

## 글로우 방전/방출분광분석법에 의한 주철시료의 분석

조경행<sup>†</sup> · 우진춘 · 한명섭  
한국표준과학연구원 무기분석연구실  
(1993. 6. 28. 접수)

### Analysis of Cast Iron by Glow Discharge Emission Spectrometry

K. H. Cho<sup>†</sup>, J. C. Woo, M. S. Han  
Inorganic Analysis Laboratory, KRIS, Taejeon 305-606, Korea  
(Received June 28, 1993)

**요약** : 글로우 방전 방출원을 다색화장치에 연결시켜 개발된 글로우방전/방출분광법으로 탄소의 농도가 수 퍼센트에 이르러 스파크방출분광법으로서는 분석이 곤란한 주철시료를 분석하고 정확성을 검토하고자 하였다. 알곤가스 압력, 전압, 방전시간 등 glow discharge lamp(GDL)의 방전조건을 최적화시키고 이 조건에서 두 종류의 주철 표준시료(BAS, LECO)에 대해 원소별 방출 복사선의 세기와 농도의 상관관계를 조사하였다. Mn, Si, P, S 등 대부분 원소의 검정곡선이 양호한 직선성을 보여 주었고 탄소의 경우에는 표준시료의 종류에 따라 절편과 기울기값이 미소하게 계통적인 차이를 나타내었다.

**Abstract** : Generally, it is difficult to analyze cast iron samples with spark discharge emission spectrometry since the content of carbon in these samples is high as a few percent. The cast iron samples were analyzed with the developed glow discharge emission spectrometer composed of glow discharge emission source and polychromator. The discharge condition of glow discharge lamp(GDL) has been optimized by variation of Ar gas pressure, discharge voltage and discharge time. Under the optimum conditions obtained in this work, relationships between the measured emission intensities and concentration of two types of cast iron standard samples(BAS, LECO) were investigated. Most of elements(Mn, Si, P, S etc.) showed the good linearity in one calibration curve. And the carbon showed slightly the systematic difference according to the type of standard samples.

**Key words** : Glow discharge, Emission spectrometry, Cast iron analysis.

#### 1. 서론

방출분광분석법은 여러 원소를 동시에 분석할 수 있다는 장점이 있어 금속시료의 분석에 널리 이용되고

있으며, 전기방전에 의한 방출원을 사용할 경우 고체시료를 직접 원자화할 수 있어 금속소재 산업현장에서 직접분석법으로 널리 활용되고 있는 방법 중의 하나이다.

전기방전에 의한 방출원으로는 아아크 방전, 스파크 방전, 글로우 방전 등이 주로 이용되고 있다. 아아크 방전에 의한 방출은 열에 의해 원자화된 입자가 형성되어 방전상태가 유지되며, 시료가 용융되고 기화될 때 시료 중의 원소에 따라 그 온도가 각각 다르기 때문에 재현성이 좋지 않다.<sup>1</sup> 스파크 방전은 1분에 60회 또는 수백회 순간방전되는 현상을 이용한 것으로서, 그 파형에 따라 열 또는 전기적인 원자화 현상의 비율이 다른 것으로 알려져 있다.<sup>2</sup> 그간 방전주기나 방전형식 등에 대한 좋은 연구결과로 인하여 현재 방출/분광분석원으로서 국내의 산업현장 실험실에서 금속시료의 직접 분석법으로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 주철시료와 같이 탄소, 황, 인 등의 함량이 수 % 정도로 높을 경우, 방전 상태가 불안정하고 검정곡선 상태가 좋지 않아 정밀성이 상당히 떨어지고 있는 것으로 알려져 있다. 이에 비해 글로우 방전은 낮은 압력의 불활성 기체 상태에서 방전시키기 때문에 방출원인 글로우 방전의 방전상태가 안정하고 스퍼터링 속도(sputtering rate)가 높으며 매트릭스 영향이 적다는 등의 특징을 가지고 있기 때문에 금속시료의 직접분석법으로 많이 연구되고 있다.<sup>3,4,7,9,10</sup> M. Fuzita<sup>8</sup>는 Grimm glow lamp에서 주철시료의 음극 스퍼터링과 방출강도를 조사하고 시료내의 총 탄소량 및 형태, 흑연의 양과 크기 및 형태가 sputtering에 영향을 줌을 밝힌 바 있다.

글로우 방전에 의한 방출분광분석과 관련하여 저자 등<sup>3,5,6</sup>은 앞서의 연구에서 Grimm형의 글로우 방전관(GDL)을 자체 설계 제작하고 이를 44개의 분석선을 가지고 있는 다색화장치에 연결시킨 글로우 방전/방출분광분석기를 구성한 바 있으며, 이 기기를 이용하여 전해철, 저합금강, 공구강, 스텐레스강 시료에 대해 원소별 검정곡선 작성 및 검출한계를 비교 검토함으로써 금속시료 분석에의 높은 응용성을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 스파크 방전/방출분광법에 의해서는 방전상태가 나쁘고 분석정밀성이 좋지 않은 것으로 알려져 있는 주철시료의 글로우 방전/방출분광분석법에 대해 검토하였다. GDL내의 알곤 가스 압력에 따른 전류-전압 특성, 전압변화에 따른 방출선의 세기, 방전시간에 따른 방출선의 세기 등 주철시료를 글로우 방전시키기 위한 조건을 조사한 다음, 최적 방전조건에서 두 종류의 주철표준시료에 대해 원소별 빛의 세기를 측정하여 검정곡선의 작성 상태 및 직선성을 비교하였다.

## 2. 실험

### 2. 1. GDL의 제작 및 분석기의 구성

글로우 방전/방출 분광분석기의 GDL 및 기기구성은 앞서의 연구에서와 유사하다.<sup>6</sup> 즉, 방출원인 GDL은 Grimm형<sup>3,5</sup>의 기본원리와 형태를 유지시키도록 설계 제작하였다(Fig. 1). 가공성 세라믹(Macor)을 사이에 두고 평평한 형태의 음극 시료와 원통형의 양극이 200 $\mu$ m 거리를 유지하도록 하였으며 방전시 발생하는 열은 냉각수를 순환시켜 냉각시켰다. 방전관 내 알곤 가스 압력의 조절과 측정은 needle 밸브 및 격막식 진공계이지(Datametrics, Dresser Inc.)를 사용하였고 회전식 진공펌프(Edward, model EDM 12)로 진공을 유지시켰다. 직류 전원은 직류 전원 공급장치[Kepeco Inc., model BHK 1000-0.2(M)]를 이용하여 공급하였으며, 직류전압 0~1000V, 전류량 0~200mA의 범위에서 사용하였다.

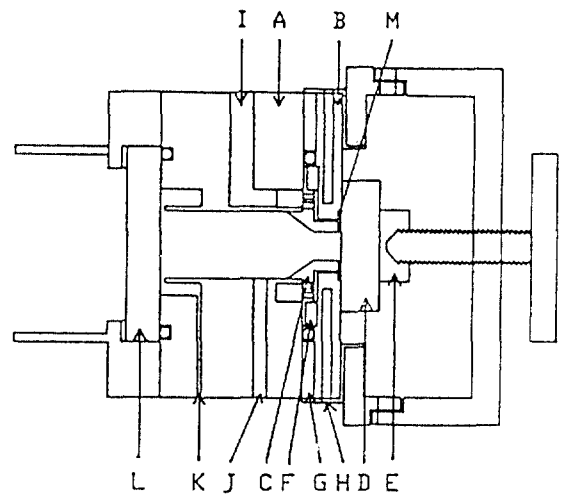


Fig. 1. Schematic diagram of glow discharge lamp. A, anode body. B, cathode. C, anode. D, sample. E, sample holder. F, Macor. G, teflon. H, water cooling hole. I and J, hole for vacuum. K, hole for argon gas. L, quartz. M, vacuum tight O-ring.

자체 제작된 방전부에 연결된 다색화장치는 Labtam Inc.의 V-25이며 기기 조작 및 자료처리는 1000P data acquisition 시스템과 Labtam BASIC이 내장된

Labtam 3000 컴퓨터로 실시하였다. 분석 중 전류량의 조절과 최대 파장 선정을 위한 스펙트럼선의 교정, 그리고 측정된 스펙트럼 세기로부터 검정곡선 작성 등을 위해서 분석용 프로그램을 제작하여 이용하였다. 본 연구에서 구성한 글로우 방전/방출 분광분석장치의 개략도는 Fig. 2와 같다.

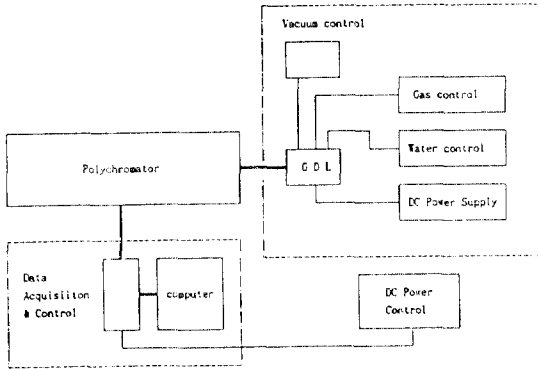


Fig. 2. Schematic diagram of glow discharge/emission spectrometer.

2. 2. 시료 및 방전실험

실험에 사용한 시료는 넓은 농도 범위에서의 직선성을 조사할 수 있도록 각 성분의 함량분포가 넓은 Bureau of Analysed Samples Ltd. (BAS, 영국)의 분광

분석용 가단주철 인증기준물 5종과 LECO Co.(미국)의 분광분석용 기준시료 6종 등 11종의 주철 표준시료를 사용하였으며 이들의 주요 조성은 Table 1과 같다.

모든 시료의 표면은 알루미나 벨트연마기(320grit)로 연마한 후 사용하였다. 연마된 시료를 방전관 전면 에 밀착시킨 다음 진공펌프 및 알곤가스의 밸브를 교대로 수 회 조작하여 방전관 내부를 완전히 알곤가스로 치환하고 진공계이지상의 압력을 관찰하면서 이들 두 밸브를 적절히 조절하여 압력이 일정하게 유지되도록 하였다. 원하는 진공도가 유지되면 직류 전원 공급 장치의 전압 및 전류량을 서서히 변화시키면서 글로우 방전 여부 및 상태를 관찰하고 방전이 이루어졌을 경우 방출 세기를 다색화장치를 통해 측정하였다. 또한 설정된 가스 압력과 방전 전압 조건하에서 시료의 방전시간을 일정 간격으로 변화시키면서 방출 세기를 측정하여 최적 방전상태가 되도록 예비 방전 시간을 조절하였다. 방전 후 스퍼터링에 의해 생성된 방전면(crater)의 표면은 전자현미경으로 관찰하고 표면거칠기 측정기를 이용하여 단면의 거칠기 및 깊이를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. 주철시료의 방전 특성

낮은 가스압력하에서 이루어지는 글로우방전에서는 일반적으로 전류가 증가함에 따라 전압이 급격하게 증

Table 1. Concentration of cast iron CRM's for determination of intensities by glow discharge emission spectrometry.

(Unit, wt. %)

SRM		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Ti	Al	Mg	Co
BAS	SCRM 651/3	2.92	0.52	0.86	0.205	0.098	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SCRM 652/3	2.61	0.90	1.18	0.058	0.131	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SCRM 653/3	3.39	1.19	0.082	0.011	0.031	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SCRM 654/3	2.22	1.59	0.66	0.113	0.163	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SCRM 655/3	1.82	1.91	0.405	0.161	0.076	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LECO	LCI-1	2.29	3.97	0.46	0.06	0.027	1.44	0.008	0.077	0.184	0.765	0.017	0.006	0.003	0.011
	LCI-3	2.62	2.42	1.35	0.88	0.007	2.52	0.15	0.033	0.001	0.052	0.096	0.032	0.008	0.014
	LCI-5	2.92	0.47	0.77	0.509	0.086	0.45	0.295	0.60	0.316	0.20	0.098	0.051	0.006	0.092
	LCI-6	4.41	0.26	0.22	0.013	0.02	0.20	1.40	0.26	0.081	0.40	0.18	0.157	0.018	0.008
	LCI-7	3.46	1.54	0.38	0.037	0.013	0.089	0.85	2.28	1.33	0.013	0.008	0.01	0.105	0.16
	LCI-9	3.30	0.71	0.12	0.008	0.003	0.022	0.44	1.08	0.68	0.001	0.001	0.009	0.049	0.045

가하며 음극시료의 스퍼터링은 방전관 내의 가스압력에 따라 매우 민감하게 영향을 받는다. 방전관내의 압력을 7torr에서 13torr까지 변화시키면서 주철시료 (LECO, LCI-4)에 대해 측정된 전류-전압 특성은 Fig. 3과 같다. 다른 금속시료에서와 같이 압력이 낮아질수록 전류변화에 비해 전압이 급격하게 증가하며 정상적으로 방전되고 있다는 것을 보여 주고 있다. 스퍼터링되는 시료의 양을 증가시키고 안정한 방전을 유지하기 위해서는 가능한 한 높은 전력의 방전조건이 유리하므로 이러한 조건은 가스압력이 9torr일 때 가장 적합한 것으로 판단된다.

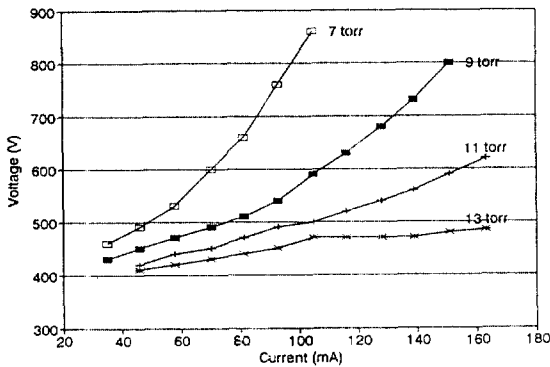


Fig. 3. Voltage-current curves for cast iron (LECO, LCI-4) at various discharge pressures.

방전압력을 9torr로 하고 전압을 조정하면서(직류전원장치의 전압조정 모드에서), 방전전압 변화에 따른 주철시료의 원소별 방출세기를 측정하면 Fig. 4와 같다. 이 그림에서 보이는 바와 같이, 방전전압이 증가함에 따라 대부분 원소의 방출세기가 급격히 증가하고 있는데 빠른 시간에 안정하면서도 충분히 큰 방출세기를 갖도록 하기 위해서는 높은 방전 전압이 요구되므로 본 실험에서는 앞서 조사된 전류-전압 특성곡선을 고려하여 방전전류 151mA, 이 때의 방전전압 약 760V를 방전조건으로 하였다.

이상의 방전조건에서 LECO(LCI-8)시료에 대해 방전시간에 따른 방출세기 거동을 조사하기 위해 8초 간격으로 2초 동안 적분하여 방출세기를 구하고 방전시간을 기준으로 하여 방출세기를 도시하여 Fig. 5와 같은 결과를 얻었다. 방전시간이 증가함에 따라 대부분

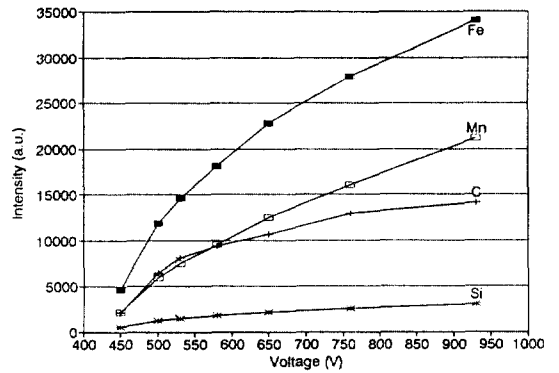


Fig. 4. Intensity-voltage curves for cast iron (LECO, LCI-4) ; discharge pressure, 9 Torr.

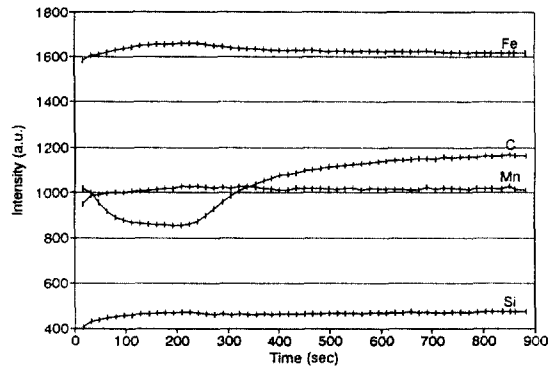


Fig. 5. Intensity-time curves for cast iron (LECO, LCI-8) at constant discharge condition : 9 Torr, 760V, 151mA.

원소의 방출세기가 초기에 미미하지만 완만히 증가하고 있으나 탄소의 경우에는 급격한 감소를 보이다가 100초 후부터 일정 시간 동안 안정한 방출세기를 보이고 있다. 이러한 현상은 M. Fuzita의 실험에서도 관찰된 바 있는데 이는 미세한 야금학적 구조를 갖는 시료 중의 탄소가 graphite로서가 아니고 철과의 화합물 형태로 존재하기 때문에 생기는 방전조건 변화라는 주장이 있다.<sup>8</sup> 따라서 본 실험에서는 전 원소가 안정한 방출세기를 갖는 조건인 예비 방전시간 100초, 적분시간을 20초로 하여 측정하였다.

이상의 실험결과로부터 주철시료 분석을 위한 최적 방전조건을 설정하였는데, 본 실험에서 이용한 기기와

글로우 방전의 실험조건을 요약하면 Table 2와 같다.

학적 구조의 차이가 스퍼터링에 많은 영향을 주는 것으로 판단된다.

3. 2. 방전 단면의 조사

글로우 방전에 의한 주철시료의 스퍼터링을 확인하기 위하여 Table 2의 조건으로 방전 후 생성된 방전면을 전자현미경으로 관찰하고 단면의 거칠기 및 깊이를 표면거칠기 측정기로 측정하였다. Fig. 6의 (a)는 주철시료를 글로우 방전시킨 후 생성된 방전면을 전자현미경으로 촬영한 것으로서 스퍼터링이 현저히 진행되었음을 알 수 있으며 동일 조건에서 방전한 스텐레스강 (b)에서와는 달리 검은 반점이 많이 보이고 있는데 이는 함량이 많은 탄소입자가 편석된 부분으로 생각된다. 참고로 방전면을 Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy(EDX)로 분석한 결과 규소와 알루미늄 성분이 검정값보다 7~8배 높아졌음을 확인하였는데 이들 성분이 다른 원소에 비해 상대적으로 스퍼터링 속도가 적기 때문으로 생각된다. 한편, 글로우 방전 후 생성된 방전면의 거칠기를 비교하여 나타낸 Fig. 7에서 주철시료의 스퍼터링 속도는 160 $\mu$ g/sec.로서 스텐레스강(240 $\mu$ g/sec.)에 비해서는 다소 낮은 것으로 보아 시료내의 탄소, 규소 및 알루미늄의 함량, 그리고 야금

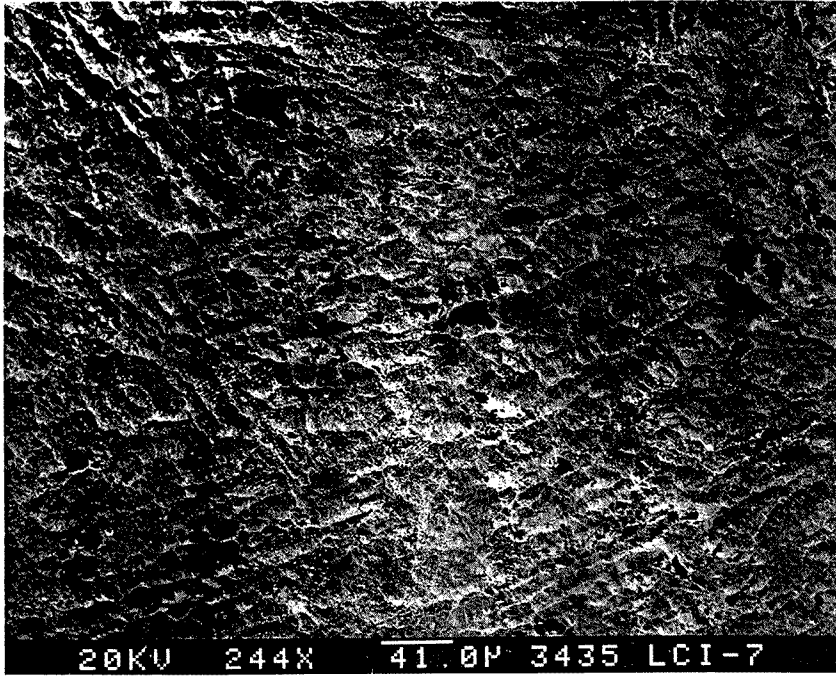
Table 2. Polychromator and discharge operating condition for cast iron analysis.

Ploych-romator	Style	Vacuum type, direct reading spectrometer
	Dispersion system	
	grating	2160 grooves / mm
	focal length	1 m
	Slit	
	primary slit	20 $\mu$ m
	secondary slit	40, 75 and 150 $\mu$ m
	Spectrum line	44 lines
Glow discharge lamp	Argon pressure	9 Torr
	Discharge current	151 mA
	Discharge voltage	~760 V
	Pre-discharge time	100 s
	Integration time	20 s

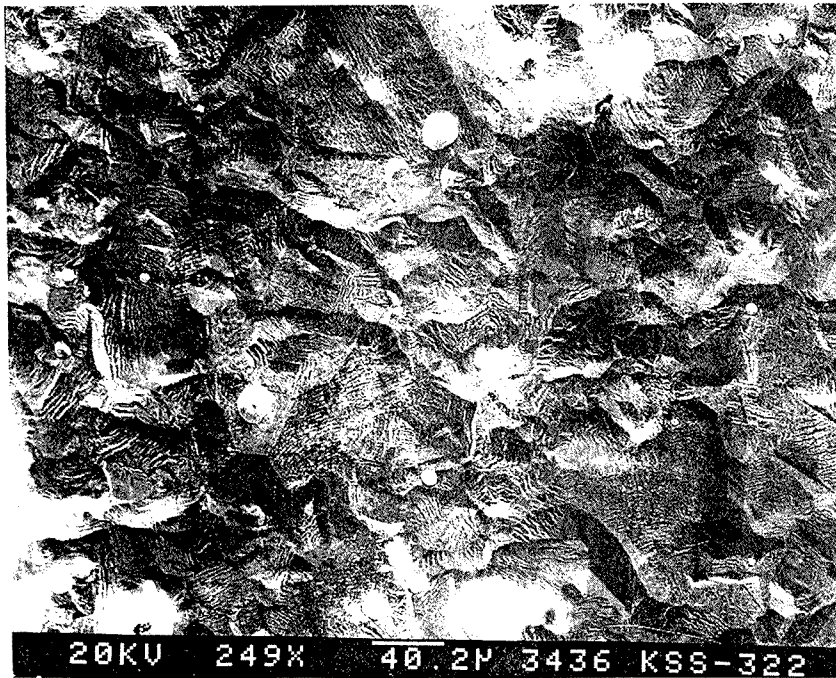
Table 3. Coefficient of calibration curve and CC for cast iron sample analysis by GDES

Elements	Wavelength (Å)	CC* of internal std. method	Coefficient of calibration curve**			Max. conc. range (Wt.%)
			a	b	c	
C(LECO)	1931.00	0.963	9.83	-0.175		4.4
C(BAS)	1931.00	0.986	9.87	0.046		3.4
Si	2881.50	0.997	7.35	0.023		4.0
Mn	2576.10	0.980	3.15	-0.223		1.4
P	1782.00	0.970	5.59	-0.062		0.9
S	1807.00	0.993	1.20	0.024		0.17
Cr	2677.16	0.992	25.3	-0.389		2.5
Mo	2020.30	0.999	214.2	-0.535		1.4
Ni	3414.70	0.995	-0.60	3.295	-0.182	2.3
Cu	3427.00	0.997	1.66	-0.250		1.4
V	3110.00	0.996	18.2	7.82	-0.007	0.8
Ti	3372.80	0.955	1.74	-0.039		0.2
Al	3961.50	0.971	0.19	0.216	-0.001	0.16
Mg	2790.79	0.940	8.04	-0.224		0.1
Co	2286.16	0.977	11.90	-0.105		0.2

\*CC = coefficient of corelation: \*\*Ci = a(I<sub>i</sub>/I<sub>s</sub>) + b or a(I<sub>i</sub>/I<sub>s</sub>)<sup>2</sup> + b((I<sub>i</sub>/I<sub>s</sub>) + c; a, b and c are coefficient of calibration curve equation by internal standard method.



(a)



(b)

Fig. 6. Scanning electron micrographs of sputtered surfaces of cast iron (a) and stainless steel samples (b).

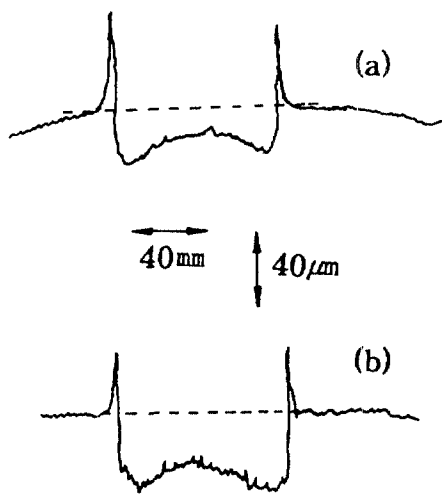


Fig. 7. Cross-section of craters produced by sputtering for 660sec. on cast iron (a) and stainless steel samples (b).

### 3. 3. 주철시료의 검정곡선

Table 3에서의 과장위치에서 탄소, 규소, 망간 등 14개 원소에 대한 스펙트럼선 세기를 측정하고 내부표준물법에 의한 각 원소별 검정곡선을 작성하였다. 각 측정원소의 스펙트럼선 세기와 내부표준물(철)에 대한

빛의 세기와의 비( $I_i/I_{Fe}$ )를 농도별로 측정하고 이를 원소별로 1차식 검정곡선으로 도시하였다. Fig. 8은 시료 제조이력이 다른 BAS와 LECO 표준시료에 대해 측정된 탄소의 검정곡선을 한 그래프상에 도시한 것으로서 두 계열의 검정곡선이 일정 간격으로 편기되어

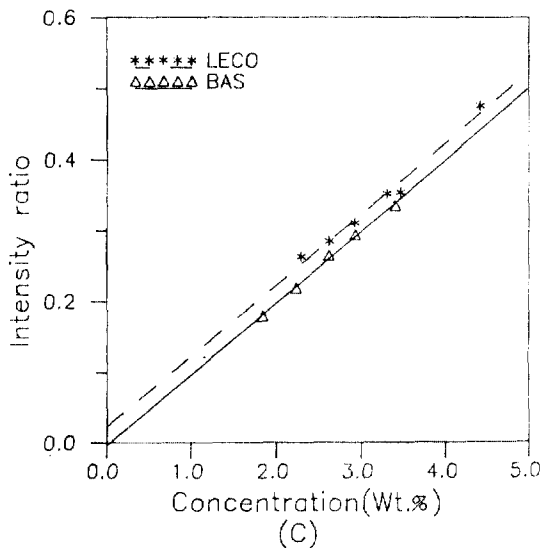


Fig. 8. Calibration curves of carbon in cast iron samples.

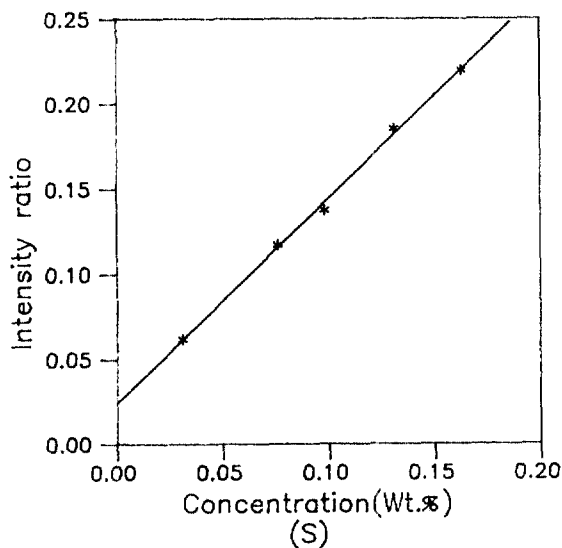


Fig. 9. Calibration curves of sulfur and phosphorus in cast iron samples.

있다. 이와 같이 시료의 종류에 따라 검정곡선의 양상이 상이한 것은 시료의 매질이 다를 때 스퍼터링되는 양의 차이에 의해 비롯되는 일반적인 현상으로 판단할 수 있지만 탄소 함량이 높은 주철시료의 경우에는 특히 시료내에서의 탄소의 형태와 야금학적 구조가 탄소 자체의 스퍼터링에 더 큰 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 그러나 스파크 방전법과 같은 다른 직접분석법과 비교하여 볼 때 탄소의 검정곡선이 시료의 종류에 따라 절편이 다소 차이를 보이고는 있으나 같은 종류의 시료내에서는 양호한 직선성을 가지므로 시료 분석에 의 높은 응용성이 있다. 규소, 망간, 인, 황 등의 원소에서는 Fig. 9에서 보이는 바와 같이 두 시료의 검정곡선이 대부분 일치하고 있어 이들 원소는 시료의 종류에 관계없이 하나의 검정곡선으로도 분석 가능함을 알 수 있다. 특히 스파크 방전에서는 정확한 분석이 곤란한 것으로 알려져 있는 인과 황의 검정곡선이 양호한 직선성을 가지고 있어 글로우 방전법으로 분석 가능하다는 것은 주목할 만하다. 이 밖에 LECO 표준시료를 이용한 크롬, 몰리브덴, 니켈, 구리, 바나듐, 티타늄, 알루미늄, 마그네슘, 코발트 등 원소의 검정곡선 작성 결과 마그네슘을 제외하고는 스펙트럼 세기비가 농도와 좋은 상관관계를 보이고 있으나 일부 원소(Ni, Al, V)는 농도가 높을 경우 자체흡수(self-absorption)가 일어나 검정곡선의 직선성이 다소 떨어지는 편이다. 그리고 LCI-1나 LCI-3시료와 같이 규소의 함량이 높은 시료에서는 미량으로 존재하는 몰리브덴과 티타늄의 방출 세기가 규소의 방출 스펙트럼에 의해 심한 간섭을 받는 것으로 보여지는데 Fig. 10의 검정곡선에서와 같이 이들 시료의 측정결과를 제외시킬 경우 직선성은 훨씬 좋아지게 된다.

주철시료에 대해 내부표준물법으로 작성된 검정곡선에서 스펙트럼선의 세기비( $I_1/I_2$ )와 농도와의 상관관계를 조사하기 위하여 원소별로 최소자승법에 의해 1차식 또는 2차식(자체흡수가 있을 경우)으로 검정곡선식을 구하고 상관계수(CC:coefficient of correlation)를 각각 구하였다.<sup>6,12</sup> 원소별로 계산된 상관계수(CC)값과 내부표준물법에 의해 계산된 검정곡선식의 계수는 Table 3에 실었다. CC값이 1에 근접할수록 검정곡선식에서의 두 변수(스펙트럼선의 세기비와 농도)의 상관관계가 일치하며, 0이 되면 상관성이 전혀 없음을 의미한다. 이 Table에서, 높은 농도에서 자체흡

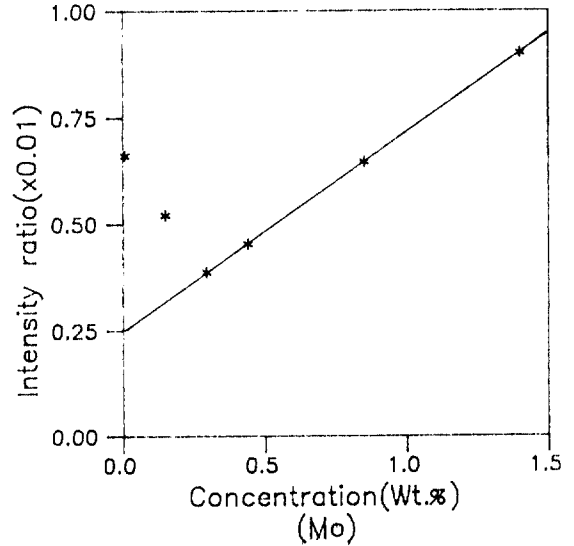


Fig. 10. Plot of concentration vs. intensity ratio of molybdenum in cast iron samples.

수가 일어나는 원소인 니켈, 바나듐, 알루미늄 등은 2차식으로 검정곡선식을 작성하였으며 몰리브덴과 티타늄은 규소의 간섭현상이 심한 LCI- 및 -3시료의 측정결과를 제외하고 계산한 값이다. 여기에서 보이는 바와 같이 규소, 황, 크롬, 몰리브덴, 니켈, 구리, 바나듐 등의 CC값이 거의 1에 가깝고, 마그네슘을 제외한 대부분 원소의 검정곡선식이 대부분 좋은 상관관계를 가짐을 알 수 있다.

#### 4. 결론

신속분석법으로 국내 산업체에서 많이 이용하고 있는 스파크 방출 분광 분석법은 주철시료의 분석에 있어서는 방전상태가 좋지 않아 어려움이 있다. 이에 비해 글로우 방출 분석법은 방전상태가 안정하고 정확성이 더 높은 것으로 알려져 있음에도 국내 산업체에서의 이용은 전무한 상태에 있다. 이에 따라 본 연구에서는 자체 제작한 글로우 방전관을 방전원으로 한 방출 분광 분석기를 구성하여 주철시료 분석을 위한 방전조건 및 방출상태를 검토하였다. 내부표준물법에 의해 각 원소에 대한 스펙트럼선의 세기비와 농도와의 상관관계를 조사한 결과 탄소의 경우에는 약간의 매질효과를



보이고 있으나 대부분 원소가 양호한 관계를 보이고 있음을 확인하였다. 특히 스파크 방전/방출 분광분석에서와는 달리 인과 황의 검정곡선이 좋은 직선성을 보이고 있어 글로우 방전/방출 분광분석법이 주철시료의 고체분석법으로 매우 효과적임을 확인할 수 있었다. 앞으로 현장시료 분석의 실제 응용을 위해서는 검출한계 및 직선범위 등에 대한 연구가 더 이루어져야 할 것이며, 탄소 및 황의 함량 변화와 시료내에서의 편석현상이 정량분석에 미치는 영향과 이를 해결할 수 있는 분석법의 개발도 계속되어야 할 것이다.

### 인용 문헌

1. P. W. J. M. Boumans, *Anal. Chem.*, **44**, 1219(1972).
2. Jozsef Mika and Tiber Toeroek, "Analytical Emission spectroscopy. Fundamentals," p.165, P. A. Floyd, Ed., Chap. 2, Butterworths, London, U. K., 1974.
3. Radu Mavrodineanu, *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, **89**, 143(1984).
4. N. P. Ferreira, J. A. Strauss and H. G. C. Haman, *Spectrochimica Acta*, **38B**, 899(1984).
5. W. Grimm, *Spectrochimica Acta*, **23B**, 433(1968).
6. 우진춘, 이기범 외, *분석과학*, **1**, 32(1988).
7. G. S. Lomdahl and R. Mcpherson, *Analytica Chimica Acta*, **148**, 171(1983).
8. M. Fuzita and J. Kashima, *Analytica Chimica Acta*, **124**, 267(1981).
9. D. S. Gough and J. V. Sullivan, *Analyst*, **103**, 887 (1978).
10. R. Dyulgerova, D. Zhechev and N. Krasnobaeva, *Spectrochim. Acta*, **35B**, 521(1980).
11. "Inductively Coupled Plasmas in Analytical Atomic Spectrometry", p. 175, Akbar Montaser and D. W. Golightly, Ed., VCH Publishers Inc., U. S. A., 1987.
12. John A. Ingram, "Introductory Statistics", p. 241, Cummings Publishing Company Inc., California, U. S. A., 1987.
13. Recommended practice E-158 section 9, "Method for Emission Spectrochemical Analysis", 7th Ed., ASTM, Philadelphia, U. S. A., 1982.
14. A. Hongtson, *Spectrochimica Acta*, **40B**, 631(1985).
15. Karl Slickers, "Automatic Emission Spectroscopy", p. 84, ARL lab., Lasame, Switzerland, 1980.