

技術解説

CV 黑鉛鑄鐵의 特性과 製造法

崔 昌 鈺

1. 序 言

CV 黑鉛鑄鐵이라 함은 球狀黑鉛과 片狀黑鉛의 中間형태의 黑鉛으로된 鑄鐵을 말한다. 이는 국제주물기술위원회 (CIATF) 의 7.6 技術分科委員會에서 종래 여러가지로 사용하던 명칭을 **Compacted/Vermicular Graphite Cast Iron**으로 통일 하였으며 이를 日本鑄物協會에서는 CV 黑鉛鑄鐵이라 하고 있다.

CV 黑鉛鑄鐵에 대하여 **vermicular** 黑鉛鑄鐵이란 용어는 유럽에서 사용하며 1974年 이후 영국에서는 일부 **compacter** 黑鉛鑄鐵이라 하여 미국에서도 이를 사용하고 있다. 또한 日本에서는 **compacted/vermicular** 黑鉛鑄鐵, **semiductile** 黑鉛鑄鐵, **vermicular** 黑鉛鑄鐵이라는 용어를 병용하고 있다.

CV 黑鉛鑄鐵이 최근 주목을 받게된 원인은 黑鉛의 形態로부터 추정되는 바와 같이 CV 黑鉛鑄鐵의 機械的 性質 또는 鑄造性 등이 球狀黑鉛鑄鐵과 片狀黑鉛鑄鐵의 中間에 위치하며 종래의 鑄物製品에 비하여 적용 범위가 넓어진데 있다.

球狀黑鉛鑄鐵은 熔解技術의 발달에 의하여 비교적 용이하게 製造되지만 그 凝固機構上 收縮이 많아 큰 押湯을 필요로 하는 경우가 많으므로 回收率의 底下 및 黑鉛球狀化處理에서 Mg 合金의 이용에 의한 엷은 部品の 경우 **chill** 이 生成되기 쉬워서 熱處理를 필요로 하는 등의 問題가 발생한다. 또한 自動車部品으로 球狀黑鉛鑄鐵品이 많이 사용되나 強度的으로는 상당히 많은 여유가 있어 반드시 球狀黑鉛鑄鐵을 필요로 하지 않는 경우도 있으나 灰鑄鐵로서는 적당한 材質이 없기 때문에 부득이 球狀黑鉛鑄鐵을 사용하는 部品도 있다.

따라서 灰鑄鐵이 갖고 있는 鑄造性的 양호함과 球狀黑鉛鑄鐵에 가까운 機械的 性質을 가지며 灰鑄鐵과 球

狀黑鉛鑄鐵의 中間材質인 CV 黑鉛鑄鐵에 대하여 새로운 材質로서 開發, 生産되고 있어 特性 및 製造方法에 대하여 기술하고자 한다.

2. CV 黑鉛鑄鐵의 組織

球狀黑鉛鑄鐵에서 黑鉛은 단독으로 晶出된 放射狀多結晶體이며 片狀黑鉛鑄鐵은 하나의 結晶核으로부터 성장한 薄片狀單結晶의 黑鉛이 共晶 cell 內에 있어서 分岐하여 内部結合하고 있다. 黑鉛組織의 이러한 차이는 각각의 鑄物의 여러가지 性質에 큰 영향을 주고 있다. CV 黑鉛鑄鐵의 黑鉛形態는 양자의 中間的인 것으로 되어 있지만 그 범위는 擬片狀까지 넓게 되어 있어 이들 黑鉛狀態에 관한 이름도 여러가지가 있다.

이를 熔湯의 處理여하에 따라 分類하면 다음과 같다.

① 熔湯을 處理하지 않는 경우(탈황처리를 하는 경우가 있다).

Fibre 黑鉛, **Fibre-like coral** 黑鉛, **D-type lamella** 黑鉛, **Dot-from** 黑鉛, **Rod** 黑鉛, **Round D-type** 黑鉛, 微細D型黑鉛.

② 熔湯을 處理하는 경우

Compacted 黑鉛, **Vermicular** 黑鉛, **Wormlike** 黑鉛, **Quasi-flake** 黑鉛, **Chunky** 黑鉛, **P-type** 黑鉛, 기타 **Aggregate**, **Stubby**, **Semi-nodular**, **Floccular** 등의 이름을 가진 黑鉛이 있다.

①의 黑鉛形態는 D型(共晶狀) 黑鉛과 유사하여 이것을 CV 黑鉛이라고 하지 않아야 하는 견해도 있다. 이 黑鉛은 D型黑鉛에 비해서 微細하게 두껍고, 分岐가 심하여 黑鉛片의 先端은 둥글게 되어 있으며 低S熔湯을 急冷凝固하므로써 얻을 수 있다. 한편 ②의 黑鉛은 黑鉛형태를 變化시키기 위하여 특정의 處理劑를 사용하여 그의 형태는 球狀黑鉛과 같이 分離, 獨立해 두지 않고 또 ①의 黑鉛에 비하여 크며 ASTM規格 A-247

*東亜大學校 工科大學 教授

의 黑鉛分類 표시의 III型에 가까운 형태를 표시한다. 현재 주목되고 있는 CV 黑鉛은 ②의 形을 가리키는 경우가 많다. 1979年 스페인에서 개최된 국제주물회의 때 7.6 技術分科委員에서 논의된 CV 黑鉛鑄鐵은 「반드시 黑鉛을 균일하게 가늘고 더욱이 이름이 나타내는 바와 같이 擬球狀의 黑鉛이 晶出한 것」으로 하는 의견도 있었지만 실제 鑄物에서는 鑄造가 곤란하여

상당히 많은 量의 球狀黑鉛을 함유하는 경우가 있다. Riposan은 片狀에도 球狀에도 속하지 않는 中間型의 黑鉛을 그림 1에 표시한 바와 같이 3종류로 분류하고 있다. 그림 1의 (a)는 Ca에 의하여 強制脫黃(0.002% S 이하) 하여 急冷 凝固한 것으로 ①의 黑鉛에 해당하는 것으로 이는 시판 鑄鐵의 S量으로도 金型鑄造에 의하여 急冷凝固(20°C/sec)시키

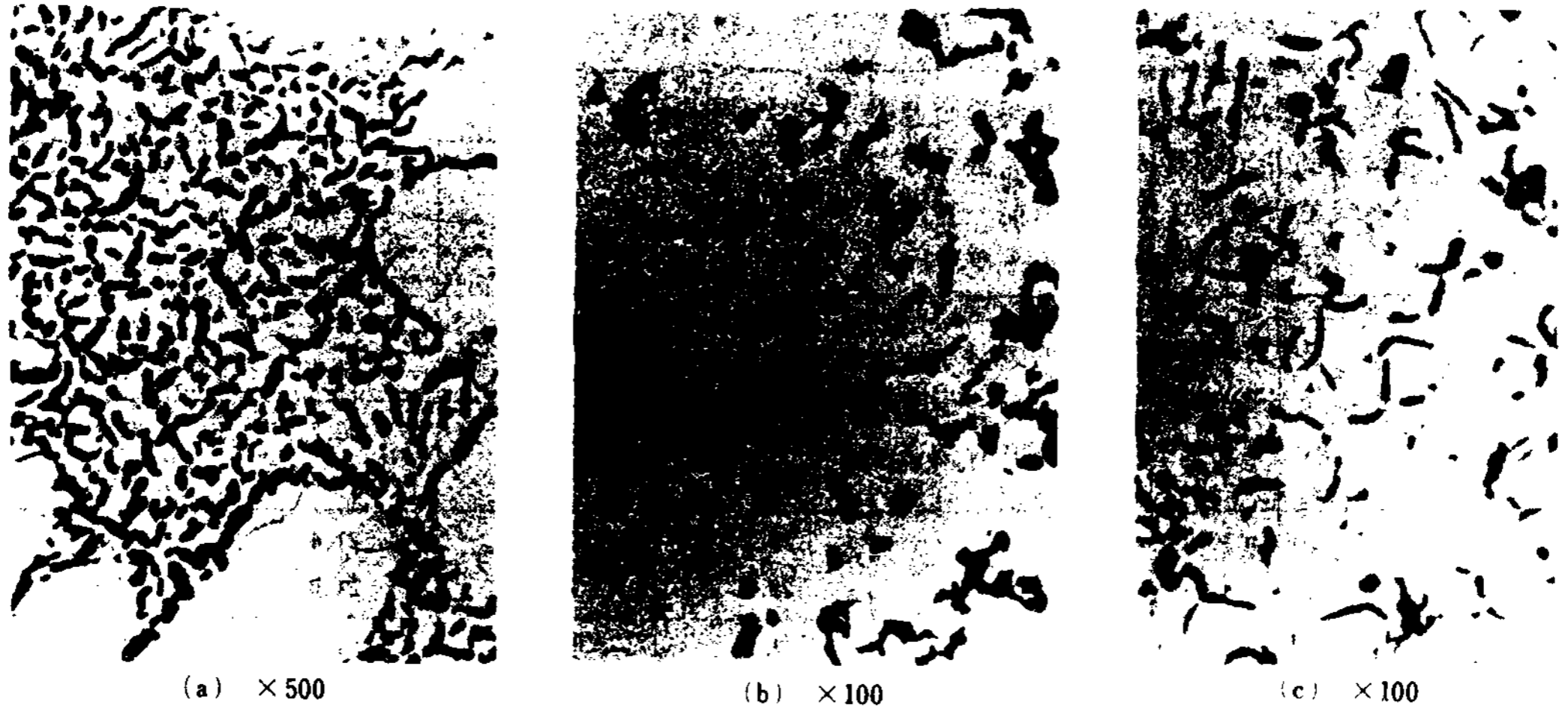


그림 1 CV 黑鉛鑄鐵의 黑鉛組織

면 얻을 수 있는 것으로 보고 되었다. (b)는 Ce 및 希土類金屬(REM) 등의 첨가에 의한 것으로 이는 黑鉛球狀化劑의 少量 添加로 얻어지는 黑鉛形이다. (c)는 Mg, Al, Ti 添加에 의한 것으로 이는 球狀化元素와 球狀化阻害元素의 添加로 얻을 수 있는 것이다.

표 1은 그림 1의 각 黑鉛의 形態 및 機械的 性質을 표시한다. 黑鉛의 形態的 特性으로서 黑鉛의 폭, 길이 및 그 比를 취해서 폭에 대한 길이의 비가 2~10인 것을 CV 黑鉛으로 정의하고 있으나 이러한 정의는 一般的으로 인정되어 있는 것은 아니다.

日本鑄物協會에서 CV 黑鉛의 形態를 정의 하는데

제안된 것으로 다음과 같은 方法이 있다.

- ① 黑鉛球狀化率判定法에 의한 方法
- ② 形狀係數에 의한 方法
- ③ 形狀係數와 偏倚度에 의한 方法
- ④ Stereological parameter에 의한 方法

이들 方法에 의해 제안된 CV 黑鉛의 形狀的 特性 值를 예를 들면 球狀化率이 30~70%이고 形狀係數 $[4\pi \times (\text{黑鉛面積} / \text{黑鉛周邊길이}^2)]$ 는 0.3~0.6 정도이다. 또한 單位體積중의 黑鉛의 比表面積은 $0.035 \sim 0.060 \mu^{-1}$ 이다.

黑鉛球狀化率에 의한 CV 黑鉛鑄鐵의 球狀化率 下限은 共晶黑鉛의 析出이 시작하기 직전의 30%, 上限

표 1. CV 黑鉛의 形態와 機械的 性質

型	形 態 的 特 性			機 械 的 特 性			備 考
	最大 길이 (μ)	最 大 幅 (μ)	길이/幅	引張強度 ($kg \cdot f / mm^2$)	延伸率	硬 度 (H_B)	
a	20	10	2~4	30.6~45.9	2~5	150~240	D型黑鉛
b	150	50	2~5	35.7~51.0	3~9	150~240	M(IV)型黑鉛
c	150	20	3~10	30.6~45.9	1~3.5	150~250	P(III)型黑鉛

은 球狀黑鉛鑄鐵 規格의 下限值 부근의 球狀化率 70%의 것을 말한다.

CV 黑鉛鑄鐵의 基地組織은 球狀黑鉛鑄鐵과 같이 ferrite 100%로부터 pearlite 70%정도까지 鑄放狀態에서 얻을 수 있으며 球狀黑鉛鑄鐵에 비하여 ferrite化 경향이 강하다.

3. CV 黑鉛鑄鐵의 性質

3.1. 機械的 性質

黑鉛形態가 中間型인 CV 黑鉛鑄鐵은 그의 機械的 性質도 中間的이라고 예상된다. 이는 표 1에 표시한 바와 같다. 표 1에 의하면 引張強度는 約 30~50kg·f/mm², 延伸率은 1~9%이다. 또한 인장강도 40kg·f/mm² 전후에서 延伸率 3~5%를 가지는 黑鉛形態의 鑄鐵을 대표적인 CV 黑鉛鑄鐵이라고 하는 경우도 있

으나 이는 實用的인 觀點에서 볼 때 中間型黑鉛으로써 機械的 特性이 표 1에 나타낸 범위내에 있으면 CV 黑鉛鑄鐵로 분류하기도 한다.

표 2는 CV 黑鉛鑄鐵의 機械的 性質에 미치는 炭素當量(CE值), 基地組織 및 鑄物두께의 영향을 나타내었으며 그림 2는 引張強度와 CE값의 관계를 나타낸 것이다. 그림 2에 의하면 C, Si와 같이 主要元素가 變化해도 強度의 變化나 두께의 영향이 적은것 등 片狀黑鉛鑄鐵과 다르며 또한 基地組織의 영향도 球狀黑鉛鑄鐵보다 적은 것을 알 수 있다.

CV 黑鉛鑄鐵의 機械的 性質은 黑鉛形態에 크게 영향을 받은 것으로 片狀形態에 가까운 CV 黑鉛鑄鐵이면 片狀黑鉛鑄鐵의 性質에 가까우며, 球狀에 가깝든지 또는 球狀을 함유하는 CV 黑鉛에서는 球狀黑鉛鑄鐵의 性質에 가깝다.

표 2. CV 黑鉛鑄鐵의 機械的 性質

性 質	CE (%)	基 地 組 織	肉 厚 (徑) (mm)			
			30	53	44.5 (keel)	200
引張強度 (kg·f/mm ²)	4.3	ferrite	37.2	33.1	31.6	28.6
	4.0		40.8	35.7	33.7	30.6
	4.3	pearlite	44.9	37.7	36.7	32.6
	4.0		46.9	39.8	39.3	34.7
0.1% 耐力 (kg·f/mm ²)	4.3	ferrite	26.5	23.5	21.4	19.4
	4.0		29.1	25.5	24.0	22.4
	4.3	pearlite	31.1	27.5	24.5	21.4
	4.0		34.7	28.6	27.0	23.5
彈 性 率 (kg·f/mm ^{10⁴})	4.3	ferrite	1.65	1.65	1.65	1.65
	4.0		1.72	1.68	1.65	1.68
	4.3	pearlite	1.68	1.62	1.68	1.58
	4.0		1.68	-	1.65	1.58
延 伸 率 (%)	4.3	ferrite	4.5	4.5	5.5	4.5
	4.0		2.0	2.5	3.0	3.0
	4.3	pearlite	1.5	1.0	2.0	2.0
	4.0		1.0	1.0	2.0	1.5
硬 度 H _B (10/3,000)	4.3	ferrite	140~155	135~150	120~130	120~130
	4.0		180~205	170~180	135~145	130~140
	4.3	pearlite	225~245	175~245	195~205	160~180
	4.0		210~260	175~240	195~215	160~190

球狀黑鉛을 함유하는 CV 黑鉛鑄鐵에서는 球狀과, ferrite 基地에 있는 球狀化率과 引張強度 및 延伸率 CV 黑鉛의 比率이 문제가 된다. CV 黑鉛鑄鐵의 과의 관계를 그림 3에 나타낸 바와 같이 球狀化率 30

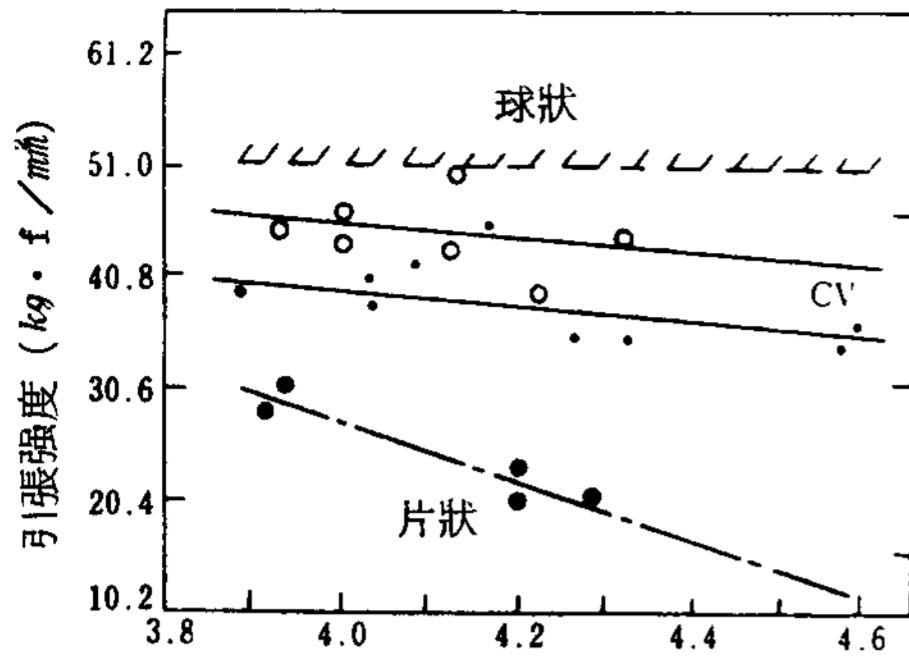


그림 2 各種鑄鐵의 引張強度에 미치는 CE 值의 影響

%에서 引張強度 29 $kg \cdot f / mm^2$, 延伸率 10%로 된다. 球狀化率 30%이하에서는 共晶黑鉛이 析出되기 때문에 引張強度, 延伸率은 모두 급격히 저하 한다. 특히 球狀化率 30%부근에서는 Mg의 fading이 進行되기 쉽고 동일鑄型內의 製品의 위치에 따라서는 共晶黑鉛이 析出하여 材質不良이 되는 경우도 있으므로 실제의 관리에 있어서는 球狀化率의 下限은 10%의 여유를 두어 40%로 하는 것이 적당할 것이다. 또한 球狀化率 30%이하에서는 共晶黑鉛의 析出이 시작하고 서서히 黑鉛이 粗大化한다.

球狀化處理熔湯의 C.E 값이 4.6 부근에서는 過共晶組成이므로 引張強度 15 $kg \cdot f / mm^2$ 이하의 극히 弱한 材質이 되므로 주의가 필요하다.

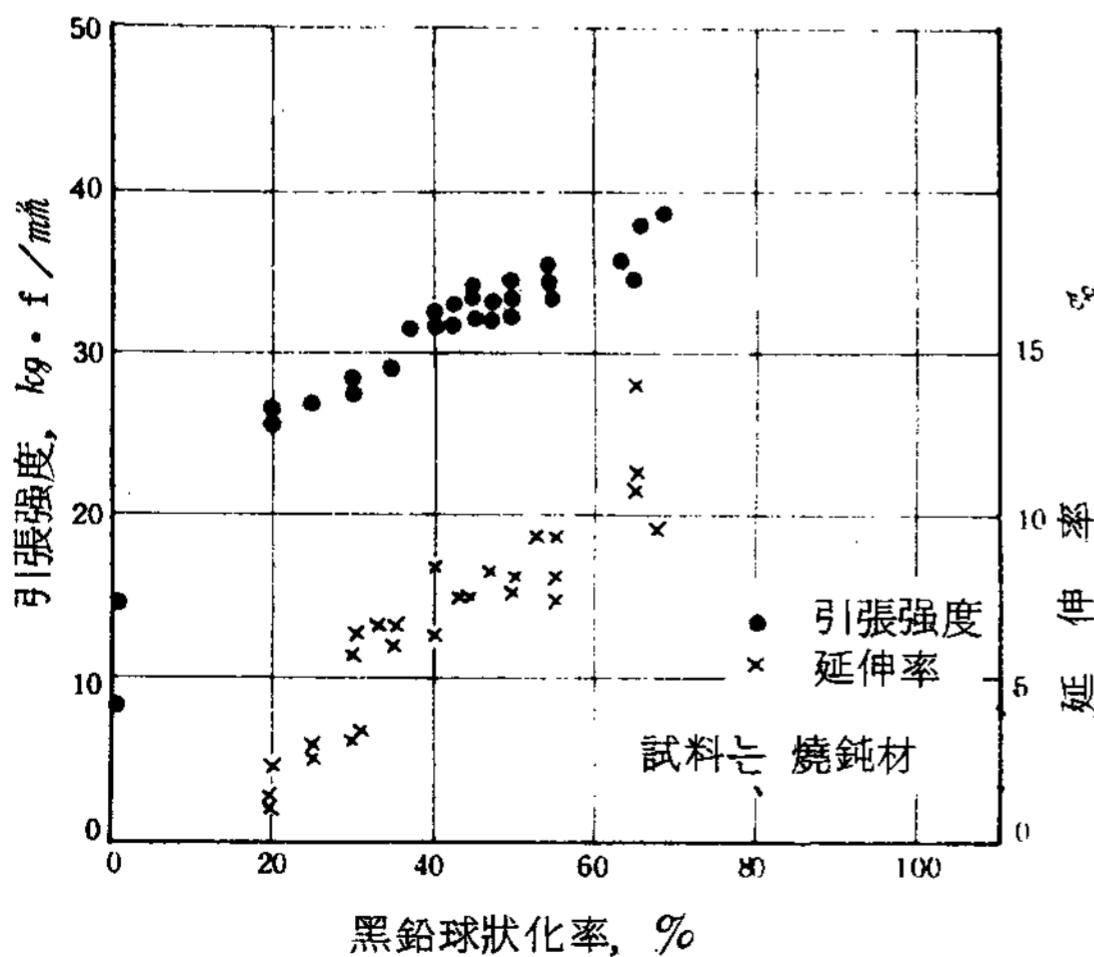


그림 3 黑鉛球狀化率과 機械的性質과의 關係

CV 黑鉛鑄鐵은 ferrite化하기 쉬운 것으로 一般적으로 鑄放狀態에서 60%이상의 ferrite가 석출된다. 이를 pearlite化 하는데는 熱處理 外에 合金 添加를

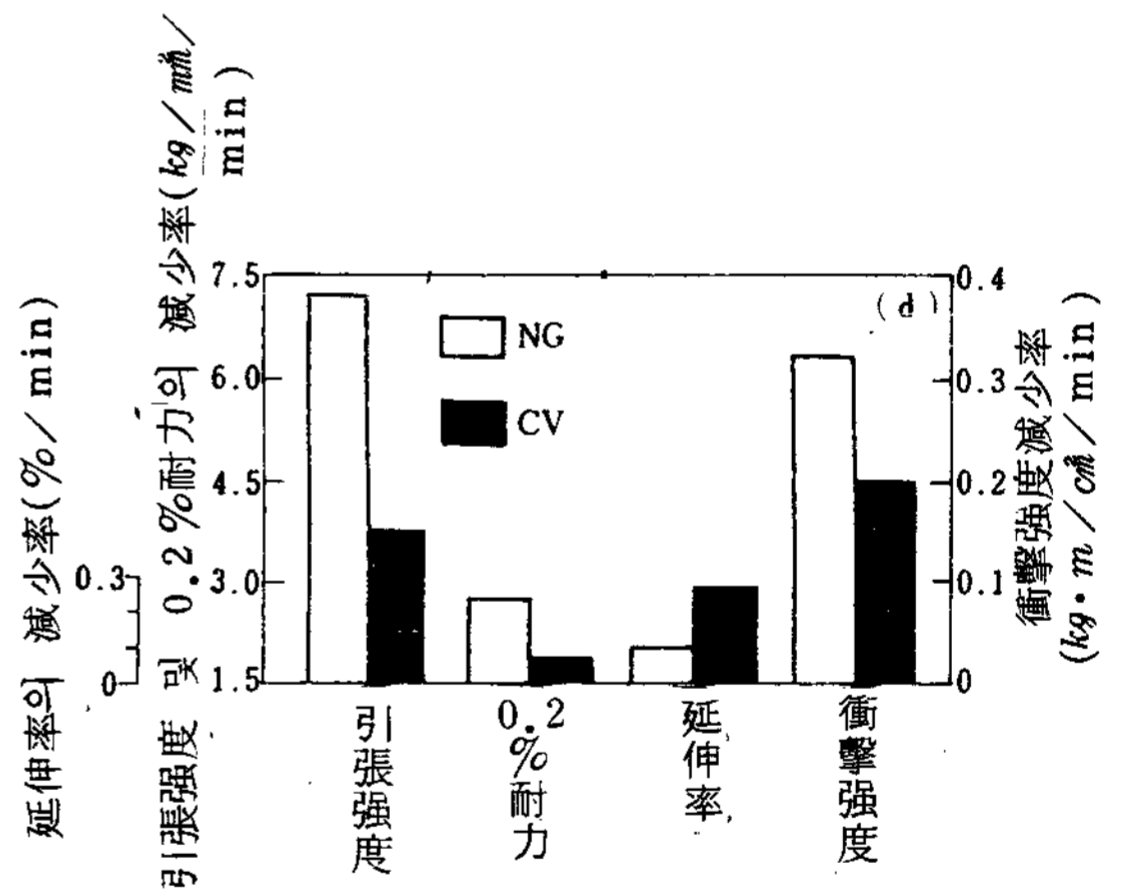
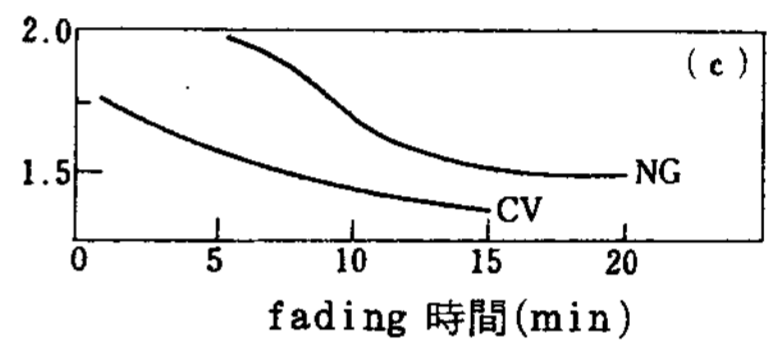
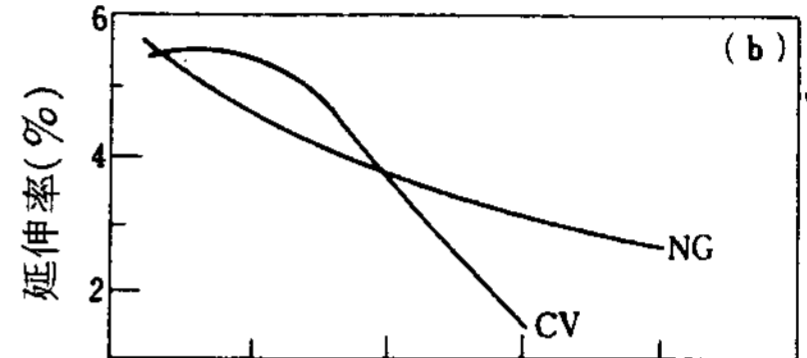
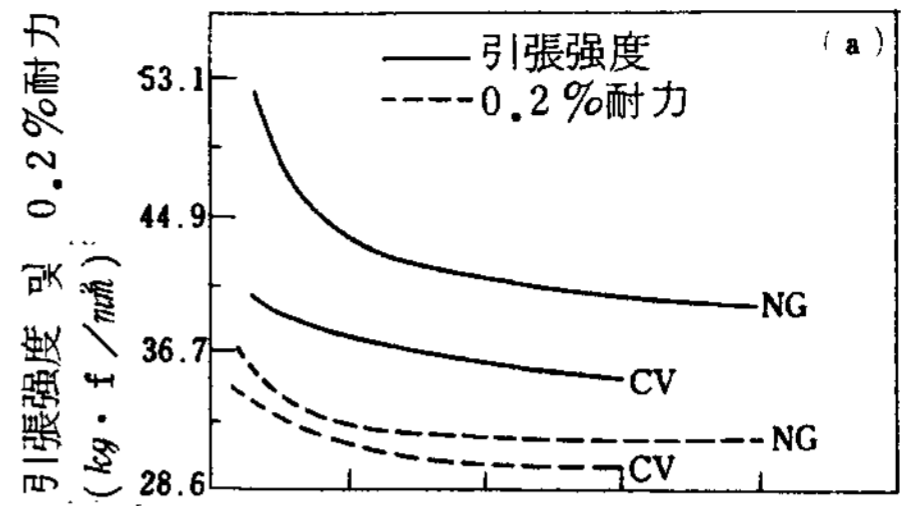


그림 4 CV 및 球狀黑鉛(NG)鑄鐵의 機械的性質에 미치는 Mg 處理後의 熔湯保持時間의 影響

한다. 일례로서 Cu 및 Cr를 각각 0.7%, 0.4% 첨가하므로써 70%이상의 pearlite 基地가 된다.

그림 4는 Mg 合金으로 熔湯處理한 CV 및 球狀黑鉛(N.G.)鑄鐵의 機械的性質에 미치는 熔湯保持의 영향을 나타낸다. 그림 4(a)는 引張強度 및 0.2% 耐力, (b)延伸率, (c)충격강도를 표시하고 각 특성의 熔湯保持 1分當 平均 감소율(d)를 나타내고 있다. CV 黑鉛鑄鐵은 延伸率의 감소율이 球狀黑鉛鑄鐵보다 크고 다른 性質은 감소율이 적음을 나타내고 있다. 따라서

C.V. 黑鉛鑄鐵에서는 延伸特性的 관리를 중요시할 필요가 있다.

3.2. 疲勞強度

각종 鑄鐵의 V-notch 試驗片의 충격치를 표 3 에 표시한다.

CV 黑鉛鑄鐵의 충격특성은 球狀黑鉛鑄鐵과 비슷하며 延伸-취성, 遷移溫度는 ferrite 系에서 0°~15°C 이고 pearlite 系에서 約 100°C 이나 鑄鐵의 疲勞強度는 일반적으로 引張強度에 의존하므로 CV 黑鉛鑄鐵의 疲勞特性은 片狀 및 球狀黑鉛鑄鐵의 中間이 된다.

표 3. 各種鑄鐵의 衝擊值(V notch 付, kg·m)

種 類	試驗溫度		
	- 20 °C	20 °C	100 °C
片狀黑鉛鑄鐵	Nil	Nil	-
ferrite 系 CV 鑄鐵	0.55	0.69	0.76
pearlite 系 CV 鑄鐵	0.27	0.27	0.42
ferrite 系 球狀黑鉛鑄鐵	0.82	1.73	2.86

그림 5 는 각종 鑄鐵의 平滑回轉曲率強度이다. CV 黑鉛鑄鐵의 疲勞強度는 19.3 ~ 20.8 kg·f / mm² 로써 球狀黑鉛鑄鐵의 約 80%에 相當하며 疲勞限度比는 0.57 ~ 0.56 에 근사하고 있다.

또한 80% pearlite 基地의 CV 黑鉛鑄鐵의 피로 강도는 23.8 kg·f / mm² 이고 전 ferrite 基地에서는 18.2 kg·f / mm² 로써 片狀黑鉛鑄鐵이 約 12 kg·f / mm² 인데 비하여 우수한 것으로 발표되고 있다.

그림 6 은 coffin type 의 熱疲勞試驗機에 의한 각종 鑄鐵의 高溫低 cycle 熱疲勞의 測定결과로써 熱疲勞特性은 片狀 및 球狀黑鉛鑄鐵의 中間의 特性을 나타내고 있다.

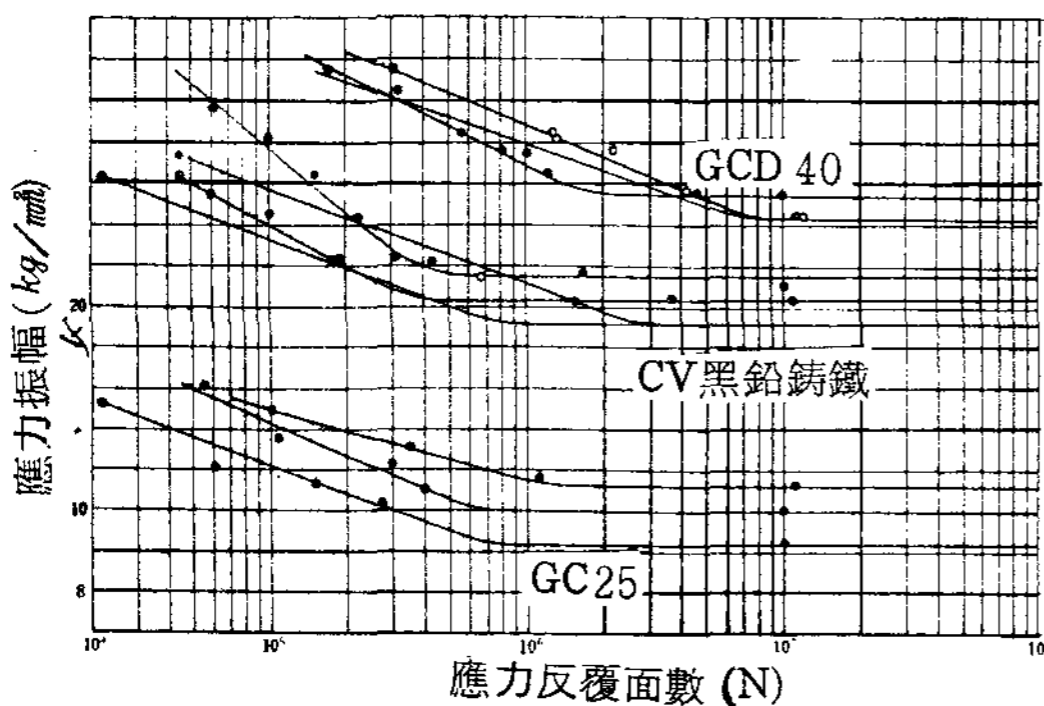


그림 5 各種鑄鐵의 N-S 曲線 (試料는 10φ 平滑仕上)

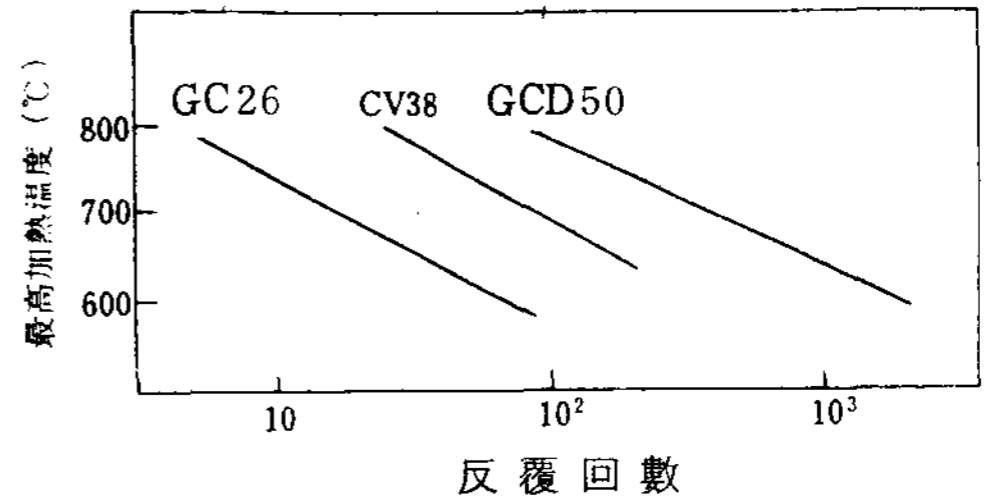


그림 6 各種鑄鐵의 熱疲勞의 比較

3.3. 減衰能

CV 黑鉛鑄鐵, 灰鑄鐵, 球狀黑鉛鑄鐵의 減衰能(damping capacity)을 比較하기 위하여 橫振動法에 의한 延伸率振幅과 減衰能과의 關係를 調査한 結果를 그림 7 에 표시한다. CV 黑鉛鑄鐵은 球狀黑鉛鑄鐵(GCD 40)와 灰鑄鐵(GC 25)와의 거의 中間의 減衰能을 가진 材質이다.

또한 그림 8 은 黑鉛 球狀化率과 減衰能의 關係이다. 이 경우 球狀化率이 約 20% 일 때 典型的인 CV 黑鉛이 되고 그의 減衰能은 縮 6 × 10⁻⁴ 으로 片狀黑鉛鑄鐵에 가까운 값을 나타낸다.

즉 CV 黑鉛鑄鐵의 減衰能이 커서 機械構造用 材料로 사용하게 된다.

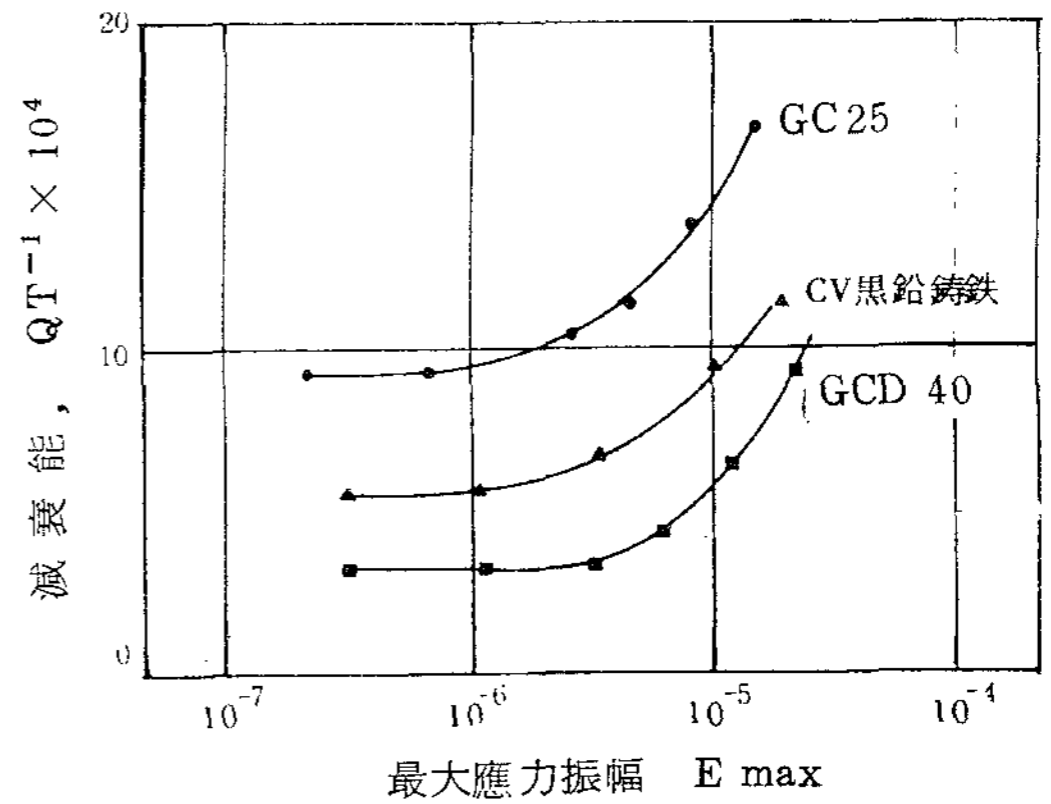


그림 7 減衰能에 미치는 延伸率振幅의 影響(橫振動法)

3.4. 熱傳導性

鑄鐵의 熱傳導性은 黑鉛의 形態에 따라 큰 影響을 받는다. 그것은 黑鉛의 熱傳導率이 鐵보다 크기 때문이다. 그림 9 는 각종 鑄鐵의 100 ~ 500°C 의 溫度범위에서 熱傳導率을 나타낸 것으로 黑鉛이 内部結合하는 片狀黑鉛에서는 크고 黑鉛球가 獨立해서 존재하는 球狀黑鉛鑄鐵은 적으며 中間형태의 黑鉛인 CV 黑鉛鑄鐵은 그 中間에 위치한다.

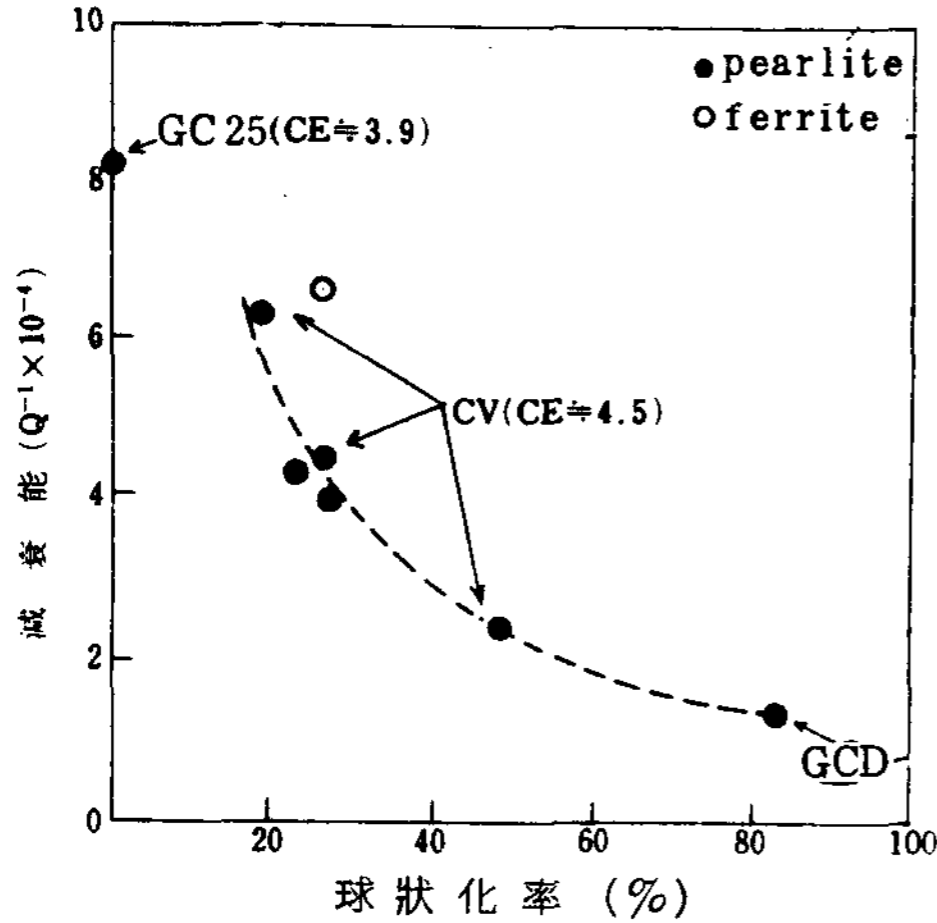


그림 8 減衰能에 미치는 球狀化率의 影響

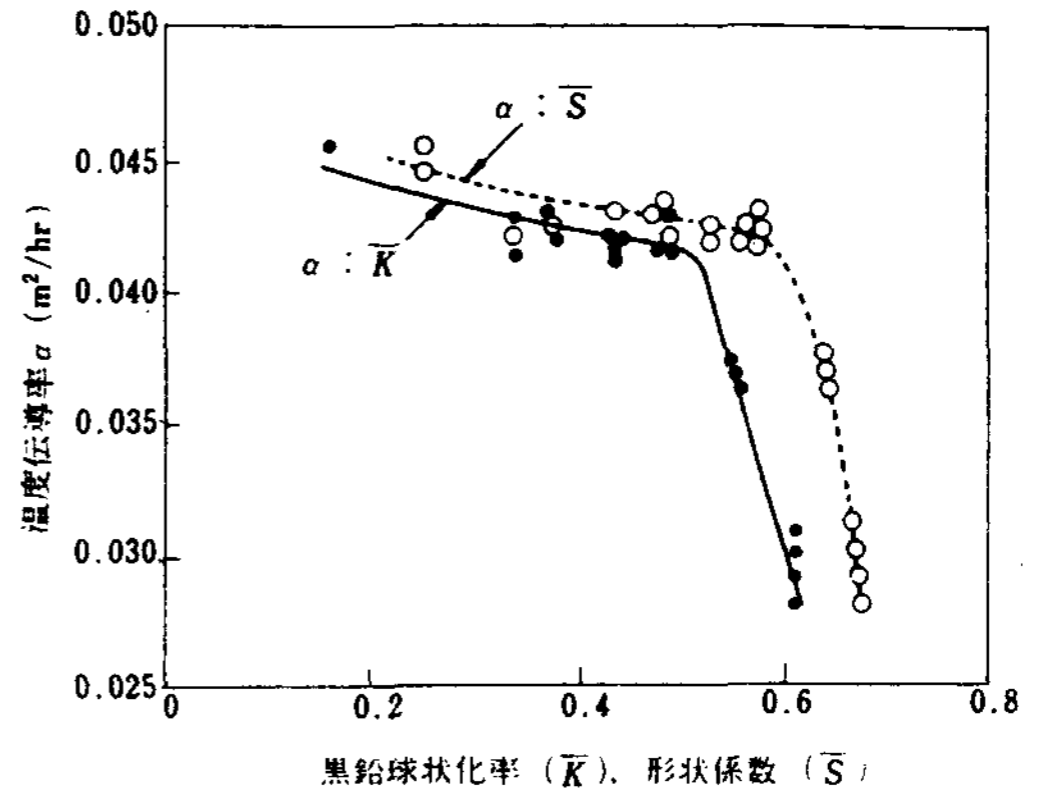


그림 10 溫度傳導率과 黑鉛球狀化率, 球狀係數와의 關係

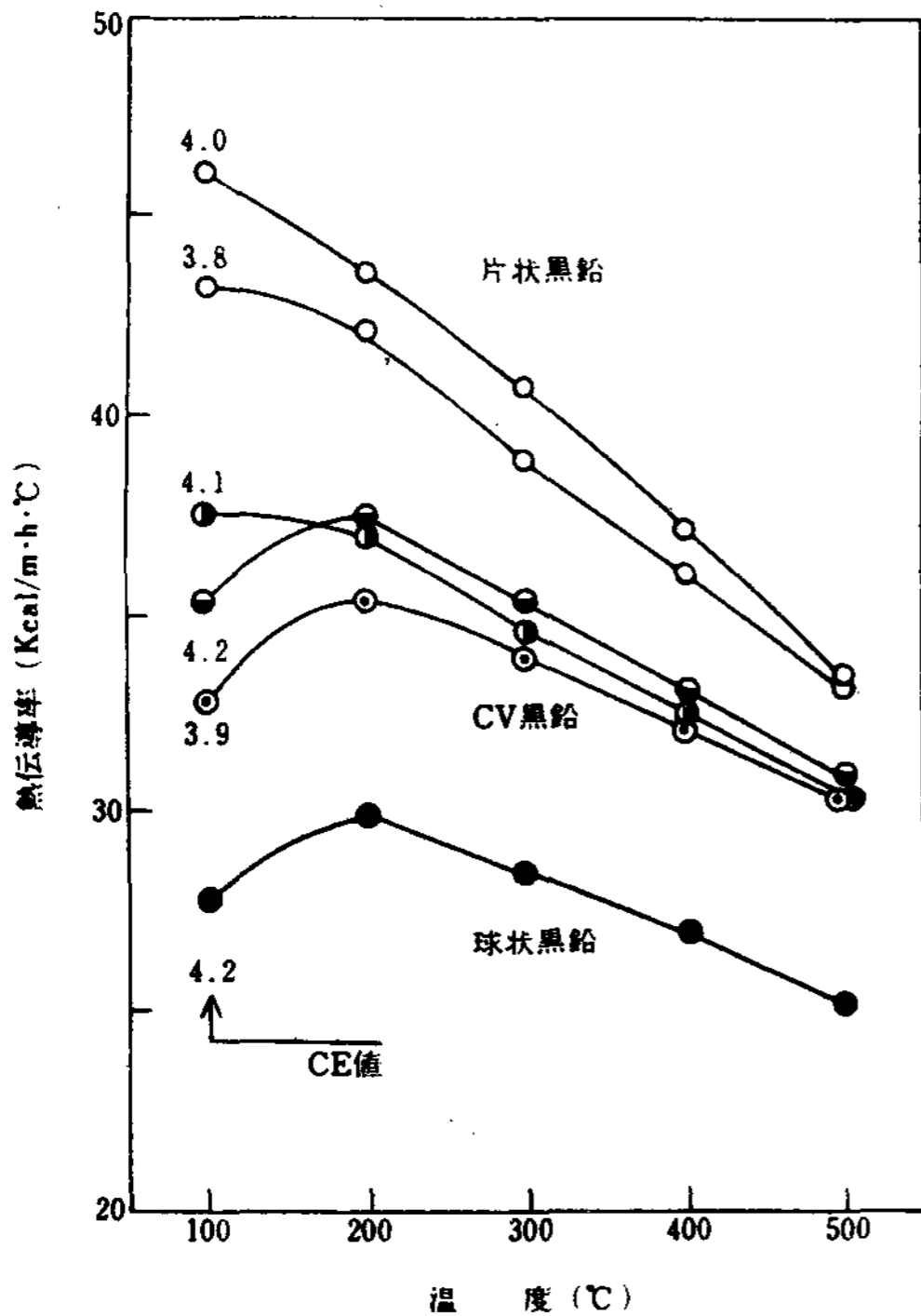


그림 9 各種鑄鐵의 熱傳導率

그러므로 CE값이 클수록 또한 ferrite가 많을수록 熱傳導率은 높고 片狀黑鉛鑄鐵에 가깝다.

그림 10은 熱傳導特性을 一般化한 溫度傳導率(熱擴散率)에 대하여 黑鉛球狀化率과의 關係로 나타낸 것으로 CV, 黑鉛의 溫度傳導率은 0.040 m²/h 이상이고 球狀黑鉛의 영역에서 격감됨을 알 수 있다. 또한 CV 黑鉛鑄鐵의 熱膨脹係數는 200~900°C에서 平均

9.4 × 10⁻⁶/°C이며 이는 片狀黑鉛鑄鐵에 가까운 값을 나타낸다.

3.5. 被削性

CV 黑鉛鑄鐵의 被削性은 工具의 種類加工條件等에 따라 變化해서 복잡한 問題이다. 바이트 혹은 드릴 등의 摩耗量과 비교한 보고에 의하면 球狀黑鉛鑄鐵과 마찬가지로 약간 우수한 性質을 갖는 것으로 되어 있다. 또 切屑의 形狀은 片狀黑鉛鑄鐵과 같은 모양이며 工具의 形狀 및 種類의 각도는 GC 30의 경우와 같은 모양이 된다.

球狀化率이 다른 材質의 被削性을 조사한 研究에 의하면 被削性은 그림 11에 표시한 바와 같이 Mg合金添加量과 工具의 마모양 사이에 直線關係가 있으며 添加量의 증대와 함께 摩耗量이 增加하여 Mg合金 1.2%添加한 것은 0.5%添加(球狀化率 65%)한 것의 2배의 摩耗量을 나타내고 있다. 한편 1.2%Mg合金을 添加한 것의 試料를 annealing한 것은 0.5%Mg合金을 添加한 것과 동일한 摩耗量을 나타내고 있다. 또한 球狀化率 65%이하의 것은 燒鈍材와 同等 또는 우수한 被削性을 나타내고 있으며 CV 黑鉛鑄鐵의 被削性은 燒鈍處理한 球狀黑鉛鑄鐵의 被削性和 同等하거나 그 이상이라 한다.

3.6. 耐食性

CV 黑鉛鑄鐵의 耐食性, 高溫酸化 및 成長 등에 대해서는 片狀黑鉛鑄鐵에 가깝다고 말하고 있으나 이는 合金元素의 添加에 의해 改良이 가능한 問題로써 예를 들면 Al添加에 의한 高溫酸化는 球狀黑鉛鑄鐵에 가깝다고 보고되어 있어 今後 改良이 될 것으로 사료된다.

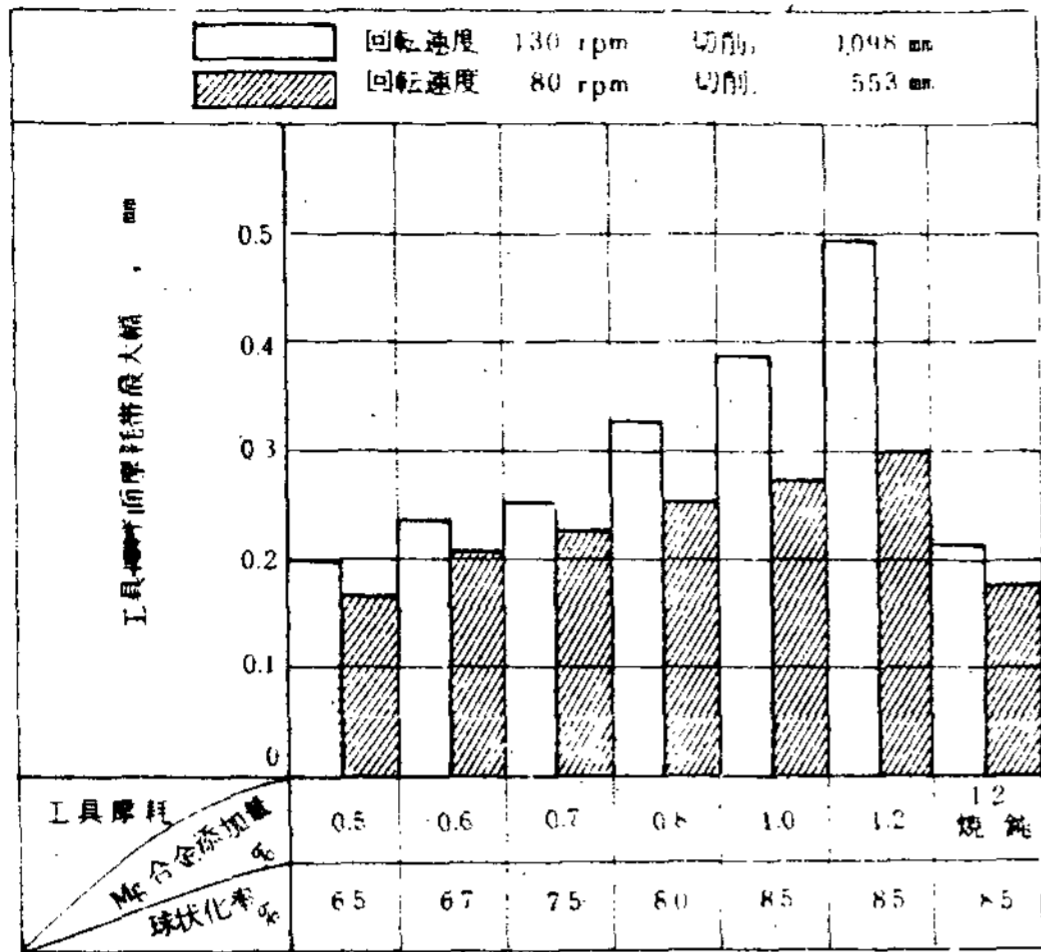


그림 11 Mg合金添加량과 工具面摩耗帶 最大幅과의 關係

3.7. 鑄造性

CV 黑鉛鑄鐵의 우수한 특징의 하나는 球狀黑鉛鑄鐵보다 押湯效果가 크다는 것이다. 그것은 共晶凝固時의 膨脹이 비교적 작고 鑄型壁의 移動이 작기 때문이다. 그림 12는 球狀鑄物에 있어서 收縮量 및 치수 變化를 나타낸 것이고 그림 13은 收縮量 및 凝固膨脹量 well이 작기 때문에 收縮량이 적고 또한 치수 變化도 작으므로 收縮 여유도 片狀黑鉛鑄鐵과 같은 정도로 양호하다. 그러나 實用例로서는 押湯系統은 球狀黑鉛鑄鐵을 나타낸 것으로 CV 黑鉛鑄鐵의 膨脹량이 적고 S-

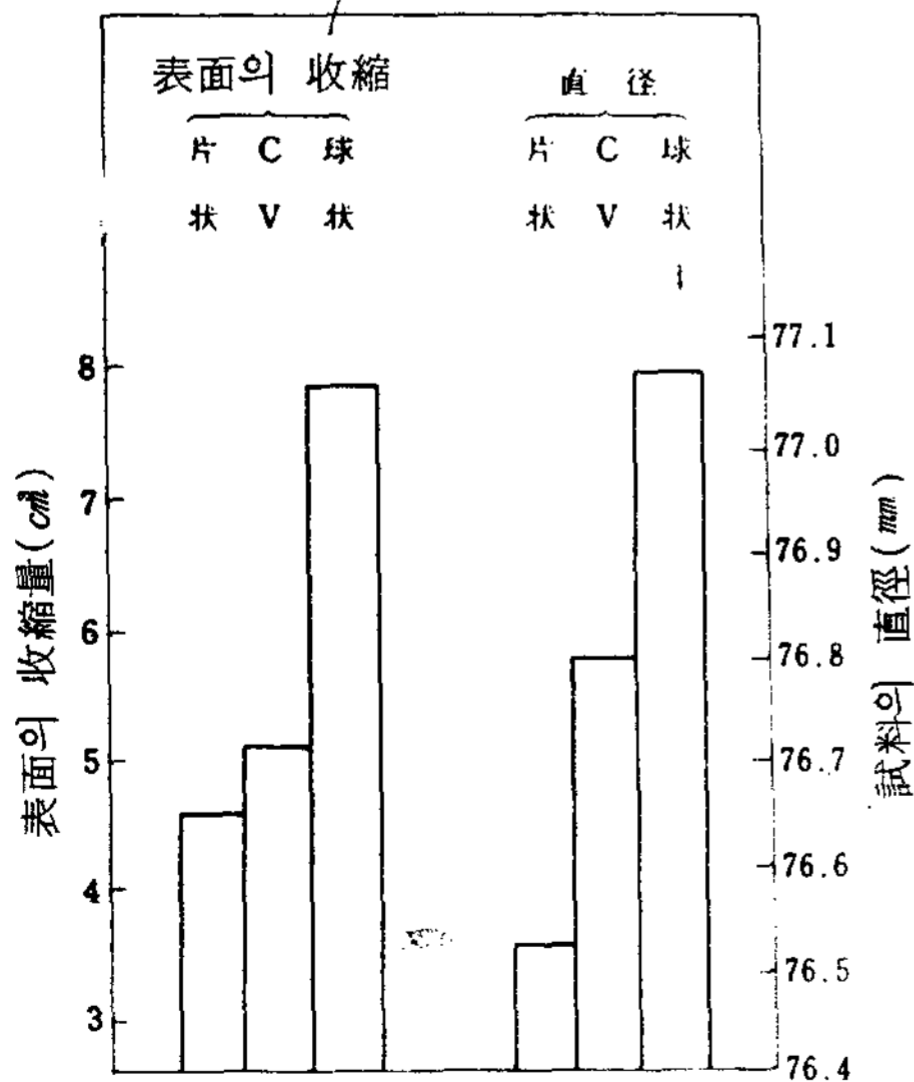


그림 12 直徑 76 mm의 球形試料에 있어서 치수變化 및 收縮과 材質과의 關係(生砂型)

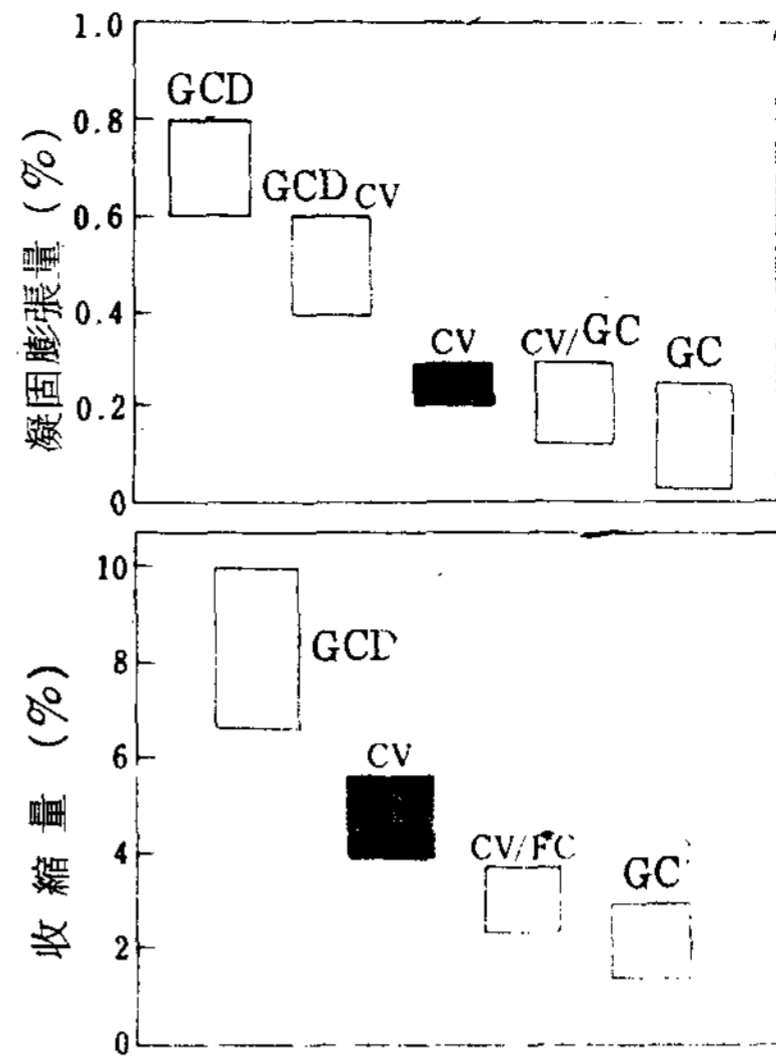


그림 13 各種鑄鐵의 凝固膨脹량과 收縮량과의 比較

혹은 高級灰鑄鐵에 가깝게 할 필요가 있다. 예를 들면 디젤-엔진用鑄鐵의 保有率은 GC30 정도이다. 流動性은 C, Si 및 溫度에 따라서 큰 영향은 받으며 동일한 C.E값에서 동일한 溫度로 되면 어떠한 鑄鐵에서라도 流動性은 거의 같은 모양으로 된다. 따라서 CV 黑鉛鑄鐵은 高級灰鑄鐵과 비교해서 C 및 Si의 量이 많을수록 流動性이 양호하다.

CV 黑鉛鑄鐵의 製造에는 Mg, Ce, Ca 등의 dross 生成元素를 사용하기 때문에 dross 生成이 적은 조건을 고려해야 한다. 이것은 球狀黑鉛鑄鐵의 경우와 같으며 Mg 量이 낮을 것, CE값이 과도하게 높지 않을 것, 元湯의 S 量이 낮을 것, Ca 量이 적은 處理劑의 利用, 高溫注湯, 난류를 일으키지 않도록 注湯할 것, 혹은 湯還系統에 적당한 pouring basin 를 설치할 것 등을 고려해 볼 필요가 있다.

그림 14 및 표 4는 각종 鑄鐵의 chill 깊이와 CE 값의 관계이다. CV 黑鉛鑄鐵의 chill 깊이는 片狀黑鉛鑄鐵보다 작다. chill 억제를 위한 接種은 0.25 ~ 0.50%의 Fe-Si 를 添加하는 것이 일반적이다.

부록 1 및 2에 CV 黑鉛鑄鐵의 서독과 Meehanite 規格을 표시한다.

4. CV 黑鉛鑄鐵의 製造方法

CV 黑鉛鑄鐵의 製造에는 다음과 같은 方法이 알려져 있다.

- ① Fe-Si-Mg 合金에 Ti, Ce, Al, Ca 元素를 添加

시킨 合金을 使用하는 方法

② 低유황의 순수한 材料 使用에 의하여 有害元素를 止揚한 Ce-misch metal 를 添加處理하는 方法

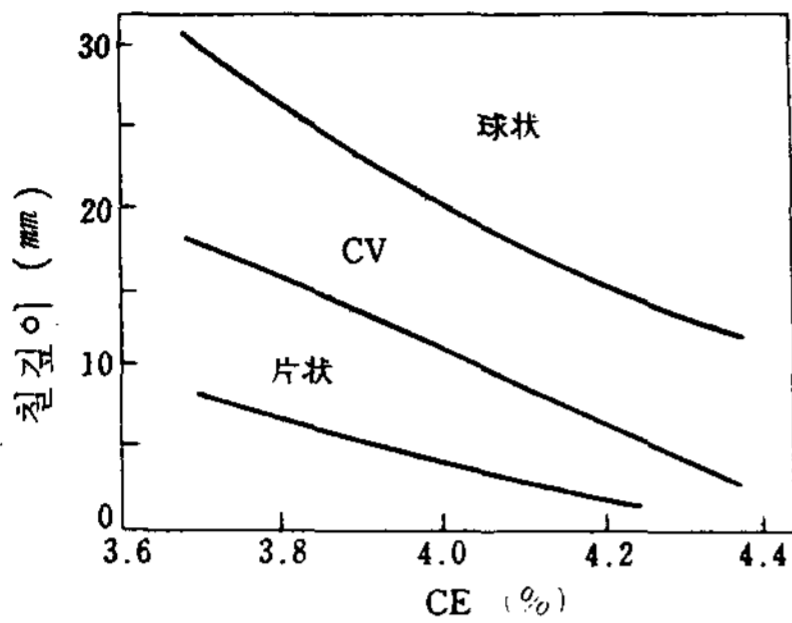


그림 14 各種鑄鐵의 chill 깊이와 CE直의 關係

표 4. 各種鑄鐵의 chill 化傾向

CE	灰鑄鐵			C.V. 黑鉛鑄鐵			球狀黑鉛鑄鐵		
	3 mm	6 mm	9 mm	3 mm	6 mm	9 mm	3 mm	6 mm	9 mm
4.3	灰	灰	灰	18 (mm)	3 (mm)	灰	chill	14 (mm)	3 (mm)
4.1	"	"	"	21 (mm)	8 (mm)	"	22 (mm)	16 (mm)	灰
3.8	"	"	"	chill	15 (mm)	"	chill	chill	3 (mm)

(註) : 表中 3 mm, 6 mm, 9 mm는 각각 試驗片의 두께, (mm)는 chill 程度를 표시하는 指數

③ 축소된 Mg 方法이라 일컬어지는 Mg 또는 Mg 合金(Fe-Si-Mg)를 少量 添加하여 製造하는 方法으로 半球狀化處理.

④ 少量의 Al, Ca와 함께 Mg-Ce 合金으로 一般的인 高유황鑄鐵熔湯에 의해서 製造되는 方法

CV 黑鉛化處理劑의 化學組成을 표 5에 표시한다.

그림 15는 3.7% C, 1.7% Si의 元湯에 Mg계 혹은 Mg-Ti계의 處理劑를 添加한 경우의 黑鉛形態와 잔유Mg 量의 關係이다. 그림 15의 곡선(a)는 Mg계 處理劑의 경우로 CV 黑鉛을 얻는데 필요한 잔유Mg 量은

표 5. CV 黑鉛化處理劑의 化學組成 (%)

	Fe	Si	Mg	Ca	REM	Al	Ti
Mg 系	42.8	46.9	5.76	0.95	(約 2)	1.08	-
Ce 系	10.9	35.5	8.93	16.2	4.71	0.80	-
Ca 系	A	3.4	44.8	1.30	28.5	2.97	1.71
	C	5.7	43.0	5.83	23.8	2.67	1.20
Mg-Ti 系	31.9	48.5	8.37	5.65	0.33	1.76	8.3

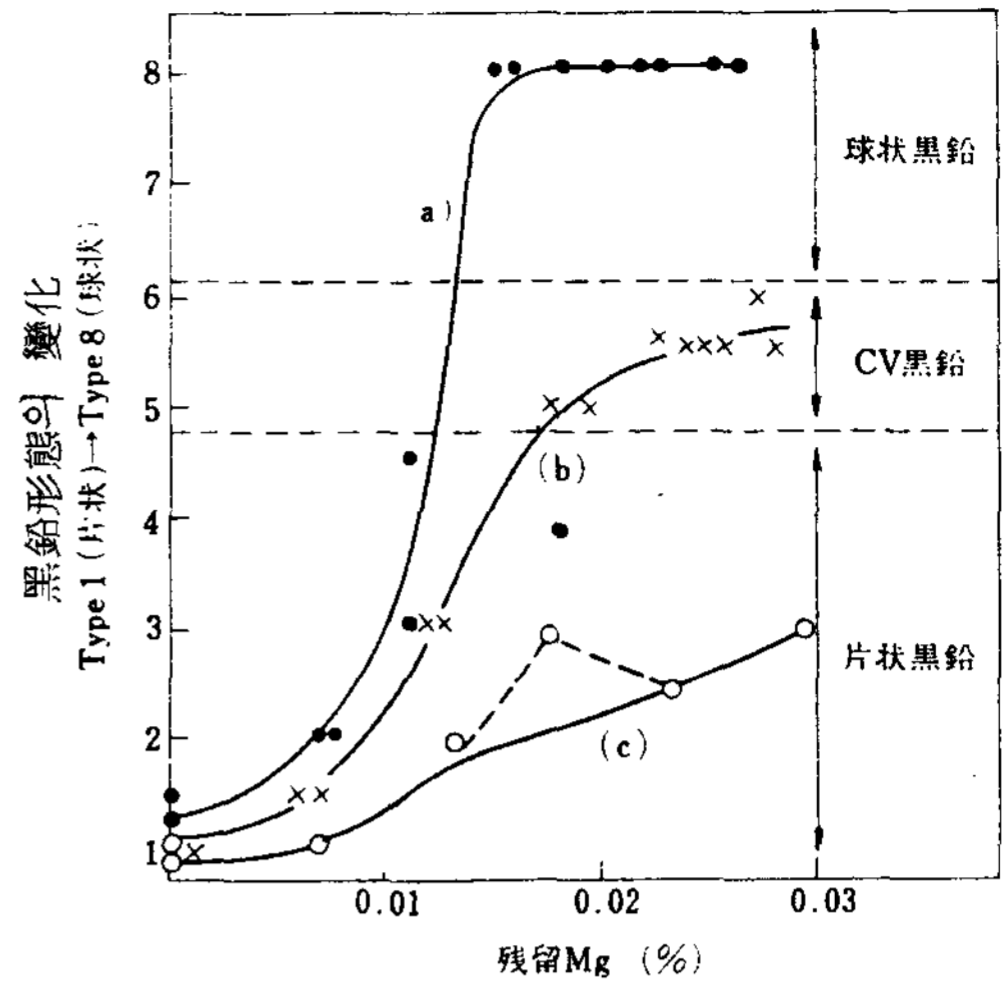
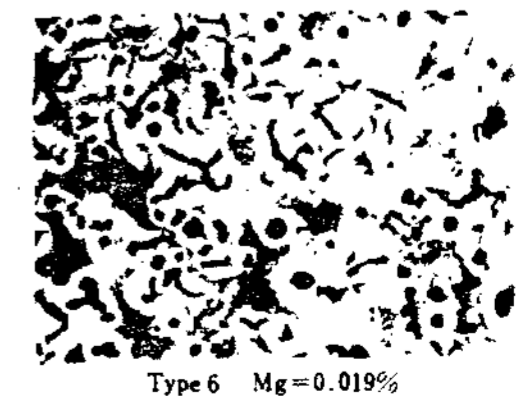
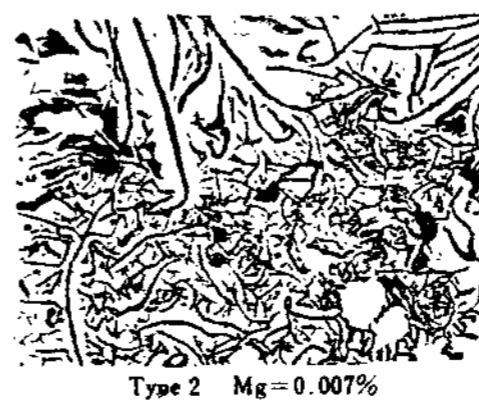
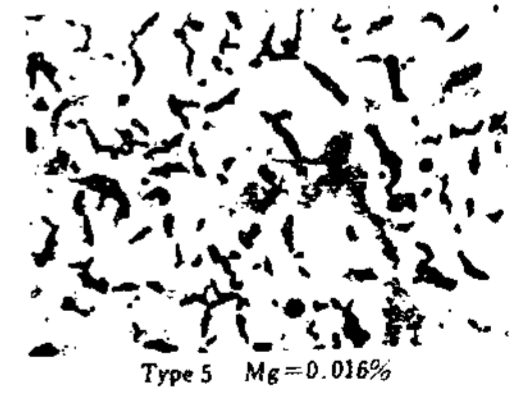


그림 15 CV 黑鉛을 生成하는 殘留Mg의 範圍

0.012~0.013%로 극히 좁은 범위로 한정되어 있다. 이 경우 一般的으로 0.005%의 Mg 量을 엄중하게 관리할 需要가 있다. 한편 곡선(b)는 Mg-Ti계 處理劑의 경우로 Ti를 0.06~0.13% 함유하고 있다. 이러한 경우 CV 黑鉛을 얻는데 必要한 잔유Mg 量은 0.017~0.030%로 넓고 管理하기 쉽다. 곡선(c)는 元湯에 S 등의 球狀化阻害元素를 많이 함유한 경우로 써 片狀黑鉛밖에 얻어지지 않음을 알 수 있다. 또한 그림의 종축은 黑鉛形態의 지표로서 1~8을 나타내 고 있는데 이들 組織을 그림 16에 나타낸다. 그림 16의 type 5의 組織이 전형적인 CV 黑鉛을 얻는데는 球狀化阻害元素의 效果的인 이용이 適當한 方法이다. 그러나 S, Se, Te와 같이 Mg를 消費하는 元素는 바람직하지 않으므로 이것을 제외한 阻害元素를 利用해 야 한다. 따라서 元素의 效果를 총괄해서 다음식의



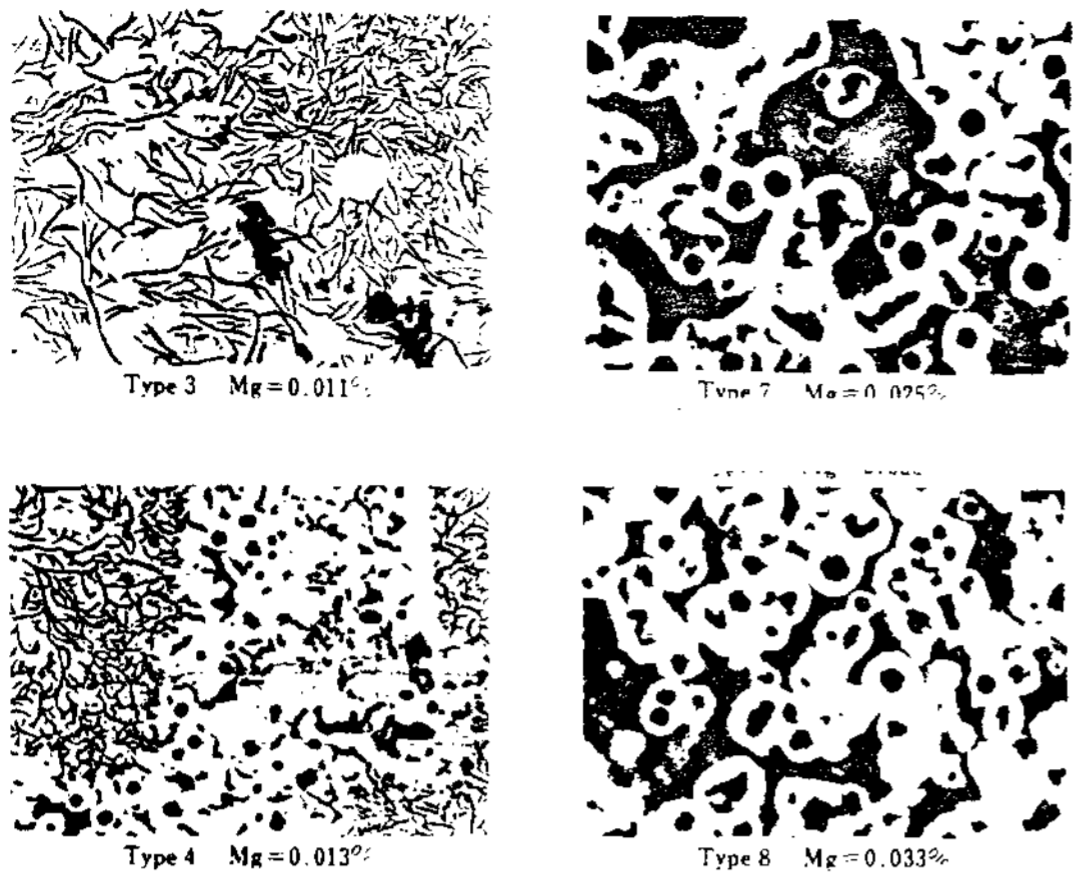


그림 16 黑鉛形態와 殘留 Mg 量의 關係

값과 잔유Mg 量의 關係로부터 K₂ 값을 구한다.

$$K_1 = 4.4 Ti + 2.0 AS + 2.3 Sn + 5.0 Sb + 290Pb + 370 Bi + 1.6 Al \dots\dots\dots ①$$

(K₁은 1±0.1를 초과하면 球狀化阻害가 현저하다)

$$K_2 = K_1 / (\text{잔유Mg 量}) \dots\dots\dots ②$$

그림 17 및 표 8은 이 K₂ 값을 사용하여 黑鉛形態를 분류한 것으로 K₂가 10~25의 범위가 되는 Ti, Al, Mg 등을 조정해서 添加하면 CV 黑鉛을 안정하게 얻을 수 있다. 이러한 경우 元湯의 관리도 중요하지만 특히 S는 0.035%이하로 하는 것이 바람직하다. 그 이상의 S를 함유하면 處理劑의 添加量이 增加하고 과잉의 dross를 生成하며 더욱 熔湯溫度의 低下를 초래하는 등의 해를 일으키게 된다.

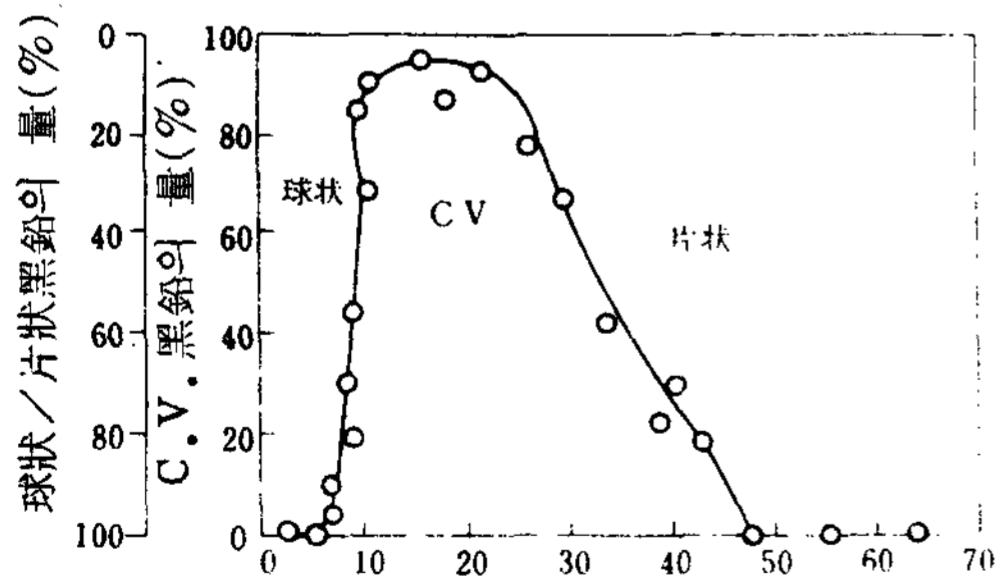


그림 17 黑鉛形態와 K² 외의 關係

표 5의 Mg-Ti 계는 그림 7의 關係로부터 작성된 合金으로 Ca는 주로 S의 영향을 제거하는 目的에서 添加한다. 이 경우 熔解爐로써 誘導爐가 사용되고 있으나 脫黃處理를 실시하면 熔銑爐도 관계없다. 熔湯組成으로써는 CE = 3.7~4.5, C% = 3.1~3.9, Si%

표 6. 黑鉛形狀과 K1, K2 외의 關係

番號	Al %	Ti %	Mg %	K1	K2	黑鉛의 形狀
0*	-	-	-	-	-	片狀
1	0.140	0.110	0.011	0.708	64.3	"
2	0.145	0.120	0.016	0.760	47.5	"
3	0.155	0.130	0.019	0.820	43.1	片狀 + CV
4	0.090	0.120	0.020	0.672	33.6	"
5	0.025	0.120	0.028	0.568	20.3	CV
6	0.045	0.115	0.055	0.578	10.5	"
7	0.095	0.150	0.094	0.812	8.5	球狀 + CV
8	0.080	0.066	0.070	0.420	6.0	球狀

* 處理前

= 1.7~2.9, Mn% = 0.1~0.6, P% ≤ 0.06이면 좋으며, 添加量은 0.6~1.6%범위로 鑄造조건에 맞춰서 變化시키는 것이 일반적이다. 處理溫度는 1400℃ 이상이 바람직하고 1350℃ 이하에서는 黑鉛이 球狀化할 우려가 있다.

또한 표 5의 Mg-Ti 合金을 使用하지 않아도 미리 Fe-Ti 등으로 熔湯處理를 해두는 경우에는 Fe-Si-Mg를 適量 添加하는 것 만으로도 좋으며 반드시 同時 添加가 아니라도 된다.

한편 球狀化劑의 少量 添加로 CV 黑鉛鑄鐵을 製造하는 경우에는 값은 싸지만 안정성이 결여되는 경향이 있다. 그러나 이 方法에 의해 오래전부터 自動車用 cylinder-block를 製造하는 보고가 있다. 이는 堽기성 용선로를 利用하여 특히 S의 堽중한 管理下에서 그림 18에 표시한 바와 같이 S量에 對응한 잔유Mg 量과 引張強度와의 關係를 구해서 관리한계선의 상측의 S 및 Mg 量이 되도록 해서 CV 黑鉛鑄鐵의 製

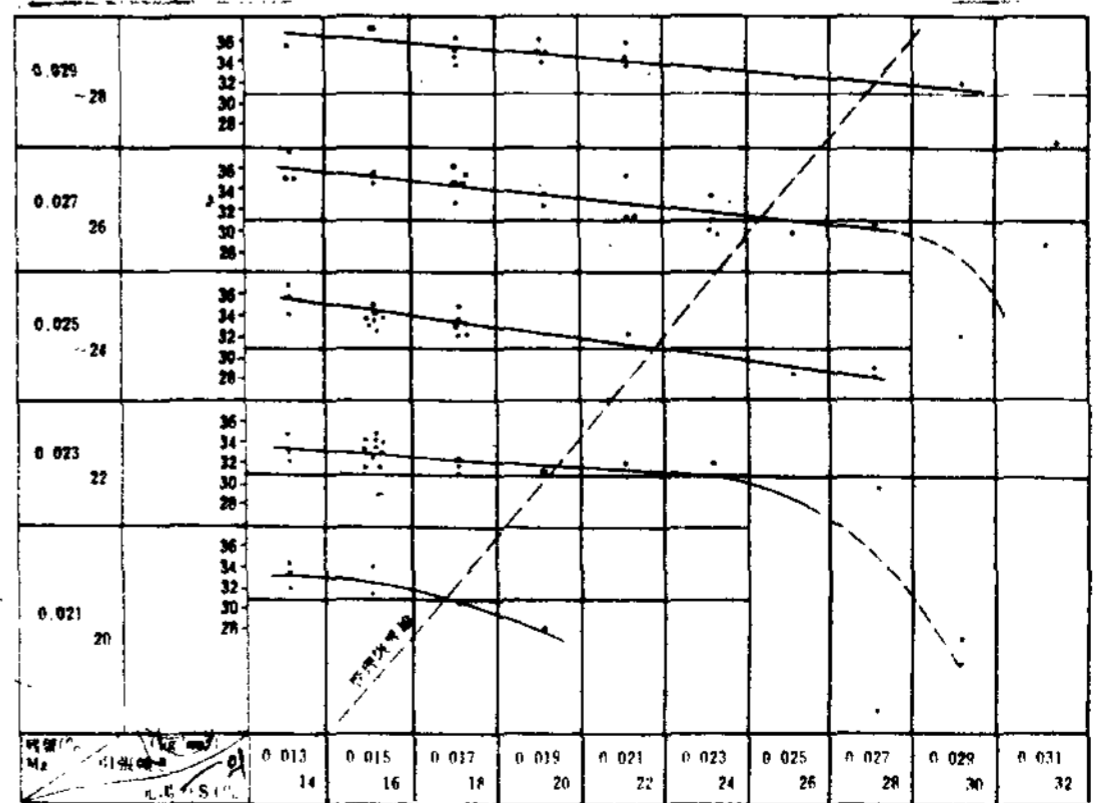


그림 18 元湯의 S와 Mg 處理後의 殘留Mg 別의 引張強度와의 關係 (試料는 燒鈍材)

造를 계속하고 있다. 이 경우 脫黃에 의하여 元湯 S 量을 0.013 ~ 0.026 %로 하고 그것에 대해서 잔유Mg 量은 0.017 ~ 0.030 %가 되도록 管理하므로써 引張強度가 34 ~ 55 kg/mm², 延伸率 2 ~ 6 %, 硬度(H_B) 163 ~ 223의 CV 黑鉛鑄鐵을 얻고 있다.

Mg-Ti 계 處理劑를 사용하는 경우에는 Mg 계에 비하여 CV 黑鉛鑄鐵을 만들기 쉽다고 하지만 處理劑의 가격은 高價로 되고 또 回收率(약 0.1% Ti가 함유)의 관리를 필요로 하는 등의 결점이 있다. 또한 두 方法 모두 Ce를 약간 含有하고 있는데 CV 黑鉛鑄鐵의 製造에는 Ce의 효과가 상당히 크며, Ce를 含有하지 않은 경우에는 熔湯의 性質과 形狀에 의해 片狀 혹은 球狀黑鉛 어느쪽으로의 變化가 급속하게 進전한다고 되어 있다. CV 黑鉛鑄鐵의 鑄造性이 片狀黑鉛鑄鐵에 가까운 것으로 記述하였으나 표 5의 각 處理劑에 의해서도 鑄造性은 變化한다. 收縮量에 대해서는 Mg 계 및 Mg-Ti 계가 약간 나쁜 경향을 나타내며 또 chill 化 경향은 Ce 계 > Mg-Ti 계 ≧ Mg 계 >> Ca 계 - C > Ca 계 - A의 順이다. 그리고 fading에 관해서도 Mg 및 Mg-Ti 系는 급속히 減쇠하는 경향이 있고 전반적으로 Ca 系 處理劑가 우수하다. 따라서 Ca 系 - C를 사용한 경우의 鑄造性에 대해서 CE값과의 關係를 그림 19에 나타내었다. 그림 19에 의하면 chill 化 경향이 작고 健全한 CV 黑鉛鑄鐵을 얻을 수 있는 CE값의 범위는 4.1 ~ 4.6이며 收縮量은 球狀黑鉛鑄鐵보다는 작고 過共晶片狀黑鉛鑄鐵보다 많다. 또한 收縮量은 CE값이 增加함에 따라 減소하며 CE값이 약 4.5에서 過共晶片狀黑鉛鑄鐵과 같게 된다. 그러므로 CE값이 4.5 ~ 4.6의 熔湯이면 普通鑄鐵의 鑄造할 수 있다고 생각된다. 또 Ca 系 - C의 處理劑를 사용하는 경우 元湯 S 量이

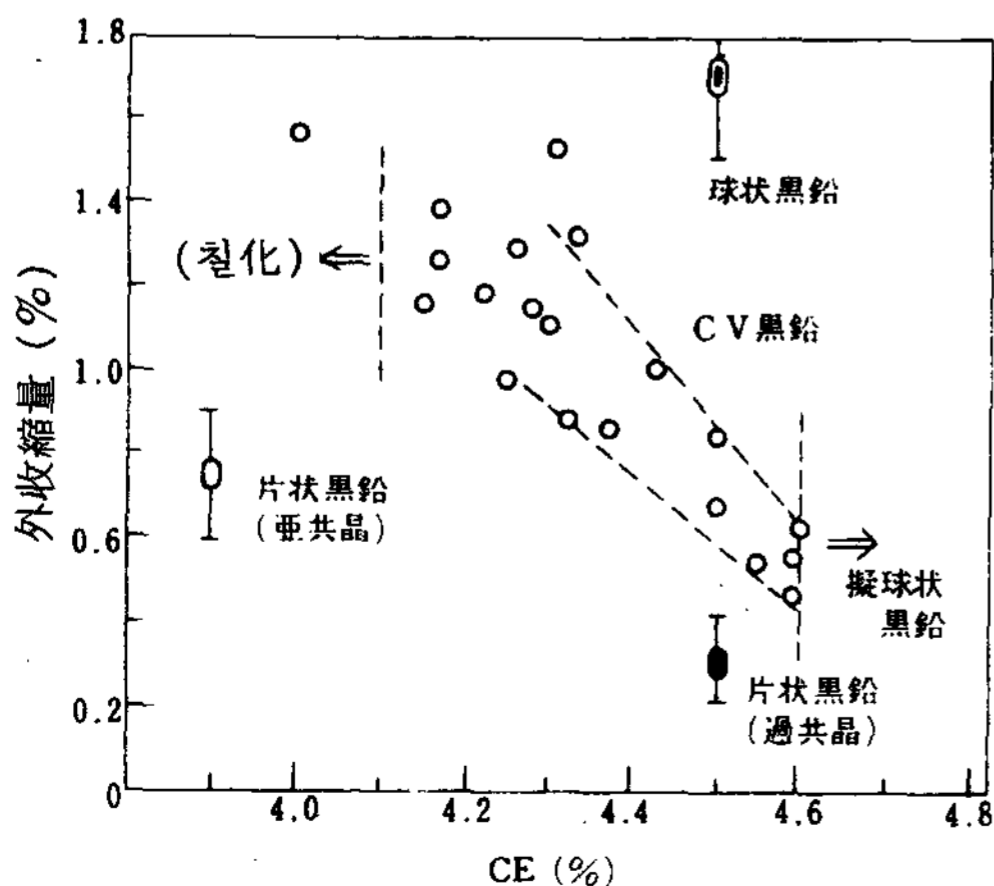


그림 19 外收縮量과 CE 值의 關係

0.02%일 때 添加Mg 量은 約 0.045 % 필요하지만 0.01% S에서는 0.02% Mg으로도 충분하다.

CV 黑鉛鑄鐵의 製造에 있어서는 脫黃劑 價格과 處理劑 價格 兩者를 고려한 후에 元湯 S 量 및 添加 Mg 量을 결정해야 할 것이다.

한편 CV 黑鉛鑄鐵의 製造에 있어서는 熔湯處理후에 CV 黑鉛이 生成되었음을 確實히 또한 신속하게 判定하는 것이 중요하다. 특히 共晶狀 혹은 片狀黑鉛으로 되어 있는 熔湯을 鑄造하는 것은 허용되어 있지 않다. 그러므로 爐前에서 신속하게 判定하는 方法으로서는 球狀黑鉛鑄鐵의 製造에 있어서 사용되고 있는 方法의 응용을 생각할 수 있다.

熱分析法에 근거한 方法으로는 共晶溫度로부터 再輝現象에 의한 溫度回復時까지의 溫度구배(dT/dt)와 回復溫度(ΔT)를 구하면 그림 20에 나타낸 關係로부터 黑鉛형태를 추정하는 것이 가능하다. 이에 의하면 ΔT가 10°C 이상이고 dT/dt가 30°C/min 이상일 때 CV 黑鉛이 된다.

또 최고共晶溫度와 ΔT의 測定으로부터 黑鉛球狀化率을 표시하는 機器가 市販되어 응용할 수 있을 것이다.

이외에 초음파전파속도에 의한 方法의 응용도 고려할 수 있는 것으로 CV 黑鉛의 判定법은 球狀黑鉛과의 差를 밝혀내는 것보다도 片狀黑鉛과의 差에 重點을 둘 필요가 있다.

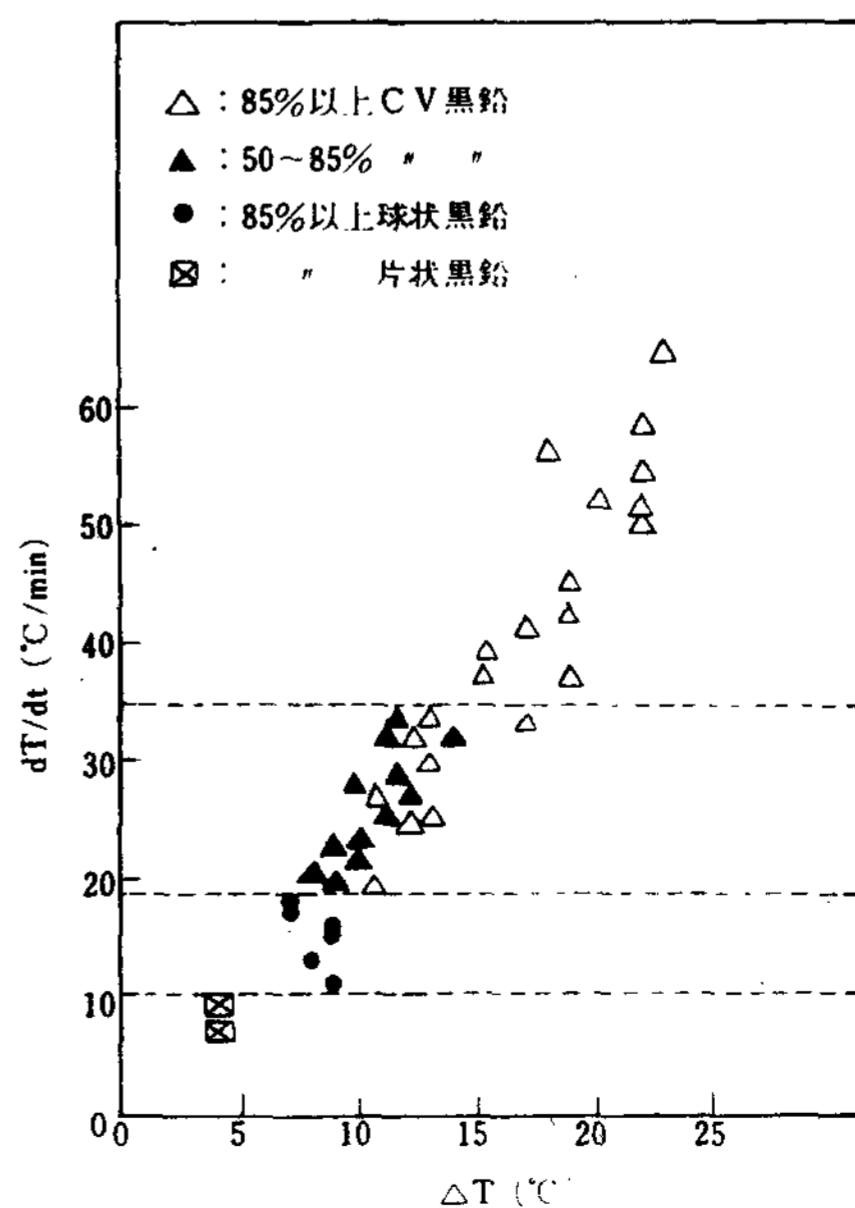


그림 20 dT/dt, ΔT와 黑鉛形狀과의 關係

5. 結 言

CV 黑鉛鑄鐵을 球狀化率 30~70%라 정의할 때 引張強度, 延伸率 및 굴곡강도는 모두 灰鑄鐵보다 球狀黑鉛鑄鐵에 가깝고 감쇠능은 兩者의 中間이며 熱傳導性 및 鑄造性은 球狀黑鉛鑄鐵보다 灰鑄鐵에 가까운 性質을 지니고 있다. 또한 被削性은 球狀黑鉛鑄鐵의 ferrite 基地의 것과 같으나 그 이상이다.

따라서 CV 黑鉛鑄鐵은 熱傳導性 및 強度가 要求되는 ingotcase, 自動車 breaker, exhaust manifold, 強度와 被削性의 관심으로부터 fly wheel 및 turbo-charger housing 그리고 鑄造性이 좋은 것으로는 油壓 valve body 및 디젤엔진용 cylinder head 등 각종 부품의 材質로 이용되고 있다.

더욱이 熱分析法에 의한 熔湯管理, 초음파에 의한 비파괴검사 등 여러가지 方法이 확립되어 지고 있어 材質管理가 용이하게 되므로 CV 黑鉛의 生産이 쉬워져서 鑄造回收率이 向上, 熱처리폐지, 加工費절감 및 灰鑄鐵品의 두께 輕量化 등을 꾀할 수 있어 유용한 材質로서 國內 鑄物工場에서도 技術開發로 生産이 될 것으로 기대한다.

參 考 文 獻

1. 濱田 : 日本鑄物協會講習會教材 (1980), 45
 2. 近藤 : 鑄物 Note No.42(1981), 2

3. 于田 : 會報 No.16(1980), 3
 4. 于田 : 鑄物 51(1979), 773
 5. 濱田 : 綜合鑄物 21(1980), 1, 15
 6. 近藤, 安江 : 鑄物 52(1980), 675
 7. K. Rohrig : AFS Transaction, 86(1978), 75
 8. 杉浦 : 鑄物 52(1980), 2, 53
 9. E. Nechtelberger, H. Pühr, J. B. von Nesselrode, A. Nakayasu : 49 th International Foundry Congress.
 10. I. Riposan, L. Sofroni : AFS International Cast Metals, J. 3(1978), 1, 23
 11. E. R. Evans, J. A. Dawson, M. Jo Lalich : AFS International Cast Metals J. 1(1976), 6, 13
 12. G. F. Sergeant, E. R. Evans : The British Foundryman, 71(1978), 5, 115
 13. C. G. Jenkins : The British Foundryman, 72(1979), 1, 24
 14. Giesserei Kalender, (1982)
 15. Meehanite Specification Handbook (1981)

부록 1 서독규격의 鑄鐵材料

性 質	GC(GG)	CV(GGVf) ferrite	CV(GGVp) pearlite	GCD(GGG)	
引張強度	σ_{ZB} (N/mm ²)	150~400	> 300	400~500	350~900
降伏點	σ_s (N/mm ²)		> 250	340~440	250~600
延伸率	σ_5 (%)	< 1.5	> 2	1	25~3
抗壓力	$\sigma_{\alpha B}$ (N/mm ²)	500~1,400	~ 600	~ 700	600~1,200
窮斷力	$\tau_{\alpha B}$ (N/mm ²)	$\tau_B \sim \sigma_{ZB}$	~ 500	~ 600	$\tau_B = (0.9 \sim 1)\sigma_{ZB}$
硬 度	HB30 (N/mm ²)	140~300	130~190	200~280	120~350
皮勞強度(引張-壓縮)	σ_{zd} (N/mm ²)	< 90	~ 110	~ 150	> 150
굽 힘	σ_{bw} (N/mm ²)	< 140	~ 160	~ 200	> 190
衝 擊 值	α_b (J/cm ²)	$2 \leq \alpha_b \leq 6.5$	max. 25		160~20
Notch 衝擊值	α_k (J/cm ²)	-	< 10	-	< 30
영 率	E (KN/mm ²)	75~155	130~160		165~185
引張強度·硬度化	$m = \sigma_{ZB}/HB$	0.8~1.8	1.9~2.5		2.7~3.1
密 度	kg/dm ³ δ	7.0~7.5	7.0~7.2		7.1~7.3
熱傳導率(20~100℃)	cal/cm·sec·°C, λ	0.11~0.14	0.09~0.12		0.06~0.09
線膨張係數(20~200℃)	%·°C, α	$11 \sim 12 \cdot 10^{-6}$	$12 \sim 14, 10^{-6}$	$13 \sim 15, 10^{-6}$	$11.5 \sim 13, 10^{-6}$
電氣抵抗(20℃)	$\Omega \cdot mm/m, \delta$	0.5~1.0	0.5	0.6	0.5~0.7

부록 2 Meehanite 규격의 CV 黑鉛鑄鐵

性 質	Type FC 275 Compacted Graphite in Eerritic Matrix	Type PC 400 Compacted Graphite in Pearritic Matrix
引 張 強 度	275 Newtons / $m\ddot{h}$ (19.4tonf / in^2)	400 Newtons / $m\ddot{h}$ (25.9tonf / in^2)
降 伏 點 (min)	220 Newtons / $m\ddot{h}$ (14.2 tonf / in^2)	300 Newtons / $m\ddot{h}$ (21.4tonf / in^2)
延 伸 率 (min)	2 %	1 %
硬 度 HB 30	130 / 180	200 / 250
衝 擊 值	10 10 Joules	
皮 勞 強 度	± 160 Newtons / $m\ddot{h}$ (± 10.4 tonf / in^2)	± 200 Newtons / $m\ddot{h}$ (± 12.9 tonf / in^2)
영 率	162,000 Newtons / $m\ddot{h}$ (23.5 Ibf / $in^2 \times 10^6$)	165,000 Newtons / $m\ddot{h}$ (23.9 Ibf / $in^2 \times 10^6$)
壓 縮 強 度	500 Newtons / $m\ddot{h}$ (32.4tonf / in^2)	600 Newtons / $m\ddot{h}$ (38.8 tonf / in^2)
Poissons Ratio	0.28	0.28
熱 傳 導 率	$11 \times 10^{-6} / ^\circ C$	$13 \times 10^{-6} / ^\circ C$
密 度 @ 20°C	7.0 kg / $d m^3$	7.1 kg / $d m^3$

