

고로 열풍로에서의 응력부식발생 및 방지대책

안강훈*(광양제철소), 박태조(경상대, 항공기부품기술연구센터)

Mechanism of Stress Corrosion Cracking of Hot Stove Shells and Preventive Measures

K.H. Ahn(POSCO) and T.J. Park*(Gyeongsang Nat. Univ., ReCAPT)

Abstract - The expected life of the hot stove equipments for #2 blast furnaces in Gwangyang Steel Works is about 40 years. However, the stress corrosion cracking(SCC) are founded in heat affected zone only 10 years operation. In this paper, the mechanism of SCC are investigated and the preventive measures are recommended.

Keywords : Stress corrosion cracking(응력부식균열), Hot blast stoves(열풍로), Welding(용접), Heat affected zone(열영향부)

1. 서론

부식(Corrosion)이란 금속재료가 화학적 또는 전기화학적 상호작용에 의해 퇴화되는 현상을 말한다. 즉, 산소나 황과 같은 비금속 원소와 금속이 결합하여 자연상태에서 존재하는 에너지가 낮은 광물상태로 되돌아가는 것이다. 특히, 부식성 분위기와 함께 비교적 낮은 인장응력이 동시에 작용하는 경우에 발생하는 응력부식(Stress corrosion)은 두가지 조건이 상승효과를 일으켜 균열이라는 형태의 급속한 형태의 파손을 유발한다[1-3].

한편, 예상수명이 대략 40년인 제철 열풍로설비는 고온·고압의 가혹한 환경하에서 장시간 연속적으로 운전되기 때문에 사용재료의 강도저하 등에 기인하는 노후화

가 필연적으로 수반되므로 이에 대한 설비관리가 아주 중요한 부분을 차지한다. 1988년 7월에 가동을 개시한 광양제철소의 제2고로 열풍로(Hot blast stoves)에서는 화입후 10년이 경과한 시점부터 연소실의 철판에 다수의 균열이 관측되기 시작하여 이의 장수명화에 큰 장애요인으로 작용하고 있다. 이와 같은 취성균열을 응력부식균열(Stress corrosion cracking : SCC)이라고 하며 다양한 부식유형 중에서 가장 위험한 형태로서 기계적 특성이 우수한 고장력강, 고장력 Al합금, 동합금 등과 같은 재료에서 자주 관찰되고 있다.

한편, SCC는 20세기초에 암모니아 분위기의 황동에서 발생한 소위 "계절균열"에서 최초로 보고된 이후로 1, 2차의 세계대전중에는 황동탄피에서 심각한 문제를 초

래하였다. 또한, 1920년대에 발생했던 알칼리 균열은 탄소강으로 제작된 증기기관용 보일러의 폭발과 같은 심각하고도 위험한 문제로 부상하였다[3].

본 논문에서는 고로 열풍로에서 발생하는 균열의 발생원인을 조사하고 이의 방지 대책을 제시함으로써 제철설비의 장수명화에 기여하고자 한다.

2. 열풍로의 용도 및 구조

고로의 열풍로 설비는 Fig.1에 나타낸 것과 같이 연소실, 축열실 및 혼냉실로 구성되며, 이들의 대형 원통형 외피는 점으로 나타낸 부분과 같이 철판으로 용접되어 있다. 연소실에서의 COG(Coke oven gas)와 BFG(Blast furnace gas) 연소열이 축열실 내부에 격자모양으로 채워져 있는 내화벽돌에 축열되면 송풍기로 공급되는 200℃ 정도의 냉풍은 1250℃ 정도의 고온 열풍으로 가열되어 고로에 공급된다. 따라서, 열풍로내의 벽돌이 식게되면 공기가 적정온도로 가열되지 않기 때문에 다시 축열하는 시간동안에는 송풍이 어려우므로 연속적인 송풍을 위해서 고로당 최소한 3기의 열풍로가 요구된다. 현재 광양제철소 제2고로에는 4기의 열풍로가 설치되어 있으며, 각 열풍로에 대한 주요사양은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. 광양제철소 열풍로 사양.

	크 기	비 고
송풍량, Nm ³ /min	5,700~6,200	
작동압력, kg/cm ²	4.6	설계 5.1
철피온도, ℃	85~150	내부온도 1,200℃
연소실철피사양	φ 5,600×22t	

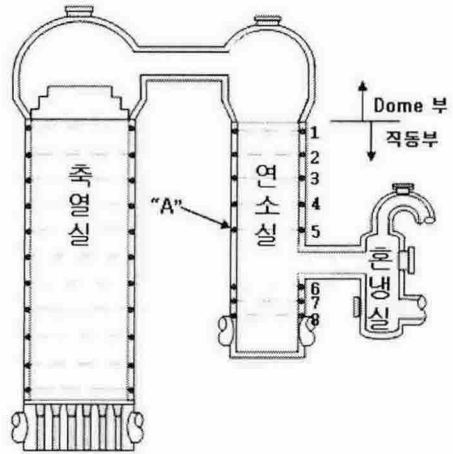


Fig. 1. 고로 열풍로의 구성.

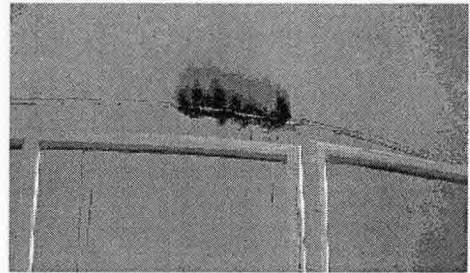


Fig. 2(a). 균열이 발생한 용접부.

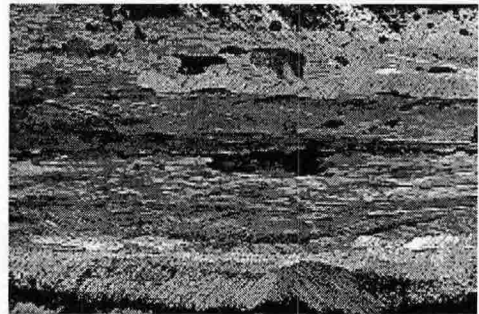


Fig. 2(b). 균열발생부 외형.

3. 응력부식균열의 발생

3.1 용접부 균열관찰결과

열풍로의 용접부에 대한 초음파시험결

과, 다수의 내부균열을 검출되었다. Fig.2는 열풍로 철판에서 발생한 균열의 예를 나타낸 사진이다. Fig.3은 Fig.1에 표시한 용접부 "A"위치에 대한 상세사양으로 균열은 그림에서와 같이 용접부에 발생하였다. 연소실 용접부에는 크기가 30mm 이하(23개)에서부터 1,000mm 이상(4개)까지 전체 개수는 72개로 길이는 11,435mm에 이르는 등 심각할 정도의 균열이 관찰되었다. 이러한 결과를 타사의 사례를 참고하여 판단하면 송풍압력에 의한 인장응력과 부식환경이 함께 작용함으로써 발생하는 취성과파괴특성의 SCC일 것으로 추정된다 [1,4-6]. 이는 열풍로에는 응력과 부식환경이 동시에 작용하는 설비이기 때문이며, 본 논문에서는 이에 대해서 집중적으로 조사하고자 한다.

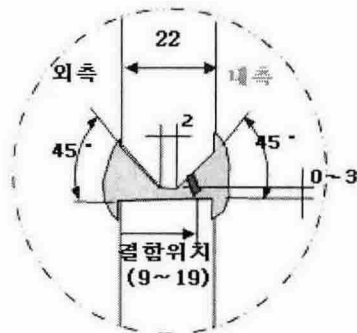


Fig. 3. 용접부의 상세사양.

Fig.4는 열풍로 철판에서 균열이 발생한 부분에 대한 사진이며, 균열이 발생한 원인을 조사하기 위하여 금속조직사진을 Fig.5에 나타내었다. 여기서, 균열은 용접시에 발생한 열영향부(HAZ)를 기점으로 하여 결정입계를 따라 진전된 전형적인 응력부식균열 형태임을 알 수 있다. 또한, 균열부는 C와 Mn은 희석되어 있고 O는 농화하고 있으며, N, S 및 Cl이 함께 검출되었다. 따라서, 이러한 결과로부터 철판에서 발생한 균열은 부식환경을 유발시키는 NOx, SOx 등에 의한 SCC임을 쉽게

추정할 수 있다[4-6].

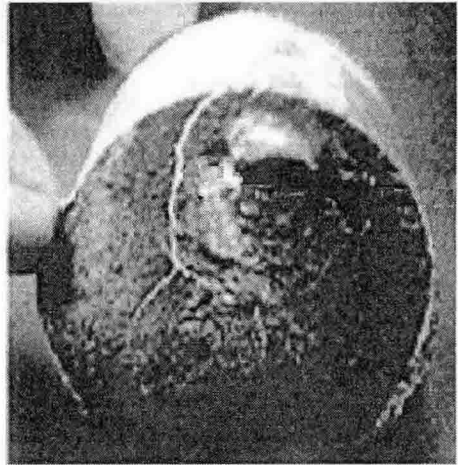


Fig. 4. 철판의 균열부 Sample.

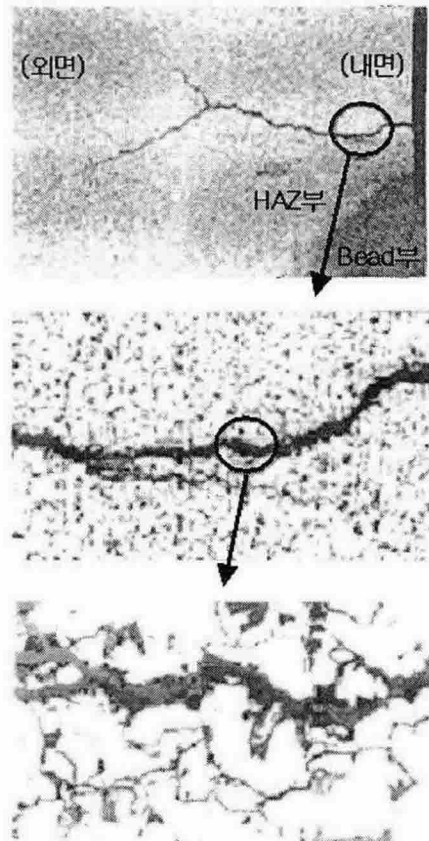


Fig. 5. 균열부 현미경 조직사진.

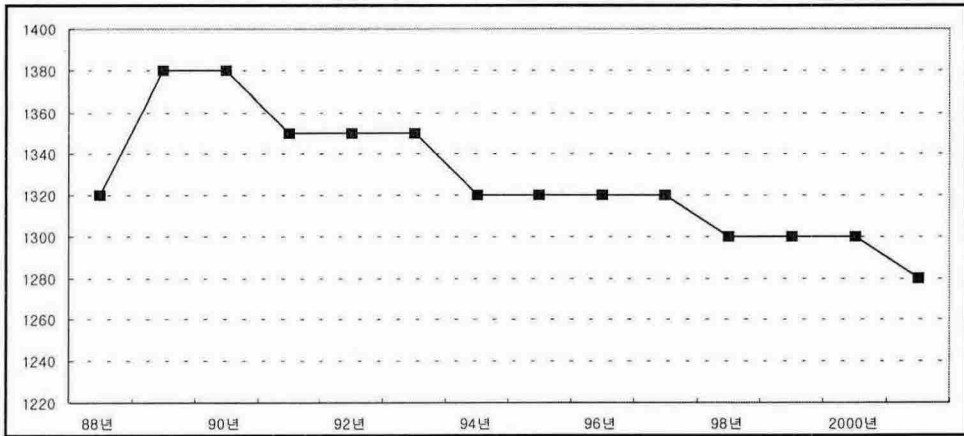


Fig. 7. 열풍로 조업온도 추이.

3.2 SCC의 발생원인

고로 열풍로에는 SCC가 발생하기 위한 인자인 인장응력, 부식환경 및 SCC에 감수성을 가진 금속의 3가지 조건이 다음의 설명에서와 같이 동시에 충족되고 있다.

Table 1에 나타낸 것과 같이 열풍로 철판에는 상당한 송풍압에 의한 인장응력과 함께 용접부 부근에는 항상 잔류응력이 작용한다.

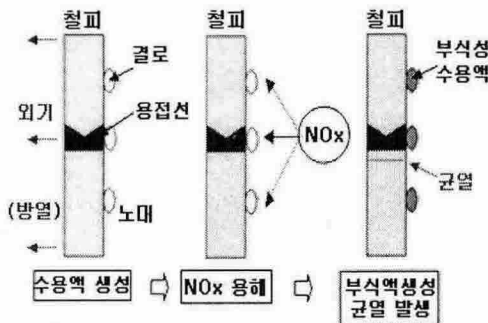


Fig. 6. 철판 응력부식균열의 생성과정.

다음으로 연소 Gas중에 함유된 질소와 산소가 고온상태에서 반응함으로써 생성되는 NOx로 인한 초산염으로 확인되고 있다. 즉, Fig.6에 나타낸 것과 같이 부식액은 외기에 의하여 철판의 내면이 냉각됨에 따라 80~150°C의 노점이하에서 NOx가 내벽

에 생성된 결로액으로 용해되는 것으로 보고되고 있다[4-6].

마지막으로, 철판용 재질인 구조용 강재에서는 결정입계에 C와 N의 석출과 함께 편석이 있기 때문에 입계부식이 쉽게 발생한다.

4. SCC 방지대책

열풍로에서의 SCC 발생을 방지하기 위해서는 이의 발생에 관련하는 인자인 응력, 환경, 재료중 하나의 원인을 제거해야 한다. 하지만 기존에 사용중인 열풍로에 대해서는 응력과 재료에 관련된 인자를 새롭게 선택할 수가 없는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 다음과 같이 SCC 발생을 억제할 수 있는 실질적인 환경설정방법을 중점적으로 조사하였다.

4.1 연소실 온도의 적정관리

철판의 SCC 발생원인중의 하나가 배출 Gas중에 NOx가 철판 내면의 결로수분에 용해되어 생성되는 것으로 알려져 있다. 즉, NOx는 1400°C 부근에서 발생이 급격하게 증대되므로 가능하면 낮게 유지할 것이 요구된다. 이에 따라 Fig.7에는 광양제철소의 제2고로에 대한 화입이후의 조업온도에 대한 추이를 나타내었다. 즉, 1988년에 화입한 이후

상당기간동안 Dome의 온도를 1350~1370℃로 유지하였지만 1993년에 1320℃, 1999년에는 1300℃로 점차 낮추었으며 2000년 9월에는 1280℃까지 더욱 낮추어 조업하고 있다.

4.2 철판 내면에는 Castable 시공

Fig.6에 나타낸 것과 같이 철판 내면에 발생한 결로에 노내 Gas가 접촉하는 것을 차단하기 위하여 침식에 강한 내산성 Castable을 시공하였다. Fig.8에는 Castable 시공한 열풍로 벽면의 상세구조를 나타내었다.

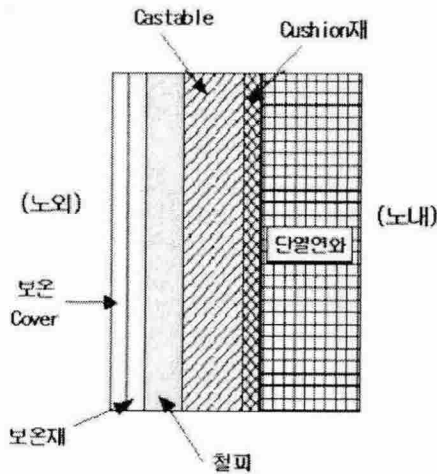


Fig. 8. 열풍로의 노벽구조.

4.3 철판 외면에 보온시공

철판내면에서 결로가 발생하는 것을 방지하기 위해서는 최소한 연소 Gas의 노점온도 이상으로 보온하는 것이 필요하다. 한편, 철판의 모재로 사용되는 일반구조용 탄소강은 300℃를 초과하면 고온강도가 급격히 저하하기 때문에 상한온도를 설정해야만 한다. 이러한 경과에 따라 철판에 대한 온도범위는 170~250℃가 되도록 결정하였다. 이의 관리를 위하여 축열실과 연소실의 용접부에 열전대(Thermocouple)를 설치하고 확실한 관리를 위

하여 Fig.9에 나타낸 것과 같이 Deck를 시공하였다.

4.4 용접부의 Patch 보수

만일, 철판 용접부에서 균열이 발생하면 Gouging한 후 육성용접을 실시하여도 계속 발생하기 때문에 균열발생부에 대하여 Fig.9에 나타낸 것과 같이 Patch보수를 실시하였다.

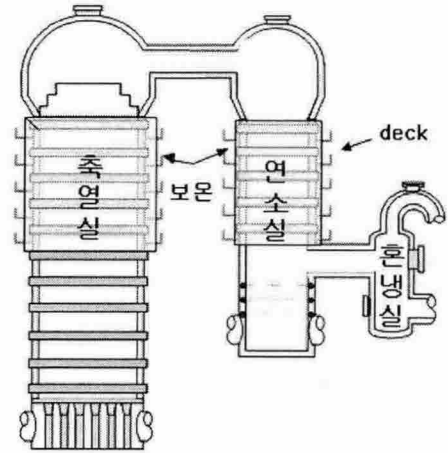


Fig. 9. 응력부식균열 억제방안.

이상에서와 같이 본 논문에서 제시한 고로 열풍로에 대한 SCC 방지대책을 종합적으로 Fig.9에 나타내었다. 이러한 SCC 방지대책은 열풍로 뿐만 아니라 화력발전소에도 그대로 적용할 수 있으며, 이들의 장수명화와 안전운전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

5. 결론

본 논문에서는 광양제철소 고로공장 열풍로 설비에 대한 응력부식균열의 발생기구를 정리하고 이의 억제방안을 제시하였다. 이 결과, 연소실 온도관리, 철판의 내·외면에 대한 Castable 및 보온 시공, 용접부에 대한 Patch 보수 등이 보다 실질적인 SCC 억제방

안임을 제시하였으며, 현재 이를 채용한 열풍로의 보수공사가 진행중이다. 따라서, 본 논문에서의 결과는 고로 열풍로 뿐만 아니라 화력발전소에도 그대로 적용이 가능하며, 이들의 장수명화와 안전운전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

후 기

본 논문의 일부는 과학기술부·한국과학재단 지정 항공기부품기술연구센터의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Jones, D. A., Principles and Prevention of Corrosion, 2nd ed., Prentice Hall, 1996.
2. Bradford. S. A., Corrosion Control, Van Nostrand Reinhold, 1993.
3. Revie, R. W., Uhlig's Corrosion Handbook, 2nd ed., John Wiley & Sons, 2000.
4. Thyssen Ag, Experience Gained in Stress Corrosion Cracking on Hot Blast Stoves, Iron & Steel Engineer, Vol.157, 1980.
5. 新日本製鐵(株), Mechanism of Stress Corrosion Cracking of Hot Stove Shells and Evaluation of Preventive Measures, Iron & Steel Engineer, Vol.157, 1980.
6. KAWASAKI 제철(주), 열풍로 철판의 응력부식균열, 철판과강, S777, 1981.