

주물용 선철과 강스크랩의 동향 및 고순도 선철의 주물품질에의 영향¹⁾

野田 俊 *

(株) 神戸製鋼所 線材條鋼營業部

Current Foundry Pig Iron and Impurities of Steel Scrap, Effect of High Purity Pig Iron on Casting Property

Takashi Moda*

Kobe Steel Co.

번역 : 최정철²⁾

1. 서 론

주철제 주물제조에 사용되는 용해용 선철원료의 대부분은 자동차용박판강관 및 조선용후판강관등을 가공할때에 발생하는 강스크랩(이하 강쇄라고 칭한다)이지만, 근년, 철강제품의 고급화에 동반하여 주물에 있어서 불순물이라고 하는 성분이 강쇄에 혼입하는 문제가 계속 문제화하고 있다. 그래서 여기에서는, 철강제품이나 강쇄의 성분, 그것을 회석하기 위한 고순도의 선철의 동향, 그 고순도선의 주물품질에 미치는 효과등을 과거의 문헌을 주로 조사, 정리했다.

2. 주물용선철의 양적 동향

주철주물용으로서 소비되는 원재료의 구성비율을 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타낸다. Fig. 1은 공장내 발생의 회수재 용해재료 베이스, Fig. 2는 회수재를 제외한 신재료베이스이다. 용해재료 베이스의 경우, 회수재 비율이 해마다 증가하고 있고, 그 대신

에 신선비율이 감소하고 있다. 바꿔말하면, 주물메이커는 회수재가 늘어난 만큼, 주물용선철의 사용을 억제한 것이 된다. 회수재가 증감하는 요인으로서 주조방안 수율과 제품불량률등의 변화가 상정되지만, 회수재의 변동이 크기 때문에 선철과 강쇄의 증감관계가 알기 어렵게 되었다.

거기서, Fig. 2와 같이 신재료베이스로 나타내면, 2004년도까지는 선철로부터 강쇄로의 이행이 4년간에 약 1%에 머무르고 있지만, 2005년도 이후 1년반에 2.5%나 진행하고, 바로 근래의 2006년 7-9월기에 있어서 신선비율은 14%까지 감소, 강쇄비율은 70%까지 증가하고 있다는 것을 잘 알 수 있다. 급격하게 강쇄로의 이행이 진행된 배경에는, 철광석이나 석탄등의 선철제조에 필요한 원재료가 고등한 것에 따른 국제적인 선철시황의 변화에 대해서 강쇄시황의 변화가 선철만큼 크게 없었다는 것이다. 즉, 선철에 비해 강쇄의 싼 느낌이 강해졌다는 결과이다. 라고 상정된다. 현재, 주철주물의 일본생산량은 주철관을 포함해 연간 500만톤약인 사실로부터, 주물용 선철은 연간 약 70만톤, 강쇄는 350만톤이 주물용 철원으로서 일본에서 소비되고 있다는 것이 된다.

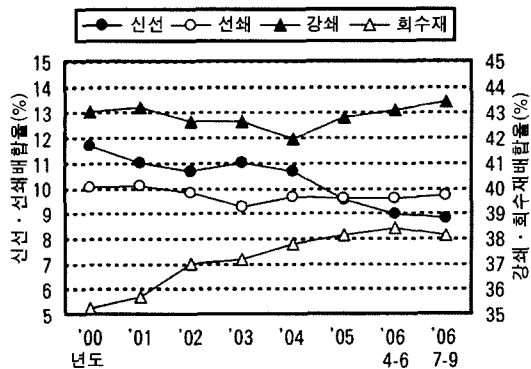


Fig. 1. 주물원재료 구성비율의 추이

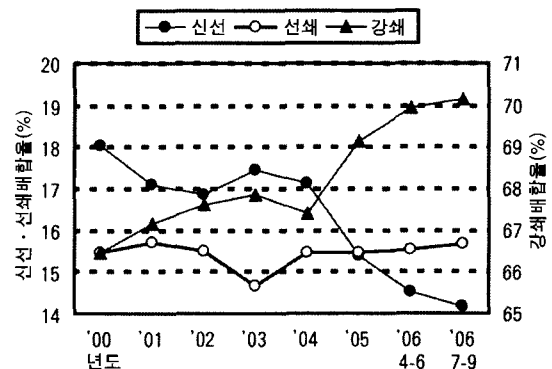


Fig. 2. 주물원재료 구성비율의 추이(회수재 제외)

¹⁾ 일본 주조공학회지: 鑄造工學 제 79권(2007) 제8호 page 430~434에 게재된 자료임.

²⁾ 아주대학교 신소재공학전공(Materials Science and Eng., Ajou University)

Table 1. 고강도강의 함유량레벨

강종	Mn 함유량레벨
290 MPa강 (30 kg강, 연강)	0.2%
440 MPa (45 kg강)	0.7%
580 MPa (60 kg강)	1.6%
780 MPa (80 kg강)	2.0%
980 MPa (100 kg강)	2.2%

*Mn 이외에도 Ti, Cr, V 등도 증가한다.

Table 2. 주물용 강쇠의 화학성분 분석결과 (n=34)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
평균치	0.096	0.012	0.580	0.014	0.006	0.027	0.020
최대치	0.172	1.354	2.010	0.021	0.013	0.189	0.072
최소치	0.003	0.004	0.140	0.008	0.002	0.006	0.005

	Cr	Al	Mo	Ti	V	Nb
평균치	0.030	0.034	0.005	0.004	0.001	0.003
최대치	0.141	0.074	0.019	0.044	0.005	0.027
최소치	0.010	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000

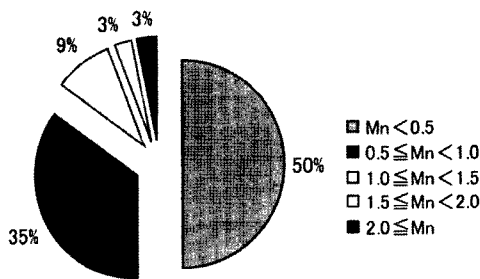


Fig. 3. 강쇠 중 Mn 함유량의 비율

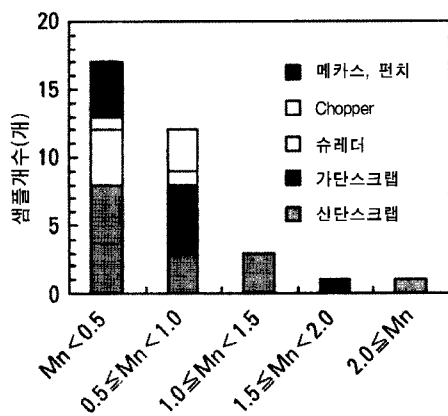


Fig. 4. 강쇠의 종류별 Mn 함유량

3. 강쇠의 성분문제

앞에서 다루었듯이, 주철제 주물제조에 사용되는 용해용 선철 원의 70%는 자동차용 박판강판이나 조선용 후판강판등을 가공할 때에 발생하는 강쇠가 주료이다. 특히 자동차용 박판강판은 자

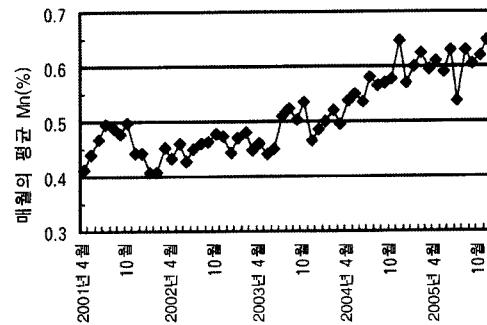


Fig. 5. Slab의 평균 함유량 추이

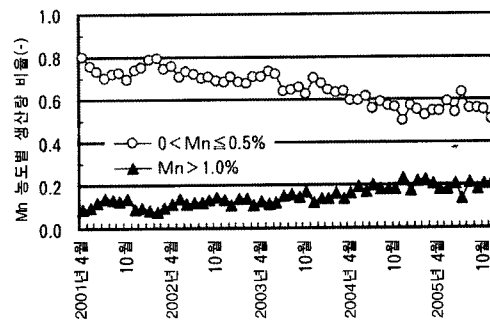


Fig. 6. Slab의 Mn 함유량별 생산량 비율 추이

동차의 경량화를 목적으로 고강도화의 필요가 해마다 강해져 있어, 고장력재라고 불리는 고장력강판의 비율은 50%를 이미 넘고 있을 가능성이 있다. 그러한 강재를 포함한 강쇠의 분석 조사는 10년정도 전부터 행해져왔고 여러 가지 문헌에 보고되어 있다. 1997년발행의 연구보고에서는 슈레더, 고장력강판, 전자강판등 10종류등의 강쇠를 분석하여, Mn, Cr, Al, Zn 등의 원소를 많이 포함한 결과가 얻어지고 있다. 또, 강재에 포함되는 미량원소의 양으로서는, 철강메이커의 카탈로그로부터 정리된 보고[3]가 있다. 그중에 필자는, 고장력강판에는 Mn 뿐만 아니라, Ni, Cr, V, Mo 등이 더해져 있으며, 열연강판에는 Ti, Nb이 첨가되어 있다 라고 보고되고 있다[4,5].

이하에 그 도표를 몇 개인가 옮겨서 해설한다(Table 1, Table 2, Fig. 3, Fig. 6).

Table 1에 고강도강의 Mn 레벨을 표시한다. 고강도화에 동반하여 Mn이 첨가되어 있다는 것을 알수 있다.

Table 2에 가단과 신단스크랩 등의 시중쇠의 분석결과, Fig. 3에 그 시중쇠 Mn치의 구성비율, Fig. 4에 그 종류별 Mn 함유량을 나타낸다. n=34의 평균 Mn 수치는 0.58%이고, 20%나 함유하고 있는 강쇠도 있다. 그러나, Fig. 3과 같이 구성비율로 보면, 0.5%미만이 반을 점유하고 있어, 1.0%이상은 전체의 15%에 머무르고 있다는 것을 알수 있다. 또, 강쇠의 종류별로 보면, Fig. 4와 같이 신단스크랩과 가단스크랩은 Mn수치가 높은 것로부터 낮은 것까지 여러 가지 있어, 종류에 따라 Mn수치를 상정하는 것은 곤란하다는 것을 알수 있다.

Mn이외에서는 Cu, Cr, Al, Mo, Ti, Nb 등의 흑연화저해, 흑연구상화저해, 퍼라이트족진등의 주물품질에 영향을 주는 원

소가 포함되고 있는 강쇄도 있다.

Fig. 5에 강쇄류의 압연소재인 슬라브의 Mn수치추이, Fig. 6에 Mn레벨을 0.5%로 구별한 슬라브의 생산비율을 나타낸다(강관류를 주제품으로 하는 제철소의 조사). 이것들로부터 강관제품의 Mn레벨은, 최근2년간 상승경향에 있어 시중쇄분석에 따른 평균Mn수치와 거의 동등한 0.6%, 0.5%이하의 비율도 시중쇄 동등의 약 50%가 되고 있다는 것을 알수 있다.

필자들은 Mn실태조사의 최후에, “강관류의 고강도화가 계속적으로 진행되고 있어(중략) 강쇄의 고Mn화는 불가피하다고 고찰된다. 금후의 수주분석으로부터도 고Mn화의 경향은 더욱 조장되는 것도 확실시되고 있다”라고 서술하고 있다.

4. 고순도선의 경향

고순도선의 명확한 정의는 특히 정해져 있지 않지만 일반적으로는 인등의 불순물이 많은 고로선에 산소취련공정을 가해서 불순물을 저감시킨 주철을 의미한다. 또, 일본에 수입되는 비합금주철은, 통관통계상, 인의 함유량이 전중량의 0.04%이하인지 아닌지 분류되고 있는 것에서, $P \leq 0.04\%$ 가 고순도선이라고 통계상에서는 정리되고 있다.

한편, 국내에 주로 유통하고 있는 고순도선의 인규격은 통관통계의 값보다 낮게 되는 것으로부터, 국내에 있어서는 $P \leq 0.04\%$ 의 주철을 고순도철이라고 분류해도 상관하지 않는다

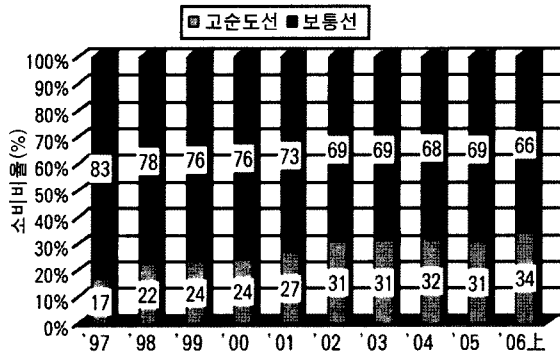


Fig. 7. 고순도선의 일본 소비비율

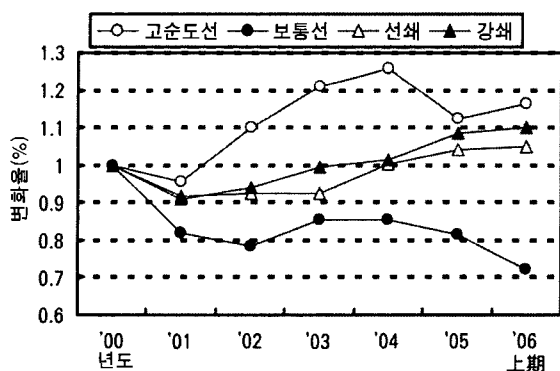


Fig. 8. 원재료 소비 변화율('00년대비)

라고 생각된다.

거기서, 통관통계및 국내통계자료를 기초로 조사한 국내에서 유통하고 있는 고순도선의 비율을 Fig. 7에 나타낸다. 1997년 당시는 20%약이었지만, 서서히 상승해서 2002년이후는 30%강, 최근의 2006년상기에서는 34%, 거의 1/3이 고순도선이 되고 있다. 제1항에서 기술했듯이, 주물용 선철의 국내소비량은 연간 약70만톤인 것으로부터, 고순도선의 절대량은 연간 약 20만톤 강이 된다.

Fig. 8에 2000년을 기점으로 한 각종 원재료의 소비량 변화율을 나타낸다. Fig. 2에서 나타냈듯이 선철 배합율은 저하경향에 있는데, 선철을 고순도선과 그것이외의 보통선으로 분류하면, 감소하고 있는 것은 보통선이어서, 고순도선은 2000년비 20% 전후의 신장을 나타내고 있다는 것을 알수 있다. 한편, 강쇄는 10%정도의 신장에 머무르고 있다. 강쇄의 소비량은 고순도선의 약15배에 상당하는 것으로부터, 강쇄로부터 고순도선에 시프트하고 있는지 어떤지를 거시적인 통계데이터로부터 검정하는 것을 할수 없지만, 금후, 성분분제를 포함하는 스크랩으로부터 고순도선으로 옮길 가능성은 기술적으로 충분하다고 생각된다.

5. 고순도선의 주철주물품질에 미치는 효과

고순도선은 보통선이나 강쇄에 비해 주철제 주물의 품질에 악영향을 미치는 미량원소가 비교적 적기 때문에 고순도선의 배합량을 증가시킴에 따라 주물의 품질개선효과가 얻어진다. 라는 지견이 과거에 복수발표되어 있다. 그중에서 금후는 2001년에 필자가 발표한 연구실실험결과[6], [7], 및 1999년에 일본주조(주)

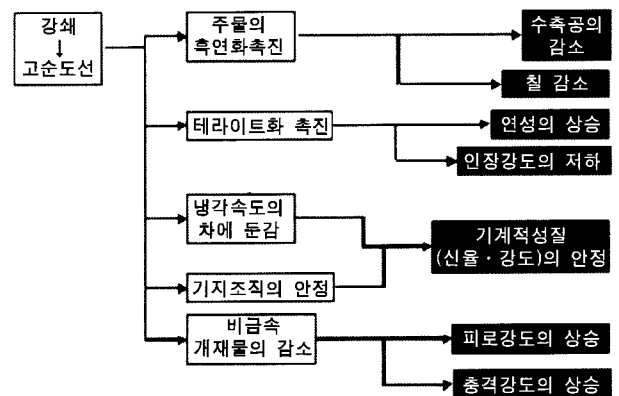


Fig. 9. 고순도선의 주물품질에 미치는 효과

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti
FC용	고순도선	3.87	1.77	0.49	0.024	0.003	0.020
	보통선	4.17	2.20	0.38	0.091	0.014	0.036
FCD용	고순도선	3.94	1.02	0.08	0.017	0.007	0.011
	보통선	4.38	1.39	0.27	0.094	0.009	0.035
	강쇄	0.12	0.02	0.34	0.015	0.006	0.050

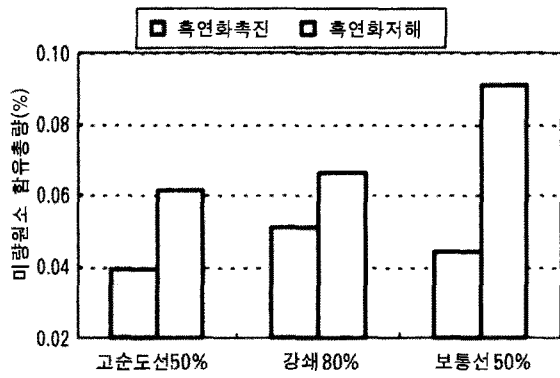


Fig. 10. FC재의 미량원소량

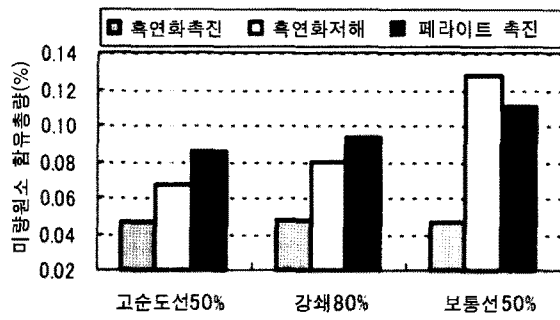


Fig. 11. FCD의 미량원소량

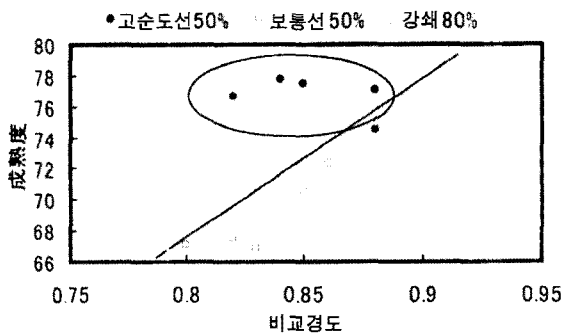


Fig. 12. FCD의 강도와 경도의 관계

보통선및 강쇄로부터 고순도선에의 변경한 때의 주물품질에 미치는 효과를 Fig. 9에 나타낸다. 강쇄로부터 고순도선에 이행하면 불순물의 양이 감소하고, 주물조직의 흑연, 기지및 비금속속개재물에 영향을 준다. 한 예를 열거하면, 고순도선을 이용함에 따라, 흑연화저해원소가 감소하고, 흑연의 생성이 촉진되고, 수축공 감소나 칠의 감소를 가져온다고 상정된다.

다음에 당사가 고순도선의 주물 기계특성에 미치는 영향에 대해서 조사한 결과를 소개한다.

실험에는, 당사의 고순도선, 보통선, 및 강재를 재료로서 사용하고, 그 성분을 Table 3에 나타낸다.

실험수준으로서 3예를 설정해서 기계특성을 비교했다. 원료 배합은 고순도선철50% + 강쇄50%, 고순도선철20% + 강쇄80%, 보통선철50% + 강쇄50%의 3가지를 용제해서 주조했다. 주형은

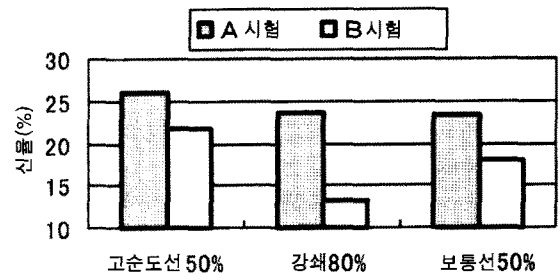


Fig. 13. FCD의 신율비교

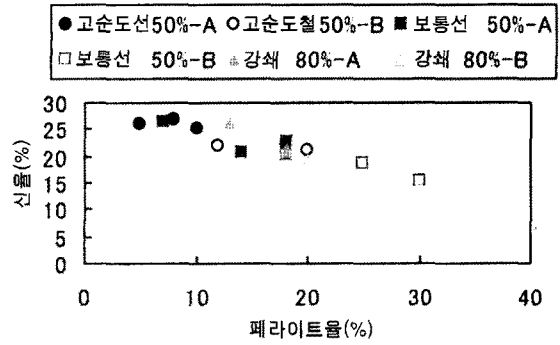


Fig. 14. 페라이트율과 신율의 관계

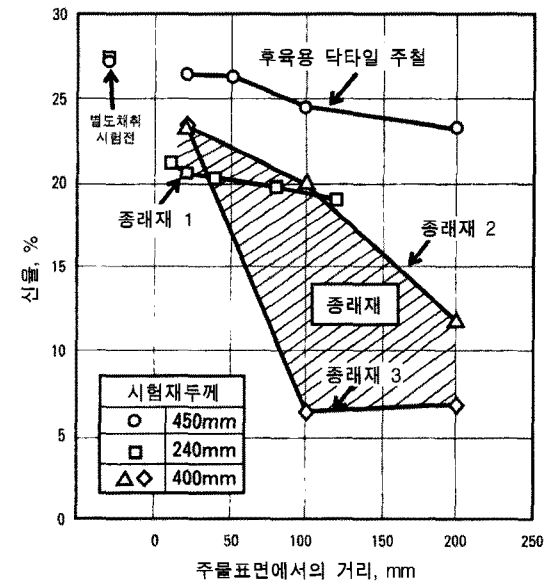


Fig. 15. 시료채취위치와 신율의 관계

후란사에 따른 Y형 블록을 이용하고, Y형 블록의 평행부로부터 상하2개 (상: B 하: A)의 인장시험편을 채취해서 기계시험에 제공했다. 접종후의 용탕성분치의 불순물을 흑연화촉진원소(Al, Bi, Co, Cu, Ni), 흑연화저해원소(Cr, Mo, Ti, V) 및 페라이트촉진원소(Cu, Cr, Ni, As, Mo, V, Sn)로 분류해서 Fig. 10 및 Fig. 11에 나타냈다. 이것들의 불순물 원소의 합계는 보통선50%에 있어서 높은 수치를 나타냈다. 고순도선50%와 강쇄80%용탕의 불

순물량은 거의 같은 레벨로 되어있다.

Fig. 12에 회주철의 비교경도와 성숙도의 관계를 나타낸다. 고순도선50%는 종래의 회귀선보다도 성숙도가 높은 위치에 있는 것에 비해, 보통선50% 및 강쇄80%는 종래의 회귀선상에 프롯트 된다. 그리고, 고순도선을 이용하면 같은 경사라도 인장강도가 크게 되는 것을 알 수 있다.

Fig. 13에 닥타일주철의 신율비교를 나타낸다. 고순도선50%의 신율이 A, B 모두 가장 좋다. 어느 시료에서도, A에 대한 B의 신율은 모두 저하하고 있는데, 강쇄80%의 경우 현저히 저하되고 있다. 또 고순도선과 보통선에 대해서는 신율의 저하에 큰 차이는 없었다.

Fig. 14에 조직에 차지하는 페라이트의 면적율과 신율의 관계를 나타낸다. 고순도선에 있어서 신율의 우위성은 조직에 페라이트가 적다는 것이 원인이라고 추정된다.

고순도선이 육후감수성을 저감하는 효과에 대해서는 일본주조주식회사의 실제예도 보고되어 있다[8]. 이 실험에서는, 고로선에 탈P 탈S처리를 실시한 후, 직접 전기유도로로 구상화처리나 접종처리를 실시해 닥타일주철의 대형 테스트블록을 주조했다. 대형 테스트블록의 표면근접으로부터 중심 근방의 시험편을 시험으로 공급한 결과, Fig. 15에 나타낸바와 같이 종래재에 있어서는 표면으로부터 떨어진 곳으로부터의 시험편일수록 신율이 크게 저하하는 육후감수성을 나타내는 것에 비해서 후육용 닥타일주철로서 기입된 고순도선의 시험편은 그것만큼 큰 저하를 나타내지 않는다 라는 실기에서의 지견이 얻어지고 있다.

6. 결 론

최근, 강쇄의 불순물 대책에 관한 발표가 학회나 논문등에서 많이 얻어지고 있다. 주철제의 주물제품을 주조함에 따라 강쇄의 사용은 피할수 없는 것으로서, 그 원료가 국내철강메이커의 고급강화 지향에 의해 오염되고 있다는 것이 현실이다. 일본의 철강메이커는 중국이나 인도등의 조강증산국으로의 일반강재에

대항해야 하고 금후도 더욱 자동차용 고장력이나 특수강등, 고급강분야의 설비투자나 기술개발에 주력해간다고 생각된다. 한편, 강쇄의 불순물 대책으로서, 산화반응이나 감압에 따른 불순물제거기술이나 접종등의 용탕처리기술등이 금후 실용화, 향상해갈 것이다. 그러한 상황하에서, 불순물의 희석효과가 있는 고순도선철은 지금 강쇄에 대한 비싼 느낌으로부터 경원시될 것이다. 그렇지만 방안상의 수율, 제품불량에 따른 회수, 불량품의 고침등도 가미한 토털코스트에서는, 성분적으로 우위의 고순도선철을 적량사용하는 방법이 저감되고, 또 그 방법이 기술개발의 실용화에 의해 조기 또한 확실하게 강쇄의 불순물대책이 될 것이다. 따라서 가까운 장래, 단지 용해코스트뿐만 아니라 주조, 가공까지 포함한 전공정의 코스트저감책으로서 고순도선철의 필요성이 한층 높아질 것이라고 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 鑄物用銑關連資料からデータ抜粋：(社)日本鉄鋼連盟発行
- [2] (社)日本鑄造工学会編：研究報告 76, 鑄鉄溶湯の性状及び材質に及ぼす微量元素の影響(日本鑄造工学会) (1997)
- [3] 佐藤兼弘：鑄造ジャーナル(2005) 249
- [4] 藤井健朗, 篠原智：鑄造ジャーナル(2006) 364
- [5] 横山隆宏：日本ダクタイル鑄鉄協会秋季大会(2005)
- [6] 野田 俊, 森岡耕一, 木口昭二：日本鑄造工学会第138回全国講演大会講演概要集(2001) 14
- [7] 野田 俊, 森岡耕一, 木口昭二：日本鑄造工学会第139回全国講演大会講演概要集(2001) 16
- [8] 小林竜彦, 劉志民, 四方慶一：日本鑄造工学会平成11年度技術賞・豊田賞受賞記念講演集(1999) 61