

講演

球狀黑鉛鑄鐵의 最近의 進歩와 今後의 課題

岡 林 邦 夫

日本 大阪府立大學 工學部 教授

金 水 泳*譯

I. 緒 言

銑鐵鑄物은 機械工業에 있어서 가장 重要한 基礎素材이다. 産業機械, 工作機械로부터 미싱에 이르기까지 廣範圍하게 機械의 骨格, 또는 主要構成部分을 形成하고 있다. 또한 鑄物의 良否는 機械, 裝置의 良否에 크게 影響하며 그 品質 및 性質을 左右하는 큰 要素이다.

近來 各種機械, 裝置의 高性能化함에 따라서 그 主要한 素形材가 되는 鑄鐵의 材質向上에 對한 要求가 커가는 形便이다.

銑鐵鑄物의 分野에 있어서 劃期的인 進歩는 造型關係에 있어서는 Disamatic로 代表되는 高速 高壓自動造型과 CO₂鑄型 dical造型, shell造型 furan鑄型등의 各種 無機 및 有機自硬性鑄型의 開發이며 一方 材質關係에 있어서는 1948년에 發明된 球狀黑鉛鑄鐵이다. 球狀黑鉛鑄鐵은 發明以來 그 劃期的인 材質的 特性 때문에 各種 用途에 널리 使用되며 그 需要와 生産量은 해가 갈수록 飛躍的으로 增大되어가는 現狀이다.

球狀黑鉛鑄鐵의 最近의 進歩와 今後의 課題에 對해서 展望 해 보겠다.

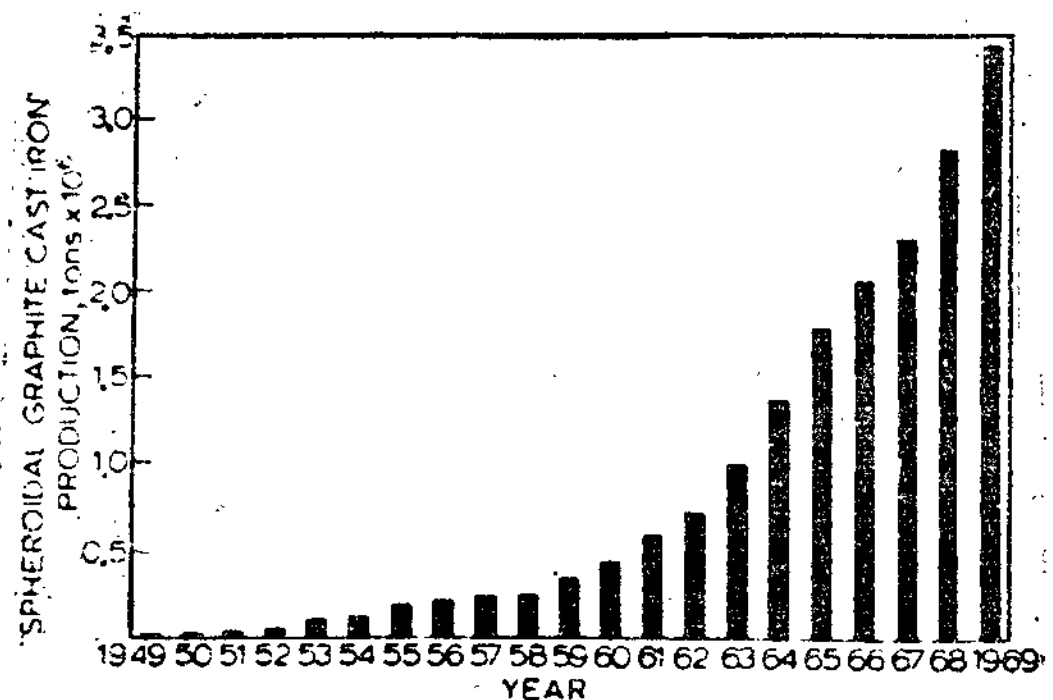
II. 生産量의 推移

球狀黑鉛鑄鐵의 生産量은 世界的으로 急激히 增大하여 (Fig. 1)¹⁾ 鑄鋼, 可鍛鑄鐵의 生産量을 증가하게 되었다 (Fig. 2)¹⁾.

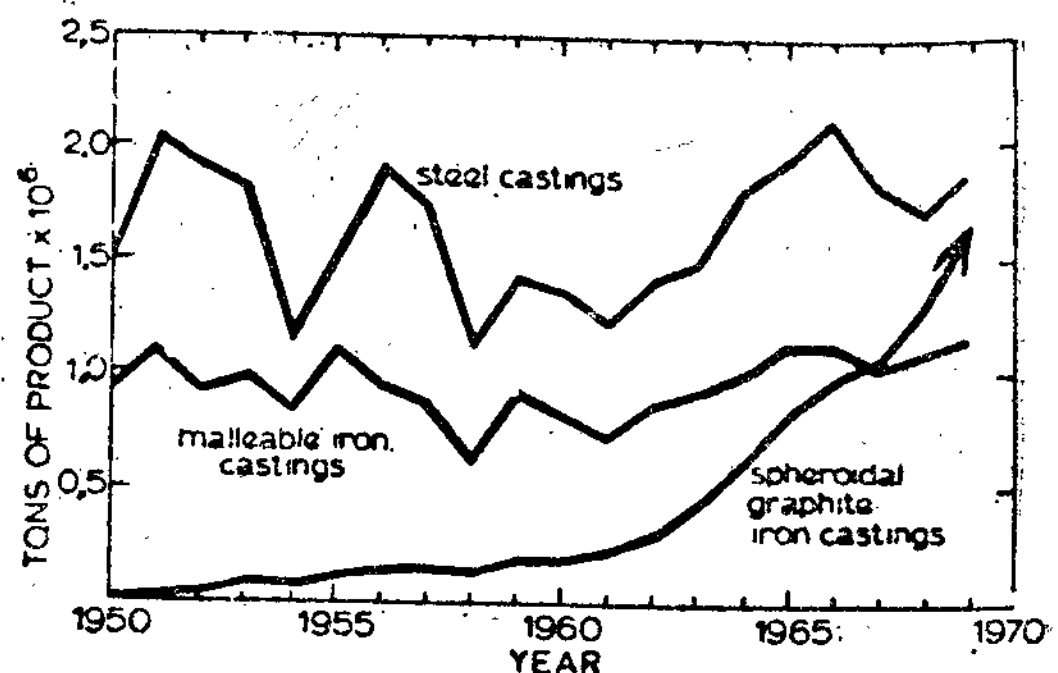
日本에 있어서는 銑鐵鑄物中에 占하는 球狀黑鉛鑄鐵의 生産量의 比率은 20%以上으로 增大하고 있다. (Table 1)

그 中 鑄鐵管은 約 60%를 占하나 近來는 特히 自動

* 漢陽大學校 工科大學 教授



<Fig. 1> Spheroidal graphite cast iron production in the free world.



<Fig. 2> Production of spheroidal graphite iron, and malleairon in the U.S.A. Bureau of Census Data on malleable and steel.

車關係用鑄物의 伸長이 甚하며 最近에는 年間 20萬ton以上에 達한다. (Table 2)

III. 材質的特性

鑄鐵은 組織中에 黑鉛을 包含하기 때문에 元來 鋼에 比

<Table 1> 銑鐵鑄物生産量(日本)

年	全銑鐵鑄物 (球狀黑鉛包含)	球狀黑鉛鑄物 (鑄鐵管包含)	球狀黑鉛鑄物/ 銑鐵鑄物比率
1970	約 530萬t	約 90萬t	17.0%
1971	470 "	95 "	20.2 "
1972	470 "	110 "	23.4 "
1973	580 "	130 "	22.4 "
1974	550 "	130 "	23.6 "
1975	410 "	100 "	24.4 "
1976	450 "	110 "	24.5 "

<Table 2> Spheroidal graphite cast iron production in Japan

Use	1971	1972	Ratio (%)
Industrial machine	80,609	88,225	26.3
Construction, Mining machine	4,988	9,845	2.6
Machining equipments	7,896	7,599	2.0
Rolling machine	24,364	20,234	5.4
Textile machine	2,036	2,731	0.7
Ingot mold. Molding board	69,733	66,307	17.7
Farming and Fishing tools	1,750	1,844	0.5
Electrical instruments	3,592	4,502	1.2
Automobile	99,798	124,605	33.3
Industrial vehicles, Railway	3,410	5,620	1.5
Shipping	10,783	11,923	3.2
Daily necessities	144	—	—
Other, etc	25,466	30,959	8.3
Cast iron pipe	(593,950)	(683,697)	—
Total	928,519	1,057,991	100.0

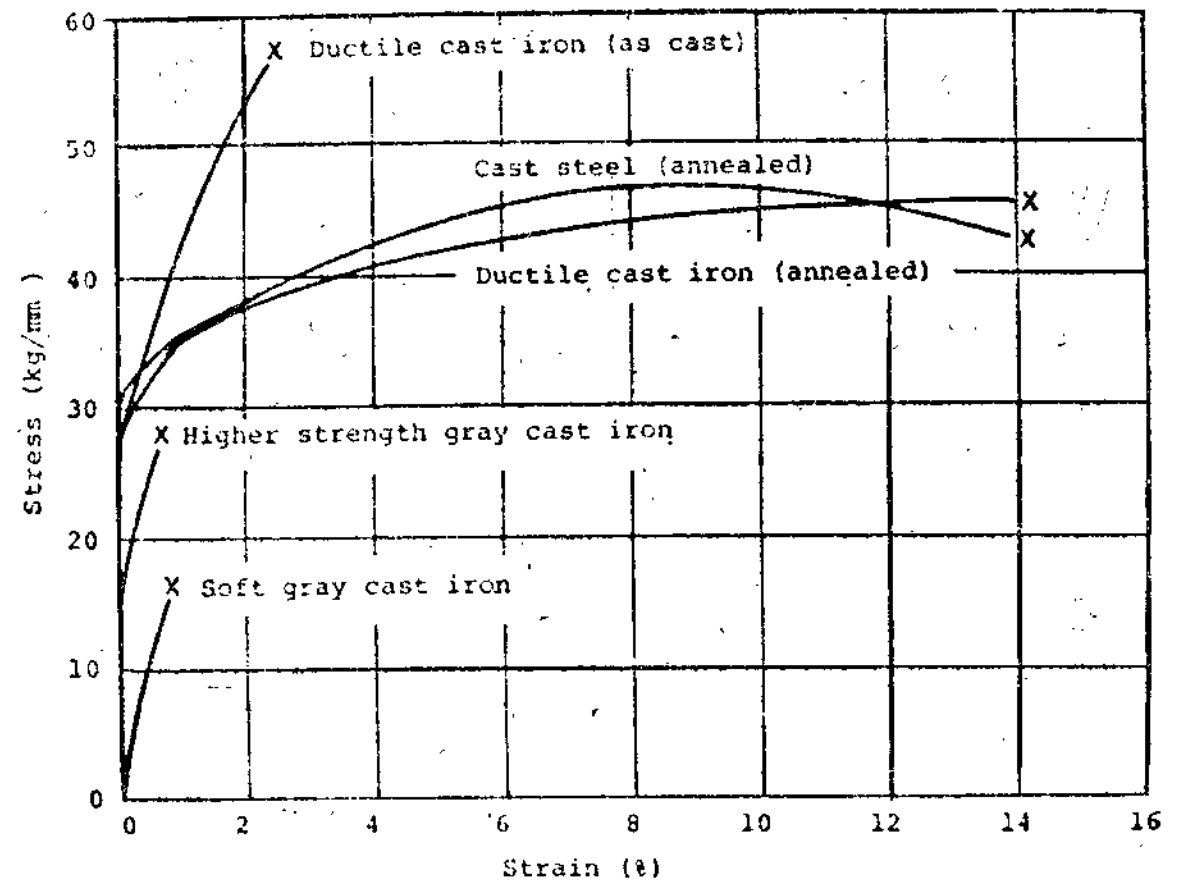
<Table 3> The significant engineering properties of cast iron superior to those of steel

1. Excellent castability
2. Excellent machinability
3. High compressive strength
4. Low notch sensitivity in fatigue and impact strength
5. High damping capacity
6. Good wear resistance
7. Good heat shock resistance
8. Low cost

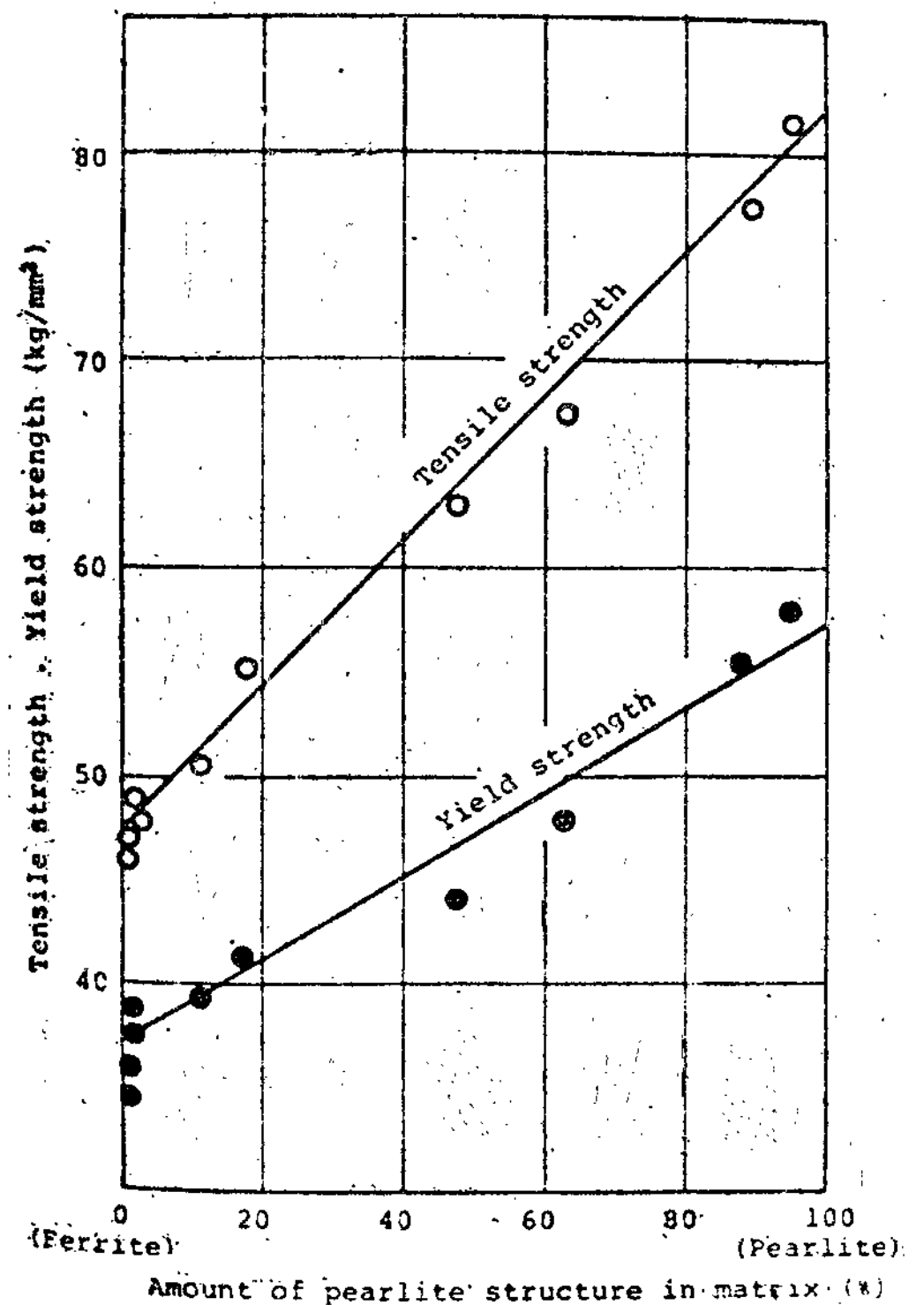
해서 脆弱한 材料라고 되어 있으나, 反面 다음과 같은 鋼에서 볼수 없는 優秀한 諸性質을 갖고 있다. (Table 3)

그러나 片狀黑鉛을 球狀化시키므로, 脆弱성은 大端히 改善되며 球狀黑鉛鑄鐵은 鋼에 比等할만큼 強靱성을 나타낸다. (Table 4)

더욱 基地組織을 調整하므로, 使用目的에 適應된 高



<Fig. 3> Typical stress-strain curves for various types of cast iron.



<Fig. 4> The influence of matrix microstructure on the tensile and yield strength of ductile cast iron.

<Table 4> 各種鋼材와 球狀黑鉛鑄鐵의 機械的性質

黑鉛의 形狀	灰鑄鐵	高級鑄鐵	可鍛鑄鐵	球狀黑鉛鑄鐵		鑄鋼	構造用鋼	黑鉛鋼
	片狀	細片狀	結節狀	鑄造狀態	燒純	(燒純)	St. 52	1.5%C
				球狀	球狀	없음	없음	點狀
抗張力kg/mm ²	22	30~45	37~60	50~70	40~55	38~60	52~64	85
降伏點kg/mm ²	없음	없음	19~31	40~60	35~45	18~28	34	67
降伏比%	"	"	55	80	85	47	58	79
伸%	"	"	2~10	1~6	8~20	8~20	18~22	6
Brinell 硬度	180	225	110~150	220~280	140~180	140~170	140~170	255
彈性係數kg/mm ²	7,500	12,500	17,000	16,500	—	21,000	21,000	19,700
抗壓力kg/mm ²	90~100	100~140	35~60	85~125	—	35~55	38~60	85
壓縮降伏點kg/mm ²	—	—	19~31	—	40~60	18~28	34	67
曲衝擊值kg/mm ²	<0.5	0.5~1.5	5~17	3.5	5.5	4~20	5~20	—
曲疲勞強度kg/mm ²	5~10	10~15	14~20	25~30	15~20	13~15	30~32	—
曲疲勞強度 抗張力	—	0.3~0.6	0.5	0.4	0.4	0.3~0.5	0.5	—

<Table 5> 球狀化 阻害元素의 分類

No.	阻害型	阻 害 作 用	阻害元素
1	Mg消費型	Mg와 化合物을 形成하거나, 더 높은 蒸氣壓으로 Mg의 侵入을 困難하게 해서 球狀化에 必要한 Mg量을 低下시킴으로 阻害하는 元素	O Se S Te
2	粒界偏析型	Mg의 侵入을 막지는 않으나 最終凝固部에 偏析해서 不規則形狀(擬球狀, 擬片狀, 糸屑狀, 粒狀, 其他)의 黑鉛을 形成해서 阻害하는 元素	Sb Sn Cu Al B Ti
3	混 合 型	化合物의 形成 또는 蒸氣壓등에 의해서 Mg의 侵入을 困難하게 하며, 同時에 偏析에 의한 元素自身の 阻害作用을 갖는 元素	Pb Bi

<Table 6> 球狀化 阻害元素의 特性에 의한 中和抑制方法

No.	阻害型	中 和 抑 制 方 法	中和處理	備 考
1	Mg消費型	阻害元素의 除去, 球狀化劑의 增量	Mg의 多量添加	Mg의 多量添加
2	粒界偏析型	阻害元素의 除去, 熔鐵中에서 阻害元素의 中和, 固定化해서 無害化한다.	Ce의 添加	Ce의 添加 石灰窒素의 添加
3	混 合 型	阻害元素의 除去, 球狀化劑의 增量, 熔鐵中에서 阻害元素를 中和, 固定化해서 無害化한다.	Mg의 多量添加 Ce의 添加	Ce의 添加

力型(pearlitic)에서 延性型(ferritic)까지 強度와 靱性을 廣範圍하게 變化시킬 수 있다(Fig. 3, 4, 5)²⁾.

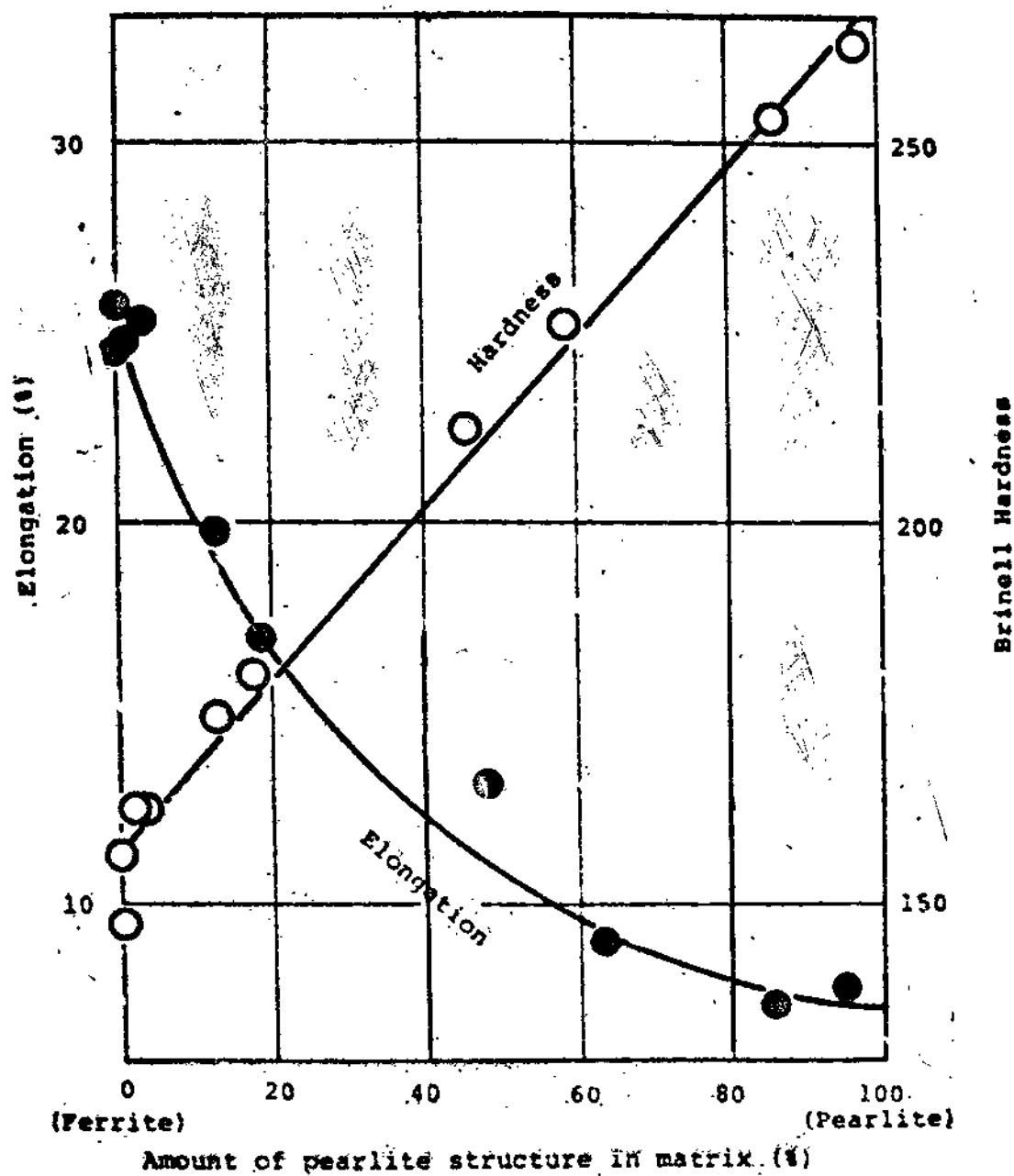
IV. 製造法의 進歩

(1) 原料鉄의 開發

球狀黑鉛鑄鐵의 現在와 같은 發展에는 球狀黑鉛鑄鐵用

原料鉄의 開發이 寄與한바가 크다. 黑鉛球狀化에 對한 理論에는 많은 諸說이 있는데도 불구하고 지금까지 明確한 結論을 얻지 못하고 있으나, 實用的으로는 球狀化를 阻害하는 元素의 影響이 漸次 解明되었으며 (Fig. 6)³⁾ 더욱 阻害元素의 分類와 그 中和抑制法이 明確하게 되었다 (Table 5, 6)⁴⁾.

이와같은 結果에 따라서 阻害元素의 含有量의 總和



〈Fig. 5〉 The influence of matrix microstructure on the hardness and elongation of ductile cast iron.

(ΣA)가 可能限한 적은 高純度 原料鐵이 製造되고 있다.

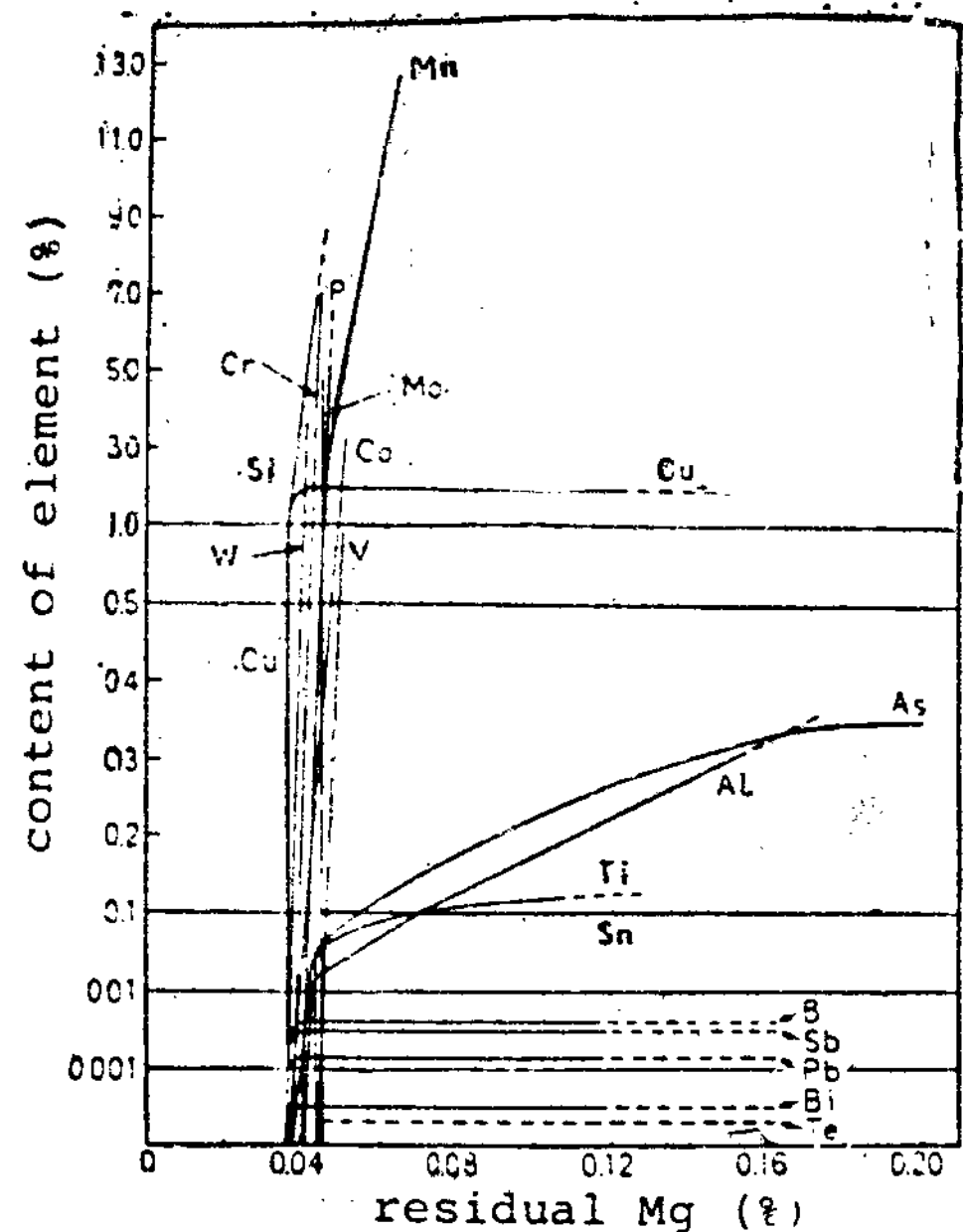
(2) 球狀化處理技術의 進步

Mg 添加法으로는 從來 많은 方法이 考察되어 왔으나 (Table 7) 經濟性和 生産性的 兩面에서 最少의 Mg 添加量으로 最良의 球狀化를 達成하는 것이 必要하다.

〈Table 7〉 Method of Mg addition into the molten pig iron for making of spheroidal graphite cast iron

- (1) Surface addition process
- (2) Plunger-phosphorizer process
- (3) Candy process
- (4) Sandwich process (Pocket type, Dam type)
- (5) Porous plug process
- (6) Mag-Coke process
- (7) In-mold process
- (8) Shaking ladle process
- (9) Converter process
- (10) Pressure addition process

比較的 새로운 處理法으로는 近年 Gorge Fischer 社에 의해서 開發된 Converter 法과 Inmold 法등을 들을수



〈Fig. 6〉 Influence of various element content on the critical amount of residual Mg in order to make the perfect spheroidal graphite structure in Mg treated ductile cast iron.

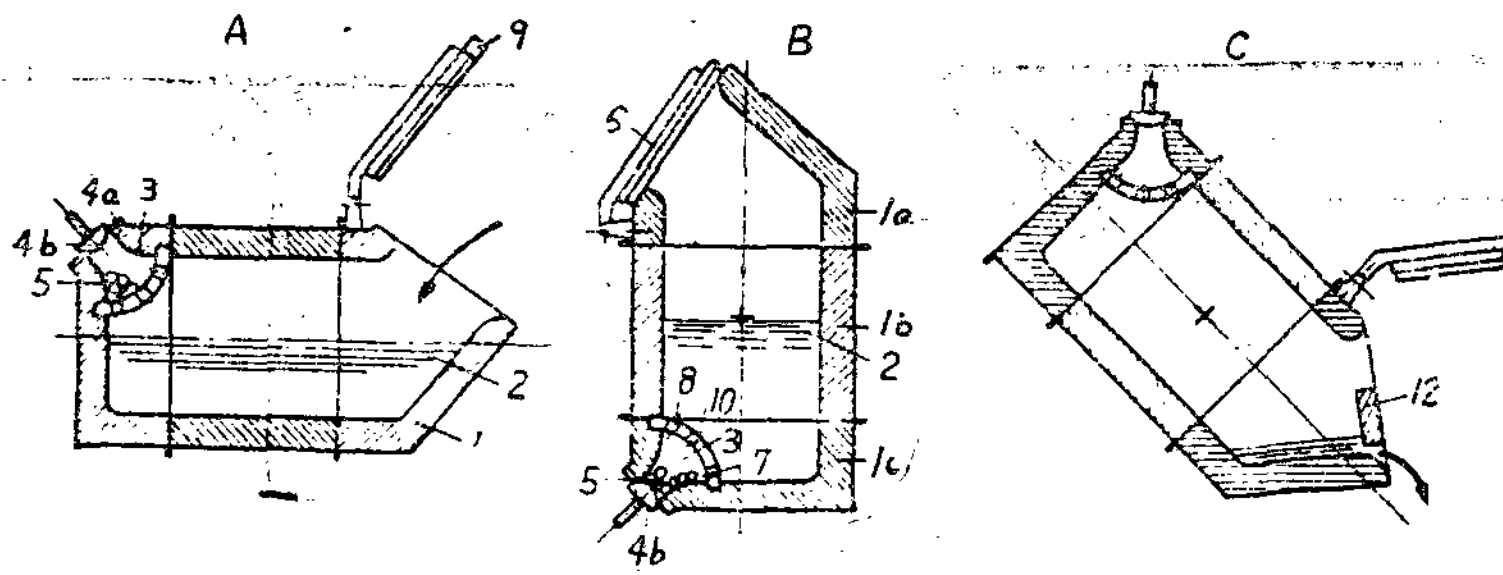
있다.

Converter 法은 經濟적으로 有利한 純 Mg 를 使用하여도 大氣壓下에서 安定한 操業이 可能하며 더욱 Mg의 殘留가 良好하다.

元湯의 S 量이 많아도 脫黃工程없이 安定된 球狀黑鉛鑄鐵을 製造할 수 있다 (Fig. 7)⁵⁾. 또한 Inmold 法⁶⁾은 mold 內에 反應室을 만들어 여기에 Mg 合金을 미리 造型時에 裝入해 두어 注湯하므로 鑄型內에서 球狀化處理를 하기 때문에 閃光이나 白煙의 發生함이 없이 作業環境이 改善될뿐만 아니라 fading 現象이 없기 때문에 材質의 向上과 均一성을 얻기 쉬우며 또한 自動注湯이 容易하여 省力化가 推進되는 利點이 있다 (Fig. 8).

또한 特別한 添加裝置를 必要로 하지 아니한 sandwich 法등에 對해서는, Mg 添加時의 安全性, 公害防止와 Mg의 殘留量 向上을 目的으로 한 低 Mg 合金으로서 Mg 3~5%를 包含한 Fe-Si-Mg 合金이 많이 使用된다.

더욱 球狀化率의 向上과 dross 缺陷의 防止를 위하여 이것에 Ca 15~25% 또는 Ce 등의 RE metal 1~3%를 含有한 새로운 添加金屬이 開發되어 效果를 올리고 있다.

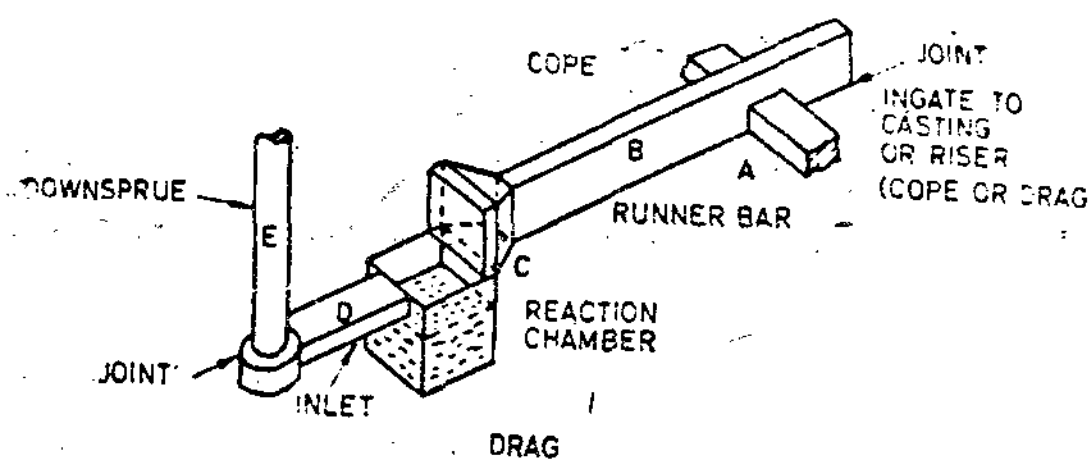


<Fig. 7> Converter process

<Table 8> 供試鉄의 化學成分(%)

成分	Tc	Si	Mn	P	S	Ti	Cu	Cr	V	As	Sn	ΣA*
供試鉄												
試作高純度鉄 (1)	3.73	0.02	0.27	0.021	0.011	0.003	0.020	0.015	0.003	0.002	0.002	0.045
同上 (2)	3.46	0.02	0.08	0.007	0.009	0.003	0.010	0.007	0.002	0.002	0.002	0.026
低S球狀黑鉛鑄鐵用鉄	4.35	0.83	0.10	0.068	0.004	0.058	0.020	0.003	0.010	0.001	0.001	0.093
輸入高純度鉄	4.02	1.15	0.01	0.029	0.004	0.048	0.020	0.031	0.028	0.001	0.001	0.130

* ΣA: Ti 以下の 微量元素量の 總和



<Fig. 8> In-mold process

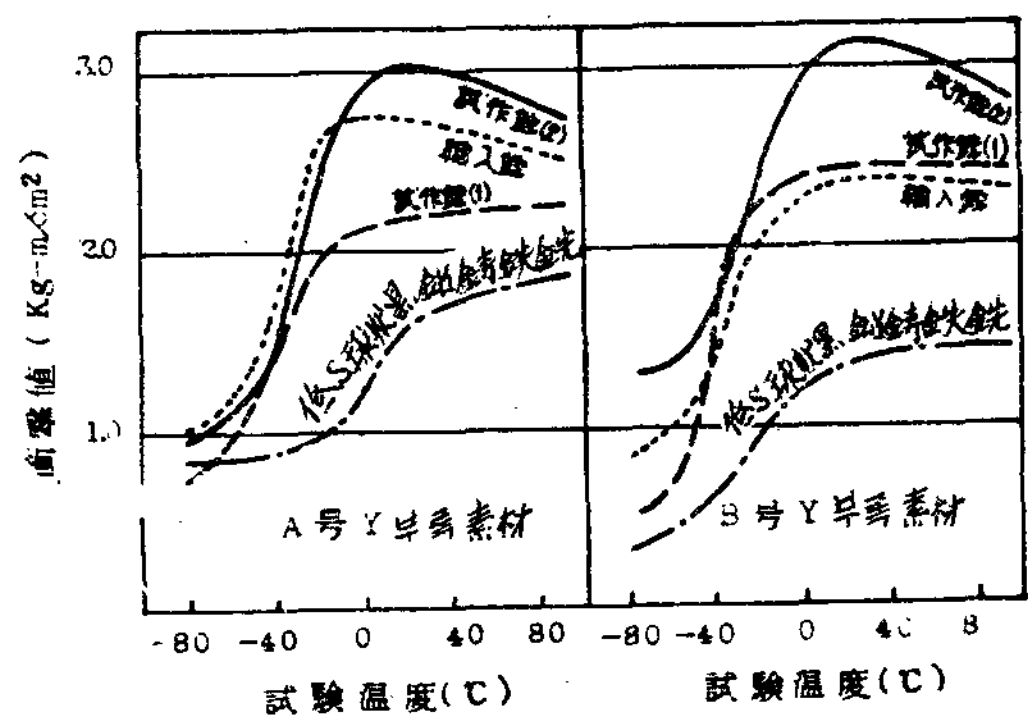
Gating system for one or two castings per box.

pouring rate
 Chamber area shape: $Square = 0.9 \text{ to } 1.1 = \frac{\text{chamber area}}{\text{chamber area}}$
 where Area A = x sq. in.; Area B = x + 10% sq. in.;
 Area C = x + 12% sq. in.; Area D = x + 30% sq. in.,
 and Area E = x + 30% sq. in.

V. 今後の 課題

1. 鑄放狀態의 延性球狀黑鉛鑄鐵의 製造

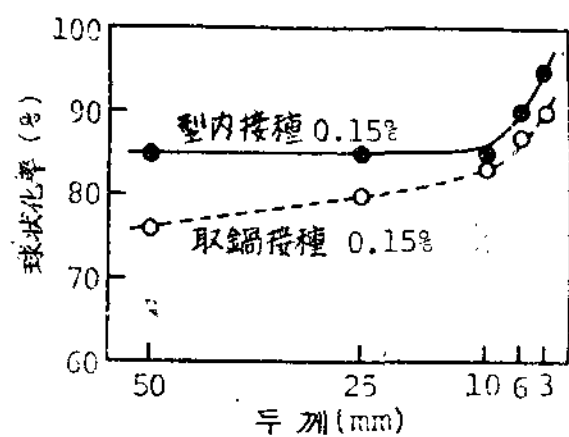
從來, 靱性を 必要로 한 ferrite 基地球狀黑鉛鑄鐵은 ferrite 化 燒鈍에 의해서 製造하였으나, 燒鈍에 의한 高温酸化 熱 strain 變形이 問題가 되었으며 또한 energy 의 節約때문에 燒鈍工程을 省略해서 鑄放狀態의 球狀黑鉛鑄鐵을 製造하는 技術이 開發되고 있다. 그 具體



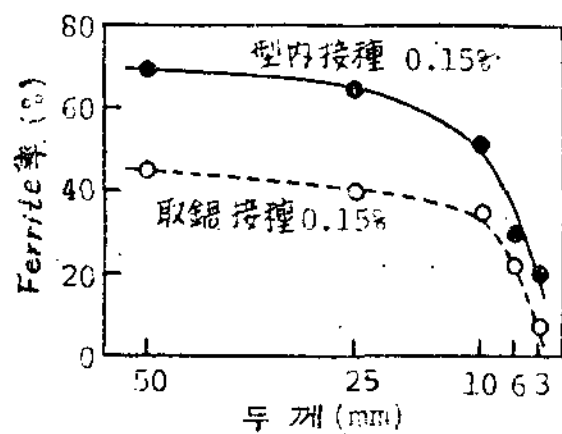
<Fig. 9> 衝擊遷移曲線 (2% Si, charg notch)

的인 製造指針으로서 하나는 $Mn < 0.1\%$, $P < 0.01\%$, $S < 0.01\%$ $\Sigma A < 0.03\%$ 의 低 Mn, P, S ΣA 의 高純度鉄을 原料鉄으로 使用하는 것이다. 그 一例를 들어보면 最近 新日本製鐵에서 上記目的을 위하여 特別히 高爐에서 만들어 市販되고 있는 試作高純度鉄의 組成을 表示한다. (Table 8) 7)

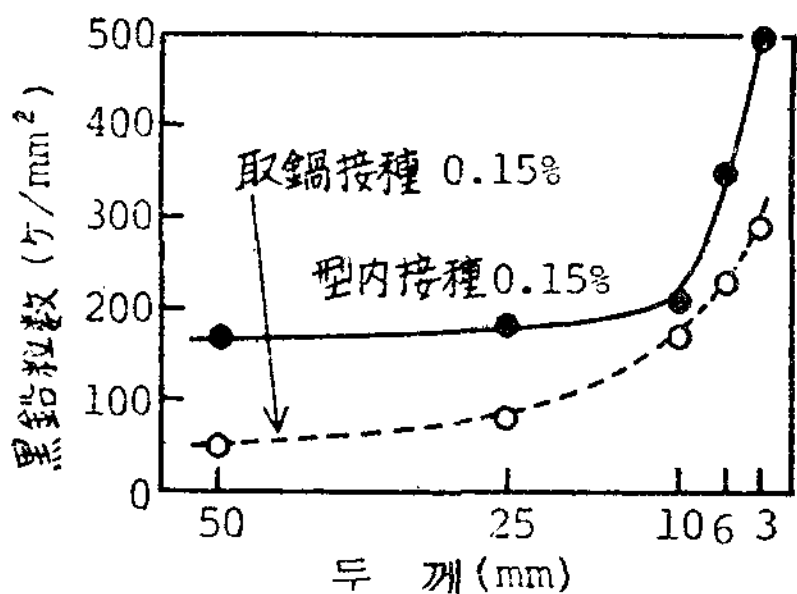
이 高純度鉄을 原料鉄으로 使用해서 球狀化處理後의 鑄放材의 衝擊値는 從來의 原料鉄에 의한 것보다 大端히 높은 靱性を 나타냈다. (Fig. 9) 7)



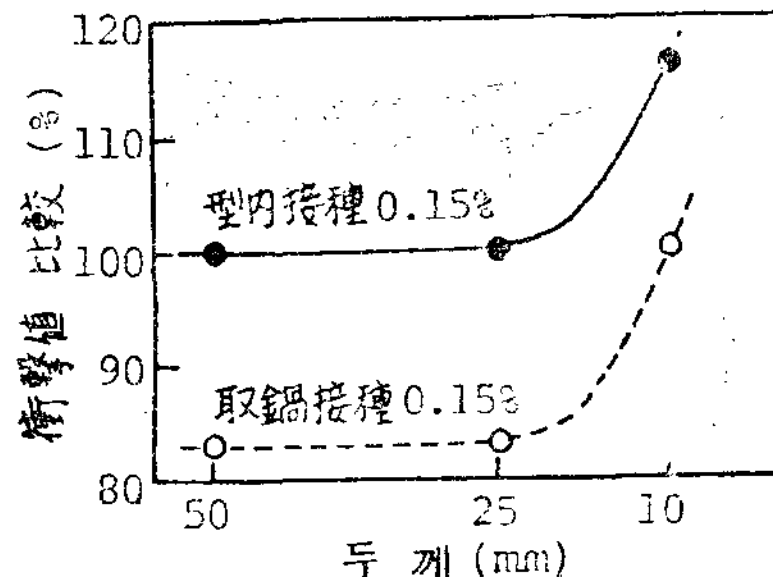
(1) 球狀化率에 미치는 接種方法의 影響



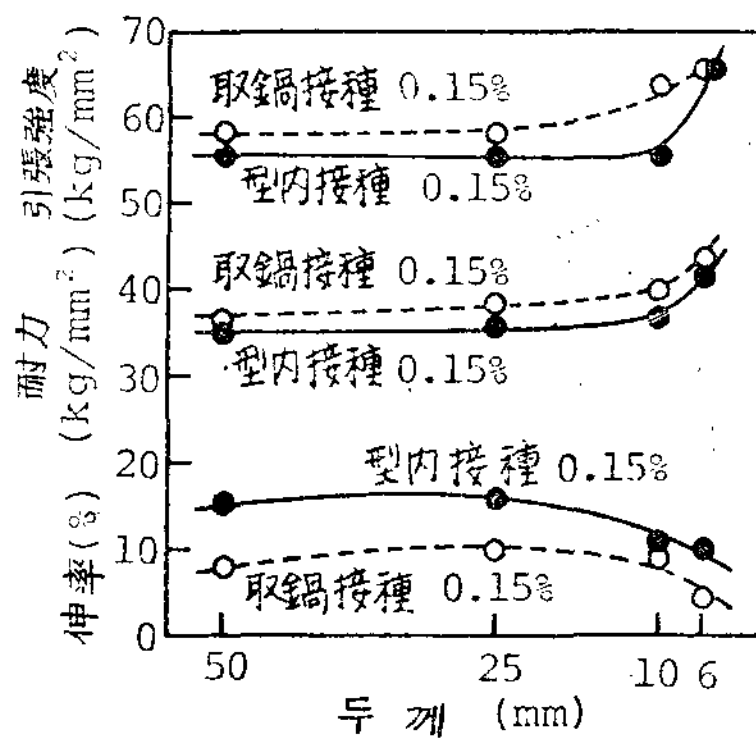
(2) ferrite 率에 미치는 接種方法의 影響



(3) 黑鉛粒數에 미치는 接種方法의 影響



(4) 衝擊值에 미치는 接種方法의 影響(取鍋接種, 肉厚 10mm의 衝擊值를 100%로 한다)



(5) 機械的性質에 미치는 接種方法의 影響

<Fig. 10> Mold Inoculation의 效果

T. C. Si Mn P S Mg
3.48 2.20 0.20 0.085 0.011 0.040

接種劑 Fe-Si (Si 75, Al 1.8, O₂ ≤ 400ppm)

둘째는, 有効한 接種處理에 의한 方法이다. 그 一例로서는 mold inoculation에 의한 效果를 從來의 ladle inoculation에 의한것과 比較한 結果를 一括해서 表示한다(Fig. 10)⁸⁾. 이 모든 結果는 Fe-Si-Mg(8%) 合金을 使用해서 球狀化處理後 CO₂鑄型의 두께 3~50mm의 階段狀試驗片에 注入한 鑄放材에 對한 比較結果이다. 또한 mold inoculation은 Fe-Si 0.15%를 注入時에 湯口底面에 添加한 것이다.

이와같은 結果들로부터 mold inoculation은 接種後 凝固까지의 時間 즉 fading의 時間이 짧기 때문에 大端히 有効한 接種效果를 얻을 수 있다. 얇은部分의 chill의 低減뿐만 아니라 두꺼운部分의 靱性向上에 顯著한 效果를 나타내어 鑄放狀態의 延性球狀黑鉛鑄鐵의 製造에 있어서 簡便하고 有効한 效果를 期待할 수 있다.

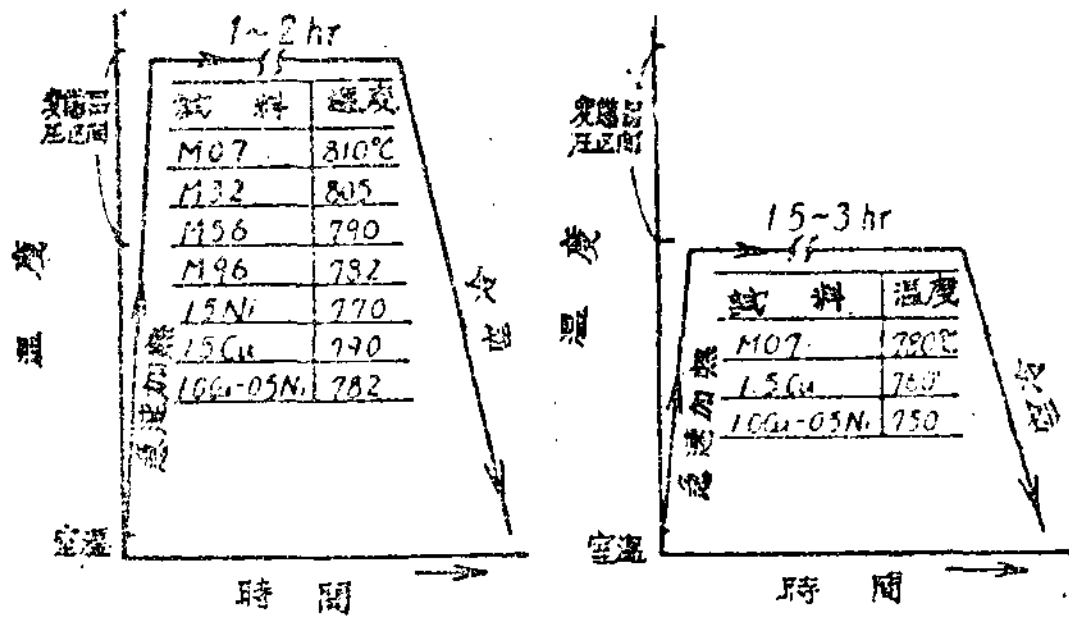
2. 強靱性的 向上(材質의 高級化)

球狀黑鉛鑄鐵의 日本工業規格(JIS)을 Table 9에 表
<Table 9> Specification for spheroidal graphite cast iron in Japan (JIS)

Class	Yield strength kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation %	Hardness H _B
FCD 40	>26	>40	>15	121~197
FCD 45	>30	>45	>10	143~217
FCD 50	>35	>50	>7	170~241
FCD 60	>40	>60	>2	207~285
FCD 70	>45	>70	>2	229~321

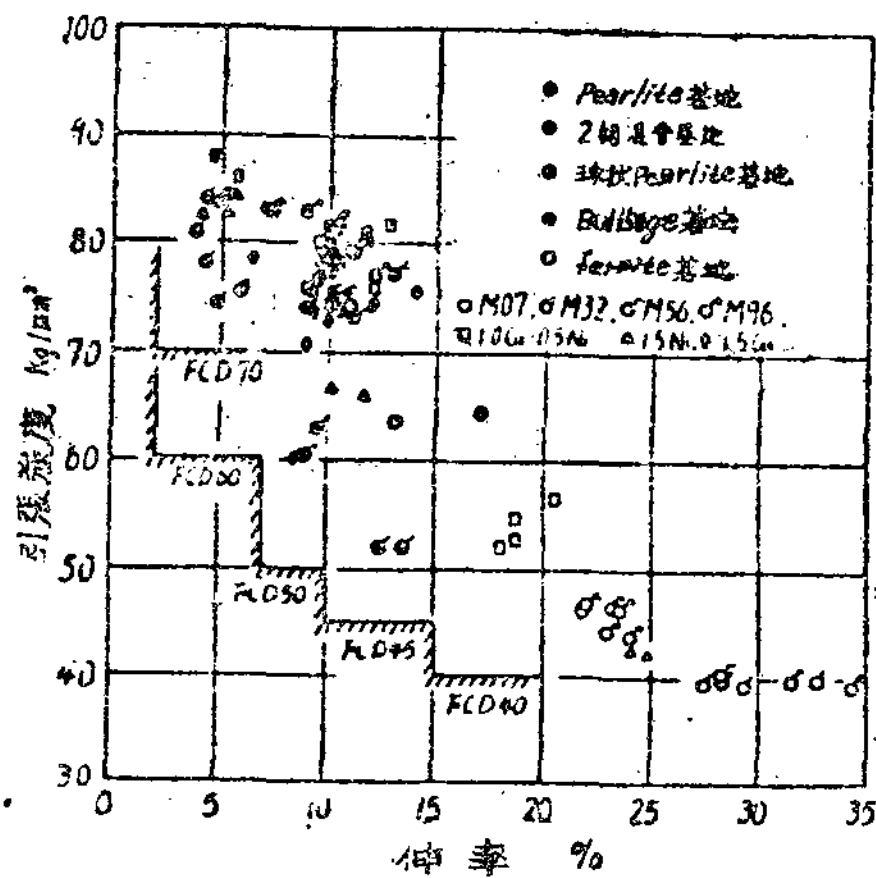
Special class

Heat resistance type Si 4~6% (Ferrite matrix)
High alloy type Ni > 18% (Austenite matrix) (Ni resist)

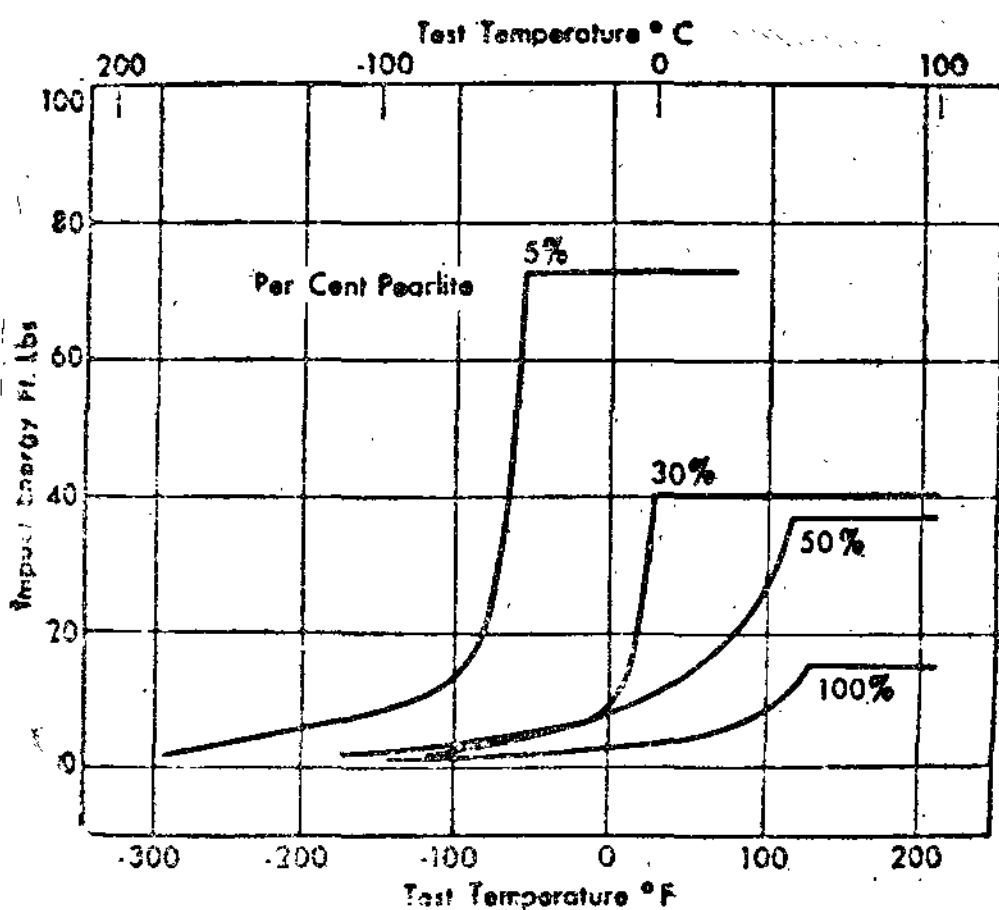


[A] ferrite, pearlite混合 基地組織을 得한 熱cycle
[B] 球狀 pearlite 基地組織을 得한 熱 cycle

<Fig. 11> ferrite, pearlite熱混合基地 및 球狀 pearlite 基地組織形成熱處理



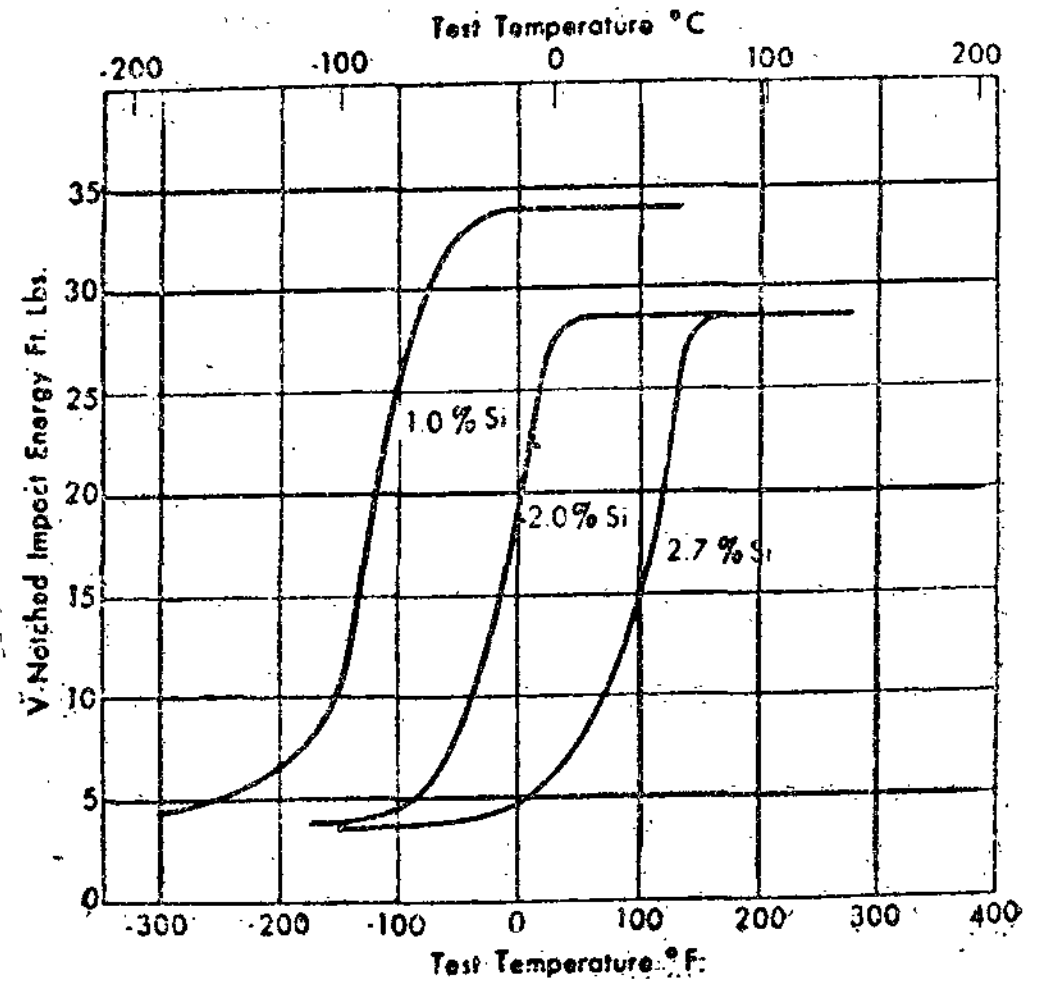
<Fig. 12> 引張強度—伸率의 關係에 미치는 基地組織의 影響



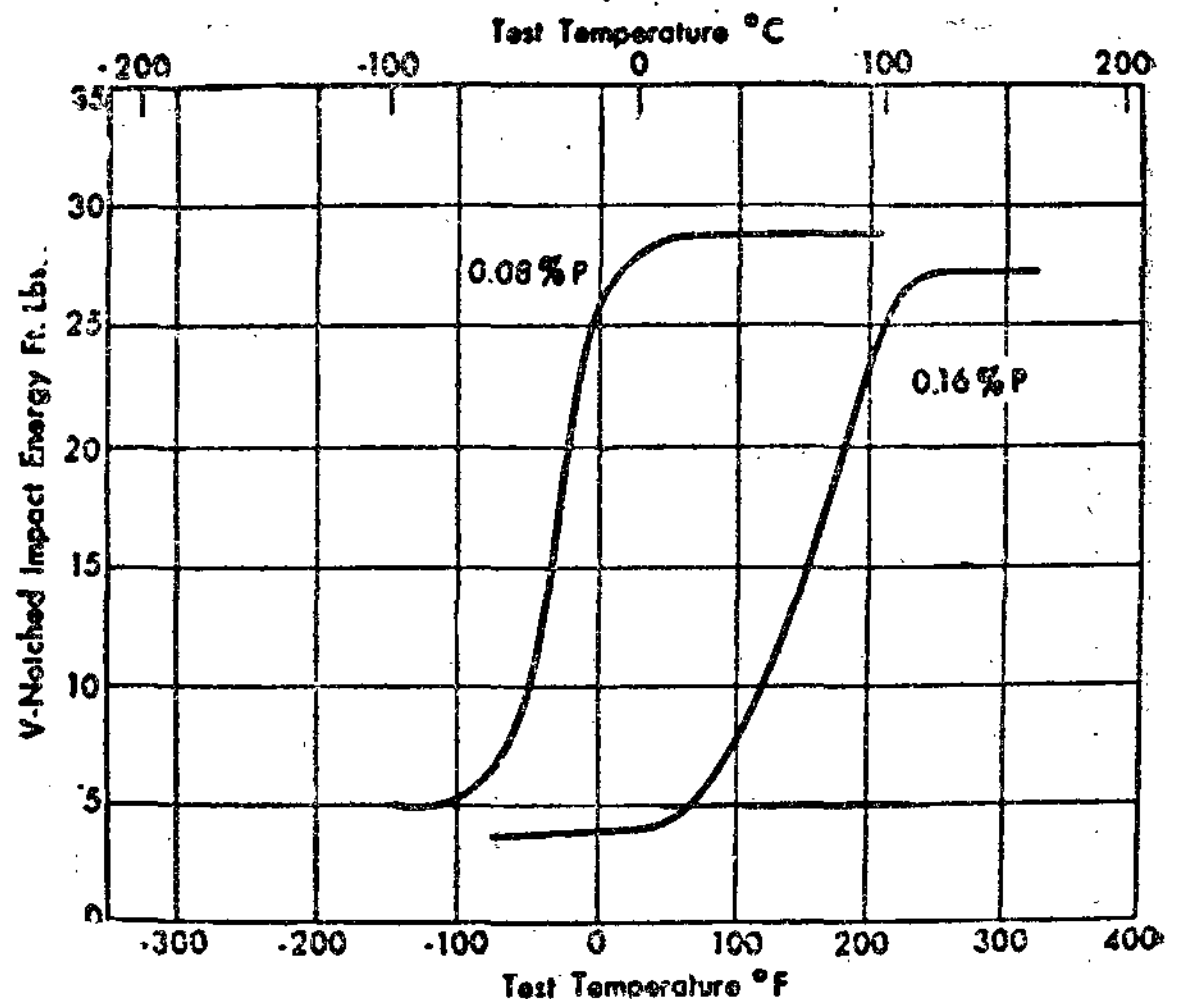
<Fig. 13> The Influence of Matrix Mitrostructure on the Impact Strength of Ductile (Nodular) Irons¹⁴⁾. Increasing amounts of pearlite (in place of all ferrite) affect the strength and transition temperature of unnotched 0.625" dia. Charpy-type bars brken on a 3" span.

示한다.

예를 들면 土木用的 tunnel segment 와 같은 特殊用途를 위해서는, 더욱 高度의 靱性이 必要하며 材質의 高級化가 必要하다. 이와같은 目的에 對해서 上記의 高純度 銑의 使用, mold inoculation 의 適用, Ni, Cr, Mo

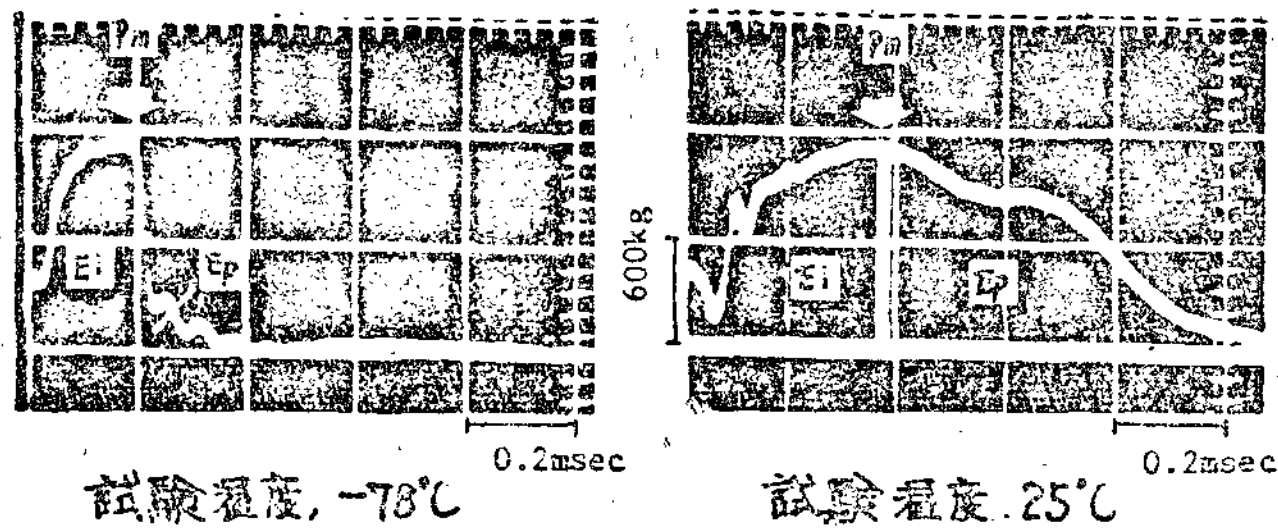


<Fig. 14> The Effect of Silicon Content on the Impact Properties of Annealed, Ferritic Ductile (Nodular) Iron¹⁴⁾ (V Notched BCIRA Charpy Test Bars).



<Fig. 15> The Effect of a Difference in the Phosphorus Content on the Impact Properties of Two Annealed, Ferritic Ductile (Nodular) Irons¹⁴⁾ (V-Notched BCIRA Charpy Test Bars).

등의 合金元素의 添加등에 의해서 現在도 이미 JIS 規格보다도 훨씬 高級인 材質의 球狀黑鉛鑄鐵製品이 製造



<Fig. 16> 低温 및 高温 U notch 衝擊試驗에 있어서
荷重(縱軸)一時間(橫軸)曲線 (3.7% C, 2.4
% Si ferrite 基地)

되고 있다.

$$\begin{aligned} \delta_B > 50 \text{ kg/mm}^2 & \quad \delta > 20\% \\ \tau_B > 60 \text{ kg/mm}^2 & \quad \delta < 15\% \end{aligned}$$

더욱 強靱化熱處理에 의한 材質의 向上, 즉 燒入燒戻 austempering, 微細混合組織 (ferrite 와 pearlite 의 混合組織) 등이 研究되고 있다.

微細混合組織을 얻기 위한 熱處理 cycle 과 그 機械的 性質을 表示한다 (Fig. 11, 12)°.

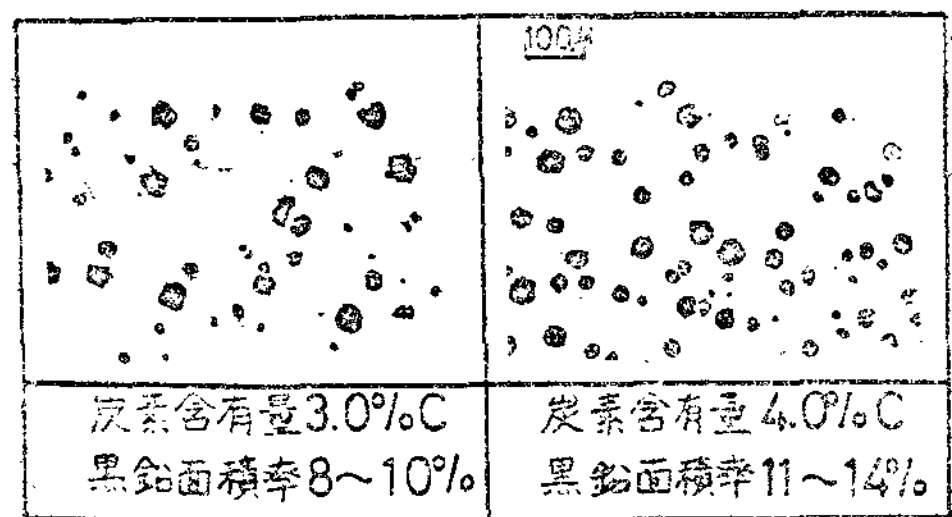
3. 衝擊特性的 改善

球狀黑鉛鑄鐵은 靜的인 強度와 靱性에 있어서는 鋼에 充分히 比肩할 수 있는 強靱性을 保有하나, 衝擊強度가 鋼에 比해서 낮다는 것이 最大의 缺點이다. 球狀黑鉛鑄鐵의 衝擊特性에 미치는 各種 要素의 影響을 表示한다 (Fig. 13, 14, 15)¹⁰⁾. Si, P는 衝擊強度에 對해서 惡影響을 준다.

球狀黑鉛鑄鐵의 衝擊破壞過程의 解明을 위하여 計裝化 charpy 試驗에 있어서의 荷重一時間曲線을 解析하여, 全吸收 energy 를 龜裂發生(E_i)과 電裂傳播 energy (E_p)로 二分해서 檢討하며 (Fig. 16)¹¹⁾, 또한 走査電顯에 의해서 破面의 fractography 的 觀察을 行한 結果, ferrite 基地 球狀黑鉛鑄鐵에 對해서는 球狀黑鉛粒이 粗粒이며 그 數가 적은 便이 細粒이며 그 數가 많은 것 보다 延性破壞域에 있어서의 衝擊值가 大이나 遷移溫度가 높다.

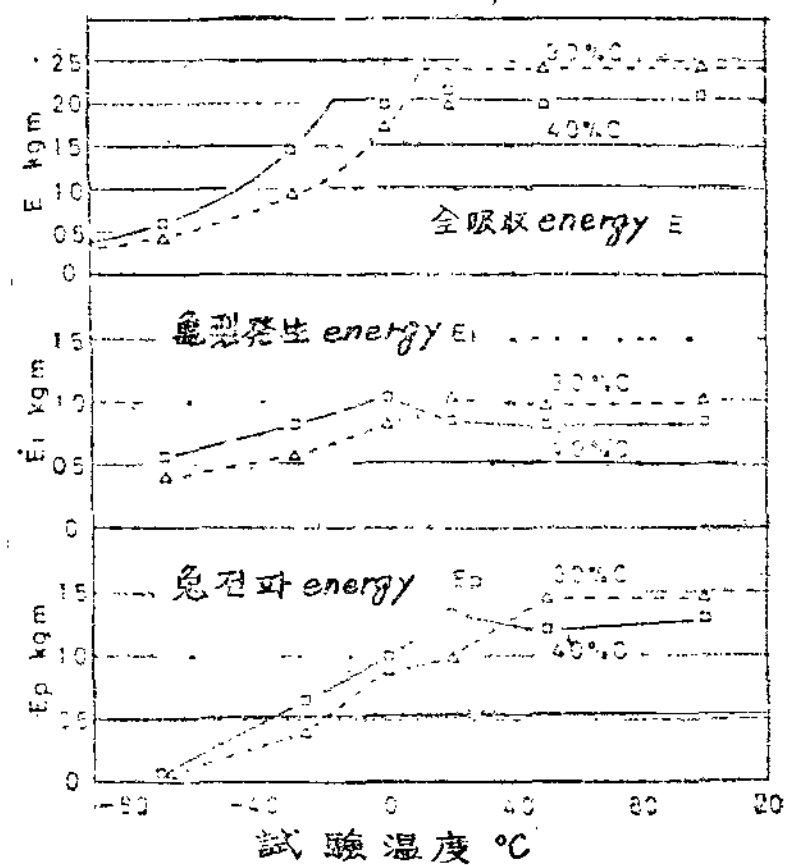
즉 mean ferrite path 가 큰 것일수록 衝擊值는 大이며 遷移溫度가 높은 것을 나타낸다 (Fig. 17)¹¹⁾.

이러한 原因에 對해서는 延性破壞域에 있어서는 黑鉛粒數는 적을수록 즉, mean ferrite path 가 클수록 E_i , E_p 는 大가 된다. 破面의 SEM 觀察에 의하면, 龜裂의 發生은 먼저 黑鉛粒과 基地의 界面에 있어서 Cavity 가 생겨서, 黑鉛粒이 缺陷 void 的 存在가 되어, 그것이 基地를 通하여 相互間에 連續되어 破壞하게 된다.

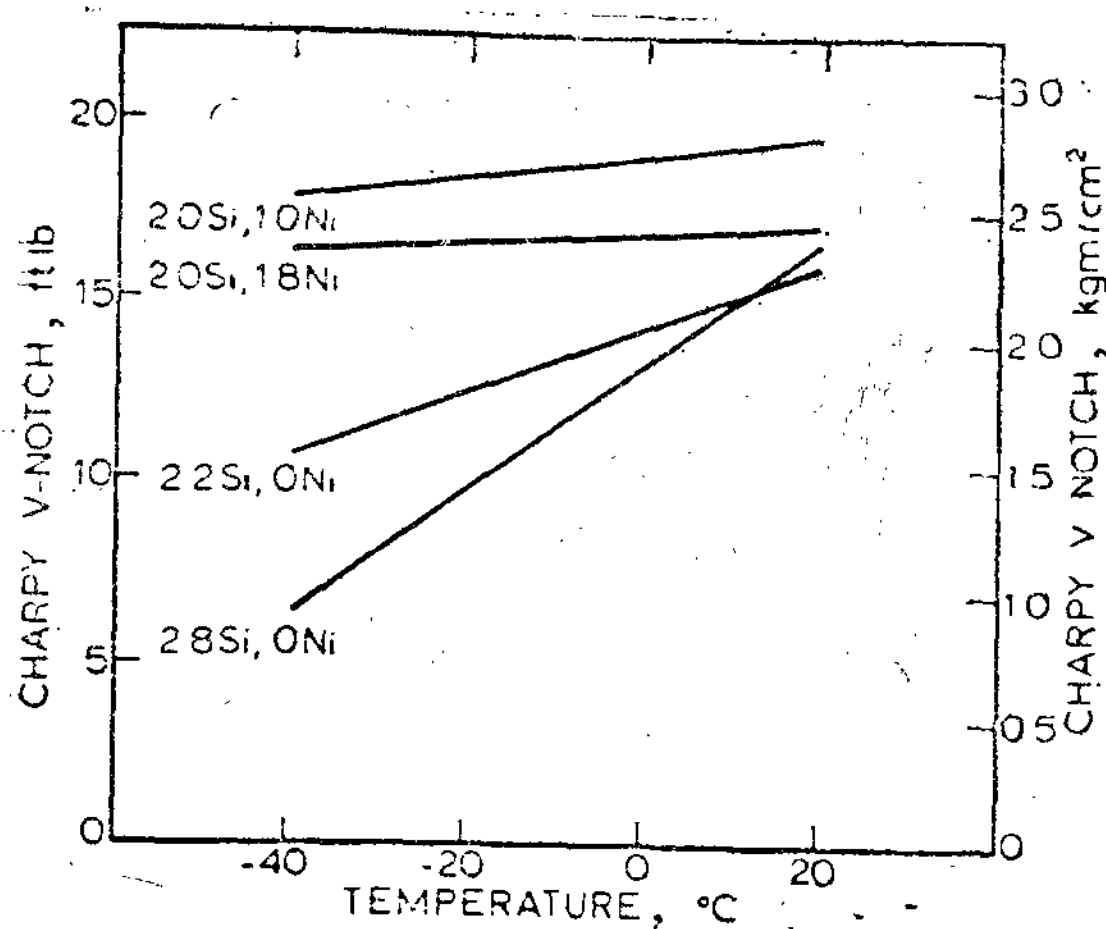


試料의 顯微鏡組織 $\times 100 \times 2/3$
供試材의 顯微鏡組織의 定量的 解析 結果

定量因子	低炭素供試材	高炭素供試材
平均炭素含有量	3.0%	4.0%
// 黑鉛面積率	9.67%	13.45%
// 黑鉛粒數	0.90×10^4 個/cm ²	1.50×10^4 個/cm ²
// 黑鉛粒徑	29 μ	29 μ
// 粒間距離	113 μ	74 μ
// ferrite 粒數	3.5×10^2 個/cm	3.5×10^2 個/cm



<Fig. 17> Ferrite 地球狀黑鉛鑄鐵의 衝擊破壞特性에 미치는 炭素含有量 (球狀黑鉛粒數)의 影響 (平均球狀黑鉛粒徑 29.0 μ 一定).



〈Fig. 18〉 Effect of temperature on notch impact strength of ferritic spheroidal graphite cast irons.

一方 低温의 脆性破壞域에 있어서는 龜裂의 發生은 共晶 cell boundary에서 생겨서 黑鉛粒은 龜裂의 傳播을 停止凍結하는 作用을 한다. 더욱 衝擊特性的 改善을 위해서는 Ni의 添加가 有効하다(Fig. 18).

4. 熔接性的 改善

一般的으로 鑄鐵은 熔接性이 나쁜것이 最大의 弱點이 強度部材에 適用할 수 있는 信賴性이 있는 熔接法은 確立되어 있지 않다. 그런고로 熔接의 目的도 主로 鑄物 缺陷部의 補修熔接에 局限되어 있으며 構造組立熔接은 거의 行해져 있지 않는 現狀이다. 그 原因은 炭素量이 많기 때문에 chill이 發生하여 熔接部를 硬化시키며, 또한 龜裂을 發生시키는 危險이 많기 때문이다. 球狀黑鉛鑄鐵의 熔接時는 熔着部分이 母材와 同一하게 球狀黑鉛組織을 하고 있으며, 熔接前後의 機械的性質이 그렇게 變하지 않으며 熔接後의 機械加工이 可能하다는 것이 必要하다. 最近 球狀黑鉛鑄鐵의 熔接에 關한 研究가 많이 進行되고 있다.

(1) Arc 熔接에 있어서는 Ni 棒, 低温熔接棒으로 될수 있으면 小徑의 棒이 使用되며 熔接龜裂을 적게해서 될수있는 限 熔込이 적을수록 chill이 적으며 良好한 結果를 얻을수가 있다.

(2) 高 Si 過共晶組成의 球狀黑鉛鑄鐵을 熔接棒으로 使用하는 gas 熔接法¹²⁾은 C: 3.5% Si: 4.5%의 高Si 球狀黑鉛鑄鐵을 小徑의 細棒에 金型鑄造해서 이것을 熔接棒으로 使用하는 새로운 酸素-아세피렌 gas 熔接法이다. 이 方法에 의하면, 高温豫熱없이 熔接해도 chill

이 생기지 않으며 熔着部는 球狀黑鉛, ferrite 基地가 共히 微細하므로 熔着部의 機械的性質은 相當히 良好한 結果를 얻었다(Table 10). 단 熔接條件으로 熔接棒을 初晶溫度以上으로 過熱하지 않도록 溶解하여 凝固時의 冷却速度를 적게하도록 注意할 必要가 있다.

〈Table 10〉 引張試驗 및 緩曲試驗

	引張強度 kg/mm ²	緩曲強度 kg/mm ²	緩曲 mm
熔接狀態	73	124	20
	72	116	16
	71	116	14
	68	110	11
650°C 燒鈍	69	110	30
	69	104	18
	68	102	17
	60	84	6

이와같은 熔接金屬의 強靱성은 熔接할때의 急冷凝固에 起因되는 組織의 微細化와 組成의 均質化에 의한 것 이라고 생각된다.

(3) 溶融點以下의 固體狀態에서의 새로운 接合法으로 變態起塑性을 利用한 固相接合法¹³⁾, 擴散接合法¹⁴⁾ 등의 새로운 方法들이 研究되고 있다.

또한 球狀黑鉛鑄鐵에 關한 興味있는 將來의 問題로서 는 다음과 같은 것들이 있다.

5. 塑性加工의 應用

壓延 鍛造加工의 併用

6. 原料銑의 再熔解에 의한 球狀黑鉛鑄鐵의 製造(球狀化處理工程의 省略)

含 Ce 原料銑¹⁵⁾ (Ce 0.2~0.4% 含有)

7. 球狀黑鉛鋼의 開發

Pb 包含快削鋼에 代置할 無公害快削鋼의 研究등을 들 수 있다.

參 考 文 獻

- (1) K. D. Millis: British Foundryman 66(1972) Jan.
- (2) 角田一男外: 鑄物 노트 No 22(1974) July.
- (3) 屋崎良平外: 鐵과 鋼 44(1958) No. 3.
- (4) 堀江皓: 鑄物 49(1977) No. 7.
- (5) 西山圭三外: 鑄物 48(1976) No. 3.
- (6) Foundry Trade Journal (1971) April.

- (7) 佐藤兼弘外：鑄物(講演概要集) (1977) May.
(8) 伊崎博外 同 上
(9) 田中雄一外：鑄物 48(1976) No. 4, No. 10, No. 11.
(10) G. N. Gilbert : BCIRA Journal 10(1975) No. 6.
(11) 岡林邦夫外：鑄物 49(1977) No. 6, No. 7.
(12) 大井利繼外：鑄物 48(1976) No. 10, No. 11 鑄物 49
(1977) No. 6.
(13) 高瀬誠次外：鑄物 48(1976) No. 5, No. 6, No. 12.
(14) 井川克也外：鑄物 45(1973) No. 9
(15) 川原業三外：鑄物 44(1972) No. 9.
-