

대형강괴 주조공정 중 비금속개재물 저감연구

남궁 정^{1#} · 김용찬¹ · 김문철¹ · 오상훈² · 김남수²

Nonmetallic Inclusion in the Large Steel Ingot Casting Process

J. Namkung, Y. C. Kim, M.C. Kim, S. H. Oho, N. S. Kim

Abstract

Inclusions in forged large steel ingots of plain carbon steel and tool steel are investigated using optical microscope observation and WDX analysis. The large nonmetallic inclusions which is over 30~300 μm in their diameter were observed in the samples that has been no good on a nondestructive test. The most of the inclusions were consist of some kind of oxides, Al₂O₃, SiO₂, CaO, MgO in forms of particles and glassy with an iron particles. The experimental large steel ingot was cast with a pouring temperature which is about ten centigrade higher than the field standard. The inclusions were observed in the test ingot are the smaller than that was in a usual forged steel ingot and is spherical shape with a glassy agglomerated Al₂O₃-SiO₂-CaO-MgO particle. The pouring temperature is affected on removing the nonmetallic inclusions during the solidification by a floating mechanism.

Key Words : nonmetallic inclusion, large steel ingot, casting process , pouring temperature

1. 서론

철강주조제품이 대부분 연주화된 이후에도 대형 기계부품의 제조에 필요한 대형 강괴의 제품이 연간 100 million metric ton 이상의 규모로 생산되고 있다. 최근 조선산업, 풍력발전을 비롯한 화학 에너지사업의 확대로 강괴 제품의 대형화 및 품질에 대한 관심이 높다. 대형 강괴 주조품은 주조상태에서 내부의 응고수축, 비금속개재물과 같은 주조결함은 현재의 평가기술로는 검사하여 판별할 방법이 없는 상태이다.

열간 단조공정을 통하여 제품의 형상이 만들어진 후에야 비파괴 탐상에 의한 주조단조 제품의 건전성 유무가 판별될 수 있다.

대형 강괴 주조제품에서의 강괴 내부결함에는 그림. 1에서 개략적으로 나타낸 것과 같이 비금속개재물의 잔류, 편석, 균열, 기공, 수축공 같은 다양한 종류의 결함으로 분류할 할 수 있다. 이들 주조 결함 중 비금속개재물에 의한 주조결함은 다른 주조결함과는 다르게 열처리 단조 공정 중

에서 문제해소의 기회와 가능성이 없으며 단조공정 자체에 문제를 초래할 수 있다.

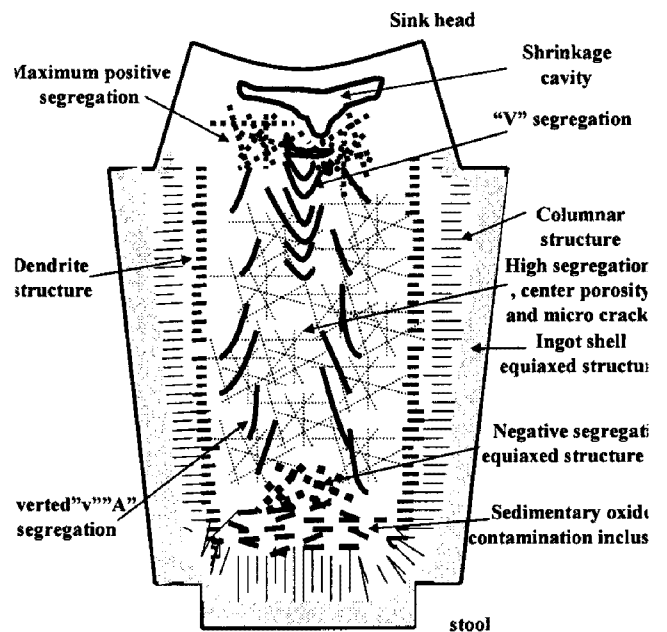


Fig.1 Macro structure and the kinds of casting defect in a steel ingot.

1. 포항산업과학연구원, 부품신소재연구센터
2. 포스코특수강, 기술연구소
남궁 정: 포항산업과학연구원, E-mail: namkung@rist.re.kr

강괴 주조품 중에 존재하는 비금속개재물은 단조 공정 및 부품화된 소재의 기계적 특성에 커다란 영향을 미친다. 강괴 소재의 인성은 비금속개재물이 증가할수록 확연하게 감소하는 경향을 보인다[1].

따라서, 비금속개재물 결함은 주조품 응고 이전에 문제원인을 제거하여 해결하여야 하는 어려운 점이 있다.

Pomey와 Trentini는 여러가지 환원재를 사용하여 강괴로 부터 비금속개재물을 연구를 실시하였다[2].

Franklin과 Miki 등[3, 4]은 강괴 내 개략적인 비금속개재물 분포에 대한 결과를 얻었고 Hilty, Kay, Pickering 과 Lunner는 광학 현미경과 주사전자 현미경을 활용하여 외래성 개재물을 분석연구를 수행하였다[5, 6, 7].

Thomas 와 Leach[8, 9]는 강괴 내·외래성 비금속개재물의 근원에 대한 조사연구를 실시하였다. 그러나, 주조 공정 중 외래 또는 내래적으로 주형 내 유입된 비금속개재물을 강괴의 응고 공정 중 제거하는 현장적인 방안을 제시하는 실험적 연구는 미약한 실정이다. 이러한 미약한 연구발표의 원인은 일반적으로 대형 강괴는 5톤 이상의 지칭하고 있으므로 공장형 실험규모로 연구를 위한 주조실험 및 제품의 분석과정에서 비용과 노력이 많이 요구되는데 기인한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 현재 주조되는 대형 강괴의 주조품 및 단조 제품 중에서 검출된 비금속 개재물의 유형과 성분, 크기 등을 전자현미경 분석을 통하여 관찰하고 대형 강괴 제품 내 다양한 종류의 비금속개재물 사례를 정리하였다. 또한 STD61 강종의 8톤 강괴의 하주입 주조공정에서 주입온도를 조정하여 현장적용 주조시험을 실시하고 주조된 강괴를 절개하여 내부 중심 면에 존재하는 비금속개재물의 형태 및 분포를 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 강괴 단조품 중 비금속개재물 분석

강괴 단조품은 성형공정 후 소재의 건전성을 평가할 목적으로 초음파 탐상에 의한 비파괴 검사를 실시한다. 본 실험에서는 초음파 탐상에서 문제된 제품의 유사강종에 대하여 결함의 탐상

위치를 단조 가공 전 주조된 강괴 형상에서 추론하고 결함부분을 채취하여 광학 현미경조직 관찰을 통하여 결함의 종류가 비금속개재물로 관찰이 될 경우 전자현미경, WDX 분석에서 개재물의 성분 및 성상에 대한 세부적으로 분석된 비금속개재물의 유형을 정리하였다.

2.2 시험 강괴 주조시험

단조품에서 분석된 비금속개재물의 발생 위치가 대부분 강괴의 중심부 상단에 위치하고 비금속개재물의 크기가 수십 ~ 수백 μm 크기로 검출되었다. 이러한 점에 착안하여 비금속개재물의 주입 후 부상분리 제거가 미약한 기존 주조공정조건을 개선하기 위하여 기존 주입온도 보다 높은 조건을 적용하였다.

표 1에는 시험주조공정 조건에 대한 대표적인 변수와 조건을 제시하고 있으며 압탕비, 압탕 발열·보온조건, 주입속도 분포, 몰드 형상조건은 기존의 제품조건과 동일하게 적용하여 실시하였다.

Table 1. Ingot casting process conditions

Alloy	Size	Pouring Temp.	Feeding
STD61	8 ton	CT+ 10°C	Bottom

2.3 시험 강괴 주조품 비금속개재물 분석

주조된 강괴는 내부에 존재하는 비금속개재물을 관찰·분석하기 위하여 강괴를 주입부, 중단부, 압탕부로 나누어 강괴의 횡 방향으로 절개하였다.

횡 방향으로 절개된 강괴 조각은 다시 주탕부에서 압탕부에 이르는 중심선을 따라 절개하여 그림 2와 같이 중심단면상에 나타낸 것과 같이 시편의 영역을 구분하였다. 이때의 각 시편의 두께는 약 25mm로 평면 연삭 가공을 실시하여 경면을 확보하였다. 분석용 시편은 강괴 중심선을 따라 우측 1/2에 대하여 중심선에서 표층부에 이르는 균등거리 위치에서 W25 x L25 x t25mm 시편을 3개 채취하여 분석하였다. 전자현미경에 의한 비금속개재물 관찰 및 분석을 실시하였다.

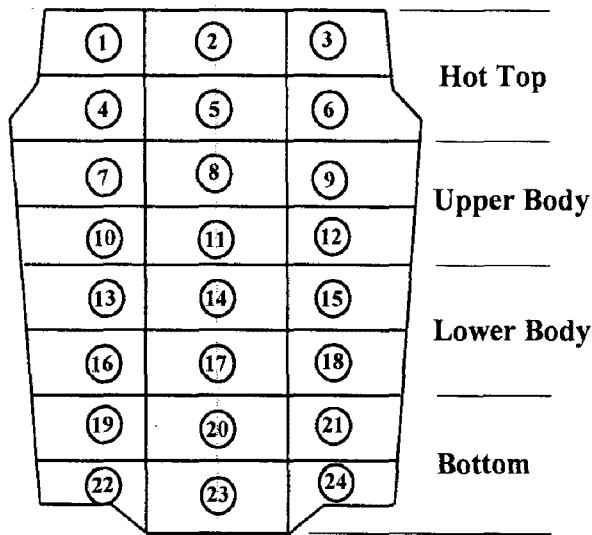


Fig. 2 Sampling locations on the center line cross sectional ingot plate.

3. 결과 및 고찰

3.1 강괴 단조품중 비금속개재물 유형

대형 강괴로 부터 제조된 단조제품의 주요 잉곳 중심 상단 위치에서 비파괴 탐상 결과 문제의 시편을 미세하게 관찰 분석하여 보면 그림 3과 같은 수백 μm 크기의 비금속개재물이 관찰된다.

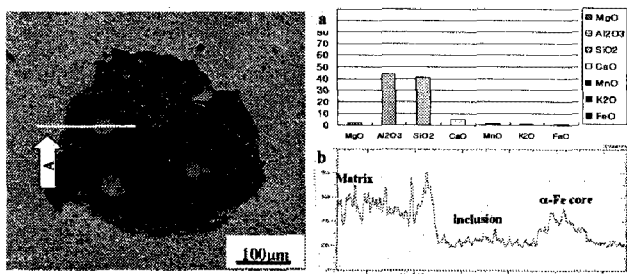


Fig.3 An α -Fe cored inclusion, a) the general composition of inclusion(wt.%), and b) the WDS C- α on the marked A line.

이러한 개재물은 여러 가지 유형이 있을 수 있으나 연구의 분석결과에서는 흔히 중심부에 초정 α -Fe을 함유하는 형태의 알루미늄, 실리케이트가 복합된 개재물로 구성되어있다. 이러한 개재물은 주조 중 또는 응고과정 중 압탕부 상층으로 부상

하여 제거되지 못한 경우로 판단되어 응고 시 온도분포 압탕의 온도관리에 부적합한 요인에 의한 것으로 사료된다.

한편, 비파괴 탐상 결과 문제의 강괴 단조제품에서 분석되는 비금속개재물의 유형은 그림 4에 타낸 바와 같이 초정 Fe가 중심에 위치하고 알루미늄 산화물입자가 합체된 형태, 초정 Fe가 중심에 있고 유리질 실리케이트가 합체된 형태, 알루미늄, 산화규소, 산화칼슘 입자들이 합체된 형태, 알루미늄 입자를 코어로 하여 유리질 실리케이트가 합체된 형태 등 수십 ~ 수백 μm 크기의 비금속개재물이 관찰 분석되었다.

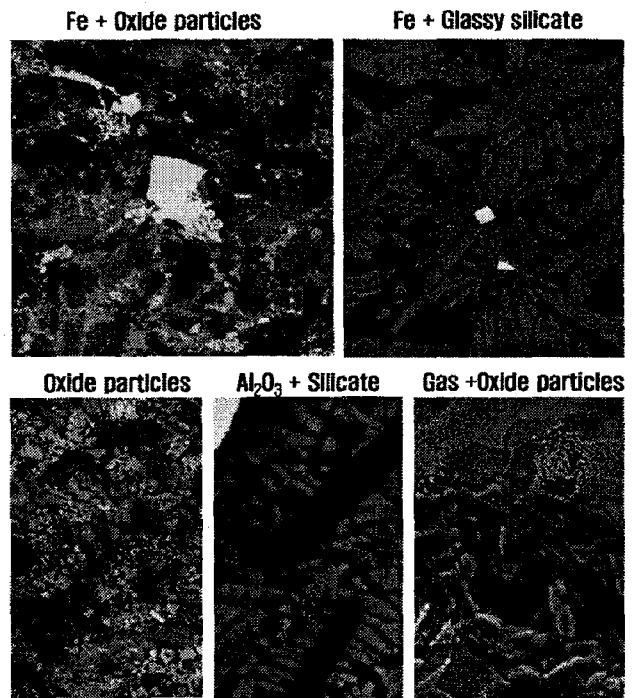


Fig.4 Various types of nonmetallic inclusions in the forged steel ingots.

3.2 시험주조 강괴 중 비금속개재물 분석

강괴 주조과정에서 비금속개재물의 부상분리 제거 항상 목적으로 몰드 내 충전 되는 용강의 온도를 10°C 높이고 압탕의 온도를 보장하여 공정에 적용하였다.

실험방법에서 기술한 방법과 같이 주조상태의

강괴 내부의 영역을 구별하여 존재하는 비금속 개재물을 관찰하고 분석한 결과 그림 5와 같이 개략적인 강괴 내부 비금속개재물의 분포유형에 대한 결과를 얻을 수 있었다.

관찰 분석된 비금속개재물은 주조 알루미늄--산화 마그네슘--산화칼슘--산화규소로 구성되어 있으며 주로 탈산 산화물로 사료되는 알루미늄, 산화규소 성분으로 분석되었다.

개선 전 단조제품에서 검출되는 수십 ~ 수백 μm 크기의 대형 비금속개재물은 관찰되지 않았으며 크기가 작은 약 10~20 μm 구형 비금속개재물이 관찰되었다.

이는 주조 중 유입되거나 응고 중 자체 형성된 수십 μm 이상의 대형 비금속개재물은 몰드 내 용강의 온도유지 및 응고모델의 개선으로 응고 중 부상분리 제거된 것으로 주조공정 조건 중 주입 온도 상승에 의한 효과로 판단된다.

4. 결론

대형강괴 단조제품에서 검출되는 비금속개재물의 관찰 분석과 강괴 주조 공정 중 주입온도 증가에 의한 비금속개재물 저감연구결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 대형 강괴 단조제품에서 검출 분석되는 대형 비금속개재물은 주조 중심에 초정 Fe를 포함하거나 복합산화물 형태의 수십 ~ 수백 μm 크기로 잔류할 수 있다.

(2) 강괴 시험주조 주조 공정 중 주입온도가 기존 대비 약 10°C 상승된 조건을 적용함으로써 응고 중 대형 비금속개재물이 효과적으로 제거되어 응고된 강괴 내부에 약 10 ~ 20 μm 크기 이하의 구상의 소형 비금속개재물이 잔류되어 관찰되는 결과를 얻었다.

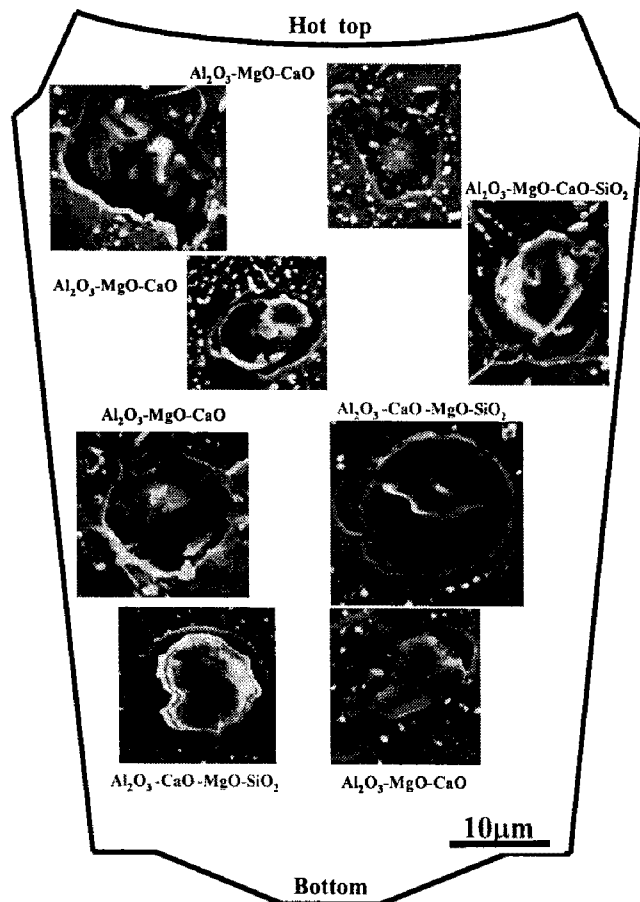


Fig. 5 Nonmetallic inclusions in the test STD61 ingots.

후 기

본 연구의 현장시험 평가를 적극 도와주신 포스코특수강 기술연구소와 제강공장 관계자 여러분께 감사 드리며, 특히 김인배 부장, 황호순 부장, 임영규 차장, 이용수 차장께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] P.K Trojan: ASM Handbook, 15 (Casting), ASM International, Ohio, (1988), 88.
- [2] G.Pomey and B.Trentini: Int. Conf. on Production and Application of clean steels, The Iron and Steel Institute, London, (1970), 1.
- [3] A. G. Franklin: Int. Conf. on Production and Application of Clean Steel, The Iron and Steel Institute, London, (1970), 241.
- [4] Y. Miki, H. Kitaoka, T. Sakuraya and T. Fujii: Tetsu-to-Hagane, 78 (1992), 431.
- [5] D.C. Hilty and D.A.R. Kay: 43rd Electric Furnace Steelmaking Conf. Proc., ISS, Warrendale, PA, USA, (1985), 237.

[6] F.B. Pickering: Int. Conf. on Production and Application of Clean Steels, The Iron and Steel Institute, London, (1970), 124.

[7] S.E. Lunner: Int. Conf. on Production and Application of Clean Steels, The Iron and steel Institute, London, (1970), 124.

[8] J.D. Thomas, R.O. Russell and T.R. Garcia: 69th Steelmaking Conf. Proc., ISS, Warrendale, PA,(1986), 300.

[9] J.C.C. leach: Int. Conf. on Production and Application of Clean Steels, The Iron and Steel Institute, London, (1970), 105.