

技術資料

# 球狀黑鉛鑄鐵

金福錫

Ductile Cast Iron

B.S. Kim

## 1. 緒 言

最近 國內 자동차 生産台數의 급격한 增加에 따라 自動車 鑄物品도 많이 所要하게 되었으며 自動車會社의 自體鑄物 製造시설로는 그 수요를 全량 充當할 수 없기 國內 一般 主물업체에서도 자동차 鑄物을 生産하기 始했다. 승용차 한대중 鑄鐵 鑄物部品은 車輪重量의 約 10%를 차지하고 있으며 이중 球狀黑鉛鑄鐵品은 約 30%에 달한다. 球狀黑鉛鑄鐵은 車輪부품중에서도 브레이크, 액슬등 高强度를 要하는 部品에 사용되며 지금까지는 所要量도 적었고 特히 保安部品으로 그 기능이 重要하여 大部分 輸入에 의존해 왔다.

그러나 最近 國內에서 自動車産業을 輸出 全력화함으로써 比약적인 生産량 增加와 더불어 對外 수출 경쟁력을 높이기위해 여러 部品の 國산화가 활발히 進行중에 있으며 이에 球狀黑鉛鑄鐵品도 많은 관심속에 國産化가 되고 있는바 여기서는 自動車用 球狀黑鉛鑄鐵品의 概괄적인 現狀만을 기술하고자 한다.

## 2. 化學成分 및 組織

鑄鐵은 工業적으로 가장 많이 사용되는 金屬재료의 하나이지만 强度가 낮고 耐衝擊性이 나쁜 缺點때문에 그 용도가 제한되어 왔다. 이러한 缺點을 개선하기 위해 鑄鐵中에 있는 黑鉛의 形態을 片狀으로 부터 球狀으로 바꾸어 強靱한 性質을 갖게 한 것이 球狀黑鉛鑄鐵이다.

1948년 미국의 Gagnebin에 의해 Mg를 利用한 球狀黑鉛鑄鐵을 製造한 데서 비롯되었다.

黑鉛이 球狀化하는 그 機構에 對한 것은 여러 學說이 있지만 (核說, 過冷說, 吸着說, 轉位說, 表面에너지說등) gas가 많은 液相中에 있는 氣泡에 黑鉛이 析出하여 球狀을 만드는 基理가 가장 有力하다고 하나 아직 그 定說은 없는 실정이다.

球狀黑鉛鑄鐵의 化學成分은 普通회주철의 成分과 比較하면 C, Si가 높고 P나 S가 낮은게 특징이다. 炭素飽和度(S<sub>c</sub>)가 1보다 크고 過共晶成分에서 球狀화가 용이하게 된다.

炭素當量(CE)이 (TC + Si/3) > 4.5가 되면 응고 과정에서 遊離炭素가 晶出하여 鑄物의 結晶원인이 되며 (TC + Si/3) < 3.9일 경우에는 수축이 발생되기 쉽다. Si는 2.8% 이상이 되면 특히 -40℃에서 충격치가 떨어지고 Si가 너무 낮으면 얇은 주물 부위에 炭化物이 발생되어 취약한 재질을 만든다.

Mn이나 P는 표준成分 범위내에서는 흑연의 球狀化에 대해서는 거의 영향은 없고 Mn成分이 높을수록 경도가 높으나 제품내부에 수축결함이 발생되기 쉽다. S는 Mg의 球狀化 효과를 阻害하므로 가능한 적은것이 좋다. 일반적으로 球狀化 처리후의 熔湯中の 잔류Mg含有量은 0.04~0.01%가 좋고 0.05%를 초과하면 pin hole의 發生경향이 있다.

球狀黑鉛鑄鐵의 組織은 흑연이 球狀을 이루고 있는 것이 特徵으로서 흑연의 주위에 ferrite가 둘러 싸여 있는것이 보통이며 이 흑연의 크기에 따라, matrix의 구성에 따라 GCD 40부터 GCD 80까지 强度를 구별하는 材質의 기준이 된다. 일반적으로 자동차 부품중 GCD60種인 crank shaft는 95%以上이 pearlite 基地이며 differential case나 wheel hub는 GCD45種으로서 ferrite가 60%以上이다. 종전에는 GCD 40이나 GCD 70은 matrix를 all ferrite나, all

표 1. 球狀黑點鉛鑄鐵의 標準化學 組成

種 類	化 學 組 成 %					Sc	CE
	C	Si	Mn	P	S		
GCD 40	3.50 ~ 4.00	2.00 ~ 2.70	0.30 ~ 0.50	< 0.05	< 0.02	1.05 ~ 1.18	4.10 ~ 4.70
GCD 45	3.50 ~ 4.00	2.00 ~ 2.70	0.30 ~ 0.60	< 0.06	< 0.02	1.05 ~ 1.18	4.10 ~ 4.70
GCD 50	3.50 ~ 4.00	2.00 ~ 2.50	0.40 ~ 0.70	< 0.06	< 0.02	1.05 ~ 1.16	4.10 ~ 4.70
GCD 60	3.50 ~ 4.00	2.00 ~ 2.50	0.50 ~ 0.90	< 0.06	< 0.02	1.05 ~ 1.16	4.10 ~ 4.70
GCD 70	3.50 ~ 4.00	2.00 ~ 2.50	0.50 ~ 0.90	< 0.06	< 0.02	1.05 ~ 1.16	4.10 ~ 4.70

pearlite 化 하기 위해 열처리를 실시하였으나 最近에 는 鑄造기술의 발달로 거의 열처리를 하지 않고 鑄造 상태에서 生産하고 있다.

그림 1은 1986年 개정된 日本공업규격의 球狀黑點鉛鑄鐵 組織의 分類圖이다.

는 달리 열처리를 하지 않는 利點이 있으며 切削加工性 이나 靱性이 鑄鋼보다 良好하고, 基地組織을 調整함 에 의하여 工業적으로 要求하는 鑄鐵의 材質에 對處 할 수 있는 特性을 가져 가장 優秀한 材料로서 各광을 받고 있다.

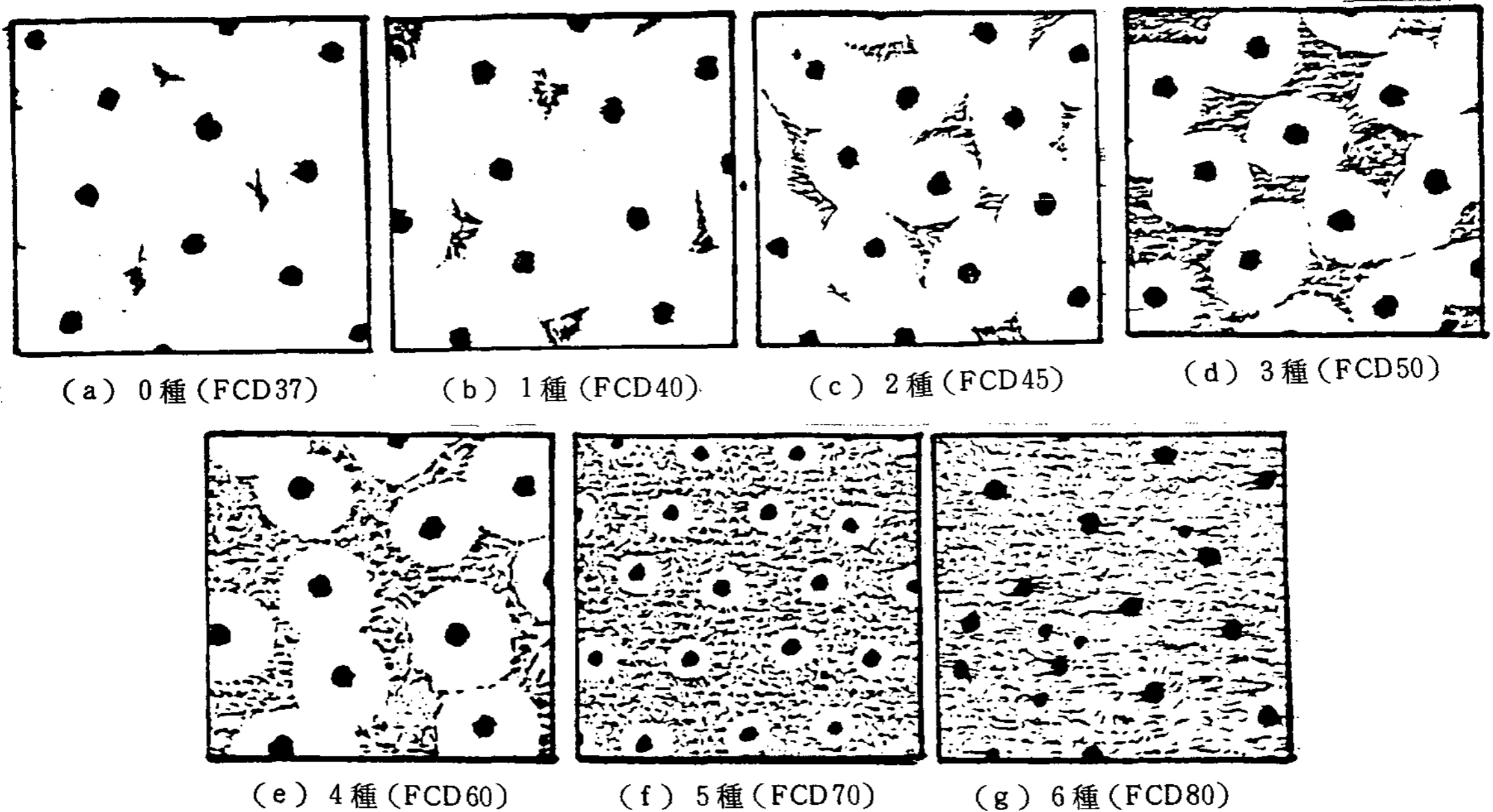


그림 1 球狀黑點鉛鑄鐵 組織 分類圖 ( JIS G 5502 )

### 3. 機械的 性質

구상흑연주철의 기계적 성질은 간단히 다른 鐵鋼鑄物과 비교하여 引張強度와 抗복강도는 普通鑄鋼, 灰鑄鐵 및 加단주철보다 優秀하다. 이러한 點에서 같은 鑄鐵일지라도 灰鑄鐵과는 전혀 다른 強靱한 特性을 가지고 있다. 鑄造性에서는 鑄鋼보다 양호하고 加단주철과

球狀黑點鉛鑄鐵과 다른 鐵系材料와의 기계적 성질을 비교하면 표 2와 같다.

### 4. 用 途

球狀黑點鉛鑄鐵은 그 優秀한 기계적 성질에 의하여 産業 및 工業用의 構造用部品으로서 重要한 地位를 차지하

표 2. 球狀黑鉛鑄鐵과 기타 鐵系材料的 機械的 性質의 比較

材 料	最小引張 強 度 ( kgf/ mm <sup>2</sup> )	最 小 延 伸 率 ( % )	最 小 0.2%항 복 강 도 ( kgf/ mm <sup>2</sup> )	衝 擊 值 ( J )
球狀黑鉛鑄鐵				
pearlite 系	60	3	37	-
열처리한 pearlite 系	70	2	42	-
pearlite-ferrite 系	50	7	32	-
ferrite 系	40	12	25	-
高耐衝擊性 ferrite 系	37	17	23	13
片狀黑鉛鑄鐵				
高強度 pearlite 系	28-39	-	-	-
可鍛鑄鐵				
pearlite 系	45-57	3-7	25-40	-
ferrite 系	29-35	6-12	17-19	11
鋼				
鑄鋼	45	22	22	34
構造用鋼	45	16-20	23	41

고 있다. 日本의 경우 産業別 統計를 보면, 球狀黑鉛鑄鐵이 가장 많이 쓰이는 제품이 上下水道用 鑄鐵管으로서 全體 生産量의 약 53%를 차지하고 있으며 그 다음으로 自動車 部品으로 28%를 차지하여 自動車産業의 成長은 球狀黑鉛鑄鐵 生産量을 증가시키는 重要한 역할을 하고 있다.

표 3는 최근 5년간 日本에서 産業別로 구상흑연주철 品の 生産量을 나타내며 1980 년도에 自動車用으로 使

用된 球狀黑鉛鑄鐵은 약 426,000 ton 으로 全生産量의 90%를 차지하고 있다.

표 3. 鑄鐵管을 除外한 球狀黑鉛鑄鐵品の 生産量 (ton)  
(日本 通商省자료)

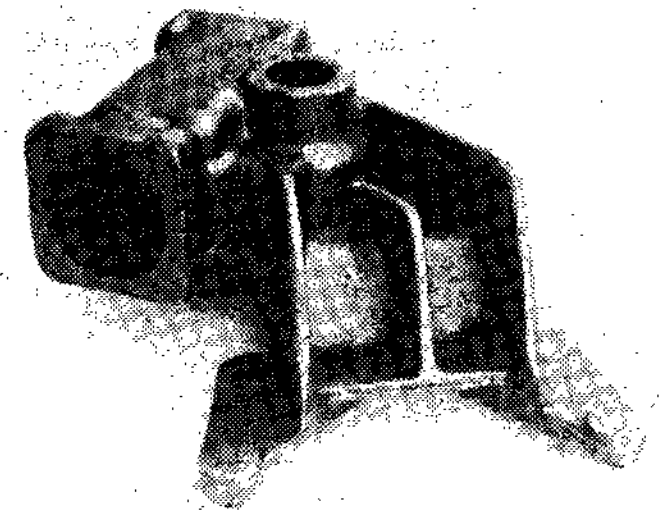
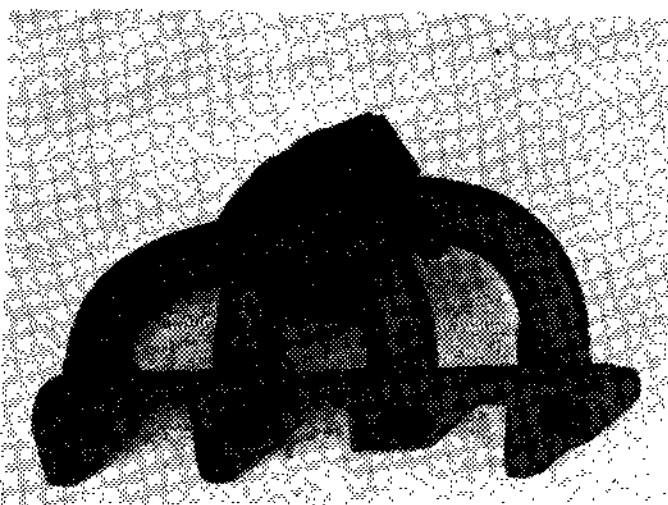
需要 部 問 年	農機具 ・漁具 用	電氣機器 ・通信機 器 用	自 動 車 用	産業車 兩・自 轉車用	鐵道用	港灣・ 船舶用	目 用 品 用
1960	7184	2071	3 2257	2057	1116	1 8388	-
1965	9324	2855	6 4718	1351	1191	2 1153	-
1970	2640	3563	8 8454	4123	-	8633	239
1975	5255	3281	18 6075	8110	-	1 2042	296
1980	9620	9687	42 5902	2 0766	-	5414	-

자동차용으로 사용되는 구상흑연주철품의 예를 나타 내면 표 4와 같다.

### 5. 開發現況

現在 自動車部品으로서 球狀黑鉛鑄鐵品이 國産化된 것은 약 70종류이며 이중 50餘品目은 양산중인 것으로 알려지고 있다. 部品中 같은 역할을 하면서도 차량 종류, 모델에 따라 鑄物品도 모양이 다르므로 尙後 차량의 모델이 변경되면 그에 따라 鑄物品도 새로 開發되어야 할 것이다. 그러나 자동차 部品中 가장 重要한 브레이크 부품은 최근에 양산이 시작되었으므로 球狀黑鉛鑄鐵品으로서는 거의 國産化가 다 이루어 졌다고 해도 과언이 아닐 것이다. 더욱이 현재 國內 鑄物工場에서 양산되고 있는 제품중 그 일부는 미국이나 일본에까지 수출되고 있다.

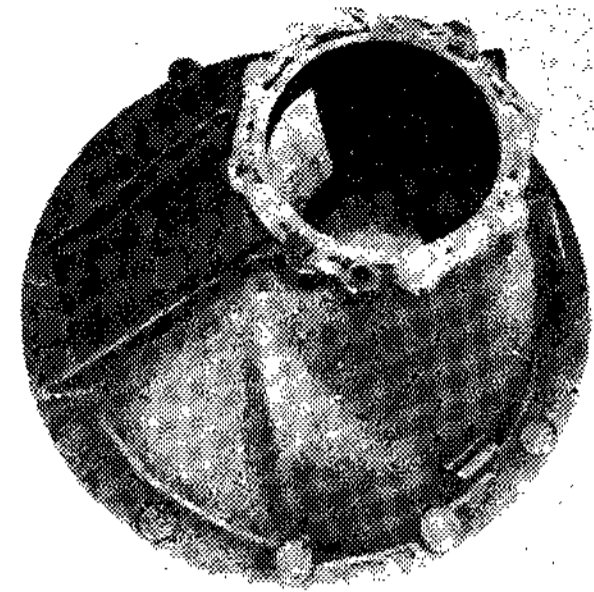
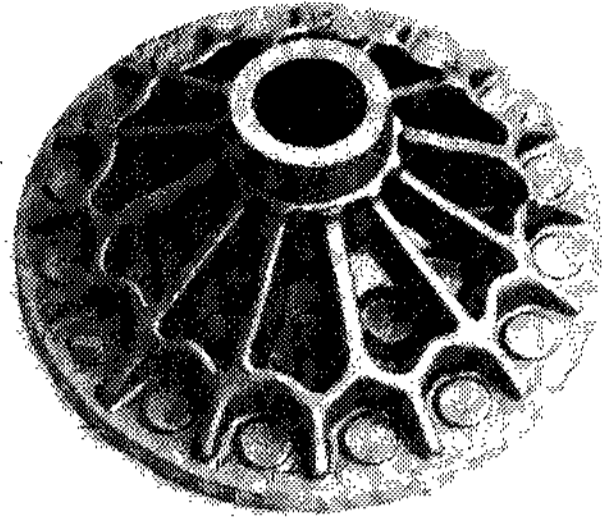
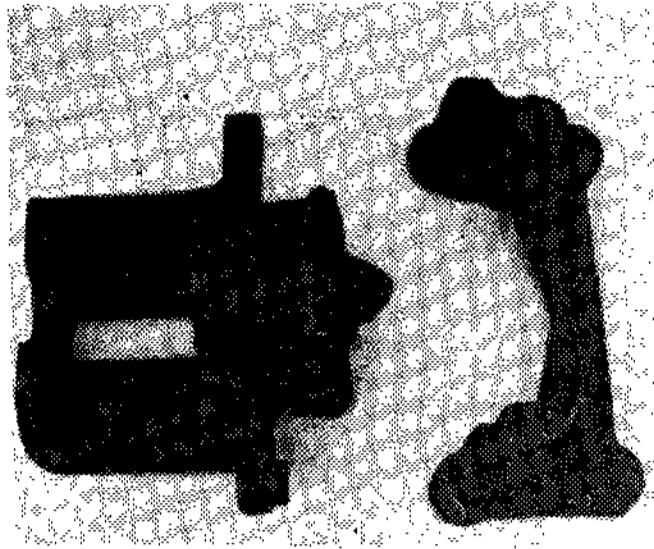
현재 수출되고 있는 부품의 예를 열거하면 그림 2와 같다.



품 명	EX-MANIFOLD
재 질	GCD 45
단중(kg)	5.6
용 도	승용차用

품 명	STEERING GEAR KNUCKLE
재 질	GCD 40
단중(kg)	4.8
용 도	Truck 用

품 명	STEERING GEAR BOX
재 질	GCD 40
단중(kg)	7.7
용 도	Truck 用



품 명	CALIPER
재 질	GCD-50
단중(kg)	3.2
용 도	승용차用

품 명	DIFFERENTIAL CARRIER
재 질	GCD - 48
단중(kg)	50.0
용 도	Truck 및 Bus 用

품 명	DIFFERENTIAL CASE(A)
재 질	GCD - 48
단중(kg)	33.2
용 도	Truck 및 bus 用

그림 2. 수출용 구상흑연주철품 예.

6. 規 格

球狀黑鉛鑄鐵의 規格은 各 國家別로는 비슷하지만 현재 우리나라에서는 美國이나 日本 輸出品이 많기 때문에 ASTM이나 JIS를 주로 많이 적용하고 있다. 한국 工業標準規格(KS)는 1986년 개정되었으며 그 내용이 JIS와 同一하므로 JIS (D5302, FCD)의 규격은 생략하고 각국 球狀黑鉛鑄鐵品의 규격을 표 5에서 표 11까지 표시한다.

7. 向後展望 및 結言

球狀黑鉛鑄鐵은 그 우수한 機械的 性質로 단조나 주강등으로부터 많은 材質 代체가 이루어 질것이 확실하며 특히 自動車産業의 발전에 맞추어 그 수요가 增加할 것으로 예상된다.

승용차 1대에 소요되는 球狀黑鉛鑄鐵品이 약 30kg

로 간주할 경우 연간 200만대 자동차 생산은 연간 6만 ton의 球狀黑鉛鑄鐵品이 所要될 것이다. 그러나 자동차는 人間이 타고 高速으로 달리는 기계이므로 외관상 보기좋은 제품이 만개중에 한개라도 球狀化 不良이 있다면, 人間の 生命을 빼앗는 사고도 發生될 수 있는 만큼 절대적으로 完全무결을 要하는 保安部品임을 명심하여야 한다.

따라서 이제 우리鑄物業界가 이러한 高強度의 高級鑄物을 누구나 쉽게 만들기 위해서는 品質保證을 위한 제도적인 努力을 경주하여 品質에 對한 客觀적인 신뢰성을 얻어야 할 때라고 판단되며 특히 난로, 솔이나 가스버너 테이블등 一般 灰鑄鐵만 한국에서 購入하던 美國이나 日本 선진국들이 우리의 自動車用 球狀黑鉛鑄鐵部品를 구입하기 시작하였다는 것은 自動車産業과 아울러 우리鑄物業界도 한단계 發展할 수 있는 계기가 될 것으로 생각된다.

표 5. 구상흑연주철품 한국(KS 'D 4302) 규격

종 류	기 호	인 장 시 험		연 신 율 %
		항 복 강 도 kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	인 장 강 도 kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	
0 종	GCD 37	24 이상 (235 이상)	37 이상 (362 이상)	17 이상
1 종	GCD 40	26 이상 (255 이상)	40 이상 (392 이상)	12 이상
2 종	GCD 45	30 이상 (294 이상)	45 이상 (441 이상)	10 이상
3 종	GCD 50	35 이상 (343 이상)	50 이상 (490 이상)	7 이상
4 종	GCD 60	40 이상 (392 이상)	60 이상 (588 이상)	3 이상
5 종	GCD 70	45 이상 (441 이상)	70 이상 (686 이상)	2 이상
6 종	GCD 80	49 이상 (480 이상)	80 이상 (784 이상)	2 이상

표 4. 자동차용 구상흑연주철품의 예

품명	재질	단 중(kg)	용도
DIFF GEAR CASE	GCD 45	5.1	Truck 用
GEAR BOX COVER(SIDE)	GCD 40	1.1	"
BRAKE SHOE	GCD 45	7.0	"
STEERING KNUCKLE	GCD 60	3.5	승용차用
DIFF'GEAR CASE	GCD 45	4.0	"
GERES KNUCKLE	GCD 40	4.8	Truck 用
DISC BRAKE HUB(FRONT)	GCD 48	3.2	승용차用
WHEEL HUB	GCD 45	10.5	Fork Lift 用
DIFF'GEAR CASE	GCD 45	3.8	6 Ton Truck 用
DIFF'GEAR CASE	GCD 45	4.2	2.5 Ton Truck 用
DIFF'GEAR CASE	GCD 45	8.5	2.5 Ton Truck 用
BEARING CAP	GCD 45	1.0	2.5 Ton Truck 用
GEAR BOX COVER(END)	GCD 40	0.9	Truck 用
DIFF'CARRIER CASE	GCD 48	50.0	Truck, Bus 用
DIFF'GEAR CASE (A)	GCD 48	33.2	"
DIFF'GEAR CASE (B)	GCD 48	12.5	"
BEARING CASE	GCD 45	2.4	1.4 Ton Truck 用
DIFF'GEAR CASE	GCD 45	3.2	Truck 用
DIFF'GEAR CASE	GCD 45	5.0	"
DIFF'GEAR CASE	GCD 45	7.3	"
FRONT WHEEL HUB	GCD 50	22.5	"
FRONT WHEEL HUB	GCD 50	12.2	3 Ton Truck 用
REAR WHEEL HUB	GCD 50	25.2	Truck
REAR WHEEL HUB	GCD 50	12.0	3 Ton Truck 用
STEERING GEAR BOX	GCD 40	3.0	승용차用
STEERING GEAR BOX	GCD 40	5.1	Truck 用
STEERING GEAR BOX	GCD 40	7.7	"
GEAR BOX COVER(TOP)	GCD 40	0.9	"
BEARING CAP	GCD 45	3.6	"
DIFF' CARRIER CASE	GCD 45	13.0	"
DIFF' CARRIER CASE	GCD 45	19.5	승용차用
STEERING GEAR BOX	GCD 40	2.8	"
GEAR BOX	GCD 45	3.9	Jeep 차用
ADJUST NUT	GCD 45	1.6	8 Ton Truck 用
WHEEL HUB	GCD 45	20.0	Truck 用
BEARING CAGE	GCD 45	4.4	8 Ton Truck 用
CALIPER	GCD 50	3.2	승용차用
EX-MAINFOLD	GCD 45	5.6	"
FLY WHEEL	GCD 50	9.2	"
POWER DIVIDE CASE	GCD 45	19.5	Truck 用
BRAKE SPIDER	GCD 55	3.5	"
CAGE (쌍용)	GCD 45	5.7	"
TOKYU HUB (A)	GCD 45	26.3	"
TOKYU HUB (B)	GCD 45	29.7	"
CRANK SHAFT	GCD 60	13.0	승용차用
CONNECTING ROD	GCD 45	4.0	"
GEAR SHIET FORK	GCD 60	0.85	Truck 用
GEAR SHIFT FORK	GCD 60	1.15	"
HUB DRUM(REAR)	GCD 40	5.0	승용차用
HUB DRUM(REAR)	GCD 40	6.1	"
CATALYST CASE (A)	GCD 50	2.8	"
CATALYST CASE (B)	GCD 50	3.3	"

표 6. 구상흑연주철품 국제표준화기구 (ISO 1083-1976) 규격

등급	인장강도 (이상)		항복강도(이상) (영구연신율 0.2%)		연신율 (이상)	충격치 (이상)						경도	조직
	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>		%	평균값 (3시험)			하나의 값			
					J		kgfm	ftlbf	J	kgfm	ftlbf	HB	
800-2	800	81.6	480	48.9	2	-	-	-	-	-	-	248-352	Pearlite or Tem- pered structure  Pearlite  Pearlite & Ferrite  Ferrite & pearlite  Ferrite  Ferrite
700-2	700	71.4	420	42.8	2	-	-	-	-	-	-	229-332	
600-3	600	61.2	370	37.7	3	-	-	-	-	-	-	193-289	
500-7	500	51.0	320	32.6	7	-	-	-	-	-	-	170-241	
400-12	400	40.8	260	25.5	12	-	-	-	-	-	-	≤ 201	
300-17	370	37.7	230	23.5	17	13	1.3	9.6	11	1.1	8.1	≤ 179	

표 7. 구상흑연주철품 미국 (ASTM A 536-72:1972) 규격

등급	인장강도 (이상)			항복강도 (이상) (영구연신율 0.2% 기준)			연신율 (이상)
	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	lbf/in <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	lbf/in <sup>2</sup>	
60-40-18	414	42.2	60,000	276	28.1	40,000	18
65-45-12	448	45.7	65,000	310	31.6	45,000	12
80-55-06	552	56.2	80,000	379	38.7	55,000	6
100-70-03	689	70.3	100,000	483	40.2	70,000	3
120-00-02	827	84.4	120,000	621	63.3	90,000	2
*(80-60-03)	552	56.2	80,000	414	42.2	60,000	3

\* 널리 사용되고 있으나 표준화되지 않은 등급

표 8. 구상흑연주철품 미국 (SAE J 434 b\*) (자동차 구상흑연 주철주물 : 1970) 규격

등급	인장강도 (이상)			항복강도 (이상) (영구연신율 0.2% 기준)			연신율 (이상)	경도	조직
	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	lbf/in <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	lbf/in <sup>2</sup>			
D 4018	414	42.2	60,000	276	28.1	40,000	18	170이하	Ferrite Ferrite & Pearlite  Ferrite & Pearlite Marterite
D 4512	448	45.7	65,000	310	31.6	45,000	12	156-217	
D 5506	552	56.2	80,000	379	38.7	55,000	6	187-255	
D 7003	689	70.3	100,000	483	49.2	70,000	3	241-302	
DQST*	-	-	-	-	-	-	-	-	

※ 소입과 소려를 한 등급

표 9. 구상흑연주철품 영국 (BS 2789-1973) 규격

등급	인장강도 (이상)		항복강도 0.2%		연신율 (이상) %	충격치 (이상)						경도 HB	조직
	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>		평균값 (3시험)			하나의 값				
						J	kgfm	ftlbf	J	kgfm	ftlbf		
370-17	370	37.7	230	23.6	17	(V)13.0 (U)15.0	1.3	9.6	12.0	1.2	8.9	≤ 170	Ferrite
420-12	420	42.8	250	25.5	12	-	-	-	-	-	-	≤ 201	Ferrite
500-7	500	51.0	310	31.6	7	-	-	-	-	-	-	170-241	Pearlite & Ferrite
600-3	600	61.2	350	35.7	3	-	-	-	-	-	-	192-269	Pearlite & Ferrite
700-2	700	71.4	400	40.8	2	-	-	-	-	-	-	229-302	Pearlite
800-2	800	81.6	460	46.9	2	-	-	-	-	-	-	248-352	Pearlite

표 10. 구상흑연주철품 서독 (DIN 1693-1973) 규격

등급	인장강도 (이상)		항복강도 0.2%		연신율 (이상) %	충격치 (이상)						경도 HB	조직
	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>		평균값 (3시험)			하나의 값				
						J	kgfm	ft lbf	J	kgfm	ft lbf		
GGG-40	400	40.8	250	36.6	16	-	-	-	-	-	-	120-180	Ferrite
GGG-50	500	51.0	320	32.6	7	-	-	-	-	-	-	160-240	Ferrite & Pearlite
GGG-60	600	61.2	380	38.7	3	-	-	-	-	-	-	175-200	Ferrite & Pearlite
GGG-70	700	71.4	440	44.0	2	-	-	-	-	-	-	210-320	Pearlite
GGG-80	800	81.6	500	51.0	2	-	-	-	-	-	-	230-380	Pearlite
GGG-36.3	350	35.7	220	22.4	22	19	1.9	14.0	17	1.7	12.5	-	-
						*14	*1.4	*10.3	*11	*1.1	*8.1	-	-
GGG-40.3	400	40.8	250	25.5	18	16	1.6	11.8	14	1.4	10.3	-	-
						+14	+1.4	+10.3	+11	+1.1	+8.1	-	-

+ (-20°C)에서, \* (-40°C)에서 적용한 값

표 11. 구상흑연주철품 프랑스 (NF A 32-201:1976) 규격

등급	인장강도(이상)		항복강도(이상) 0.2%		연신율 (이상) %	경도 HB	조직
	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>			
FGS 370-17*	370	37.7	230	23.5	17	≤ 179	Ferrite
FGS 400-12	400	40.8	250	25.5	12	≤ 201	Ferrite
FGS 500-7	500	51.0	320	32.6	7	170-241	Ferrite & pearlite
FGS 600-3	600	61.2	370	37.7	3	192-269	Pearlite
FGS 700-2	700	71.4	420	42.8	2	229-302	Pearlite
FGS 800-2	800	81.6	480	48.9	2	248-352	Pearlite or temper structure

\* 이 등급은 양호한 충격값이 요구된 때만 적용한다.