

〈論 文〉

## B첨가에 의한 강 및 주철의 기계적 성질에 미치는 효과

황용연\* · 권오현\*\*

(1994년 3월 4일 접수)

### A Study of Effects Exerted on the Mechanical Properties of the Steel and Cast Iron by the Adding B

Yeong-Yeun Hwang and Oh-Heon Kwon

**Key Words :** Mechanical property(기계적 성질), Elongation(연신율), B compound(보론계 생성 화합물), Toughness(인성), Texture(조직), Molten metal(용탕), Dooxidizer(탈산제)

#### Abstract

The advancement of the mechanical properties of metal materials caused by a recent high technology contributes to the stability and productivity of mechanical structures. However, the advanced mechanical properties depends on the conditions of crystal boundaries and the improvement of the texture. Although the tensile strength and a hardness of a steel would be increased by the adding B, it seems to be a marked decreases of the toughness which caused in the weakened workability. This study is concerned with a characteristics of the B compound which will be mixed with  $H_3BO_3$  and the metallic magnesium. What affected in the mechanical property and texture is checked by the strength and the texture test. As a result, it is shown that the improvement of the mechanical property and the texture homogeneity. In addition, it seems that a molten metal which is added by the B compound is deoxidized and cleansed.

#### 1. 서 론

최근, 기술의 급속한 진보에 따른 재료의 기계적 성질의 향상은 기계구조물의 안정성 및 생산성에 많은 기여를 하고 있다. 그런데, 이러한 기계적 성질의 향상은 재료의 결정입계 상황과 조직개선에 의해 좌우되는 경우가 많다. 재료조직의 미세화와 기계적 성질의 향상 등을 위한 원소의 첨가는 P, B, T, 등 재료에 따라 많은 원소가 알려져 있는데, B의 첨가는 결정입계의 편석지수가 높아 표면 결함이 발생하기 쉽고, 연속주조시에는 벌징온도와

B의 입계석출온도가 비슷하여 표면횡균열이 발생하기 쉽다.<sup>(1)</sup> 이러한 B의 첨가가 기계적 성질에 미치는 영향에 대하여서는 그다지 연구되어져 있지 않는 실정이다.<sup>(2,3)</sup> C강, N강에 대하여 일반적으로 B를 첨가함에 따라 경도와 인장강도는 증가하나 인성의 감소도 현저하여 가공성이 불량하게 된다. 즉 신장 및 수축이 저하하는 경향이 있다. B는  $\alpha$ -Fe,  $\gamma$ -Fe에 대하여 고용한도가 극히 낮으므로 소량을 강에 첨가한 경우에도 분화물상을 형성하여 재료는 현저히 취약하게 된다.<sup>(2)</sup> 또 미량의 B는 강의 pearlite와 bainite의 생성속도를 늦추어 경화성을 현저히 개선한다. 현재, B의 첨가는 대부분  $Fe_2B$ 로 첨가되어 조직을 미세화하는 역할을 하는데 분화물을 환원하여 얻어진 B화합물은 공업적으

\*정회원, 부산공업대학교 제어계측공학과

\*\*정회원, 부산공업대학교 산업안전공학과

로 그다지 이용되지 않고 있다. 종래에는  $B_2O_3$ 와 마그네슘을 전기로 또는 가스로서 900~1000°C로 가열하면, 잠시후 격렬히 반응하여 환원이 이루어지고, 생성물을 염산처리하여 정제하면 B90~95%, Mg3~4%의 소량의  $Mg_3B_2$ 를 포함하는 생성물이 얻어지는 것이 알려져 있다.

본 연구는 시험편에 첨가된 B화합물의 생성법 및 생성된 B화합물과 종래의 Mg-B계 생성물과의 차이점을 검토한 후 강도시험 및 재료조직검사를 통하여 재료의 기계적 성질 및 조직에 미치는 영향에 대하여 조사검토 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 비정질 B화합물의 제조 및 첨가

본 연구에 이용한 Mg-B-O계 화합물은  $H_3BO_3$ 와 금속마그네슘을 몰비로  $\frac{1}{3}$ ~2의 범위내에서 혼합하여 제조하였다. 이 혼합물을 공기분위기중이나 공기차단분위기중 혹은 불활성가스분위기중에서 가열하면 격렬히 반응하는데, B산화물의 일부가 Mg에 의해 환원되고 주로 B, Mg의 불포화산화물을 함유하는 Mg-B-O계 화합물이 생성된다. 이와 같은 방법은  $B_2O_3$ 와 마그네슘을 중량비 2:5의 비율로 혼합하여 가열하면 B70%, Mg30%의 소량의  $Mg_2B_2$ 의 생성물이 형성되는 종래의 방법과 유사하다. 그러나 Fig. 1에서 보는 것처럼, X선 회절<sup>(4)</sup>을 행한 결과에 의하면 금속상 B가 존재하지 않고,  $Mg_2B_2O_5$ ,  $Mg_3(BO_3)_2$ , MgO가 주 성분인것을 알 수 있다. 즉 비정질계 물질로서 과잉첨가에 의한 용탕의 성분변화를 일으키지 않는다. 편광현미경 관찰에 의하면 Mg-B-O계 유리상 혼합물에 B, Mg의 불포화

Table 1 Chemical components of B compounds(wt.%)

Mg	B	Cu	Ti	Cr	Mn	Fe	N
31.4	15.8	0.036	0.049	0.025	0.010	0.093	0.81

산화물이 용해되어, 불순물로서  $Mg_2B_2O_5$ ,  $Mg_3(BO_3)_2$ , MgO가 생성됨을 알 수 있었다. Table 1은 생성된 B계 화합물의 성분조성을 나타내고 있다. 또 본 연구에서는 X선 회절에 의한 화합물의 동정을 회절데이터집을 이용한 Hannerz의 방법<sup>(5)</sup> 등에 의해 구하였다.

종래의 슬래그중에 첨가된 붕화물을 환원해서 얻은 B합금강에는 B의 보유가 불확실하나 현재의 방법에 의하면 Table 1에서 나타낸 것처럼 B가 14.2% 포함되어 있음을 알 수 있다. 이와 같이 생성된 B화합물을 용탕의 흐름중에 약 0.01~0.05% 정도로 변화시켜 첨가하였는데, 주형내 용탕에 탕도를 이용하여 불활성가스중에 부유시켜 압입하거나 금속박판에 피복하여 사용할 수 있다.

### 2.2 시료제작 및 시험편

SC42, SC46, GC20, SM20C 및 屑鐵(scrap steel)을 산성lining한 저주파 유도로중에서 각각 용제한 후, 이 용탕을 로중에서 Al으로 충분히 강제 탈산시킨다. 이 강제 탈산된 용탕의 일부는 그대로 Y블록을 주조하고, 나머지 부분은 로에서 출탕할 때 용탕의 흐름중에 Mg 0.003%, B 0.0011%의 B화합물을 용탕에 대하여 Table 2와 같이 첨가하였다. (Fig. 2 참조) Table 2에서 알 수 있듯이 첨가된 B화합물은 첨가량에 관계없이 시료의 성분을 거의 변화시키지 않는 특징이 있어 성분을 오염

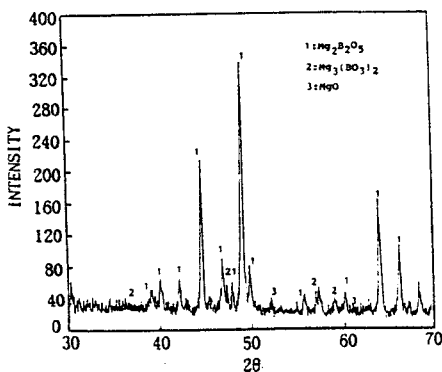


Fig. 1 X-ray diffraction analysis of B compound

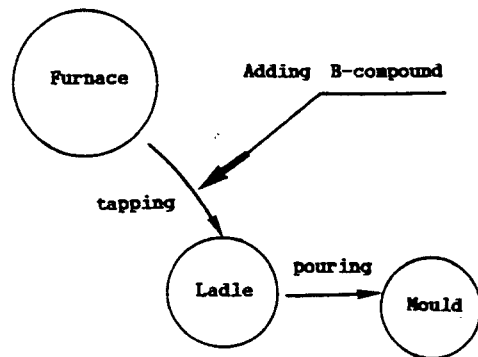


Fig. 2 Addition timing of B compound into the molten metal

시키지 않음을 알 수 있다. 용탕주입이 끝나면 바로 예열된 강봉으로 가볍게 휘저은 후, 즉시 Y블록으로 주조하였다. 이와 같이 주조한 Y블록의 주조품 하부를 절단하여 인장, 경도 및 충격시험편을 제작하였다. 각 시험편에 대한 인장시험은 인스트롱형 인장시험기를 사용하여 변형률속도  $5.6 \times 10^{-4} s^{-1}$ 로서 측정하였다. 또 경도측정은 만능경도시험

기를 이용하여 브리넬경도를 측정하였다. 재료의 인성변화를 알아보기 위하여서는 30 kgm 용량의 살피충격시험기를 사용하였다. 화학조성의 분석은 화학분석 및 Rigaku사의 D/max IIA-모델 X선 회절계를 이용하여 화합물상을 동정하였다. 회절조건으로서는, 타겟은 Cu이고, X선관의 전압과 전류는 각각 30 KV, 15 mA이다.

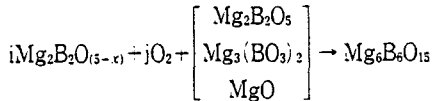
Table 2 Specimens prepared with different components

Specimen No.	Material	B Compound quantity (wt.%)	Component				
			C	Si	Mn	P	S
1	SC46	0.0	0.33	-	-	0.04	0.04
2		0.0077	0.31	0.60	0.47	0.02	0.009
3		0.020	0.33	0.61	0.45	0.03	0.007
4		0.030	0.32	0.59	0.40	0.04	0.009
5		0.051	0.32	0.62	0.46	0.03	0.01
6	SC42	0.0	0.30	-	-	0.04	0.039
7		0.008	0.30	0.01	0.02	0.04	0.03
8		0.021	0.31	0.02	0.02	0.04	0.03
9		0.028	0.32	0.02	0.03	0.04	0.02
10		0.050	0.30	0.02	0.03	0.04	0.03
11	GC20	0.0	3.49	4.78	0.50	0.04	0.04
12		0.010	3.50	4.75	0.63	0.07	0.04
13		0.020	3.49	4.80	0.53	0.05	0.03
14		0.029	3.47	4.77	0.55	0.06	0.03
15		0.048	3.50	4.79	0.61	0.05	0.03
16	STEEL	0.0	3.25	2.40	0.10	0.06	0.02
17		0.010	3.26	2.54	0.10	0.06	0.02
18		0.020	3.24	2.44	0.11	0.06	0.02
19		0.031	3.27	2.45	0.12	0.06	0.03
20		0.051	3.28	2.50	0.10	0.06	0.03
21	SM20C	0.0	0.20	0.15	0.25	0.03	0.005
22		0.011	0.22	0.17	0.30	0.04	0.006
23		0.020	0.22	0.18	0.33	0.03	0.006
24		0.030	0.21	0.16	0.29	0.03	0.004
25		0.049	0.21	0.17	0.30	0.04	0.006

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 탈산효과

2.1절에서 생성된 Mg-B-O계 비정질화합물은 열적으로 불안정하다. 즉  $Mg_2B_2O_{(5-x)}$ ,  $Mg_3(BO_3-y)_2$  (단,  $x < 5$ ,  $y < 3$ )의 형태로 생성되어 있다. 따라서 용탕에 첨가되면 다음식에서 나타내는 것처럼 용탕과 반응하여 탈산작용과 청정화효과가 나타난다. Mg-B-O<sub>(5-x)</sub>는 여러 작업조건에서 해리되어 산소와 반응한다.



여기서,  $x=1$ 이면  $i=3$ ,  $j=6$ 이 된다. 이때  $x$ 는 여러 값이 주어질 수 있으므로 일반적으로 위 반응식으로 할 수는 없다. 또  $Mg_3(BO_3-y)_2$ 와 같은 생성물도 존재할 수 있다. 따라서 탈산작용을 하는 Mg-B-O계 생성화합물의 조성을 정확히 정할 수 없으므로 반응식의 고정은 어려우며 정량적인 탈산효과를 구하기는 곤란하다. 그러나 활성화된 자유보론으로서의 원자가를 가지며, 상온에서는 어떠한 변화도 없으나 고온(용탕)에 접한 상태에서는 자유보론값이 반복적으로 반응하여 탈산작용에 의한 청

정화효과가 발생한다. 여기서, 위 반응식이 완결되었다면 어떠한 변화도 일어나지 않지만, 오존(O<sub>3</sub>), 과산화수소수(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 같이 원자가 과잉 또는 부족한 경우를 생각해 보면, 열적으로 불안정한 Mg-B-O계 화합물이 청정화작용에 의해 재료를 균질화시킬 수 있음을 이해할 수 있다.

#### 3.2 인장, 경도 및 충격시험

Fig. 3은 각각의 Y블록에서 얻은 시험편에 대한 인장시험결과를 나타내고 있다. 종래의 Fe<sub>2</sub>B의 형태로 첨가된 경우와 다르게 B화합물이 첨가된 주강, 주철 시험편의 인장강도는 감소하는 경향이 있음을 알 수 있다. 즉, B화합물이 0.01% 첨가시에 SC46은 29%의 급격한 저하를 나타낸 후 비교적 완만히 저하하고 있다. 또한 SM20C를 제외한 나머지 재료는 0.01%~2.5%의 완만한 변화를 보이고 있다. 반면 기계구조용 탄소강 SM20C은 약 30%의 증가 후 거의 일정한 값을 보이고 있다. 이것은 가공경화로 인하여 상승되었다고 생각되어지나, 이 기구에 대하여서는 추후 세밀한 실험적 보완 및 고찰이 필요하다고 본다. 또 Figs. 4, 5는 B화합물의 첨가에 따른 연신율 및 단면수축률의 변화를 나타낸다. 무첨가 시험편에 대하여 B화합물을 첨가할 시험편의 연신율 및 단면수축률은 설철을 제외하고는 대부분 현저히 증가하고 있음을 알

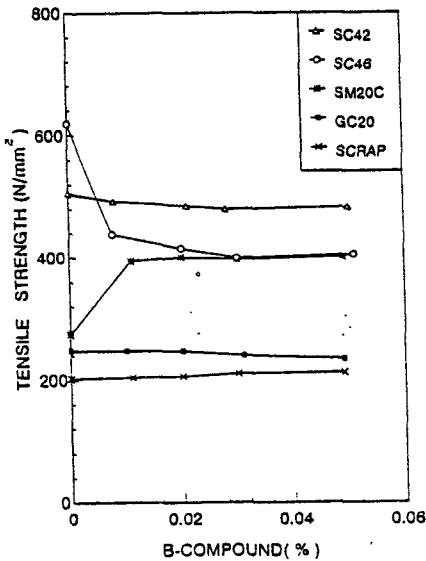


Fig. 3 The variation of the tensile strength according to the containing rate of B compound

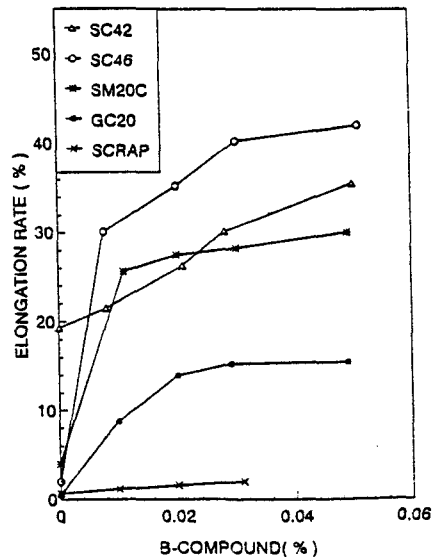


Fig. 4 An influence on an elongation by adding B compound

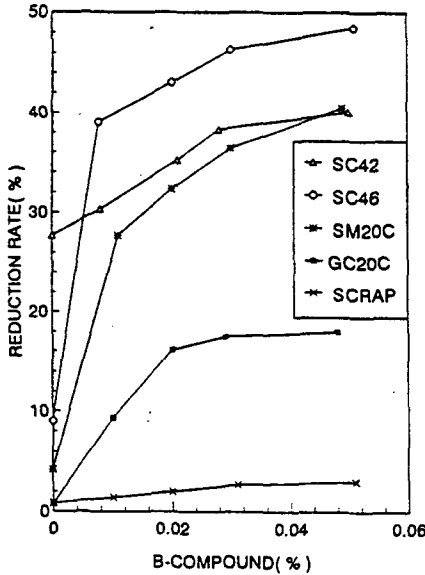


Fig. 5 An influence on a reduction by adding B compound

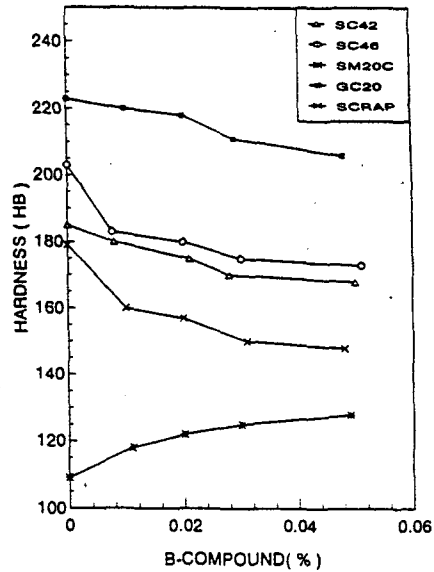


Fig. 6 The variation of the hardness value according to the containing rate of B compound

수 있다. Fig. 6은 경도시험의 결과를 나타낸다. 일반적으로 B첨가는  $Fe_2B$  등의 붕화물을 만들기 때문에 경도를 증가시키나, 여기서는 0.01%첨가시 약간의 감소현상을 보이다가 그 이후 안정한 값을 유지하고 있다. 이것은 조직이 ferrite인 것도 하나의 원인이 될 수 있다고 생각된다. SM20C의 경우에는 반대로 약간 증가하는데 인장강도의 결과와도 일치한다. Fig. 7은 샐피충격시험의 결과를 나타낸다. 소량인 0.01%의 B화합물이 첨가됨에 따라 각 재료는 20%~30%의 충격치의 증가를 보였다. 이와 같이 각 시험편에서의 결과처럼 소량의 B화합물이 첨가됨으로 인하여 재료의 연신율, 단면수축률 및 인성이 증가됨을 알 수 있어, 재료의 기계적 성질의 개선이 이루어졌다고 생각할 수 있다. 주강은 응력제거와 수지상조직, 편석의 균질화 및 Widmansatten ferrite조직의 개선에 의한 기계적, 물리적 성질의 개선을 목적으로 원칙적으로 어닐링을 시행한다.<sup>(6)</sup> 0.26%C의 주강을 800°C에서 어닐링작업을 하면 인장강도가 428.7 N/mm<sup>2</sup> → 470.88 N/mm<sup>2</sup>, 연신율 13.1% → 24.4%, 단면수축률 14.2 → 40.5%, 샐피충격치 2.9 kgm/cm<sup>2</sup> → 9.4 kgm/cm<sup>2</sup>으로 증가되는데,<sup>(7)</sup> 본 연구에서 사용한 SC42재료에 0.01% B화합물을 첨가한 결과를 보면 인장강도 493.44 N/mm<sup>2</sup>, 연신율 21.5%, 단면수축률 30.3%, 샐피충격치 8.1 kgm/cm<sup>2</sup>로서, 열

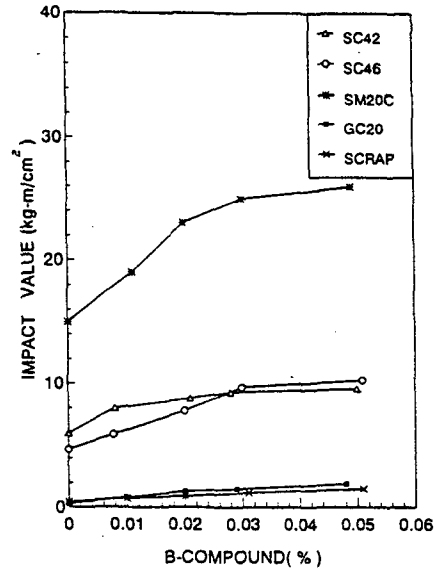


Fig. 7 The variation of impact absorbed energy according to the containing rate of B compound

처리의 효과를 얻고 있음을 알 수 있다. 즉, 현재의 실험결과는 열처리 전 주물상태에서 이루어져, 열처리과정을 생략하고도 재료의 성질이 대폭 개선됨을 알 수 있는데, 이는 경제적으로도 큰 효과가 있다고 할 수 있다. 여기서 실험의 결과는 B화합물의 첨가에 의하여 재료가 회복되어 보통 주철화

됨을 나타내는데, 즉 산 경비로 양질의 강을 제조할 수 있다는 잇점이 있다. GC20의 회주철은 인장강도의 변화는 거의 없으나 연신율과 충격치가 증가함을 알 수 있는데, 일반적으로 주철의 기계적 성질은 구상 흑연화주철 등 흑연의 구상화에 의해 기계적 성질이 개선되어 왔다. 그러나, B화합물이 첨가된 시험편은 Mg 또는 Mg계 합금 등에 의한 흑연의 구상화가 아니라, 기지조직의 개선효과에 의해 주철의 품질이 향상되어, 저가로 강인주철이 제조될 수 있음을 나타낸다. GC20은 기계적 성질에 큰 변화는 없으나 조직내 공정상 흑연이 없었고 A형 흑연만 정출된 것으로 생각된다.

3.3 조직관찰

Photo 1(a), (b)는 SM20C의 조직관찰결과를 나타낸다. B화합물이 첨가되면 ferrite조직이 40%에서 60%로 증가하여 신장율, 수축율이 증가될 것을 예측할 수 있다. 또 pearlite조직이 농축되므로 결정입계의 불순물을 분산시켜 재료의 인성치가 증대됨을 추측할 수 있다. Photo 1(b)의 흑점부분이 B의 존재를 나타내고 있으며 주로 MnS을 석출핵으로 해서 BN으로 석출되고 있는 것으로 생각된다.

Photo 2는 설철에 대한 조직관찰의 결과이다. Photo 2(a)조직은 인장강도가 크나 미세흑연의 주위가 유리ferrite로 되기 쉬우므로 충격치가 적고

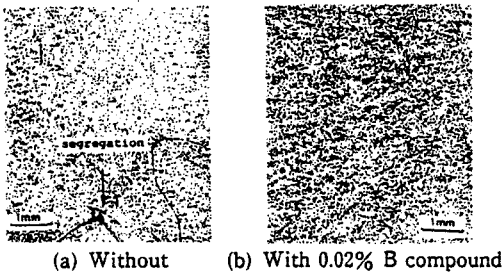


Photo 1 Optical micrographs of SM20C

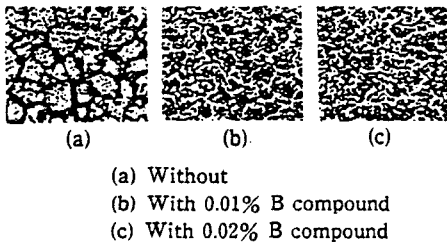


Photo 2 The variation of eutectic cell texture by adding B compound

내마모성도 불량한 데, Photo 2(b), (c)에서 알 수 있듯이 B화합물이 첨가됨에 따라 재질은 풀림열처리효과와 같이 공정 셀초적이 미세화되어 재료의 품질이 향상됨을 알 수 있다.

4. 결 론

금속의 기계적 성질을 향상시키기 위한 Mg-B-O계 화합물을 생성시켜 각종 강에 첨가한 후 강도실험과 조직관찰을 통하여 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 금속이 아닌 비정질계 B화합물로서, 첨가에 의한 용탕의 성분변화가 거의 없고, 결정입계부근의 편석방지 및 청정화효과로 인한 재료의 균질화가 이루어졌다.
- (2) 탈산효과가 나타났다.
- (3) 재료의 열적 약화향을 완화시켜 신장률, 수축률 등의 기계적 성질이 향상되고, 조직의 미세화가 이루어졌다.
- (4) 열처리를 생략한 채로 제품을 사용할 수 있어 경비절감의 효과가 기대된다.

참고문헌

- (1) 山本光一, 鈴木洋未, 大野添秀, 1987, "ボロンを含有する高張力鋼のスラブ表面割れ發生機構と防止策," 鐵と鋼, 第73卷, pp. 115~122.
- (2) 麻生節未, 大城桂作, 1991, "Fe-Cr-C-B合金共晶凝固," 日本金屬學會誌, 第55卷, 第3號, pp. 316~323.
- (3) Chung, I. S. and Cho, S. G., 1993, "Effect of Cooling Rate and Strain Rate on Hot Ductility in Boron Steel," *J. of the Korean Inst. of Met. & Mater.*, Vol. 31, No. 1, pp. 64~72.
- (4) Cullity, B. D. 1981, *Elements of X-Ray Diffraction*, Addition-Wesley, pp. 421~444.
- (5) Hannerz, N. E. 1985, "Critical Hot Plasticity and Transverse Cracking in Continuous Slab Casting with Particular Reference to Composition," *Trans. ISIJ*, Vol. 25, No. 2, pp. 149~161.
- (6) 양훈영, 김수영, 1991, 금속재료학, 문운당, p. 246.
- (7) Bullens, D. K. 1964, *Steel and Its Heat Treatment*, John and Wiley and Sons, Inc., Vol. 1, p. 84.