

## 鑄鐵의 材質에 미치는 각종 Steel scrap의 영향

金泓範<sup>\*</sup> · 平塚真人<sup>\*\*</sup> · 韓龍男 · 郭熙煥 · 李鍾文 · <sup>†</sup>金昌圭

<sup>\*</sup>釜山工業高等學校 金屬科, <sup>\*\*</sup>岩手大學校 材料物性工學科, 釜慶大學校 材料工學部

### Effect of Various Steel Scrap on the Microstructures and Mechanical Properties of Ductile Cast Iron

Hong-Bum Kim<sup>\*</sup>, Sadato Hiratsuka<sup>\*\*</sup>, Yong-Nam Han, Hee-Hwan Kwak, Jong-Moon Lee and <sup>†</sup>Chang-Gue Kim

<sup>\*</sup>Pusan Technical High School, <sup>\*\*</sup>Iwate University, Pukyong National University

#### 요 약

Zn을 많이 함유하는 鋼scrap(자동차용강판, Zn표면처리강판 등)을 이용하여 구상흑연주철을 제조한 경우 구상화가 제대로 이루어지지 않았다. Sb를 많이 함유하는 鋼scrap을 이용하여 구상흑연주철을 제조한 경우에는 기지 중의 퍼일라이트량이 증가하였다. 퍼일라이트량이 증가하면 인장강도 및 경도는 증가하지만 연신율은 감소하였다. Mn, Cr을 많이 함유한 鋼scrap(기계구조용강판, 가단주철)을 이용하여 구상흑연주철을 제조한 경우에는 퍼일라이트량이 증가하였으며, 인장강도 및 경도도 증가하였다.

주제어 : 구상흑연주철, 鋼scrap, 자동차용강판, 표면처리강판

#### ABSTRACT

The effect of different kinds of steel scraps, the raw material in the manufacturing of nodular cast iron, on the microstructures and mechanical properties has been investigated. Different grades were produced by changing the steel scraps. When nodular graphite cast iron was produced by using Zn rich steel scrap, such as galvanized steel sheet and auto body sheet, mechanical properties were deteriorated due to the decomposition of graphite, so close control must be maintained over this element. Tensile strength and hardness of nodular graphite cast iron which were manufactured by using Sb rich steel scrap were increased while elongation was decreased due to the increased amounts of pearlite within matrix. Mn and Cr contents in the structural steel sheet scrap or malleable iron scrap increased tensile strength and hardness of nodular graphite cast iron by facilitating the formation of pearlite.

Key words : Nodular graphite cast iron, steel scrap, auto body steel sheet, galvanized steel sheet.

#### 1. 서 론

최근 주철 용해 시에 사용되고 있는 鋼scrap의 강제종류가 다양화됨에 따라 주철 제조시 여러 가지 문제를 일으키기 쉬운 원소(Zn, Pb, Al, Cr, Mn 등)를 함유하는 경향이 점점 더 커지고 있다.

최근의 고품질, 고성능의 주철주물 제조의 요구에 부응하여 제조 시에 사용되는 원재료의 성분에 관심을 가

질 필요가 있다. 본 연구에서는 제조업체에서 실제로 사용되고 있는 여러 가지 鋼scrap을 이용하여 FCD45 정도의 구상흑연주철을 제조하고 이 구상흑연주철의 조직과 기계적 성질에 미치는 鋼scrap의 영향을 조사하는 데 목적을 두었다.

#### 2. 실험방법

##### 2.1. 용해에 사용한 鋼 scrap

본 실험에 사용한 6종류의 鋼scrap의 화학조성을

<sup>\*</sup> 1999년 7월 5일 접수, 1999년 11월 4일 수리

<sup>†</sup> E-mail: metgyu@pnc. PKNU ac.kr

Table 1. Chemical composition of steel scrap

(wt %)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Sn	Sb	Ti	Al	Pb	Zn
A						0.008	0.019	0.017	0.006			0.018	0.023	0.003	0.635
B	0.414	0.08	0.22	0.026	0.008	0.020	0.059	0.030		0.001		0.001			
C	0.01	0.01	0.14	0.009	0.007										42-56 $\mu/\text{mm}^2$
D						0.01	0.04	0.014	0.005		0.025	0.001 max	0.275	0.002	0.001
E	0.23	0.19	0.34	0.019	0.008	0.01	0.11	0.02							
F						0.05 max	0.031	0.017	0.005 max			0.002	0.023	0.01 max	0.005 max

A Auto body steel sheet, B. Surface treated steel sheet, C: Galvanized steel sheet. D Electrical steel sheet, E Steel for machine structure, F: malicabel iron Scrap

Table 1에 표시하였다. 각종 鋼scrap의 특징을 열거하면 아래와 같다.

Scrap A와 scrap B 그리고 scrap C는 산화를 방지하기 위하여 Zn, Sn, Cr 등이 도금된 강판이며, scrap D는 전기제품 등에 사용되고 있는 강판이다. 전기저항을 높일 목적으로 Al을 함유하고 있었다. 이들은 고속으로 회전하는 hammer로서 잘게 파쇄한 상태로 사용하였다. 이 scrap들은 대부분 가공공장에서 scrap 처리된 것으로 산화되지 않은 품질이 좋은 상태이었다. scrap E와 scrap F는 산업용기계 등의 구조용으로서 사용되는 재료이며, scrap F에는 다른 scrap들과 달리 Mo, Cr 등의 원소가 함유되어 있었다. 그리고 이들 scrap은 실린더 머신으로 적절한 크기로 절단하여 사용하였다.

## 2.2. 실험순서

鋼 scrap, Fe-75.5wt%Si[이하 wt를 생략], Fe-75.5% Mn, Fe-26.5%P, Fe-50.5%S에 가탄제를 첨가하여 3 kHz, 12 kW의 고주파 유도로(알루미늄 라이닝한 10번 흑연도가니 사용)로 용해하였다.

1회 용해량은 6kg으로 하고 조성은 C 3.6%, Mn 0.2%, P 0.03%, S 0.01%를 기본으로 하고, Si의 함량은 2.2%, 2.6% 그리고 3.0%의 세 종류로 변화시켰다. 용탕온도 1803K에서 Fe-45.58%Si-6.53% Mg-0.19% Ca-0.76%Al합금을 첨가제로 사용하여 샌드위치법에 의해 구상화 처리를 한 후 1723K에서 Fe-75.5%Si를 용탕량의 약 0.4%를 투입하여 집중 처리하였다.

집중 후 1673K에서 용탕을 shell형 주형( $\phi 30 \times 150$  mm)과 성분분석용 주형에 각각 주입하여 인장시험용시편과 성분분석용시편을 제조하였다.

성분 분석은 시마즈(島津)발광분석장치를 이용하였다. 또한 인장시험은 KS B0801 8A 인장시험편으로 가공한 후 萬能試驗機를 이용하여 인장속도 2 mm/min으로 시험하였다.

경도시험은 인장시험편의 물림부를 잘라내어 브리넬 경도시험기에 의해 하중은 3000 kg, 유지시간은 30초, 입자는 직경 10 mm의 강구를 이용하여 시험하였다.

또한 이 시료의 중심부의 조직을 광학현미경으로 관찰하고 chill발생이나 흑연형태를 조사하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1. 조성분석

성분분석의 결과를 Table 2에 표시하였다. 전반적으로 鋼scrap에 함유되어 있었던 미량의 원소가 용해 후에도 잔존하고 있었다. 특히 잔존량이 많은 원소를 검은 비탕으로 표시했다. scrap A를 사용하여 용해한 시료에서는 구상화처리, 집중 전 원탕의 Zn함유량은 0.044%인데 반해 구상화처리 후 0.023%까지 감소하여 회수율은 약 50%이었다. 다른 鋼scrap과 비교하면 Zn함유량이 상당히 높았으나 회수율(함유량과 잔류량의 비)은 다른 강종에 비해 낮았다. 이것은 Zn이 O나 S와 결합하여 ZnO나 ZnS로 되어 증발하기 때문에 회수율이 낮은 것으로 생각된다(Zn의 융점은 419.47°C, 비점은 930°C, Mg의 융점은 650°C, 비점은 1107°C이다) 이 scrap A와 scrap C를 용해하는 동안에 하얀 연기가 발생했으나, 다른 鋼scrap의 경우에는 볼 수가 없었다. 따라서 하얀 연기 중에는 Zn이 함유되어 있는 것으로 생각된다.

Table 2. Chemical analysis values

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Zn	Al	Pb	Ti	Sn	Sb	Ni	Mo	Mg	CE
A	3.53	2.62	0.32	0.044	0.008	0.01	0.019	0.023	0.020	0.002	0.015	0.004	0.000	0.009	0.002	0.037	4.351
B	3.66	2.77	0.44	0.087	0.008	0.001	0.060	0.000	0.020	0.002	0.002	0.005	0.000	0.011	0.002	0.043	4.538
C	3.65	2.64	0.32	0.043	0.008	0.02	0.032	0.042	0.021	0.001	0.011	0.006	0.000	0.015	0.004	0.040	4.447
D	3.74	4.08	0.55	0.077	0.007	0.01	0.040	0.000	0.083	0.004	0.003	0.006	0.0020	0.007	0.002	0.052	4.711
E	3.88	2.84	0.53	0.054	0.011	0.01	0.113	0.000	0.023	0.003	0.002	0.006	0.000	0.012	0.002	0.042	4.768
F	3.89	2.88	0.74	0.057	0.014	0.04	0.085	0.000	0.023	0.004	0.003	0.080	0.000	0.025	0.008	0.046	4.780

A: Auto body steel sheet, B: surface treated steel sheet, C: Galvanized steel sheet, D: Electrical steel sheet, E: Steel for machine structure, F: Malleable iron scrap

Scrap B는 Cr이 많이 함유되어 있었다. 용해된 鋼 scrap의 화학조성과 비교하여 보면 Cr의 회수율은 거의 100%에 가깝다. scrap D에는 Al이 다량 함유되어 있었다.

Scrap E에는 Cr이 많이 함유되어 있었다. scrap F에는 Cr, Mn, Sn, Ni이 많이 함유되어 있었다.

### 3.2. 조직관찰

인장시험후의 시료로부터 조직 관찰용 시료를 채취하였다. 대표적인 조직사진을 Photo 1에 나타내었다. Zn 함유 용탕의 경우 잔류 Mg량이 낮고 구상화율도 나빠졌다. 이것은 구상화처리에서의 Mg과 Zn 증기압의 balance로서 Mg의 분압이 커지면 용탕 중의 Mg량이 낮아졌기 때문으로 생각되어진다. 이 때문에 잔류 Mg량도 적고, 구상화율도 저하한다고 사료된다.

Scrap B를 사용한 시료에서는 퍼얼라이트량이 증가하였다. 이것은 Cr, Mn을 많이 함유하기 때문인 것으로 생각된다. Cr은 퍼얼라이트를 안정화시키는 원소로 알려져 있다. scrap D를 사용한 시료에서는 거의 퍼얼라이트기지지였다. 조성분석의 결과 다른 시료에서는 없는 Sb가 함유되어 있었다. 이 Sb은 함유량이 많을수록 퍼얼라이트량이 증가되는 원소인 것으로 알려져 있으므로 그 영향도 있는 것으로 생각된다. scrap F를 사용한 시료에서는 퍼얼라이트량이 많았다. 이것은 Mn이나 Cr의 함유량이 다른 원소에 비해 크게 증가하였기 때문으로 생각된다. 또한 이 시료는 흑연립수도 495/mm<sup>2</sup>로 적어 구상화율도 좋지 않았으며 이는 구상화저해원소로 알려져 있는 Sn의 함유 영향 때문으로 사료된다.

### 3.3. 인장강도와 연신율

각 시료의 탄소당량(CE값)과 인장강도의 관계를

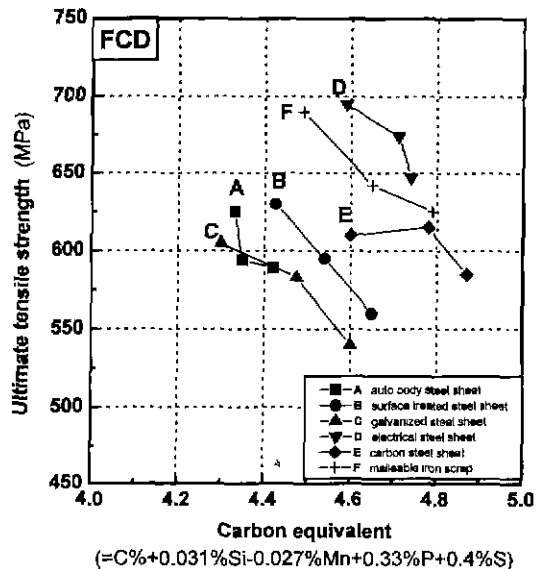


Fig. 1. Relationship of carbon equivalent and ultimate tensile strength.

Fig. 1에, 연신율과의 관계를 Fig. 2에 나타내었다.

인장강도는 탄소당량이 증가하면 감소하는 경향이 있지만 모두 목표인 450 MPa이상의 강도를 나타내었다. 연신율은 인장강도의 관계와는 반대로 전반적으로 탄소당량이 증가함과 동시에 증가하는 경향을 나타냈다. 일반적으로 기지조직에 페라이트가 많이 석출되면 연신율은 증가하고 퍼얼라이트가 많이 석출되면 연신율이 낮아지는 경향이 있다.

Scrap D를 scrap으로 사용한 경우에는 인장강도가 높은 반면 연신율은 낮았다. scrap D를 이용한 시료는 탄소당량은 4.59이며 인장강도는 695.3 MPa로 나타났다. 기지조직과 흑연형태에 의하여 기계적 성질 값이 달

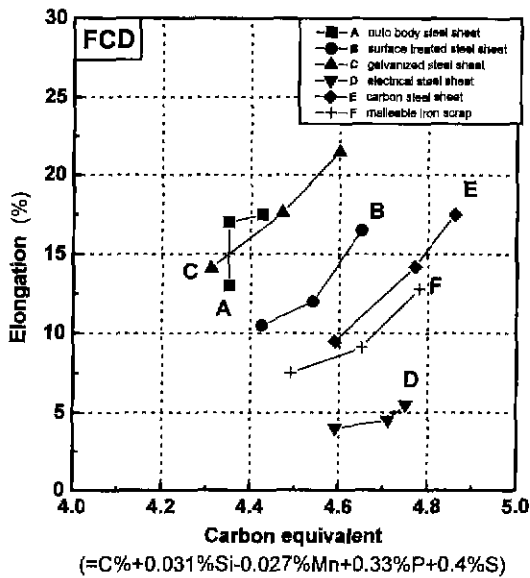


Fig. 2. Relationship of carbon equivalent and elongation.

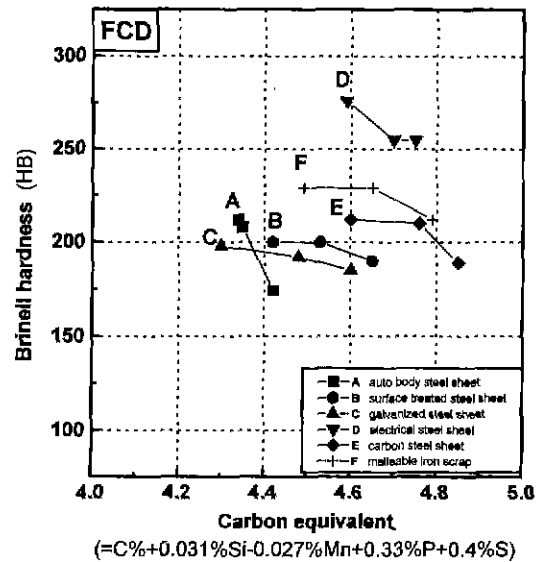


Fig. 3. Relationship of carbon equivalent and Brinell hardness.

라지는 것으로 알려져 있으며 scrap D에는 Sb가 함유되어 있었다. Sb는 퍼얼라이트를 촉진시키는 원소로 알려져 있고 다른 시료에 비해 기지조직의 퍼얼라이트비율이 많기 때문에 인장강도가 크다고 생각된다. 더욱이 scrap F에도 퍼얼라이트안정화 원소인 Mn이나 Sn함유량이 많기 때문에 이와 같은 결과로 된다고 생각된다.

3.4. 경도측정

인장시험 후 시험편의 물립부를 잘라내어 경도를 측정하였다. 탄소당량과 브리넬경도와의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 탄소당량의 증가와 더불어 브리넬경도는 저하하고 인장강도와 같은 경향을 나타내었다.

브리넬경도는 기지경도를 측정한 것으로 퍼얼라이트 기지의 경우 페라이트 기지에 비해 높게 나타나는 경향이 있다. 종류별로 비교해보면 scrap D를 이용한 시료가 HB277로서 가장 높은 경도를 나타냈고, 그 다음으로 scrap F를 사용한 경우 비교적 높은 경도를 나타냈다. 이것은 鋼scrap중에 탄화물을 안정화시키는 원소 또한 기지조직을 강화(퍼얼라이트를 안정화 또는 미세화)시키는 원소를 함유하기 때문인 것으로 생각된다.

이상 주철의 재질을 검토해 보면 경도는 인장강도와 같이 중요한 지표라고 말할 수 있다.

Fig. 4에 인장강도와 브리넬 경도와의 관계를 나타내었다. 인장강도가 높은 동시에 경도는 필요이상으로 높

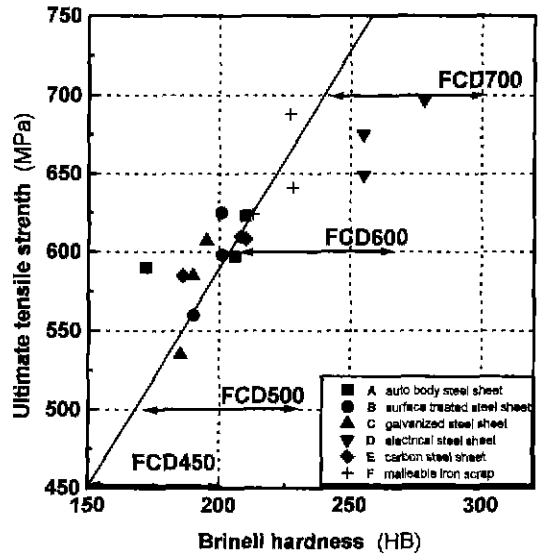


Fig. 4. Relationship of Brinell hardness and ultimate tensile strength.

아지지 않는 것이 바람직한 재료라고 말할 수 있다. 실험결과는 인장강도와 경도는 직선적인 관계지만 각각 재료에 따라서는 KS 기준을 만족시키는 것과 만족시키지 않는 것이 있었다.

Fig. 5에 브리넬경도와 연신율의 관계를 나타내었다.

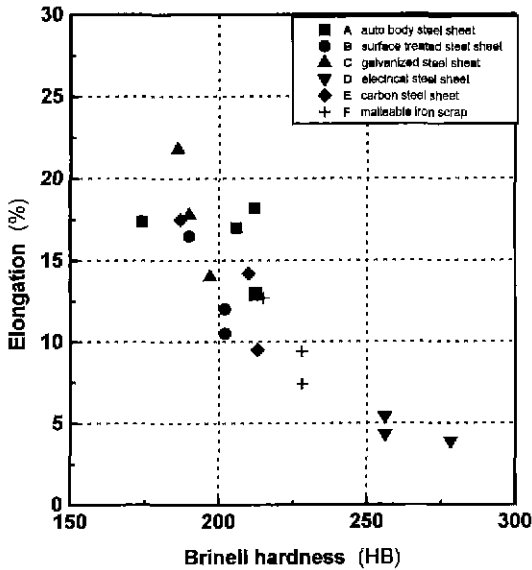


Fig. 5. Relationship of Brinell hardness and elongation.

브리넬경도가 높을수록 연신율은 적었다.

3.5. 재질에 미치는 미량함유원소의 영향

인장강도시험, 연신율측정, 경도시험의 결과를 종합해서 각 미량원소가 구상흑연주철의 재질에 미치는 영향

을 검토하였다.

Mn은 흑연화를 저해하는 원소라고 말할 수 있으나, S가 존재하는 용탕 중에서는 MnS를 생성한다. 그러나 적당량의 Mn은 반대로 흑연화를 촉진한다. 또한 인장 강도시험에서도 Mn을 다량 함유한 시료가 높은 값을 나타내기 때문에 기지의 강화작용, 구체적으로는 퍼얼 라이트의 미세화, 안정화작용이 있다고 생각되어진다.

Zn에 대해서는 평소와 같은량의 구상화제를 첨가할 경우 구상화 불량에 발생될 위험성이 있다고 생각된다.<sup>1)</sup> 또한 편홀 등의 결함을 일으키기 쉽다고 말할 수 있다. 더욱이 전기로나 도가니에서의 용해 시에는 용탕과 직접 반응하여 흰 연기가 나오고 작업환경을 악화시키는 일이 있기 때문에 주의할 필요가 있다.

Cr은 강력한 탄화물안정화원소로 알려져 있다.<sup>2)</sup> Cr을 다량으로 함유한 시료는 각 시험에 있어서 그다지 양호한 결과로 되지 않는 것은 이 때문인 것으로 생각된다. 다만 Cr은 내마모성이나 강도에 대해서 유효하게 작용한다고 말할 수 있다. Al은 Zn과 같이 입계편석에 의한 구상화 저해원소로 알려져 있고 구상화를 저해하지 않는 한계량은 0.25%라고 하는 보고가 있다. 또한 용탕표면에 산화막을 생성시켜 용탕의 유동성이 나빠져 편홀 등 결함에 주의할 필요가 있다고 말할 수 있다.

Sb은 첨가량 증가와 더불어 퍼얼라이트가 증가한다고 알려지고 0.1%첨가로서 100%퍼얼라이트로 된다는 보

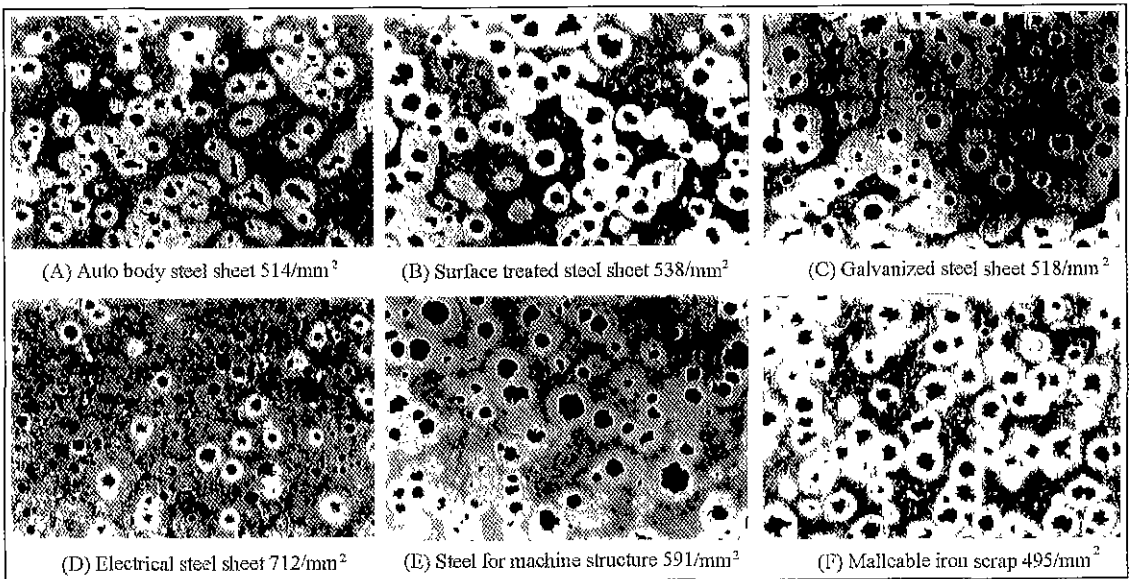


Photo 1. Microstructures of each specimen.

고도 있다.<sup>3-5)</sup> 흑연형태에 관해서는 0.01% 첨가로서 불규칙형상흑연(承屑狀)이 입계에 나타나고, 증가하면 구상흑연도 붕괴되기 시작하여 더욱 증가하면 구상흑연이 보이지 않게 된다. 또한 Sb는 입계편석형의 흑연저해원소이고 구상화를 저해하지 않는 한계는 0.009%라는 보고가 있다. 따라서 Sb를 함유하는 鋼scrap에는 주의할 필요가 있다.

Sn은 퍼얼라이트를 안정화하는 원소로 알려져 있지만<sup>6-8)</sup> 더욱 함유량이 많아지면 흑연구상화에 영향을 주고 미세편상흑연이 석출하여 구상화율도 나빠지고 흑연립수도 감소하므로 주의 할 필요가 있다.

### 4. 결 론

본 실험에서는 공업적으로 구상흑연주철을 제조하는 원재료로서 이용하는 鋼scrap의 차이에 의해 주철주물의 기계적 성질, 조직에 어느 정도 영향을 주는가를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Zn을 많이 함유하는 鋼scrap A, B, C를 이용하여 구상흑연주철을 제조하면 구상화가 제대로 이루어지지 않았으며 따라서 기계적 성질이 낮게 나타났다.
2. Sb를 많이 함유하는 scrap D를 이용하여 구상흑연주철을 제조한 경우에는 기지 중의 퍼얼라이트량이 증가하였다. 이 Sb은 입계편석형 구상화저해 원소이다. 퍼얼라이트량이 증가함에 따라 인장강도와 경도는 증가하는 반면에 연신율은 감소하였다.

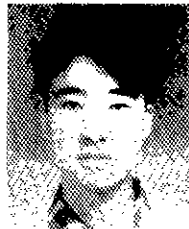
3. Mn, Cr을 많이 함유한 scrap E, F를 이용하여 구상흑연주철을 제조한 경우, 퍼얼라이트량이 증가하였으며 인장강도 및 경도도 증가하였다.

### 감사의 글

본 연구는 1998년도 부경대학교 중등교원협동연구의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 鄭民安 · 주조, vol 8, No 2, 178 (1988).
2. 박흥일, 김명호 : 주조, vol 8, No.2, 164 (1988).
3. 田中, 林松, 早川 鑄物, 23, 1 (1951).
4. H. Morrogh : AFS Transaction. 60. 439 (1952).
5. E. Campomanes : AFS Transaction, 79, 57 (1971)
6. P. Pelleg : AFS Transaction. 70. 666 (1962).
7. R. H. Abott : AFS Transaction. 84. 503 (1976).
8. 日本鑄物協會 · 鑄物分科委員會報告書, 5 (1984).



韓 龍 男

- 부경대학교 금속공학과 졸업
- 부경대학교 금속공학과 대학원 재학



金 泓 範

- 동아대학교 금속공학과 졸업
- 동아대학교 대학원 금속공학과 수료
- 동아대학교 대학원 공학박사
- 현재 부산공고 금속과 교사



金 昌 圭

- 인허대학교 금속공학과 공학사
- 동아대학교 대학원 공학박사
- 현재 부경대학교 재료공학부 교수