

CV黑鉛鑄鐵의 凝固特性에 관한 研究

金喆進* 金水泳** 李啓完**

A Study on the Solidification Characteristics of
CV Graphite Cast Iron.

C. C. CHUN, S. Y. KIM, G. W. Lee

- ABSTRACT -

Many researchers have studied the eutectic solidification of CV Graphite Cast Iron qualitatively. However quantitative studies have not been done. The type of eutectic solidification of CV Graphite Cast Iron treated with CG Alloy (Fe-Si-Mg-5Ti-Ca-Ce) was studied quantitatively through M.D.E. value (Mushy Degree of Eutectic Solidification) = t_2/t_1 , where t_1 is the difference of the eutectic solidification starting time between surface and center part of the casting sample, and t_2 is the time of eutectic solidification of the center part. Following results were obtained.

- (1) The M.D.E. value of CV graphite cast iron lies between that of spheroidal graphite and that of flake graphite cast iron but is closer to that of Flake graphite cast iron.
- (2) The M.D.E. value of CV graphite cast iron depends upon CV ratio.
- (3) The time required for eutectic solidification increases as graphite form is changed from Flake, CV, to spheroidal graphite.
- (4) The M.D.E. value increases as cooling rate increases.

1. 緒 論

CV(Compacted Vermicular)黑鉛鑄鐵은 球狀黑鉛鑄鐵 보다 우수한 구조성과 열전도성을 가지며 片狀黑鉛鑄鐵 보다 우수한 강도, 인성 및 내열성등의 物理的 性質을⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 가지고 있어서 실린더 헤드, 자동차 브레이크 및 유압 Valve body 등 강도와 열전도성이 동시에 요구되는 곳에 특히 유용한 재료이다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 최근에 CV黑鉛鑄鐵에 대해 많은 研究가 진행⁽¹⁶⁾⁽²⁴⁾

⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾ 되고 있으나, CV黑鉛鑄鐵의 製造方法, CV黑鉛鑄鐵 形成機構 또는 鑄造特性 등에 관해서는 아직도 많은 의문점이 남아있다. 이에 本研究에서는 CV黑鉛鑄鐵의 凝固特性을 정량적으로 규명하기 위하여, Mushy 凝固도를 나타내는 M.D.E. 를 사용하여 조사, 검토 하였다.

2. 實驗方法

2-1 試料製作

本實驗에 사용한 原料로서는, 유황함량이 낮은 Posco의 球狀黑鉛鑄鐵用 銑鐵을 사용 하였다. 原料銑의 化

* 漢陽大學校 大學院 (金屬工學專攻)

** 漢陽大學校 金屬工學科 教授

Table 1. Chemical composition of Charge materials (%).

| Material \ Comp. | C | Si | Mn | P | S |
|-------------------|-------|-------|------|-------|-------|
| Pig Iron | 4.1 | 1.4 | 0.4 | 0.01 | 0.03 |
| Electrolytic iron | 0.002 | 0.002 | 0.05 | 0.001 | 0.001 |
| Ferrosilicon | | 75 | | | |
| C.G. Alloy | | 48 | | | |

| Material \ Comp. | Mg | Ti | Ca | Ce |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Pig Iron | | | | |
| Electrolytic iron | | | | |
| Ferrosilicon | | | | |
| C.G. Alloy | 4.0 -5.0 | 8.0 -10. | 4.0 -5.5 | 0.2 -0.3 |

Table 2. Chemical analysis of samples (wt%)

| comp. sample no. | C | Si | Mn | P |
|------------------|------|------|------|-------|
| CV-1 | 3.72 | 2.68 | 0.11 | 0.06 |
| CV-2 | 3.65 | 2.74 | 0.13 | 0.059 |
| CV-3 | 3.53 | 2.35 | 0.10 | 0.058 |
| CV-4 | 3.30 | 1.98 | 0.13 | 0.065 |
| CV-5 | 3.41 | 2.01 | 0.12 | 0.060 |
| SG-1 | 3.70 | 2.95 | 0.13 | 0.054 |
| CV-1F | 3.72 | 2.68 | 0.11 | 0.06 |

| comp. sample no. | S | Mg | Ti | C.E. |
|------------------|-------|-------|-------|------|
| CV-1 | 0.01 | 0.025 | 0.096 | 4.61 |
| CV-2 | 0.008 | 0.024 | 0.104 | 4.56 |
| CV-3 | 0.014 | 0.017 | 0.018 | 4.31 |
| CV-4 | 0.015 | 0.021 | 0.029 | 3.96 |
| CV-5 | 0.011 | 0.025 | 0.074 | 4.08 |
| SG-1 | 0.009 | 0.04 | 0.022 | 4.68 |
| CV-1F | 0.01 | - | 0.10 | 4.61 |

學組成과 Sample의 분석결과는 Table 1, 2와 같다. Table 2. Sample No中 SG-1은 CG Alloy처리한 球狀黑鉛鑄鐵을 표시하고, CV-1F는 片狀을 표시한다.

原料鉄을 50KVA Kryptol 爐에서 20번 도가니와 6번 도가니를 사용하여 熔解한 다음 Slag를 제거하고, 金型에 주입하여 원료를 제조하였다. 이 원료에 Si량을 조절하기 위하여 Fe-Si合金 (75% Si)을 加하고, CV黑鉛生成劑로서는 C.G合金⁽²³⁾⁽²⁴⁾을 이용하였다. 그리고 Fe-Si(75%Si)으로 接種하였다.

熔解는 용탕을 1450 ~ 1500℃까지 올린후 즉시 탈황제인 CaC₂ 분말을 용탕량의 약 2% 첨가하고 Stirring하여 탈황처리 한 다음, CV化劑인 C.G合金을 약 1.4% 첨가 하였으며 용탕의 온도가 1350 ~ 1370℃로 되었을때 接種을 실시 하여 直徑 80mm, 높이 60mm의 Castable 주형에 주입하여 시편을 제작하였다. 片狀黑鉛鑄鐵의 경우는 組成을 C.V와 동일하게 유지하기 위하여 CV黑鉛鑄鐵의 熔湯을 약 1370℃에서 20分 以上 유지하여 fading 시킨후 鑄入 하였다. 球狀黑鉛鑄鐵의 경우에는 CG合金 첨가후에 Holding Time을 주지 않고 즉시 주입하는 방법으로 제조 하였다.

2-2 熱分析

Fig 1. 은 試料의 치수, 熱分析 위치 및 Recorder

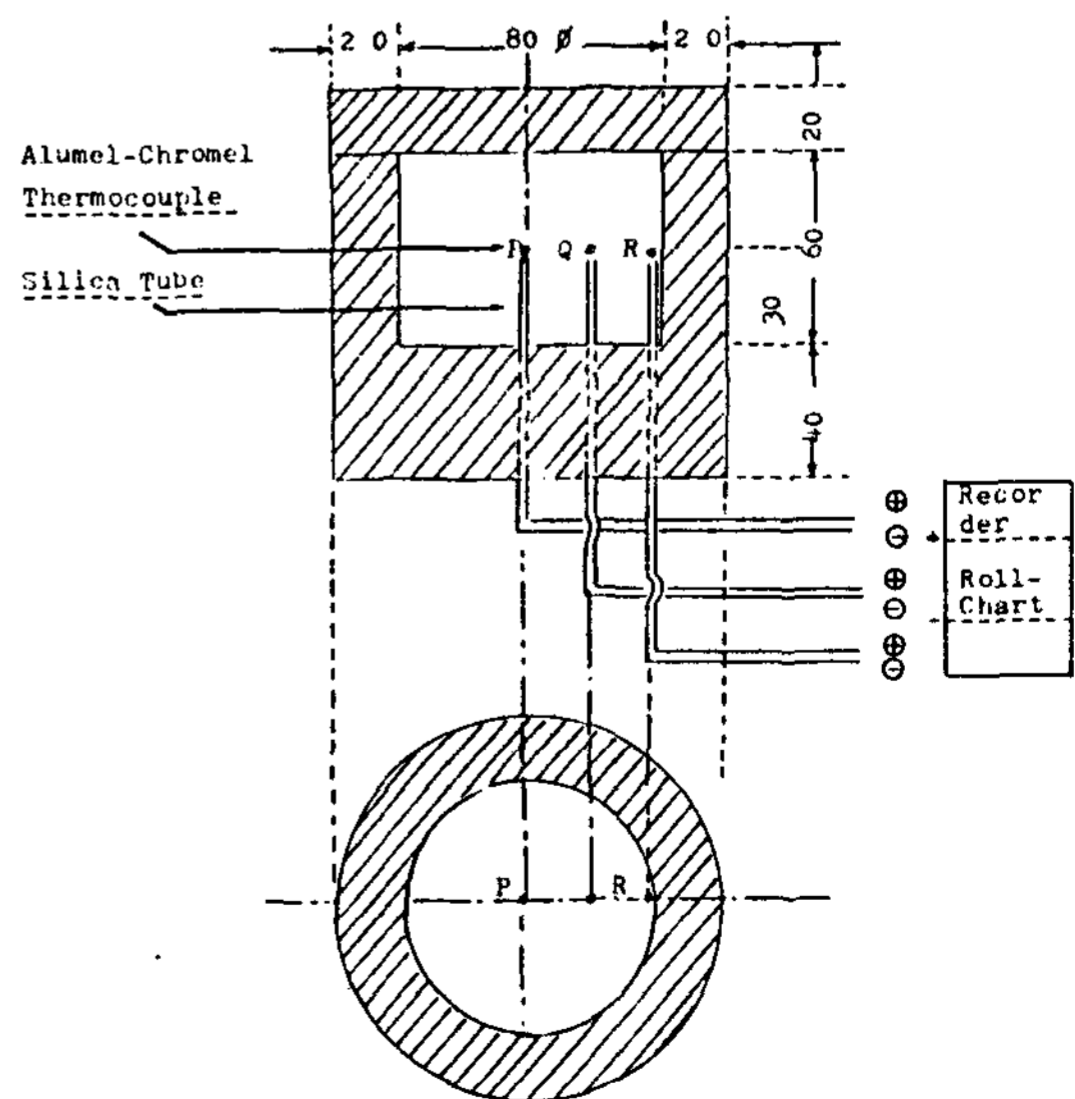


Fig 1. Shape and dimension of the Mold, and the position of thermocouple.

의 개략도이다. 本實驗에서는 試料의 熱分析을 위해 직경 1.2mm의 Alumel-Chromel thermocouple 線을 Rikadenki社의 RW-11T thermal recorder에 연결하여 熱分析을 하였다.

試料 各部位의 熱分析은 Roll-Chart를 이용하여 Pen을 고정시키고 Chart판을 이동시키면서 2cm/Min의 속도로 冷却曲線을 기록 하였다. Fig 1.에서 試料의 中心部 (P點), 外周部 (R點)가 各各의 熱分析 위치이다. 사용한 熱電帶의 先端부의 接點은 알루미늄-세멘트로서 보호 하였고, 이것을 Silica tube에 넣어 용탕으로 부터 보호 하였다. 이렇게 구한 熱分析 曲線으로 부터 CV黑鉛鑄鐵의 共晶凝固形態를 M.D.E. 값을 구하여 조사 검토하였다.

2-3 CV黑鉛鑄鐵의 製造

CV黑鉛鑄鐵의 제조법은 여러 方法 (19)(20)이 제시되고 있다.

1) A型의 片狀黑鉛을 두겹고 짧게, 그리고 앞부분이 둥글게 변화 시키는 (片狀黑鉛의 球狀化계열) 方法.

2) 球狀黑鉛鑄鐵의 球狀化를 줄여, 球狀黑鉛形態를 변화 시키는 (球狀黑鉛의 片狀化계열) 方法 (19)

3) Gas 취입法 (24)(25)

4) 球狀黑鉛 처리 용탕을 미처리 용탕으로 희석시키는 方法 (26) 등이 있으나 本實驗에서는 球狀化元素인 Mg과 球狀化 저해원소인 Ti이 동시에 함유되어 있는 CG合金을 첨가하는 方法 (15)(16)(19)(20)을 이용하였다. 이방법은 英國의 BCIRA(Britiech Cast Iron Research Association)와 美國의 Foote Mineral Co.가 함께 개발한 方法이다. CG法은 Fe-Si-Mg-5Ti-Ce型을 사용하고 있는데 Mg의 S에 대한 예민성을 줄이기 위하여 Ca을 소량 함유 시킨다. 本實驗에서 사용한 CG合金의 組成은 Table 1과 같다.

CG合金으로 용탕을 처리하는 方法은 Fe-Si-Mg으로 구상흑연주철 용탕을 처리하는 方法과 유사하다.

2-4 組織의 관찰 및 CV化率의 측정

Sample을 연마하여, 試片의 P,Q,R點 부근을 각각 X50, X100배율로 관찰하고 임의의 세부분을 촬영하여 2" X 3"로 확대 인화하여, 250mm²내에 존재하는 C.V, 球狀黑鉛粒의 갯수와 면적을 측정하고 평균값을 구하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3-1 Mushy 凝固度에 대하여

Mushy 凝固度란 共晶型 合金의 응고형태를 나타내는 수치 (8)(21)로써 試料의 表面部와 中心部の 共晶凝固 개시시간의 차를 t₁으로 하고, 中心部の 共晶凝固 개시부터 완료하는데 까지 要하는 시간을 t₂로 하는 경우 M.D.E. = t₂²/t₁로 정의 된다. M.D.E.는 Mushy type 凝固 및 Skin type 凝固의 정도를 나타내는 값으로써, M.D.E. 값이 커질수록 Mushy type 凝固의 경향이 커지는 것을 의미한다.

3-2 탄소당량과 M.D.E.와의 관계

Fig 2.는 本實驗에서 조사한 CG Alloy 처리系

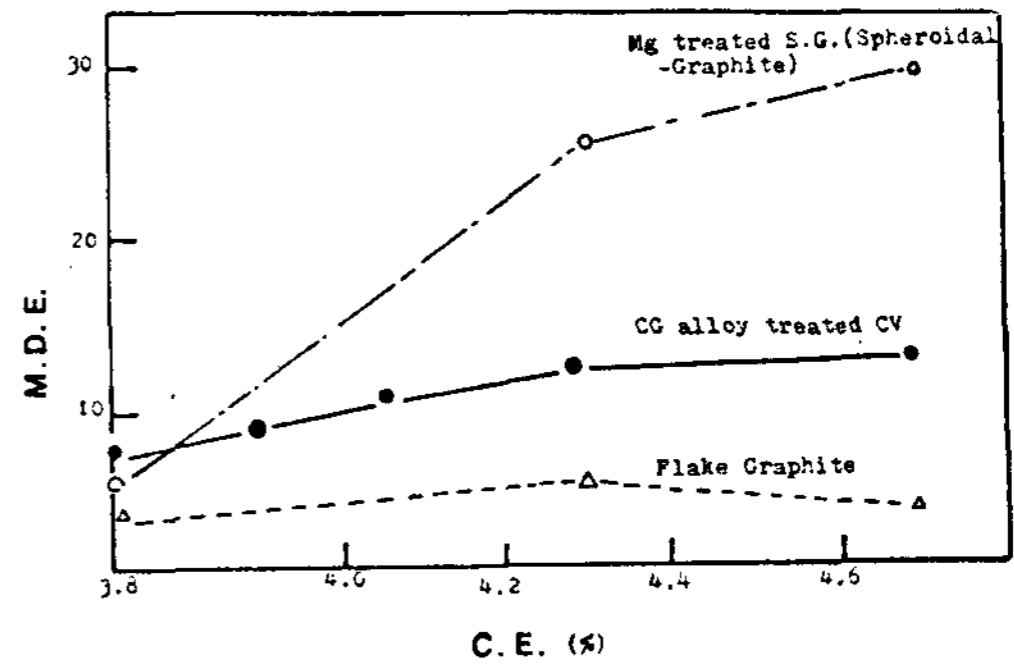


Fig 2. Relationship between M.D.E. & C.E.

CV黑鉛鑄鐵의 탄소당량에 따른 M.D.E.의 변화관계를 나타내며, 여기에 金水泳 (8)의 Mg처리系 球狀黑鉛鑄鐵 및 片狀黑鉛鑄鐵의 M.D.E.의 변화관계를 비교 하였다. CG Alloy 처리系 CV黑鉛鑄鐵의 경우 亞共晶組成에서는 8~10, 共晶組成 부근에서는 10~13, 그리고 過共晶組成에서는 11~13 정도의 M.D.E. 값을 갖는다.

여기에서 Sample은 우수한 CV를 얻을 수 있는 조건인 CG Alloy 첨가량 (1.4%)과 CG Alloy 처리후의 유지시간 (Holding Time) 3分 30秒~4分를 택하여 얻어졌다.

위의 실험결과는 Mg처리系 球狀黑鉛鑄鐵의 M.D.E.에 관한 研究報告 (6)(8)의 결과와는 큰 차이를 나타낸다. 즉 亞共晶組成에서 5내외, 共晶組成에서 25 그리고 過共晶組成에서는 30 이상의 값으로, 組成이 변화 함에 따라 M.D.E. 값이 크게 변화하며, 이것은 過共晶組成에서 球狀黑鉛鑄鐵이 극도의 Mushy type 凝固를 함을 보여 준다. 이것에 비해 CV黑鉛鑄鐵의

경우에는 탄소당량의 변화에 따라 M.D.E. 값은 그다지 크게 변화하지 않고, 약간증가하는 경향만을 갖는다. C.E.와 M.D.E.의 관계에서 다음과 같은 사실을 알수 있었다.

1) CV흑연주철의 경우에는 구상흑연주철과 편상흑연주철의 M.D.E.(Mushy 凝固度)의 중간값을 가지며, 특히 球狀 보다는 片狀쪽에 가까운 M.D.E. 값을 갖는다. 이것은 CV의 주조성이 편상흑연주철쪽에 가깝다는 것을 의미한다. 즉 주조성이 구상흑연주철 보다 우수하다는 것을 의미한다.

2) CV鑄鐵의 경우에는 C.E.의 변화에 따라 M.D.E.는 그다지 크게 변화하지 않는다.

3) M.D.E.의 의미는 그림에서 다음과 같이 생각 할수도 있다. $M.D.E. = t_2/t_1$ 에서 M.D.E.가 1이라는 것은 Skin型 응고시간 t_1 과 Mushy型 응고시간 t_2 의 길이가 동일 하다는 것을 보여주는 것으로서 Mushy型 응고의 정도와 Skin型 응고의 정도가 같으며, M.D.E.가 2라는 것은 Mushy型 응고의 정도가 Skin型 응고의 2배 라는 것을 의미한다.

本實驗에 있어서 CG Alloy 처리한 CV 흑연주철의 M.D.E.가 過共晶組成에서 11~13 内外라는 것은 Mg처리계 구상흑연주철⁽⁸⁾의 M.D.E.가 30, 片狀의 경우 5内外 인것에 비교 할때 CV가 편상에 비해서는 약 두배의 Mushy 응고도를 가지며 구상은 CV에 비해 약 3배의 Mushy 응고도를 나타낸다고 할 수 있다.

3-3 CV化率과 M.D.E.와의 관계

M.D.E.와 탄소당량과의 관계를 3-2.에서 考察하였다. 그때 CV黑鉛鑄鐵의 탄소당량에 따른 M.D.

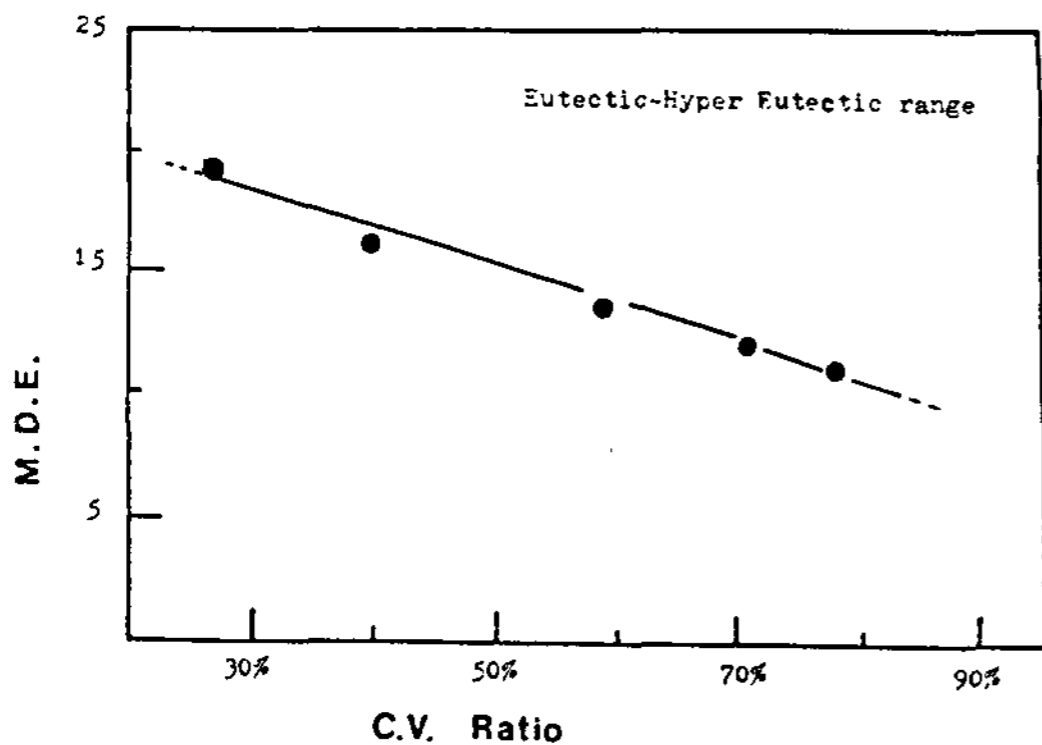


Fig 3. Relationship between C.V. Ratio and M.D.E.

E.의 변화는 Mg처리계 구상흑연주철의 변화폭 보다 훨씬 작았다. 따라서 여기에서는 CV化率이 달라짐에 따라 M.D.E. 값이 어떻게 변화 하는가를 考察 하겠다.

Fig 3. 은 共晶組成~過共晶組成의 구간에서 CV化率이 30%인 구간부터 85%인 구간까지에서의 M.D.E.의 변화를 나타내는 그림이다. 여기에서 CV化率을 30~85%로 잡은 이유는 일반적으로 85% CV化率 이상의 조직은 얻기가 어려우며 30% CV化率 이하의 조직은 本實驗에서 조사하고자하는 CV주철로써의 의미가 없기 때문이다. 이 경우 CV化率은 CG 合金 첨가후 각각의 Holding Time 을 조절하여 얻어졌고 CV化率이 30%라는 것은 30% CV 黑鉛粒+70% 球狀黑鉛粒의 비율임을 의미하며, 제 2장의 '實驗方法'에서와 같은 방법으로 CV化率을 측정 하였다. 그림으로 부터 알수 있는 것은 "CV化率이 증가함에 따라 M.D.E. 값은 작아진다"는 사실이다. 그 이유는 CV化率이 증가 함에 따라서 상대적으로 球狀의 比率가 감소하게 되어 Mushy 凝固의 정도가 감소하게 되며, 응고형태가 구상 보다는 片狀쪽에 가까와지게 되고 따라서 t_1 구간은 길어지는 반면 t_2 구간은 짧아지게 되는데 그 원인이 있다고 생각된다.

다음은 CV의 경우 탄소당량에 따라 M.D.E.의 변화의 정도가 작은 반면 Mg처리계 구상흑연주철의 경우에는 변화의 폭이 큰 이유에 대하여 考察 하고자 한다. CV의 경우 3-2節의 "탄소당량과 M.D.E.의 관계"에서 조사했던 Sample들의 CV化率은 75%~85%를 유지하여 줌으로써 M.D.E. 값의 변화가 작았고, 만약 CV化率을 Holding Time 을 변화시켜 Fig 3. 에서처럼 변화시키면, M.D.E.도 달라지게 된다. 이것을 구상흑연주철의 M.D.E.⁽⁸⁾와 比較 하여 보자. 구상흑연주철은 一般的으로 亞共晶組成으로 갈수록 球狀化率의 저하가 현저 하여지며 이것이 M.D.E.에 영향을 미치게 되어 그 변화폭이 커지는 것으로 생각된다. 따라서 이상적인 경우로써 亞共晶組成에서도 過共晶組成에서와 같이 球狀化率을 크게 할수 있다면 M.D.E. 값은 그렇게 큰 폭으로는 변화되지 않을 것으로 思料된다.

本實驗의 결과와 다른 研究報告⁽²³⁾⁽²⁴⁾ 들로 부터 CV黑鉛組織은 共晶組成 부근으로 부터 過共晶組成에 이르는 구간에서 Holding Time 과 CG合金의 첨가량을 조절하여 CV化率 75%~85%정도의 것이 얻어진다. 또 4.0~4.3% C.E.의 亞共晶組成 구간에서

도 비교적 양호한 CV黑鉛組織이 얻어진다. 따라서 M.D.E. 값의 변화의 폭이 완만한 것이라고 생각된다.

3-4 C.V, 球狀, 片狀黑鉛鑄鐵의 共晶凝固의 比較에 대하여

Fig 4, Fig 5, Fig 6은 過共晶組成에서 CV, 球狀, 片狀 黑鉛鑄鐵의 共晶凝固 冷却曲線이다. 그림에서 보면 片狀에서 CV, CV에서 球狀으로 갈수록 試料의 中心部인 P點까지 共晶凝固가 개시 되는데 要하는 時間이 점차 짧아지는 반면, P點에서 共晶凝固 開始 부터 完了까지 要하는 時間은 球狀쪽으로 갈수록 길어진다. 즉 球狀의 경우 Table. 3. Fig 7. 에

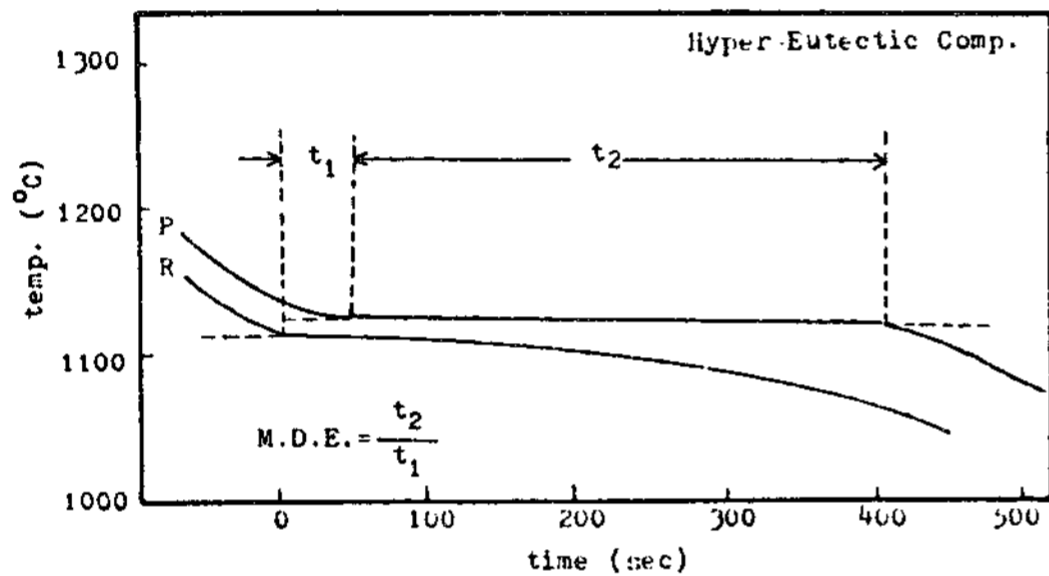


Fig 4. Cooling curve of flake graphite cast iron.

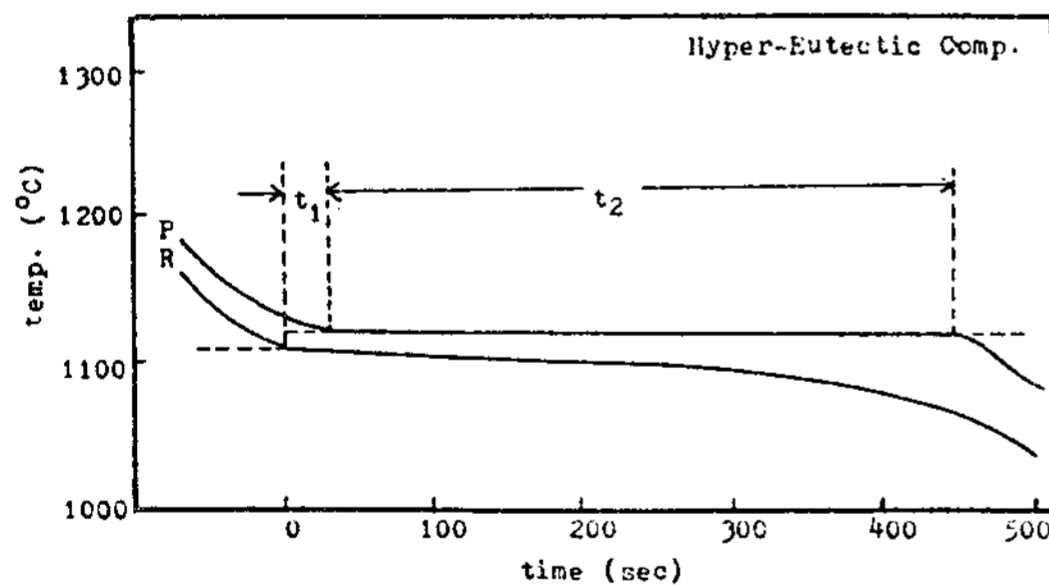


Fig 5. Cooling curve of CV graphite cast iron

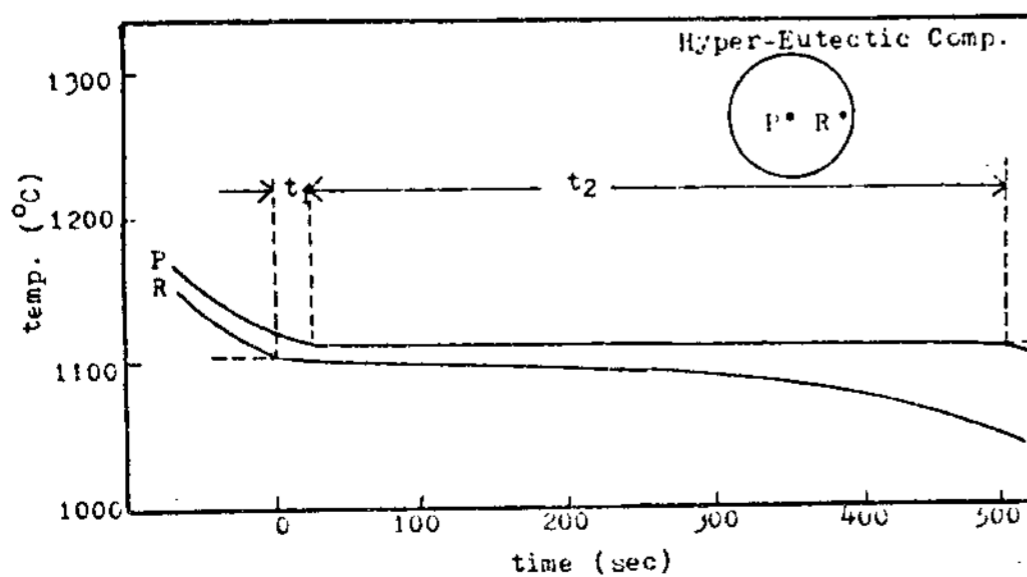


Fig 6. Cooling curve of spheroidal graphite cast iron

Table 3. Eutectic solidification time and M.D.E. in Spheroidal, CV and Flake cast iron.(Hyper-Eutectic Comp)

| Sample No. | Starting time(Sec) | | t ₁ (Sec) | Eutectic-reaction Time (t ₂) | (M.D.E.) = t ₂ /t ₁ |
|------------|--------------------|-----|----------------------|--|---|
| | | | | | |
| SG-1 | 240 | 266 | 26 | 516 | 20 |
| CV-1 | 245 | 281 | 36 | 465 | 13 |
| CV-1F | 240 | 287 | 47 | 410 | 8 |

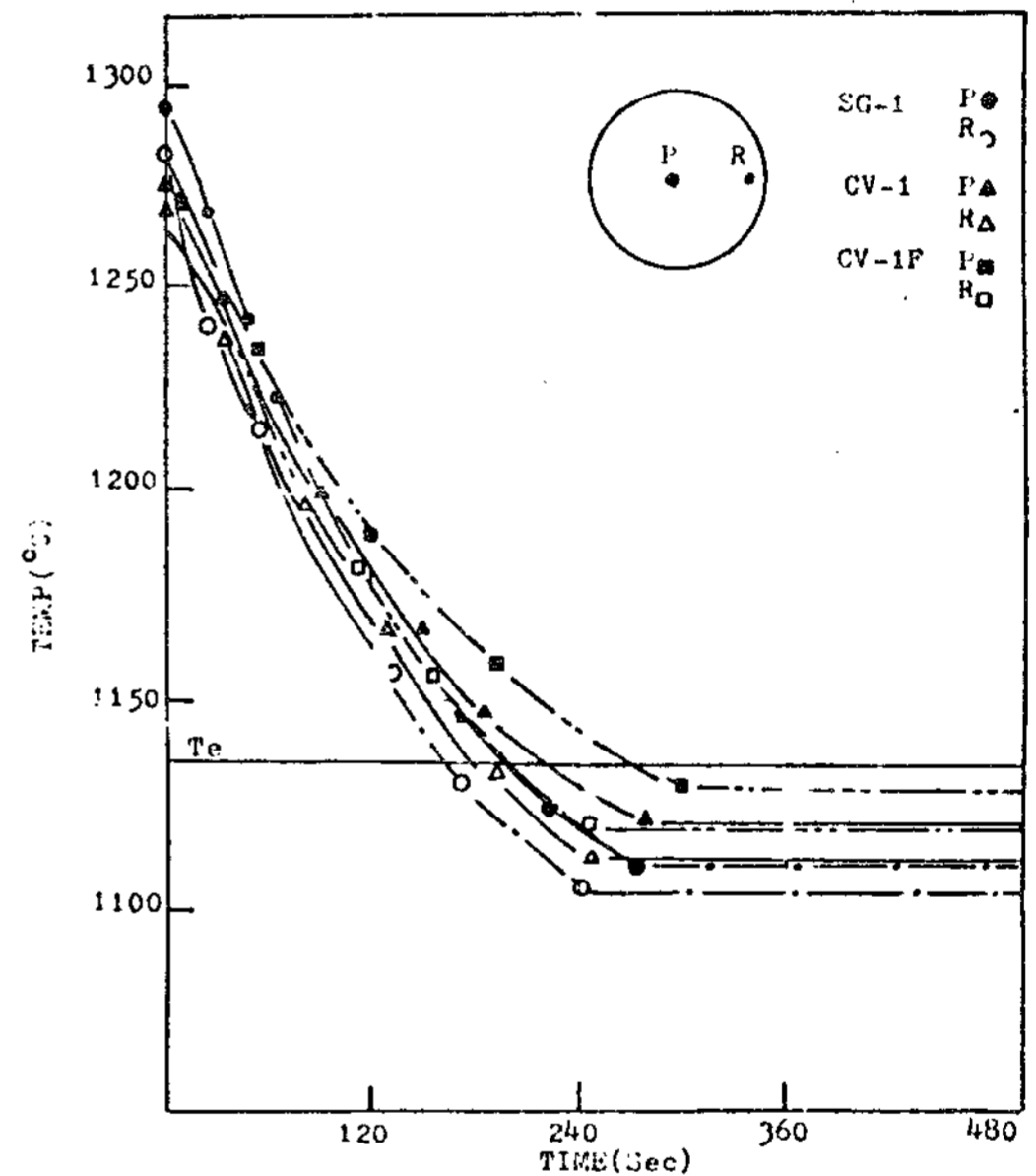


Fig 7. Cooling curve of eutectic solidification in CV, Spheroidal and Flake graphite cast iron.

서 보면, 共晶凝固 開始時間은 266Sec, CV의 경우는 281Sec, 片狀의 경우는 287Sec 이며 共晶凝固 開始부터 完了까지 要하는 時間은 球狀이 516Sec, CV는 465Sec, 片狀의 경우는 410Sec 로써, 이와같은 現象은 凝固形態의 차이에 의한것 이라고 생각된다. 즉 Mushy type 凝固의 特徵은 전면응고 개시시간이 길다는 데 있다. 이러한 現象은 응고시 팽창에도 큰 영향을 미친다고 생각된다.

여기서 시료 중심부의 공정응고 개시시간이 구상으로 갈수록 빨라지는 이유에 대해 생각해 보면, Table

Table 4. Eutectic solidification temp. and degree of undercooling.

| | P | R | ΔT | Remarks |
|-------|----------|----------|------------|---------|
| SG-1 | 1,112 °C | 1,107 °C | 23 °C | Hyper |
| CV-1 | 1,121 °C | 1,113 °C | 14 °C | " |
| CV-1F | 1,128 °C | 1,120 °C | 7 °C | " |

4. 은 共晶凝固溫도와 過冷에 관한 것으로서, 球狀黑鉛鑄鐵은 CV에 비해서는 7 °C정도 過冷되며, 片狀에 비해서는 16 °C정도 過冷됨을 알 수 있다. 이와같이 과냉도 (ΔT)가 커질수록 응고핵 발생에 대해 과포화 상태가 되어 서로 中心部와 表面部가 거의 동시에 응고를 개시 할 수 있게 된다. 이렇게 되어 中心部와 表面部の 共晶凝固 開始時間의 차이 t_1 이 짧아지게 된다.

또 共晶凝固 完了까지의 時間의 차이는 응고 과정 중에 방출되는 응고잠열의 제거 방식에 있어서의 차이에 의해 생긴다. 즉 Skirttype의 응고에 있어서는 응고잠열은 표면응고층을 통해 제거 되지만, Mushy type의 응고時에는 晶出된 고체와 아직 응고되지 않은 용융금속을 통해 응고잠열이 外部로 전도되어 제거되게 된다. 一般的으로 액상의 열전도율은 고체 상태의 경우 보다 작아서, Mushy type인 경우 응고잠열의 제거는 어려워지게 된다.

球狀, CV, 片狀黑鉛鑄鐵의 응고진행 상태를 생각

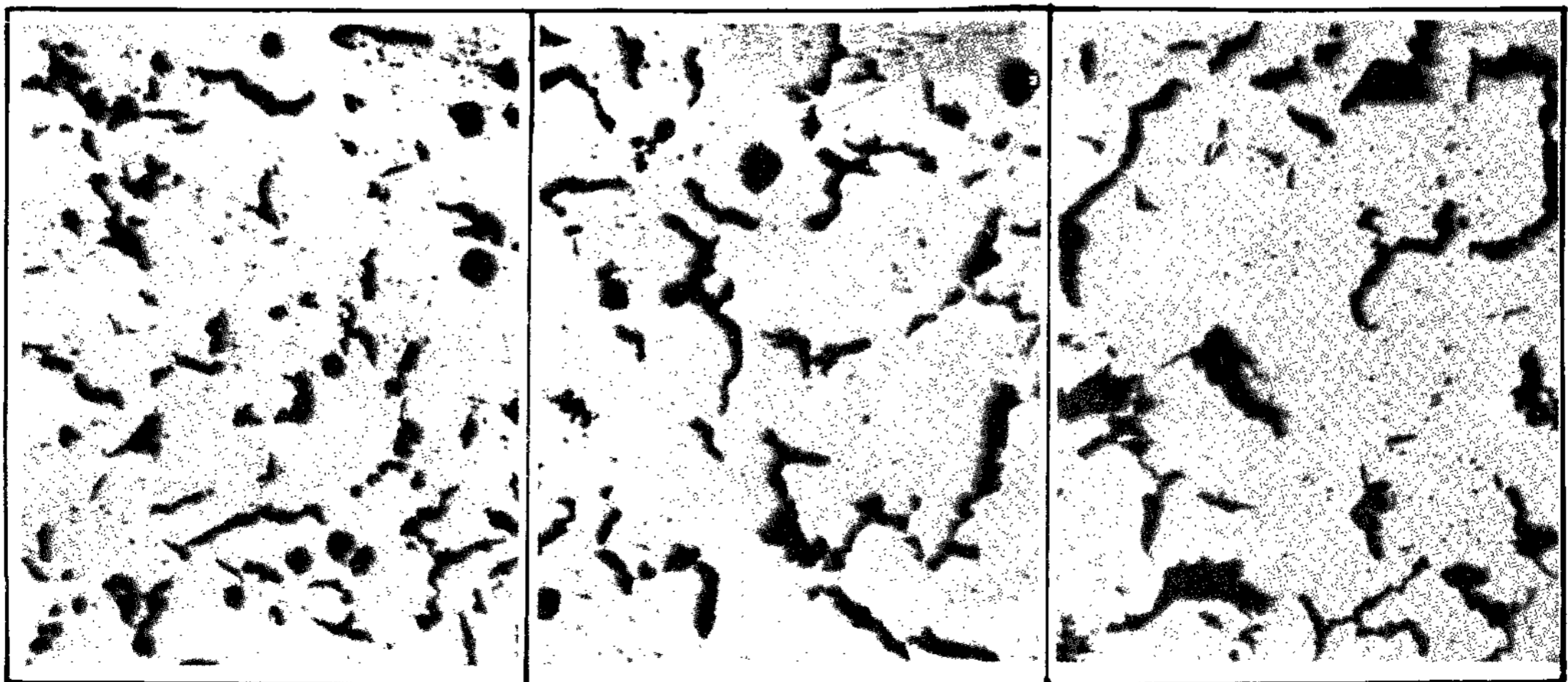
할때 球狀쪽으로 갈수록 Mushy의 정도가 매우 커지게 되어, 試料의 表面에서 晶出한 고체 금속의 잠열은 形成된 응고층을 통해 제거 되나, 내부에서의 晶出에 의해 발생하는 응고 잠열은 공존하고 있는 액체상태의 용탕을 통해서 외부로 제거 된다고 생각 할 수 있다. 이상의 것을 고려 할때, 구상흑연주철 쪽으로 갈수록 응고진행은 액상의 열전도율에 지배되며, CV, 편상 쪽으로 갈수록 고체의 열전도율에 지배되는 정도가 커지게 된다. 이와같은 이유에 의해서 共晶凝固完了에 要하는 시간에 있어서의 차이가 발생하는 것으로 생각 된다.

다음의 photo 1. 은 과공정 조성의 CV黑鉛組織을 나타낸다. (a), (b), (c), 는 각각 試料의 中心部인 P點, Q點, 外周部인 R點의 組織이다. 시편의 中心部로 갈수록 공정응고 개시까지 지체하는 시간이 길어져 그동안 fabing이 약간 더 진행되게 되어 中心部の 黑鉛粒의 두께가 표면부의 것에 비해 조금 얇아졌음을 볼수 있다.

3 - 5 冷却速度와 M.D.E. 와의 관계

鑄物의 두께 (Section size)를 변화시켜 冷却速度를 다르게 할경우 冷却速度는 달라지게 된다. Fig 9. 은 직경이 각각 80 mm, 50 mm, 일때 탄소당량에 따른 M.D.E. 값의 변화를 나타낸 것이다.

試料 各部の 冷却曲線으로 부터 얻은 결과에 의하면 50 mm ϕ 인 경우 평균냉각속도는 1.145 (°C/sec)



(a) at P.

(b) at Q.

(c) at R.

Photo 1. Microstructure of CV graphite cast iron at each part of the specimen (P,Q,R). (Hyper-Eutectic composition X 100)

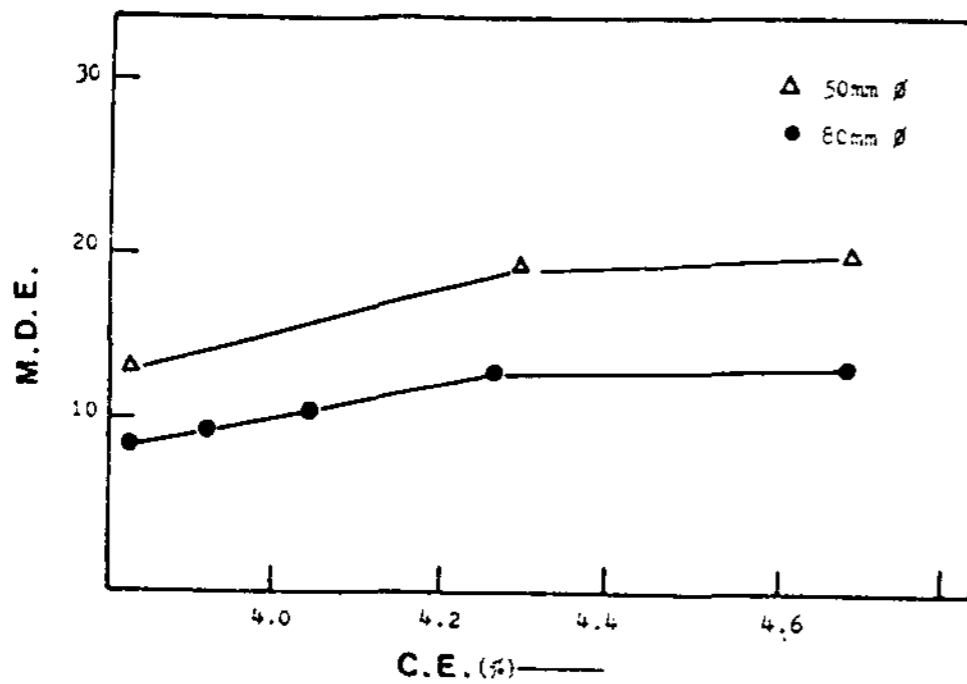


Fig 8. The variation of M.D.E. at different cooling rate of the CV graphite Cast Iron.

이고, 80 mm ϕ 의 경우는 0.748 (°C/sec)이었다. 이와같이 냉각속도가 빨라짐에 따라 M.D.E.도 Fig 9에서와 같이 증가하였다. 이관계는 냉각속도와 과냉의 관계로 부터 알 수 있다. 즉 냉각속도가 커지면 과냉도가 커지게 되고 응고핵 발생에 대해 과포화 상태가 되어, 시료의 표면부와 중심부에서의 응고 개시 시간의 차이 t_i이 짧아지게 되기 때문이다.

4. 結 論

이상의 실험을 통하여 얻어진 결과를 종합하면 다음과 같다.

(1) CV黑鉛鑄鐵의 M.D.E.는 C.E.에 따라 그 변화의 폭이 작고, 球狀黑鉛鑄鐵과 片狀黑鉛鑄鐵의 중간값을 갖는다.

(2) M.D.E.는 C.E.보다는 CV化率에 의해 더 큰 影響을 받는다. 즉 CV化率이 增加할수록 M.D.E.는 작아진다.

(3) 共晶凝固開始에 要하는 時間은 片狀이 가장 길고 CV, 球狀의 순서이며, 共晶凝固開始부터 完了까지 要하는 時間은 球狀이 가장 길고, CV, 片狀의 순서이다.

(4) M.D.E.가 커지면 Mushy凝固의 정도가 커지고 共晶凝固完了까지 要하는 時間도 길어지게 된다.

參 考 文 獻

1. E.R.Evans 등 : AFS Trans. 76 ~ 145(1976)
2. M.J. Lalich, S.J. Lapresta: Foundry M&T, Foote Mineral Co., Sept(1978)
3. Thomas P. Fugiel: Technocopy, Foote Mineral Co., Oct(1980)

4. 康仁燦 : 大韓金屬學會誌, 19, 7(1981). p.588~592
5. P.A. Green, A.J. Thomas 79 ~ 159(1979)p 159 ~ 572
6. Soo-Young Kim: Study on Solidification in the Spheroidal graphite Cast Iron (1972-3)
7. R.A. Flinn: Trans. AFS, 64(1956), 665
8. Soo-Young Kim, Katsutada Koiwai and Takaji Kusakawa, Dr. Eng.: Eutectic Solidification of Sphrnidal Graphite Cast Iron 鑄物 第43卷 第12號(1971) pp.1036-1044
9. Nakamura K. "Theory of Compacted Graphite Iron" Proceedings of meeting for service training, Japan Foundry Center, Sogoimono Center, Feb. 1980, p.51/68.
10. Shimojlma S. "Production of Compacted Graphite iron," No.2, Wie 71), p.85/100
11. Walton, Ch. F. and T.J. Opar, Iron Castings, Hand Book, (Iron Casting Society, USA, 1981), p.145.
12. Morrough H, and W.J. Williams, "The Production of Nodular Graphite Structures in Cast Iron," JISI, 150 (1948)p.306/22.
13. Czikel, J, "Beitrag Zum Problem der Grap-hitkristallisation in Eisen-Kohlentoff-legierungen," Gießerei Tech. Wiss. Beih 1959 Ns.25, p.1385/93.
14. Estes, J.W. and R. Schneidewind, "Now high strength cast Irons produced by Injection Methods," AFS Trans. Vol.63(1955), p.541/52.
15. Schelleng R.D., "Effects of Certain elements on the from of graphite cast iron No. 1,069,058 date of application April 26, 1966 USA application No. 453, 223 on May 4, 1965.
16. Lalich, M.J., "Compacted graphite Cast Iron. Its properties and production with a new alloy," Mod. Cast. 66 (1976) No. 7, July, p. 50/52.
17. Lies, P.C., C.R. Loper Jr., T. Kimura H. K Park. "observations on the graphite mophology in cast iron." AFS Trans. 88(1980), Paper 80-41 also Gie erei Prexis 1981, No.

13/14. pp.229/44.

18. Loper, C.R. Jr., M.J. Lalich, H.K. Park and A.M. Gyarmaty, "Microstructure - mechanical property relationship in compacted/vermicular graphite cast irons," 46 Int. Foundry Congress, Madrid (1979) Paper; 35, 20 pages

19. "CG Alloy." Technical data bulletin 243 Foote Mineral Co., Ferroalloys Div., Exton Pa., USA, 4 pages also Techniques Datenblatt 243-A, CG-Legierung Chemex Informations dienst, 8 pages

20. Evans, E.R. and M.J. Lalich. "Compacted graphite cast irons and their productions by a single alloy addition Int. Cart. Met. J.1(1976) No.2, p.13/18-also AFS Trans 84(1976) p.215/20.

21. 權赫茂 : 共晶型合金의 凝固特性에 관한 研究 (1983)

22. 李啓完 : 鑄造工學

23. 金水泳 : 金屬材料學 (문운당)

24. CV鑄鐵의 新製造法 : 提信 * 今朴正人 **
* 早稱田大學 鑄物研究所 . ** 早稱田大學工學部 金屬臨時增刊號 1982/2

25. いま CV 鑄鐵 期待 するてと : 井川 克也. 大出卓 東北大學工學部 金屬加工學科 金屬 第52卷 6號 (1982)

26. 笹原, 野口, 大野, 村松 : 日本鑄物協會 第101回 講演 概要集, 1981, 38.