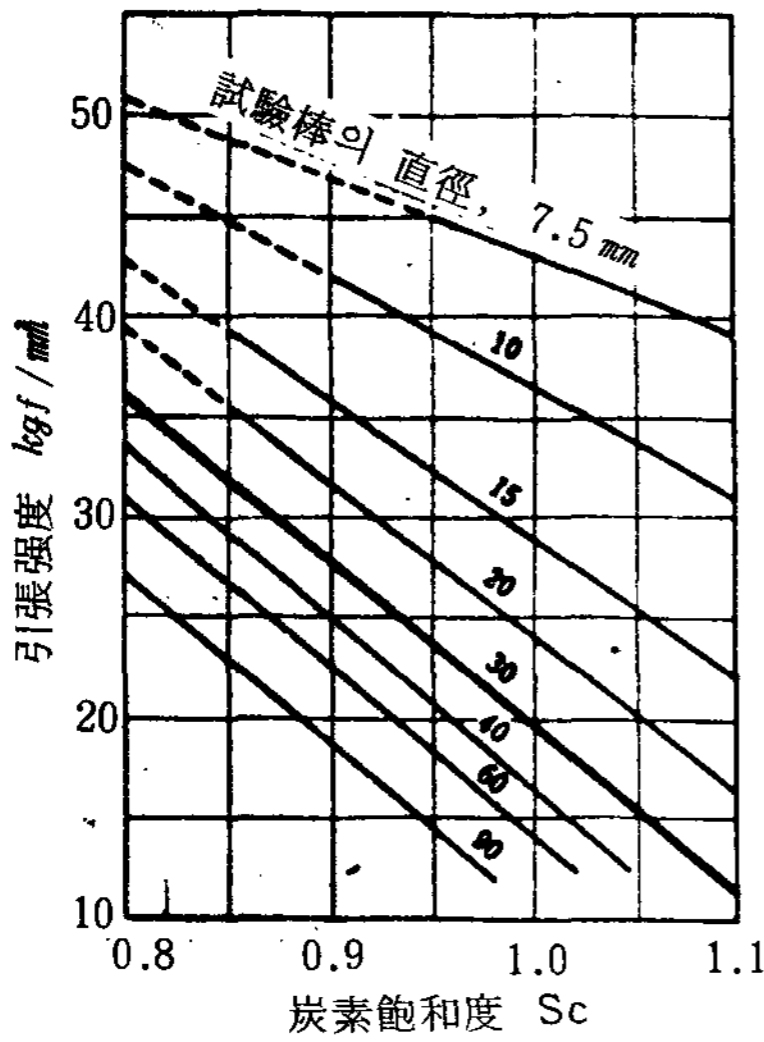


그림 4. 炭素飽和도와 引張強度(Heller, Jungbluth)

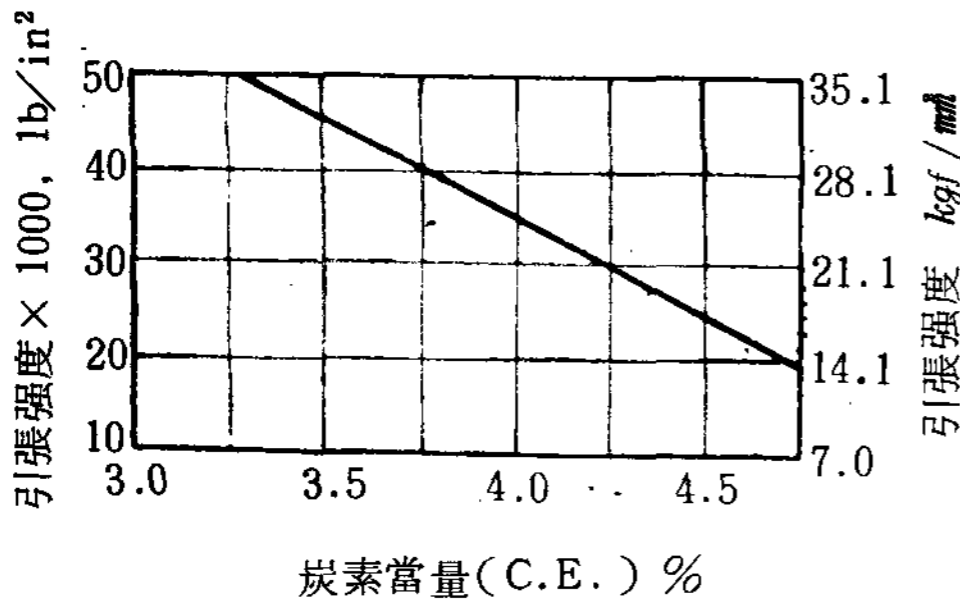


그림 5. 炭素當量和 引張強度(Schneidewind, McElwee)  
(시험편직경 30.5 mm)

② 壓縮強度

壓縮強度는 引張強度의 2.5~4.0배 정도가 되어, 상당히 높다. 그림 6은 압축강도와 인장강도와의關係值다.

③ 彈性係數

引張 및 壓縮試驗에 있어서 應力 및 變形(distortion)과의關係가 直線的으로 되지 않는 것은, 약간 塑性變形이 있기 때문이며, 引張時에 일어나는 變形쪽이 약간 크기 때문이다. 彈性係數는 편의상 引張試驗에서 荷重 開始點에의 接線의 傾斜로서 表現될 수 있다. 鑄鐵의 탄성계수는 그림 7과 같이 7,500~14,000 kg/mm<sup>2</sup>의範圍며 材質에 따라서 상당히 變動하지만, 이의 變動은 黑鉛의 析出量에 의하지, matrix 영향은 거의 없으므로, 흑연 석출량이 많을수록 彈性係數는 떨어진다.

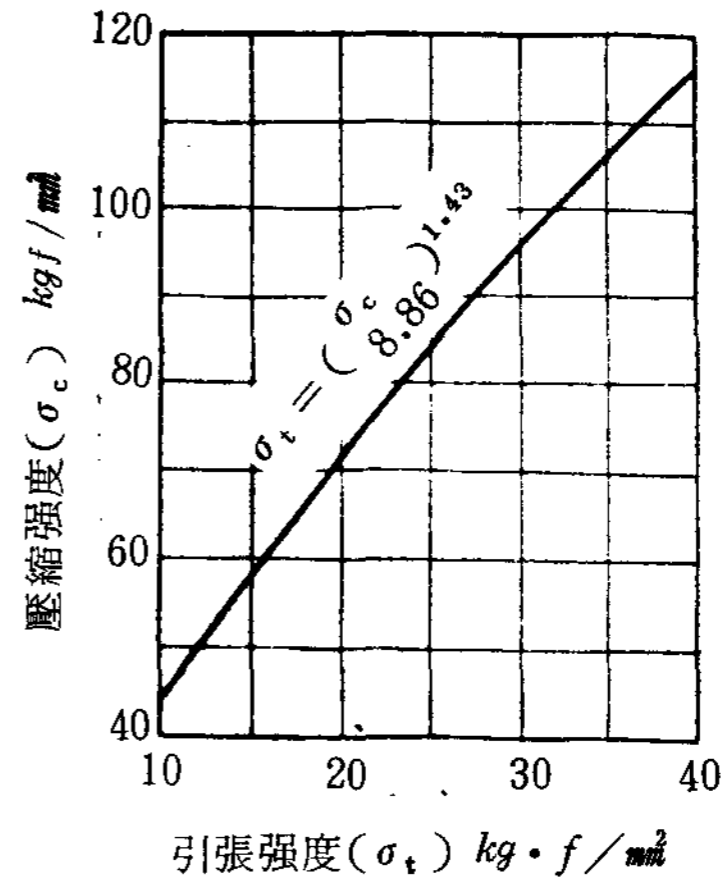


그림 6. 壓縮強도와 引張強度(Schneidewind, McElwee) (시험편직경 30 mm)

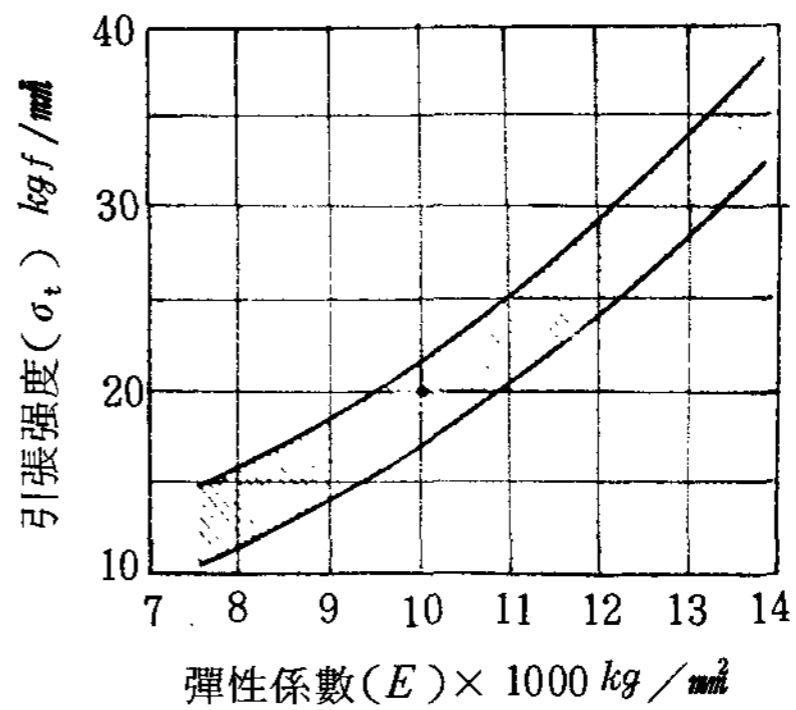


그림 7. 彈性係數와 引張強度

④ 硬 度

硬度는 一般的으로 brinell 경도로 表示되며, 이의範圍는 보통 自動車 鑄物로써 HB170~250이고, 이의變動은 黑鉛 析出量과 基地組織에 關係되며, 引張強度와의 關係는 그림 8과 같으며, 이것을 중심으로 산포가 상당히 심하다.

⑤ 疲勞限度

鑄鐵은 疲勞限度에는 상당히 강하다. 특히 notch 영향을 많이 받지 않는 것이 特徵이다. 피로한도는 硬度 및 引張強度의 增加에 따라 비례하지만 대개 9~23 kg·f/mm<sup>2</sup>의範圍이며, 引張強度時의 比率은 0.35~0.65 정도되며, 荷重이 作用하는 方向에 따라 다르다.

⑥ 衝擊強度

鑄鐵은 취약한 材料인 바, 충격에 약하다. 特別히 成分中の C, Si, P, S이 增加하면 충격치는 저하하게

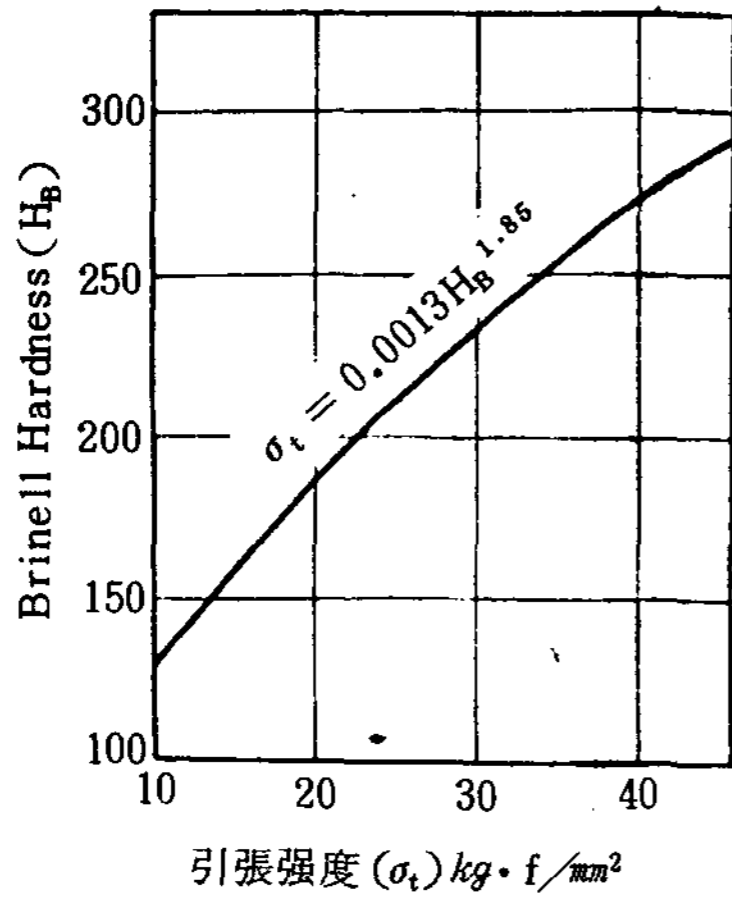


그림 8. Brinell 硬度 및 引張強度(Mackenzie)

된다. 주철의 charpy 충격치는 0.3 ~ 0.8 kg·m/cm 정도다.

3-2. 工業的 性質

① 耐摩耗性

鑄鐵이 미끄럼면의 마찰에 대해 우수한 내마모성을 가지는 것은,

- ㉠ 黑鉛을 含有하고 있다.
- ㉡ 적당한 硬度를 지니고 있다.
- ㉢ 彈性係數가 적다.

㉣ 熱傳導性이 상당히 있으며, 또한 熱衝擊에 강하다는 등의 特性에 의한 것으로 생각되어 진다.

그러므로 本質的으로 耐摩耗性이 높은 材料로서 취급되지만, 가혹한 조건하에서는 이의 材質의 選定을 소홀히 해서는 안된다. 特히 piston ring, cylinder liner 및 brake drum 등의 往復運動의 마찰을 받는 部品에서는 계속되는 低速運動領域을 通過하여, 粘着摩耗를 일으키기 쉽기 때문에 신중한 배려가 必要하다. 이와같은 경우에는 黑鉛이 잘 析出되어지고, 더욱더 基地도 상당히 강한 材質이 要求되어 진다. 즉, 均等히 分布된 A型 黑鉛을 함유, pearlite matrix로 되는 것이 必要條件이다. ferrite matrix는 軟하여 金屬이다. 그림 9는 각종 鑄鐵의 摩耗曲線을 比較한 것으로서, 軟한 재질 GC20이 粘着摩耗가 극히 크다는 것을 알 수 있다.

Cylinder liner 類에서는 Cr, Cu, Mo을 단독혹은 함께 少量 添加하며, matrix를 단단하게 하는 것이 有效하다. 大型 diesel liner 에서는 C, Si을 낮추

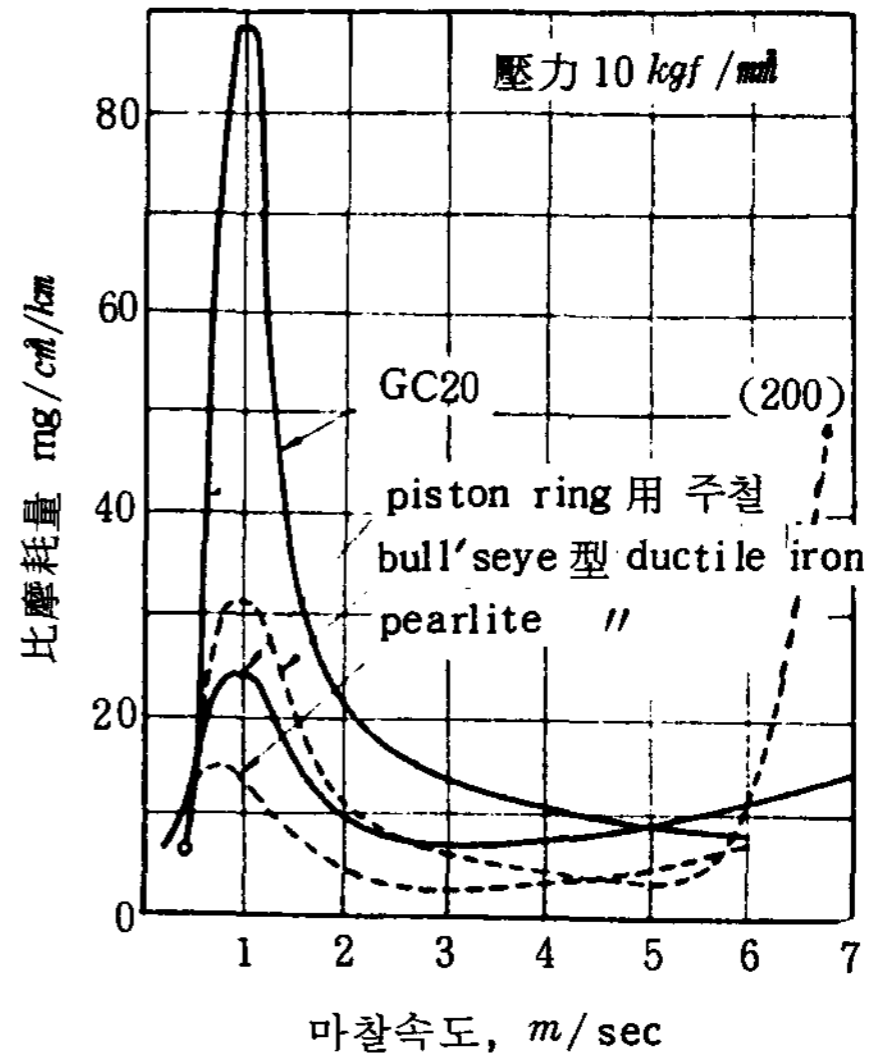


그림 9 각종 주철의 마모곡선(葉山)

어서 temper cementite를 조금 析出시키는 것이 바람직 하다고 본다. 또한 V를 少量 添加시키면, 유리 cementite, 인화물 (Fe<sub>3</sub>P)이 均等하게 分散시키므로서 耐摩耗性을 한층 向上시킬 수 있다. 또한 아주 심한 마찰을 받는 것으로서 brake drum, brake disc가 있는데, 이것들은 高速高壓下에서 潤滑油을 사용치 않는 條件下에 있다. 이의 경우에는 熱的 作用에 의한 균열을 防止하는 것을 무시하지 않으면 안된다. brake shoe에서는 急冷되어 900℃ 정도까지 달해 表層이 종종 martensite가 나타난다. martensite 變態는 膨脹을 수반하여, 이것에 의해 微細한 균열을 發生시켜 마모가 急増, 最惡의 경우에는 破損까지 된다. 이것을 防止하기 위해서는, 달리 생각하여 C, Si을 높여서 黑點을 크게 析出시켜 熱傳導性을 높게 하는 것이 좋다. 이것에 의해 마찰면의 온도 上昇이 防止된다. 또 黑鉛의 皮막이 潤滑作用을 없애, 摩擦面의 粘着, 혹은 막혀서 쥐어 뜯는 식의 문제를 防止시켜 준다.

自動車の brake drum과 같은 경우는, 이것보다 高溫으로 되지는 않는다고 보기 때문에, 즉 Al 變態點 근처 온도에서 온도가 變化하기 때문에, 表皮 근처에서 pearlite가 粒狀化되어 硬度가 低下되는 現象이 일어난다. 이것에 對해서는 Si을 낮추어 perlite matrix를 安定화 시킴과 동시에 材質을 硬하게 만들 必要가 있으며, 또한 Cr等을 0.3~0.6%정도 添加시켜 硬度 및 強度를 높일 必要가 있다. 단, 熱衝擊에 의한 균열 發生의 위험도가 발생되기 때문에 이런 元素를 添加시킬 경우에는 C, Si을 높이는 것이 좋다. 표 3은

표 3. 耐摩耗用 鑄鐵의 化學成分

部 品 名	C %	Si %	Mn %	P %	S %	기 타 %	備 考
Cylinder block	3.2 ~ 3.5	2.1 ~ 2.4	0.6 ~ 1.0	< 0.1	< 0.1	Ni < 0.25 Cr 0.2 ~ 0.5	M.A.N의 例
Piston ring	3.5 ~ 3.8	2.4 ~ 2.7	0.5 ~ 1.2	0.15-0.4	< 0.1		
小型Cylinder liner	3.0 ~ 3.5	1.5 ~ 2.0	0.6 ~ 1.0	< 0.15	< 0.1	Cu 0.5 Cr 0.2 ~ 0.4	
大型Cylinder liner	2.9 ~ 3.4	1.0 ~ 1.4	0.6 ~ 1.0	0.4 ~ 0.6	< 0.1	V 0.25 Ti 0.03 Cu 0.2	
Brake shoe	3.3 ~ 3.9	1.8 ~ 2.4	0.5 ~ 0.8	< 0.15	< 0.1		
Brake drum	2.9 ~ 3.5	1.6 ~ 2.3	0.4 ~ 0.8	< 0.1	< 0.1	Cu 0.2 ~ 0.8 Cr 0.2 ~ 0.4	

자동차에 사용되는 부품으로 내마모 주철의 화학성분을 나타낸다.

3-3 物理的 性質

金型裝作時 鑄鐵의 선수축 (linear contraction) 에 대해서는 1%前後이며, 白鑄鐵에서는 1.5 ~ 2% 정도가 되나 종종 이의 범위는 실제적으로는 맞지 않는데, 이의 理由는 부피(중량), 化學成分, 形態, 鑄型과 Core의 종류에 따라 다르기 때문이다. 그러나 一般的으로는 수축은 mass가 增加함에 따라 減少하며, 引張強度가 增加함에 따라 反對로 이는 增加한다.

一般的으로 3가지 수축현상이 鑄込에서 常溫까지 鑄鐵의 冷却過程에서 나타나는데,

- a) 液體狀態 (즉 1430 °C에서 1200 °C까지) 약 2.8%
- b) 固相凝固 中에 수축되는 것
- c) b) 이후 수반되는 固相凝固(1150 °C에서 常溫까지)와의 수축량은 3% 前後이다.

① 熱膨脹系數

熱膨脹은 다소 鑄鐵의 組織에 따라 變하며 이는 ferrite가 많을수록, 高炭素 鑄鐵에서 보다 膨脹系數가 크다고 보지만 白鑄鐵의 경우는 회주철보다 低溫에서는 약간 적으나 高溫域에 있어서는 크다.

② 比重

常溫에서의 比重은 高炭素 open grained 鑄鐵에서는 6.95 정도며 低炭素 close grained 鑄鐵에서는 7.35, 白鑄鐵에서는 7.7 정도이다. 그리고 最終 固相溫度 直前의 液相의 比重은 6.25 정도이다.

③ 熱傳導

鑄鐵의 熱傳導는 이의 組織에 따라 變하며 黑鉛의 結晶軸의 方向에 따라 熱傳導率이 다르지만 基地組織에서는 ferrite가 열전도가 높고, pearlite 및 cementite의 順으로 나빠진다. 따라서 黑鉛의 析出量이 많은 ferrite 鑄鐵의 熱傳導가 가장 좋고 黑鉛析出이

없는 白鑄鐵이 가장 나쁘다. 단, Si의 量은 固溶하는 ferrite matrix (silico ferrite)는 Si의 量이 增加됨에 따라 熱傳導는 低下된다.

④ 電氣抵抗

鑄鐵의 전기저항은 組織의 영향을 받으므로 상당히 큰 範圍로 變化된다. 회주철의 比抵抗 (固有抵抗)은 25 ~ 105 μΩ·cm 정도이다. 전기저항을 변동시키는 제일의 요소는 黑鉛으로서, 흑연자체의 전기저항이 金屬地에 비해 현저히 크기 때문에 이것이 粗大하게 析出할수록 電氣抵抗이 크다.

⑤ 磁性

鑄鐵의 磁性은 Cr, Mn 등과 같이 炭化物을 增加시키는 元素가 많으면 磁性이 低下하지만, Si은 基地를 ferrite化하는 作用外에 hysteresis 損失을 적게 하는 性質이 있기 때문이다. 또 Ni, Cu 등을 많이 含有하고 있는 Ni-resist 鑄鐵은 austenite 組織이 되어 非磁性이 된다.

4. 化學成分

① C

鑄鐵에 含有되어 있는 C는 普通 3.0 ~ 3.6%의 範圍의 것이 많다. 회주철에서는 C의 量의 約 80%가 遊離된 狀態의 黑鉛形으로서 存在하며, 나머지 20%는 Fe와 化合되어 炭化物의 形態로서 pearlite matrix를 만들어 形成되어 있다. 이것을 化合炭素라 부르며, temper graphite (遊離黑鉛)와 compound graphite (化合炭素)를 합쳐 全炭素(total carbon)로 부르지만, 보통 간단하게 C로서 表現되어 진다.

鑄鐵의 여러 性質중에 가장 큰 영향을 미치는 것은 C와 Si이다. 이것도 兩者가 합쳐져서 큰 영향을 미친다. 이것에 比較해 Mn, P, S 등의 영향은 그다지 크지 않다. C의 가장 큰 영향은 鑄鐵의 溶融點을 떨어뜨린다. 그림 10과 같이 C가 4.3%에서 가장 낮은 溶

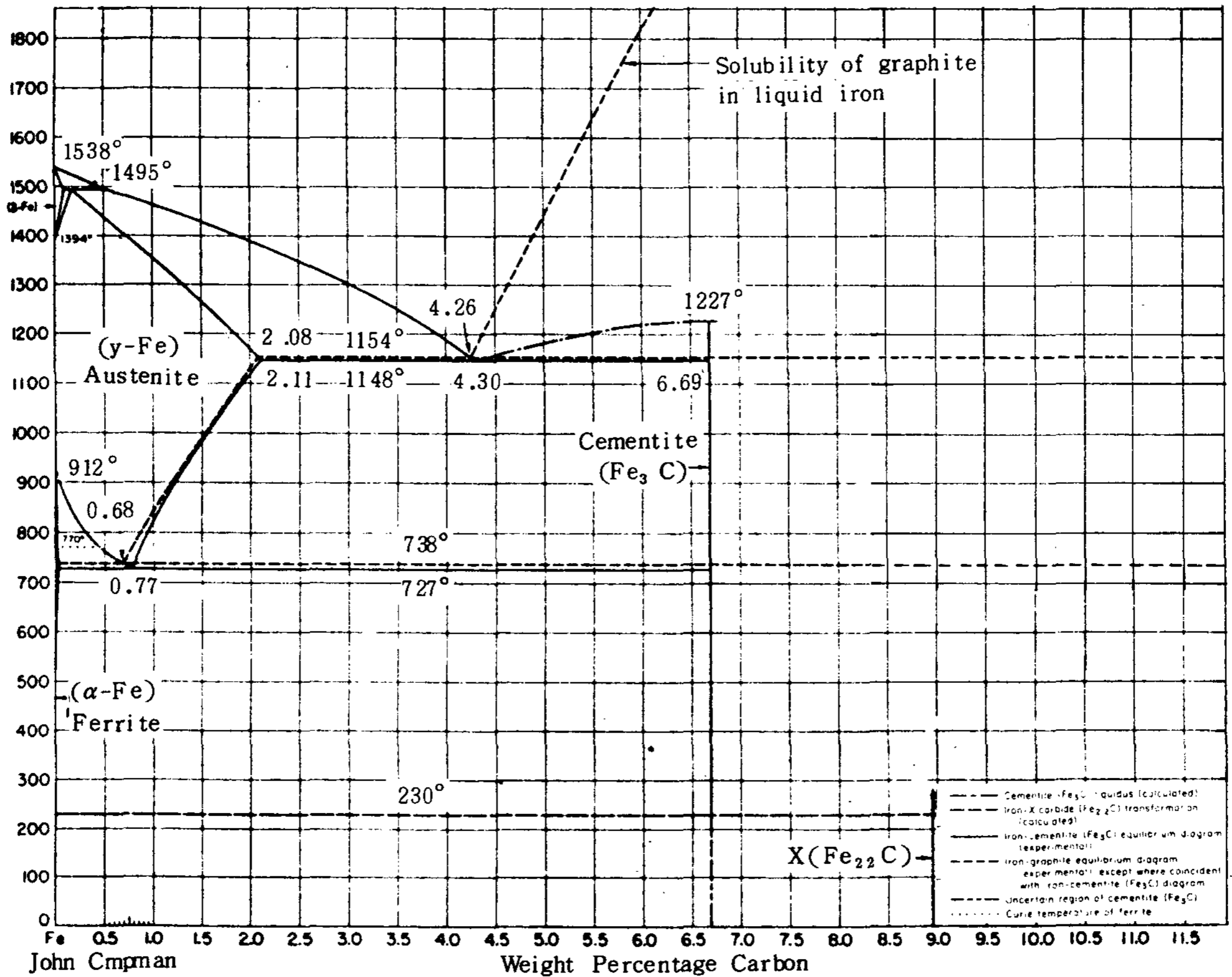


그림 10. Fe-C 相態圖

融點을 나타낸다. 더불어 Si 이共存하면 그림 10은 다소變化되어 Si 이增加됨에 따라共晶點C와共析點S는 그림 10에表示된 것보다는 다소溫度가上昇하고, 이의位置도 C가 적은方間 즉左側으로 밀려나게되며, 또한 이의共晶點,共析點이 어느溫度範圍사이를 걸쳐서進行되어지는 것 같다.

鑄鐵의 가장 큰特色中鑄造性이 좋다고 하는 것은 C가 높다는點이다. 이것은 C가上記와 같이凝固點을 떨어뜨려流動性を 좋게 함에 있으며, 복잡한構造의 얇은 주물에도 적합하다는 것은 이러한理由때문이다. 또한 한가지의特色은黑鉛化作用에 의해遊離黑鉛이析出되어凝固中の收縮을減少시켜比較的 잔류응력이 적은健全한鑄物을 만들기 쉽게하는點이다. 한편強韌性의 면에서는 C가 많은 것과黑鉛析出量이 많은 것은脆弱性を增加시키기 때문에 바람직하지 않다. 여기서強韌性を必要로 할 경우에는流動性が阻害되므로凝固中の收縮이增加되더라도溶解溫度를 높여

鑄物方案을 개선하여가급적 C가 낮은化學成分을 선택하는 것이原則이며, 대체적으로 3%전후가安全하다. 3%以下가 되면 간단한形狀은 어렵지 않지만, 두께의變化가 심하고,使用荷重의變化가 큰,例로서 diesel機關의 piston과 같은 경우에는 scuffing 現象,熱應力發生에 의해 rib 근처에龜裂이發生되어나쁜 결과가 종종 나타나게 된다.

強韌性만을重要時하여 steel scrap을多量 사용하여熔解,加炭量은예정보다 적어, 3%이하로鑄込된製品이鑄造後不良率의增加,加工中不良이 높다는 것은 종종 경험하는 바이다. 이와같이, 이의性能과生産의兩面에서 가장 큰 영향을 주는 것은 C이라고 본다. 따라서, 이의 미묘한 선택방법이 실제에는 상당히 중요하다는 것을 알 수 있다.

또한 C는 이의量외에析出하는黑鉛의形狀이鑄鐵의 여러性質에 큰 영향을 가지고 있으며, 이는 앞에 설명했지만,要點은方向性이 없고均等한形이 잘늘어진



적당한 크기의 黑鉛이 析出되어야 한다. 소위 A型 黑鉛이 要求된다. 일정한 方向성을 가진 例를 들면 樹枝狀晶의 주위에 析出되는 E型黑鉛은 強度는 좋아도 韌性 및 耐摩耗性의 面에서는 부적당한 組織으로 알려져 있다. C의 重要性을 比較할 때 炭素當量(C.E) 과 炭素臨和度(Sc)의 2가지 用語가 사용된다. 어느것도 C와 Si, P의 3자간의 關係를 表示하기 때문에, 強度의 判定 및 두께感受性을 判斷할 때 사용되어 진다. 一般的으로 C.E 値가 낮으면 낮을수록 鑄鐵의 強度, 硬度는 上昇하며, 冷却速度의 影響은 그리 크지 않다. 그림 11에 C.T. Anguss의 試驗結果의 1例를 表示했다. 또한 Sc 値는 0.9~1.0 일때 鑄鐵의 matrix는 完全 pearlite 化가 되면서 強韌한 鑄鐵이 얻어지며, 1보다 크면 強度는 떨어지고, 0.9보다 적을 때는 強度는 增加하지만 硬度가 上昇되면서 脆弱해 진다.

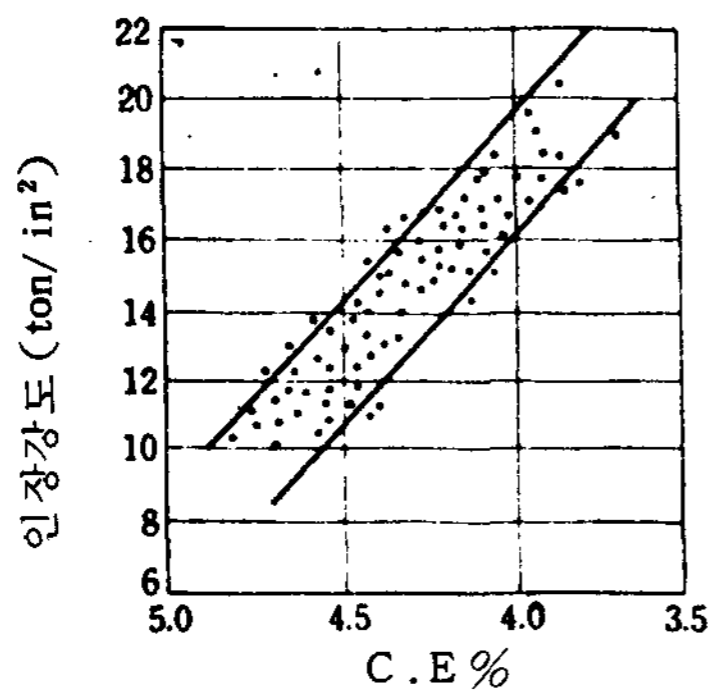


그림 11. 鑄鐵의 引張強度와 C.E 値의 關係 (C.T. Anguss)

② Si

鑄鐵에 含有되는 Si 은 Fe에 固溶되어 硬度를 增加시키지만 이것보다도 더 큰 Si의 影響은 化合炭素를 分解시켜 黑鉛化 作用을 가지고 있다. 즉 다른 조건이 같을 때 Si이 增加할수록 化合炭素가 減少 遊離黑鉛 (tempered graphite)이 增加한다. 鑄物製造時 Si을 調節하여 鑄鐵의 加工性을 고려하는 것도 이러한 理由 때문이다. 또한 compound carbon과 tempered graphite 사이에는 冷却速度도 큰 影響을 받기때문에, 主물의 두께와 Si의 關係에서도 어떤 상관관계가 있다. 즉, 두꺼울수록(冷却速度가 낮을수록), Si을 낮추지 않으면 析出하는 tempered carbon이 增加되어져 粗立狀態로 되기 때문에 Si을 낮추지 않으면 안된다.

또 Si은 共晶炭素量 및 共析炭素量을 低下시키면서 共析溫度를 上昇시키기 때문에 이를 利用하여 Si 4~6%를 含有시켜 良好한 耐熱性 鑄鐵을 만들 수 있다.

③ Mn

一般的으로 鑄鐵에는 0.4~0.8% 범위의 Mn이 含有되어 있지만, 이정도로서는 組織, 強度面에서는 거의 큰 變化가 없다. Mn 量의 一部는 ferrite 中에 固溶되며 나머지 대부분은 炭化物 Mn<sub>3</sub>C로 되어 炭化鐵 中에 固溶되므로, 安定度를 增加시킨다고 생각되어진다. Mn 1%까지는 이의 程度는 그리 현저하지 못하지만 1.5%를 넘으면 高溫에서 冷却 加熱을 반복하더라도 pearlite 分解가 阻止되는 傾向이 있기 때문에 耐熱性으로서 좋은 結果를 얻는다. 또 Mn은 S와의 親和力이 크기 때문에 FeS와 反應하여 MnS가 되어서 이의 比重이 가볍기 때문에 위로 부상 Slag 中에 들어가 脫硫作用이 현저하다. 一般的으로 脫硫에 必要한 Mn 量은 S의 2배에 0.3%의 餘분을 가지면 족하다고 본다.

또 Mn은 酸素에 對해서도 親和力이 강하기 때문에 溶湯中의 酸化鐵의 還元作用도 좋다. 例로서, 強韌鑄鐵을 生産하기 위해 steel scrap을 多量 溶解할 때, 出湯時 혹은 cupola 裝入時에 Fe-Mn을 適當量을 添加함으로써 깨끗한 溶湯을 얻기가 용이하다. 또 Mn이 많으면 Si 量의 酸化損失을 低下시킬 수 있기 때문에 低 Si 配合時 다소 Mn 添加가 도움을 준다. 그러나, Mn이 많아 Si과 거의 同一하게 되면 MnSiO<sub>2</sub>의 化合物이 生成 混在되어 機械的 性質을 해치는 경우가 있다.

④ P

鑄鐵中에 含有되는 P는 Fe<sub>3</sub>P의 化合物을 形成하여 ferrite, Fe<sub>3</sub>P의 같이 3元共晶인 steadite로 되어 存在한다. 이는 一般的으로 鑄鐵에서는 ferrite가 Si를 含有 Silico ferrite로 되어 있기 때문에 P의 固溶數가 적기때문이다. 또 macro的인 偏析 및 結晶粒間의 偏析에 의해 凝固時 P가 溶液中에서 追出되어져 이의 一部分의 濃도가 높기 때문이다. 따라서 steadite가 나타나는 鑄鐵을 950°C에서 加熱하면 ferrite 中에 固溶되어 소멸되어진다. P自體는 白鐵化를 促進하는 元素로서, 1%以上이 되면 ledeburite 中에 粗大한 針狀 혹은 板狀 cementite를 生成시키며, 冷却速度를 빠르게 하여도 조직은 微細하게 되지 않는다.

간단히 P의 使用方法에 있어서는, 高壓을 받는 鑄物, 衝擊을 받기쉬운 鑄物에서는 P의 含有量이 0.07%以內的 造成이 바람직하고 내연기관 cylinder liner 및 piston ring等에는 0.3~0.5%範圍의 P의 含有量의 것이 좋은 結果를 얻을 수 있으나, 위와 같은 特性때문에 內部欠陷이 發生하기 쉬워 鑄造方案에 유의치 않으면 안된다.

⑤ S

S는鑄鐵中에서는 FeS의形으로含有되어지지만 Mn量이 많으면 MnS의形으로混在한다. FeS의形으로存在되는 경우에는 凝固後 白銑조직을 띄기 쉽고 硬點(hot spot), inverse chill이 나타날 뿐만 아니라 流動性도 나빠져 收縮도 심하고, porous cavity 및 균열發生의 原因이 되기때문에 加급적 적은 쪽이 유리 하지만, 0.15%까지는 高溫溶解가 可能하면 別로 문제 가 되지 않는다. 단, MnS의 偏析, 얇은 部位의 chill現象等を 고려하여 될 수 있는한 S의 最大限度을 0.12% 정도까지 낮출 수 있도록 배려를 하는 것이 바람직하다. 또한 S의 低下로 인한 黑鉛組織의 문제점도 충분히 검토가 되어져야 한다.(S가 낮을 때 C型黑鉛이 나타나기 때문에)

⑥ Cu

鑄鐵에 含有되는 Cu도 또한 黑鉛化 助長元素로서 作用하지만 이의 效果는 적어 Si의 1/5~1/10 정도다. 따라서 Cu가 0.5%以下에서는 이의 效果는 거의 볼 수 없으나 Cu는 共晶炭素量을 떨어뜨리는 경향이 있으나 共析炭素量은 變하지 않는다.

Cu는 主鐵의 組織을 緻密하게 하며, 特히 pearlite matrix를 緻密하게 만들지만, chill防止 效果는 현저하지 못하다. 그러나 質量效果(mass effect)現象에서는 效果가 있다.

Cu는 sliding 마모저항성을 向上시키는 目的으로서 cylinder-liner, brake-drum(brake-disc)中에 0.7~1.2%정도를 添加시키는 경우가 많으며, 同時에 0.3-0.5% Cr을 供用하면 이의 效果는 확실하게 나타나며, 실제적으로 忍用되어 많이 사용되어지고 있다.

⑦ Cr

鑄鐵中에 Cr은 Ni, Si와 正反對로 黑鉛化를 阻害, 炭化物의 安定化作用을 促進시킨다. 이의 일부는 炭化鐵中에 들어가 Fe-Cr의 複炭化물을 만든다. Cr의 量이 적을 때에는 pearlite중의 cementite에 固溶되어 보이지 않지만, Cr量이 많으면 Cr의 炭化物로서 析出되기 때문에 현미경으로 잘 보인다. 이것은 복잡한 Fe-Cr 炭化物로서 高溫加熱에 의해서도 거의 分解되지 않기 때문에 아주 安定화된 化合炭化物이다. 보통 主鐵에 Cr이 0.4~0.6% 정도 添加되면 基地는 全 pearlite로 되며 黑鉛形狀은 적어지면서 均等하게 되어 結晶粒이 적게된다.

⑧ V

鑄鐵에 含有되는 V는 黑鉛化 抑制作用이 強해 炭化物의 安定度를 높인다. 鑄鐵의 組織도 V에 의해 pe-

arlite로부터 sorbite의 緻密한 組織으로 變한다.

V은 溶湯에서 脫酸作用이 強하기 때문에 凝固中의 組織은 더욱 緻密하게 되어 dendrite matrix의 發生이 防止되어 均질한 組織이 얻어질 수 있다. 析出黑鉛의 形態도 比較的 적고, 또한 均等하고 良好한 A type 黑鉛이 많은 것이 큰 特色이다. (brake disc, brake drum 및 2륜차 cylinder block에 特히 많이 이용된다)

V은 鑄鐵의 硬度, 引張強度를 확실히 向上시키면서도, 機械切制性은 그다지 低下시키지도 않고 耐摩耗性에도 좋은 영향을 준다.

⑨ Ti

Ti은 溶湯에서 脫酸, 脫N作用이 강하기 때문에 Ti을 添加하면 黑鉛化가 助長되며 特히 少量添加時에도 이러한 현상은 현저하게 나타난다. Ti은 黑鉛의 크기를 미세화하기 때문에 引張強度를 增加, chill防止, 耐摩耗性도 良好하게 하며 0.04~0.08% 정도 添加하여 brake-disc, drum에 많이 活用하고 있다. (特히 硬度分布의 均一性을 向上시키기 때문에) 보통은 V과 供用해서 사용하는 境遇가 많다.

⑩ Sn

鑄鐵에 少量의 Sn을 添加하면 硬度 및 強度가 向上된다. 그러나 一般的으로 Sn을 添加하면 鑄鐵은 脆弱해 지기 때문에 바람직하지 않다고 보고 있으나, chrysler 自動車會社의 境遇 engine block에 Sn 0.08%를 添加한 結果 cylinder block의 HB는 20 정도, 引張強度도 25% 彈性限度도 5% 上昇하였고, 機械加工性이 좋으면서, 耐摩耗性의 向上이 확실하다고 發表되어 졌다. chrysler의 使用結果 종래의 Cr 0.3~0.5%의 添加대신 Sn을 添加시켜 鑄鐵을 實際로 利用하고 있는 데는 상당한 흥미가 있다.

5. 規格, 種類 및 用度

自動車用部品으로 使用되는 鑄鐵소재의 種類와 材質規格 및 用途는 표 4와 같다.

6. 開發展望

鑄鐵은 強靱性面에서는 球狀黑鉛鑄鐵에 比較가 되지 않지만 微細振動을 吸收하는 能力(減衰能) 및 潤滑狀態下에서 使用될 때에는 融着抵抗性이 크고 摩耗抵抗性이 좋으므로 球狀黑鉛鑄鐵보다 확실히 좋은 性質을 가지고 있다. 따라서 내연기관的 cylinder liner,

piston-ring brake disc 및 drum 등의 素材로서, 球狀黑鉛鑄鐵은 이의 用途로서는 아뭏든 scuffing 現象을 일으키기 쉽고 摩耗抵抗이 적어 採用될 수 없다. 따라서 pearlite 기지 組織내에 적당히 잘 발달된 片狀黑鉛을 가진 鑄鐵이 自動車, 機械部品에 넓게 使用되어지는 것은 변함이 없다고 본다.

度도 向上시켜 耐摩耗性을 우수하게 하기 위해 合金鑄鐵의 方法 特히 Al, Mn, P 등의 影響과 共晶黑鉛鑄鐵을 만들기 위한 한 方法 즉 金型鑄鐵을 利用하여 微細한 共晶黑鉛組織을 가진 주철의 연구에 박차를 가해야하며 이에 生産性面에서도 砂型에 비해 3~4배의 증가로 공해 산업의 문제점인 인력해소도 가능하다.

• 그러나, pearlite의 面積을 增加시키고, 硬度 및 强

표 4 . 자동차 주철소재의 종류와 재질규격 및 용도

部 品 名	材 質 區 分	重 量 kg	機 械 的 性 質 例			化 學 成 分 例						其 他
			引張強度 kg/cm <sup>2</sup>	抗切最大 荷重 kg	硬 度 HB	C	Si	Mn	P	S	其 他	
Drive Housing	GC15	1~2	16~18	800~1000	140~187	3.4~3.7	1.9~2.2	0.2~0.5	0.04~0.09	0.04~0.09	-	
Gear Case	"	3~5	"	"	160~190	3.5~3.7	"	"	"	"		
Worm Case Cover	"	0.5~2	"	"	"	"	"	"	"	"		
Clutch Housing	GC20	10~25	21~24	1200~1450	160~200	3.2~3.5	1.9~2.2	0.4~0.7	0.1max	0.1max		
Brake Shoe	"	8~14	"	"	167~229	"	"	"	"	"		
Air Suspension Damper Housing	"	1.5~2.5	"	"	160~200	3.2~3.4	2.3~2.5	0.7~0.8	"	"		
Clutch Shaft Retainer	"	2~4	20~23	1200~1400	"	3.2~3.3	"	"	"	"		
Brake Disc	GC25	25~29	"	"	187~235	3.0~3.4	1.8~2.4	0.6~0.8	0.3max	0.1max	Ti:	
Sprocket Wheel	"	0.5~1.5	"	"	180~229	"	1.9~2.4	0.6~0.9	0.2max	"		
小型 Brake Drum	"	4~10	25~29	"	180~225	3.2~3.4	1.9~2.4	0.5~0.7	"	"		ferrite matrix 5%max, free cementite 5%max, all-pearlite
Pressure Plate	"	2~7	"	1200~1400	179~230	3.2~3.5	1.9~2.2	"	"	"		
Transmission Case	"	15~55	25~29	"	180~220	3.0~3.5	1.8~2.2	0.4~0.8	0.1~0.2	0.1max		
Crank-Case	"	50	"	"	"	3.1~3.3	1.6~2.0	0.5~0.7	"	"		
Exhaust Manifold	"	5~8	"	"	"	3.2~3.5	1.6~2.1	0.4~0.8	"	"		
Bearing Cap	"	0.5~4.5	25~27	"	"	3.0~3.3	1.8~2.1	0.7~0.8	0.1max	"		
Cylinder Block	"	"	25~28	"	"	3.0~3.4	1.8~2.1	0.6~0.8	0.1max	0.1max		
大型 Brake Drum	"	50~70	26~29	"	180~255	2.9~3.4	1.7~2.3	0.6~0.8	"	"	Cr:0.3~0.6	
Guide Roller Cap	GC25	26~29	"	"	"	3.3	1.9	0.8	"	"	Cu:0.4~0.6	
Cam Sprocket	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
Fly wheel	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
steering valve Housing	"	20	25~27	"	"	3.0~3.1	1.8~2.0	0.7~0.8	0.1max	0.1max		
Air-brake 用 master cylinder	"	"	"	"	"	2.9~3.1	1.9~2.1	0.7~0.8	"	"	Cr:0.3~0.4	
Air-brake 用 cylinder Body	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
Diesel engine 用 cylinder Block	"	130~190	25~29	1200~1400	180~225	3.2~3.3	1.5~1.8	0.5~0.7	"	"		550°C에서 stress-relief
Diesel engine 用 cylinder Block	"	40~60	"	"	"	"	"	"	"	"		
gasoline engine 用 cylinder Block	"	20~50	24~27	1000~1200	184~240	3.3~3.4	1.6~1.9	"	"	"		
gasoline engine 用 Cylinder Head	"	15~25	"	"	"	"	"	"	"	"		
분사 pump, pump body	"	3~6	25~27	"	110~230	3.0~3.3	1.8~2.2	0.6~0.8	"	"		
pressure plate	FC30	3~15	30~35	"	190~240	3.0~3.3	1.7~2.0	0.6~0.8	"	"		
2 cycle engine fly wheel Housing	"	0.6~1.2	30~34	1100~1400	200~260	2.8~3.2	1.4~2.0	0.6~0.9	0.4max	"		
fly-wheel	"	6~40	31~36	"	210~230	3.0~3.2	1.8~2.0	0.5~0.7	0.2max	"	Cr:0.4~0.6	
cooler 用 compressor body	"	15~30	31~33	"	180~220	2.9~3.0	1.6~1.8	"	0.1~0.2	"		550°C에서 stress-relief & special inoculation
이륜차用 cylinder block	"	3~8	30~36	"	191~230	3.0~3.5	2.0~2.3	0.6~0.9	0.2~0.26	"	Ni:0.1~0.3 Cu:0.2~0.4 Pb:0.05~0.1	
이륜차用 cylinder sleeve	"	"	30~37	"	197~235	3.3~3.4	2.0~2.4	0.8~1.0	0.1max	"		
Cam-shaft	"	"	30~34	"	262~315	3.1~3.45	2.1~2.4	0.6~0.9	0.2max	"	Cr:0.8~1.2 Mo:0.4~0.6	