CORROSION SCIENCE AND TECHNOLOGY, Vol.25, No.3(2026), pp.182~188
[Research Paper]
pISSN 1598-6462 / eISSN 2288-6524
DOI: https://doi.org/10.14773/cst.2026.25.3.182

Si, Al 첨가 냉연 소둔 강판의 산화물 형성과 특성에 관한 연구

손일령[1,†] · 김권일[1] · 박강현[2] · 이연주[2] · 신승철[2] · 김진현[3] · 남경훈[1]
[1]POSCO기술연구원 표면연구그룹, 전남 광양시 금호동 폭포사랑길 8
[2]POSCO 광양제철소 냉연부, 전남 광양시 금호동 폭포사랑길 20-26
[3]POSCO 광양제철소 품기부, 전남 광양시 금호동 폭포사랑길 20-26
(2025년 11월 19일 접수, 2026년 1월 10일 수정, 2026년 1월 11일 채택)

Oxide Formation and Its Properties on the Si, Al added Steel Surface during Annealing Process

Il-Ryoung Sohn[1,†], Kwon-Il Kim[1], Kang-Hyun Park[2], Yeon-Ju Lee[2], Seung-Chul Shin[2], Jin-Hyun Kim[3], and Kyung-Hoon Nam[1]
[1]*Surface Research Group, POSCO Technical Research Laboratories, Gwangyang 57807, Republic of Korea*
[2]*Cold Rolling Mill Division, POSCO Gwangyang Works, Gwangyang 57807, Republic of Korea*
[3]*Quality Technology Division, POSCO Gwangyang Works, Gwangyang 57807, Republic of Korea*
(Received November 19, 2025; Revised January 10, 2026; Accepted January 11, 2026)

The formation behavior of surface oxides on cold-rolled Fe-Si-Al steel sheets during annealing was investigated using glow discharge spectroscopy (GDS), transmission electron microscopy (TEM), and thermodynamic calculations (FactSage). This study focused on the competitive formation of Al_2O_3 and SiO_2 as a function of annealing temperature and alloy composition. The results showed that the Al/Si ratio in surface oxides increases exponentially with temperature ($Al/Si \propto \exp(\alpha T)$), where α represents the temperature sensitivity of Al_2O_3 formation. The value of α increased with higher Al content, indicating that Al-rich alloys are more sensitive to temperature variations. At elevated temperatures (1275 K), AlN formation was observed in addition to Al_2O_3, particularly in regions where the Al_2O_3 film was locally disrupted. Thermodynamic analysis confirmed the predominance of Al_2O_3 and AlN under the given conditions and demonstrated that stable Al_2O_3 formation suppresses SiO_2 growth. These findings provide a quantitative basis for controlling surface oxide composition through precise adjustment of annealing temperature and Al content, contributing to improved surface quality and process reliability in advanced automotive steel sheets.

Keywords: *Annealing, Oxidation, Al-Si-steel, SiO_2, Al_2O_3*

1. 서론

최근 자동차 산업에서는 연비 향상과 배출가스 저감을 위한 차체 경량화가 핵심 과제로 대두되고 있다. 이에 따라 고Si, 고Al 합금 강판의 적용이 확대되고 있으며, 이러한 소재는 자동차 부품의 고강도화와 경량화를 동시에 실현할 수 있다는 점에서 그 수요가 증가하고 있다. 특히, 자동차용 강판의 표면품질은 내식성, 도장성, 용접성 등 다양한 기능적 요구를 충족해야 하며, 이는 최종 제품의 신뢰성과 내구성뿐만 아니라 차량의 안전성에도 직접적인 영향을 미친다 [1,2]. 한편, 고합금 냉연 강판은 소둔(annealing) 공정 중 표면에 형성되는 산화물이 후속 도금 및 도장 공정에서 결함의 주요 원인이 될 수 있다. 따라서 자동차 강판의 표면 품질 확보를 위해 소둔 산화물 제어가 필수적이다. 이러한 산화물의 생성 거동은 강판의 합금성분(Si, Al, Mn, Sb, B 등)과 소둔 온도, 분위기(이슬점, 산소 분압, 유량 등) 조건에 따라 크게 달라지므로, 산화물의 정밀한 제어는 고품질 자동차용 강판 제조의 핵심 기술로 인식되고 있다 [3-6]. 특히, Si와 Al은 자동차 강판의 표면 품질과 전기강판의 자기적 특성을 결정짓는 핵심 원소로서, 소둔 공정에서의 표면 산화 거동에 대하여 많은 연구가 진행되

†Corresponding author: irsohn@posco.com
손일령: 수석연구원, 김권일: 수석연구원, 박강현: 대리, 이연주: 대리, 신승철: 명장, 김진현: 팀리더, 남경훈: 연구그룹장

어 왔다 [7-10]. 그러나 Si 및 Al을 함께 함유하고 있는 합금강에서 Al_2O_3와 SiO_2의 형성 거동에 대하여는 불명한 부분이 많다. 소지철에서의 Si과 Al의 성분비율 및 소둔 조건에서 이들 산화물의 형성과 성장 메커니즘에 대한 이해는 명확히 밝혀지지 않았다 [11-13]. 본 연구에서는 Si, Al 함량이 상이한 Fe-Si-Al계 냉연 강판을 대상으로, 소둔 온도 및 분위기 조건에 따른 표면 산화물의 성장 거동을 실험적 분석(GDS, TEM)과 열역학적 해석(FactSage)을 통해 체계적으로 규명하였다. 이를 통해 자동차용 강판의 표면 품질 향상을 위한 소둔 산화물의 성장 거동을 예측하고, 더 나아가 산화물의 체계적 제어를 위한 새로운 방향성을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 시편 및 소둔조건

실험 시편으로 Si 단독, Si-Al 복합 첨가강을 사용하였다. 시편은 0.9 mm 두께로 냉간압연 된 강판에서 채취하였다. Table 1에 나타낸 것과 같이 시편의 조성은 Si 0.3% 단독, Si 1.2% - Al 0.3% 및 Si 3.2% - Al 0.7%의 3종류였다. Si, Al 외의 여타 원소는 0.05% 미만이었다. Si-Al 복합 첨가강의 Si/Al비는 4.0 및 4.6이었다. 시편 표면을 탈지한 후 Iwatani사에서 제조한 소둔 산화 Simulator를 이용하여 열처리를 실시하였다. 소둔 분위기는 N2 95% - H2 5% 혼합 가스를 사용하였으며 Dew point는 233 K(-40 ℃)로 조정하였다. 소둔 온도는 다음과 같이 설정하였다. Simulator에 장착된 시편은 5 K/s의 속도로 소둔온도에 도달하였고, 1083 ~ 1275 K에서 60 s간 유지한 후 5 K/s의 속도로 냉각하였다.

2.2 미세구조분석 및 열역학 해석

열처리 후 시편 표면에 생성된 소둔 산화물은 GDS를 이용하여 정량적으로 측정하였다. Fig. 1은 표면에 농화된 Al의 GDS 분석 결과의 예시를 나타내었다. 성분 농화물의 양을 정량적으로 분석하고자 그래프에서 Al peak의 적분값(단위: wt%·μm)을 계산하였다. 적분 깊이는 산화물을 이루는 원소들의 peak가 일정한 값으로 수렴하는 범위를 정하였는데, 본 논문에서는 0.1 ~ 0.2 μm 범위를 정하여 측정하였다. 이 구간 내에서 측정함으로써 일정한 적분값을 얻을 수 있었다. 표면 산화물의 구

Table 1. Annealing heat conditions and chemical compositions for samples

Samples	Annealing Conditions		Chemical Compositions (wt%)		
	Temp. (K)	Time (s)	Si	Al	Si/Al
J1	1086	60	0.3	-	-
J2	1103	60	0.3	-	
J3	1126	60	0.3	-	
J9	1083	60	1.2	0.3	4
J13	1166	60	1.2	0.3	
J8	1198	60	1.2	0.3	
J17	1125	60	3.2	0.7	4.6
J16	1175	60	3.2	0.7	
J18	1275	60	3.2	0.7	

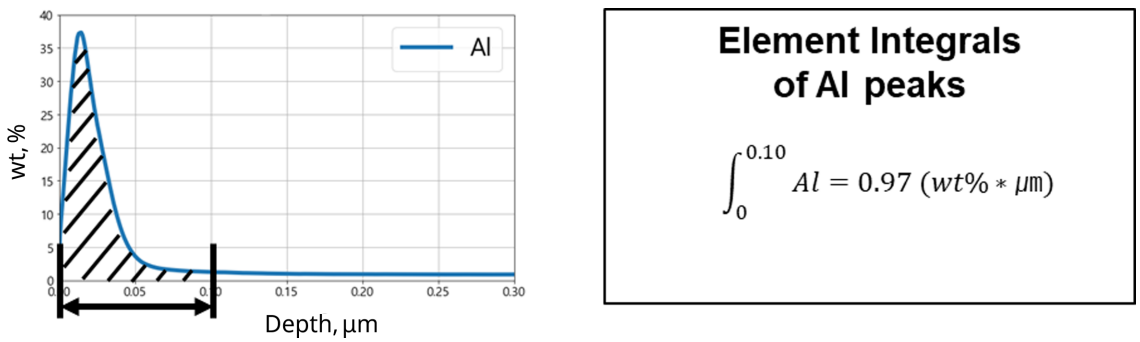


Fig. 1. GDS depth profile of Al and an example of the integrated Al peak area

조 분석을 위하여 Talos F200X STEM을 사용하여 미세구조를 관찰하고, 각 성분별로 mapping하여 분포를 조사하였다. 소둔 온도와 성분에 따른 산화물, 질화물의 열역학적 안정성은 FactSage ver.8.3을 이용하여 계산하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3종류의 실험시편에 대하여 소둔온도 1086K 및 1125K에서 열처리한 시편의 GDS 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 표면에 농화되는 성분원소는 Si, Al, O이었으며, 이는 주로 SiO_2, Al_2O_3가 형성되었음을 나타낸다. Si 0.3% 시편에는 Si 농화가 두드러졌다(Fig. 2a). 한편 Al, Si복합 첨가강에서는 Si 및 Al이 동시에 농화가 되고 있으나, 원소별 농화비율은 차이가 있었다. 즉, Fig. 2b에서는 Si과 Al의 표면 농화량이 비슷하였으나, Fig. 2c에서는 Al이 우선적으로 농화되면서 Si의 농화가 억제된 것으로 보인다. 이는, 산화와 반응성이 큰 Al이 우선적으로 선택 산화되어 연속적인 피막을 표면에 형성함으로써 Si을 비롯한 다른 원소들의 산화를 억제하는 현상으로 이해된다 [11-13]. 소지 성분 중 Si/Al의 비율은 Fig. 2c가 4.6으로 4.0인 Fig. 2b 보다 높았음에도 불구하고 Fig. 2c에서 Al의 농화가 Si의 농화보다 월등히 두드러졌다. 이는 Si/Al 비 뿐만 아니라, Al의 절대 함량이 Al_2O_3 피막의 안정적 형성에 더 큰 영향을 미침을 시사한다. 또한 소둔 온도의 영향도 있을 것으로 기대된다.

Table 1의 Fe-1.2%Si-0.3%Al (Si/Al = 4.0) 및 Fe-3.2%Si-0.7%Al(Si/Al=4.6) 시편의 온도별 소둔 산화물을 GDS로 분석하여 Fig. 3에 표층에 농화된 Si과 Al을 나타내었다. 또한 표층으로부터 0.1 μm지점까지의 각 농화물의 적분값을 계산하였고, 1275K에서 소둔한 Fe-3.2%Si-0.7%Al시편의 1186 ~ 1215 Al농화량은 그 깊이가 상대적으로 깊기 때문에 0.2 μm 지점까지 농화물을 적분하여 나타내었다.

양 시편 모두 온도가 증가함에 따라 Si의 농화량은 감소하였고 Al은 증가하였다. 그러나 온도 증가에 따른 Al의 증가폭에 비하여 Si의 감소폭은 상대적으로 적었다. 즉, 상대적으로 저온에서는 Al_2O_3과 SiO_2이 동시에 생성되어 성장하나 고온으로 갈수록 Al_2O_3의 형성이 우세하여 SiO_2의 성장이 오히려 감소됨을 알 수 있다. 앞서 저자들은 Si이 단독으로 함유된 Fe-0.3%Si강의 경우 소둔온도 1086 ~ 1126 K에서 온도가 증가함에 따라 SiO_2의 증가율이 exp (0.031 × Temp (K))의 비율로 증가함을 확인하였다. 그러나 Si과 Al이 함께 함유되어 있는 경우, Fig. 3의 결과에서와 같이 SiO_2와 Al_2O_3가 함께 생성되며 온도가 증가함에 따라 SiO_2는 감소하고 Al_2O_3는 증가하였다. 이것은 두 산화물의 열역학적 안정성에서 기인하는 것으로 생각된다 [14]. 저온 혹은 산화 반응의 초기와 같이 열역학적 평형에 도달하기 전에는 SiO_2와 Al_2O_3가 혼재하여 생성되지만 고온에서 산화반응이 진행할수록 열역학적으로 안정한 Al_2O_3가 우세하게 성장하여 표면에서의 물질 확산을 억제하는 보호적인 산화피막으로 작용하여 SiO_2의 성장이 억제되는 것으로 판단된다. 즉, 저온에서 표면 산화물은 SiO_2와 Al_2O_3가 경합하며 동시에 형성되지만, 온도가 증가하고 소지철 중 Al 함량이 높을수록 Al_2O_3가 지배적으로 표면에 형상됨으로써 SiO_2의 성장을 억제하는 것으로 생각된다. 이번 연구의 Al,Si 첨가 범위와 소둔 조건에서 표면에서 분

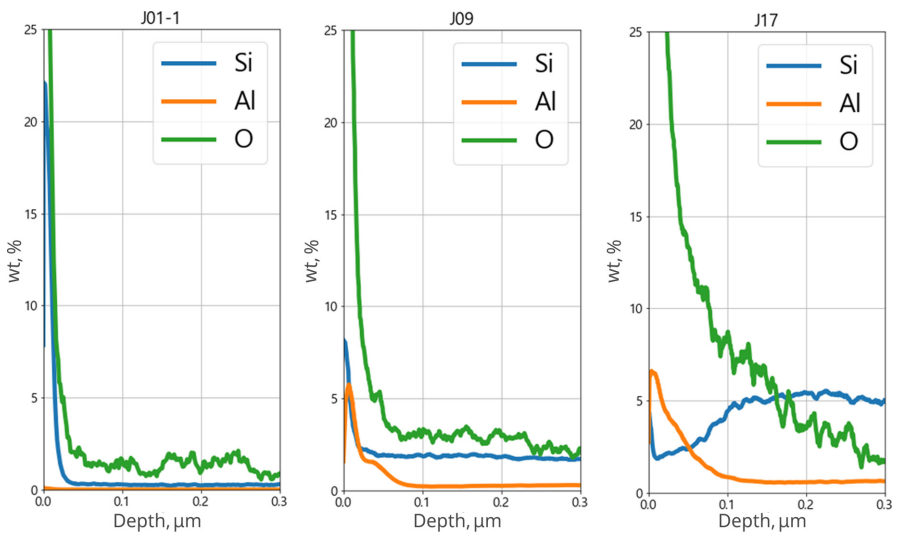
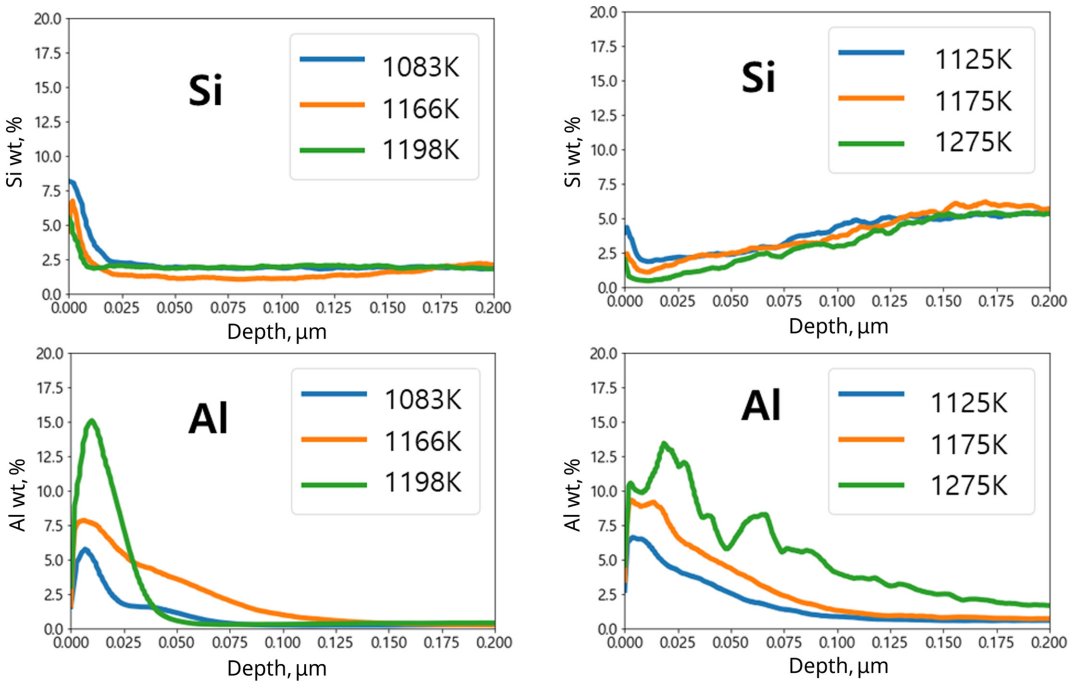


Fig. 2. GDS profiles of Si and Al after annealing at 1083 to 1125 K in N2-5% H2 (dew point: –40 °C, 233 K); Si 0.3% steel at 1086 K, (b) Si 1.2% - Al0.3% at 1083K, (c) Si 3.2% - Al 0.7% at 1125 K

석되는 산화물은 대부분 Al_2O_3가 관찰되었다. 일부 시편의 TEM 관찰에서 Al_2O_3 산화물이 형성된 위치에서 Si의 존재가 확인할 수 있었으나 검출 강도가 미미하였다.

시편의 성분차이에 의한 정량적인 비교를 정확히 하기 위하여, 양 시편에 대하여 온도별로 표면 산화물의 Al/Si 비의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 양 시편 모두 온도가 증가함에 따라 Al/Si 값이 지수적으로 증가하는 경향을 보인다. 특히, Al의 절대 함량이 더 높은 Fe-



Temp.	$\int_0^{0.01} Si\ dx$	$\int_0^{0.10} Al\ dx$	Al/Si
1083K	0.06	0.15	2.5
1166K	0.04	0.38	9.5
1198K	0.03	0.37	12.3

Temp.	$\int_0^{0.01} Si\ dx$	$\int_0^{0.1\sim0.2} Al\ dx$	Al/Si
1125K	0.03	0.3	10.0
1175K	0.02	0.47	23.5
1275K	0.01	1.06	106.0

Fig. 3. GDS analysis for Si, Al profiles on the annealed samples (a) Fe-1.2%Si-0.3%Al, (b) Fe-3.2%Si-0.7%Al

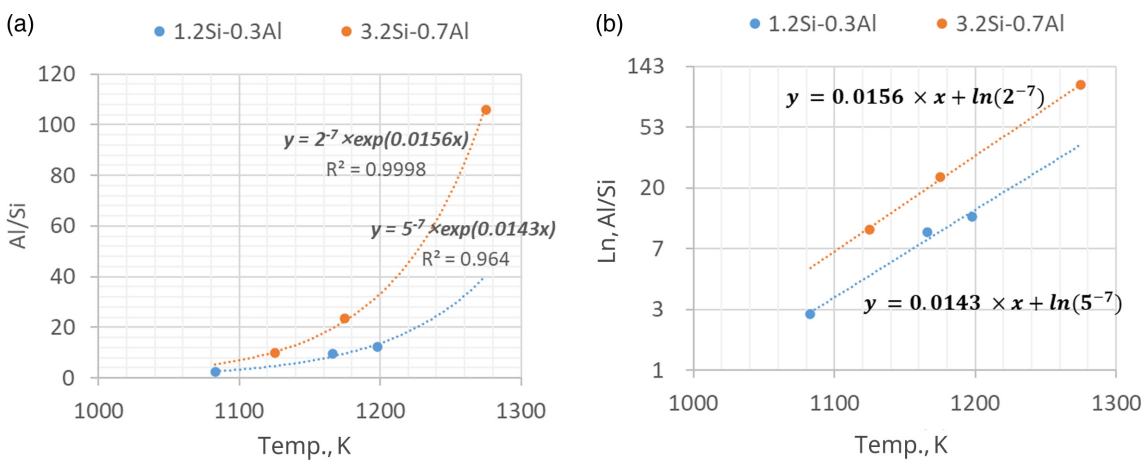


Fig. 4. The Al/Si ratio in oxides as a function of annealing temperature for both Fe-1.2%Si-0.3%Al and Fe-3.2%Si-0.7%Al after annealing; (a) Al/Si vs Temp.(K), (b) ln(Al/Si) vs Temp.(K)

3.2%Si-0.7%Al 조성에서 Al/Si 값의 증가폭이 더욱 커서, 온도 증가에 따라 더욱 민감하다고 볼 수 있다.

양 조성에 대한 Al/Si 값의 온도 의존성은 다음과 같이 지수함수로 근사식을 구하였다.

$$y = 2 \times 10^{-7} \times \exp(0.0156x) \text{ for Fe-3.2\%Si-0.7\%Al} \quad (1)$$

$$y = 5 \times 10^{-7} \times \exp(0.0143x) \text{ for Fe-1.2\%Si-0.3\%Al} \quad (2)$$

여기서, y는 소둔산화물 중의 Al/Si를 나타내고 x는 온도(K)를 의미한다. 두 조성 모두 온도가 증가할수록 Al/Si 값이 급격히 증가하지만, Al의 절대 함량이 높은 3.2Si-0.7Al 조성에서 지수함수의 증가율(0.0156)이 더 크고, R^2 값도 0.9998로 매우 우수한 상관성을 보인다.

Fig. 4b는 Al/Si 값의 자연로그(Ln(Al/Si))를 온도에 대해 도시한 것이다. 두 조성 모두 온도에 따라 선형적으로 증가하며, 이 선형 그래프의 기울기가 Fig. 4a의 추세식에서 지수함수의 계수(즉, 증가율)에 해당한다. 이때, 지수함수의 계수는 온도 변화에 따른 Al_2O_3 생성 경향의 민감도 계수(sensitivity coefficient)로 해석할 수 있다. 즉, 이 값이 클수록 온도 변화에 대해 Al/Si 값(Al_2O_3 생성 경향)이 더 민감하게 반응함을 의미한다. 민감도 계수를 활용하면 서로 다른 조성에서 온도 변화에 대한 Al_2O_3 생성의 민감도를 정량적으로 비교하거나, 공정 제어 시 온도 안정화의 중요성을 평가할 수 있다. 실제로, Al의 절대 함량이 증가할수록 온도에 따른 Al/Si의 증가율(기울기)이 커지는 경향이 관찰된다. 이는 산화물 내 Si/Al 비가 소지철 내 Al의 절대 함량에 의해 크게 좌우되며, 온도가 높아질수록 그 영향이 더욱 두드러진다는 점을 시사한다. 결론적으로, 소지철의 합금 성분 중 Al의 절대 함량은 산화물 내 Si/Al 비의 온도 의존성에 결정적인 역할을 하며, Al 함량이 높을수록 온도 상승에 따른 Al/Si 값의 증가는 더욱 뚜렷하게 나타난다. 이는 산화물의 조성 제어 및 합금 설계 시 Al의 절대 함량이 매우 중요한 인자임을 보여준다.

실험 시편 중 1275K에서 소둔 열처리를 한 Fe-3.2%Si-0.7%Al 시편(Table 1의 J18)에서는 표면에 Al_2O_3이외에 AlN의 형성이 관찰되었다. Fig. 5에 소둔열처리 한 Fe-3.2%Si-0.7%Al 시편의 표면 산화물을 TEM으로 관찰하고 Al, N, O 성분에 대한 mapping을 한 결과를 나타내었다. Fig. 5a는 1175 K로 소둔한 경우로서 표면에 약 15 nm 정도의 Al_2O_3 층이 발달되어 있고, AlN은 관찰되지 않는다. Fig. 5b는 1275K로 소둔한 경우이다. 표면에 약 30 nm 정도의 Al_2O_3층이 형성되었으나 국부적으로 약 100 nm 두께의 노듈(nodule)형의 반응 생성물이 관찰되었다. 상부는 Al_2O_3가 형성되었으나 치밀하거나 연속적이지 못하며, 하부는 Al_2O_3와 AlN이 혼재된 형태로 관찰된다. 이와 같은 현상으로 미루어 표면에 생성된 Al_2O_3 피막이 국부적으로 파괴된 곳에서 Al_2O_3와 AlN이 성장한 것으로 생각된다 [15]. Al_2O_3 피막은 고온에서 성장함에 따라 산화물층 내부에 미세한 결함 및 불순물이 증가할 수 있으며, 내부 응력의 증가로 인해 취약해질 수 있다. Al_2O_3 피막이 파손되어 외기가 소지철에 침투함에 따라 AlN이 생성된 것으로 추정된다.

1073 ~ 1273 K 온도에서 Al_2O_3와 AlN의 열역학적 안정성을 FactSage를 이용하여 계산하여 Fig. 6에 나타내

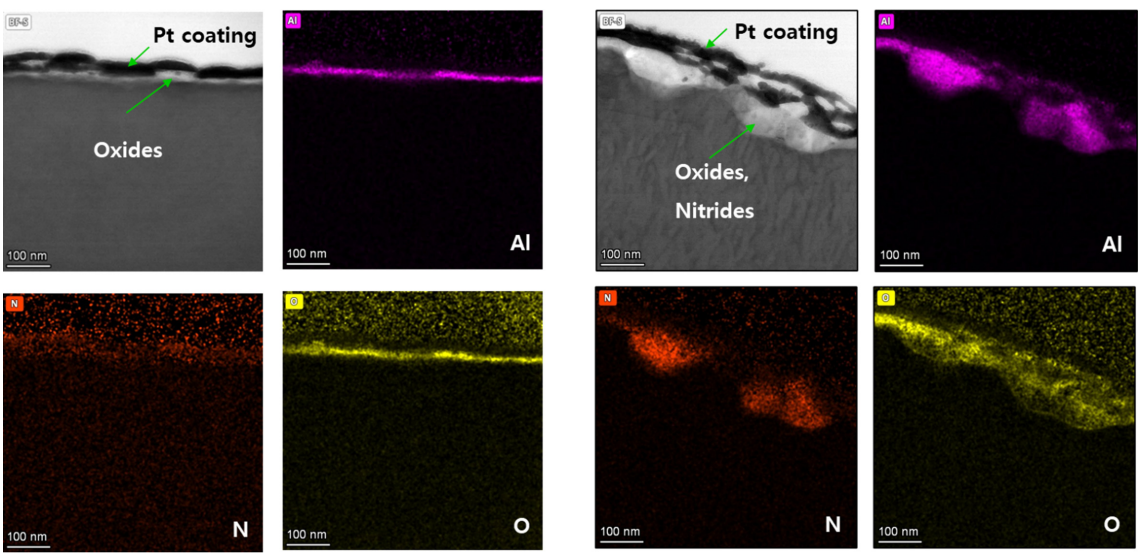


Fig. 5. TEM element mapping of oxides formed after annealing of Fe-3.2%Si-0.7%Al alloy. (a) annealed at 1175 K, (b) annealed at 1275 K

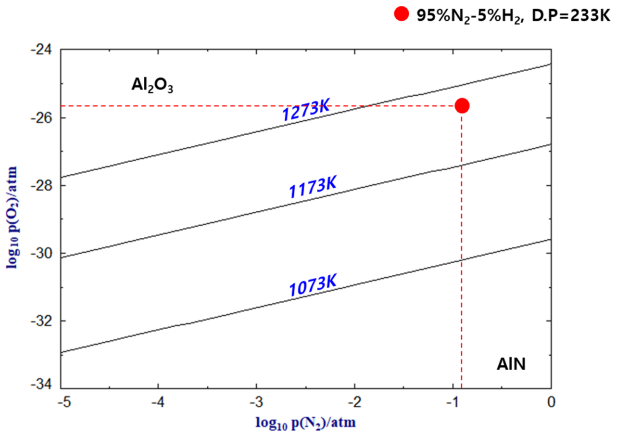


Fig. 6. Predominance diagram of Al_2O_3 and AlN with O_2 and N_2 partial pressure from 1073 to 1273 K

었다. 가로축과 세로축은 각각 N_2와 O_2의 분압을 나타낸다. 그림을 가로지르는 사선은 온도별로 Al_2O_3와 AlN의 안정역을 구분한다. 1073 K에서는 Al_2O_3의 안정역이 상대적으로 넓은 반면, 온도가 증가함에 따라 AlN의 영역이 확대된다. 소둔 분위기(N_2-5%H_2, Dew Point = 233 K)의 평형 N_2와 O_2의 분압을 그림에 마크(●)로 표시하였다. 1173 K 이하까지는 Al_2O_3 안정역에 1273 K에서는 AlN 안정역에 속하는 것을 알 수 있다. 따라서 1275 K의 소둔에서는 AlN이 강 표면에 생성된 것으로 이해된다.

본 연구에서는 소둔 분위기(N_2–H_2 비, 이슬점, 가스 유량)를 일정하게 유지한 조건에서 실험을 수행하였으나, 이러한 분위기 변수들의 변화는 산소 및 질소 분압과 반응 속도를 변화시켜 Al_2O_3, SiO_2 및 AlN의 생성 안정성과 성장 거동에 지배적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 Si, Al 첨가 냉연 소둔 강판의 표면 산화물 형성 거동을 실험적 분석(GDS, TEM)과 열역학적 해석(FactSage)을 통해 체계적으로 규명하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Fe-Si-Al 강판의 소둔 산화물 중 Al/Si 비는 Al_2O_3 생성 경향을 판단하는 핵심 요소이며, 소둔 온도에 따라 아래와 같이 지수함수적으로 증가하였다.

$$Al/Si \propto \exp(\alpha \times temp)$$

2) 상기 식에서 α는 Al_2O_3 생성 경향의 민감도를 나타내는 상수로, 소지철 중 Al 함량이 높을수록 α 값이 증가하여 온도 변화에 더욱 민감하게 반응함을 확인하였다.

3) 고온(1275 K) 소둔 조건에서는 Al_2O_3와 더불어 AlN의 형성이 관찰되었으며, 이는 열역학적 계산 결과와도 일치하였다. 특히, Al_2O_3 피막이 국부적으로 파괴된 부위에서 AlN이 성장하는 현상이 확인되었다. 또한, Al_2O_3의 안정적 형성은 SiO_2의 성장을 억제하는 역할을 하였다.

4) 실험 결과와 열역학적 해석을 종합하면, 소둔 온도와 Al 함량을 정밀하게 제어함으로써 표면 산화물의 조성 및 구조를 효과적으로 제어할 수 있음을 알 수 있다. 이는 자동차용 고합금 강판의 표면 품질 향상과 후속 도금·도장 공정의 결함 저감에 중요한 기술적 시사점을 제공한다.

5) 본 연구에서 제시한 Al_2O_3 생성 경향의 민감도 계수(α)와 산화물 성장 거동 분석은 향후 고품질 강판 제조를 위한 합금 설계 및 소둔 공정 최적화에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구를 진행하는 과정에서 POSCO 기술연구원의 아낌없는 지원에 동료 연구원들의 조언에 진심으로 감사드립니다. 또한 광양제철소 냉연부와 품기부의 적극적인 협조에 깊은 감사를 표합니다.

References

1. Ana P. Domingos, and Frank E. Goodwin, Current Challenges in AHSS from Galvanizing Process to In-Use Applications, *Corrosion Science and Technology*, **23**, 495 (2024). Doi: https://doi.org/10.14773/cst.2024.23.6.495
2. Suk-Kyu Lee, Jong-Sang Kim, Wung-Yong Choo, Recent Progress of Automotive Galvanized Steels in Korea, *Corrosion Science and Technology*, **9**, 254 (2010). Doi: https://doi.org/10.14773/cst.2010.9.6.254
3. Il-Ryoung Sohn, Joong-Chul Park, and Jong-Sang Kim, Surface Oxidation of High Strength Automotive Steels during Continuous Annealing, and the Influence of Trace Elements of P,B, and Sb, *Corrosion Science and Technology*, **9**, 259 (2010). Doi: https://doi.org/10.14773/cst.2010.9.6.259
4. Daisuke Tahara, Katsuya Hoshino, and Shoichiro Taira, Effect of Boron in AHSS on Coatability in Hot-Dip Galvanizing, *Corrosion Science and Technology*, **23**, 503 (2024). Doi: https://doi.org/10.14773/cst.2024.23.6.503
5. Z. T. Zhang, I. R. Sohn, F. S. Pettit, G. H. Meier, and S. Sridhar, Investigation of the Effect of Alloying Elements and Water Vapor Contents on the Oxidation and Decarburization of Transformation-Induced Plasticity Steels, *Metall. Mater. Trans. B*, **40**, 567 (2009). Doi: https://doi.org/10.1007/s11663-009-9255-x
6. I. R. Sohn, J. S. Kim and S. Sridhar, Effect of Dew Point

and Gas Flow Rate on the Surface Oxidation of Advance High Strength Steels, *ISIJ International*, **55**, 2008 (2015). Doi: http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2015-158

7. Zihe Liu, Jingpei Nie, Yuanfang Song, Xiaoguang Yang, Weichen Mao, Xinyan Jin, Xue Zhang, Michael Rohwerder, Ying Li, New insights into the effect of Al on the selective oxidation of advanced high-strength steels prior to hot-dip galvanizing, *Acta Materialia*, **266**, 1 (2024). Doi: https://doi.org/10.1016/j.actamat.2024.119651
8. Thomas Hofler, Bernhard Linder, Gerhard Angeli, Christian Gierl-Mayer, Herbert Danninger, Michael Auinger, Internal oxidation and formation of Si/Al-enriched oxide bands in the scale of electrical steel grades, *Corros. Sci.*, **187**, 15 (2021). Doi: https://doi.org/10.1016/j.corsci.2021.109502
9. P. Drillet, Z. Zermout, D. Bouleau, J. Mataigne and S. Claessens, Selective oxidation of high Si, Mn and Al steel grades during recrystallization annealing and steel/Zn reactivity, *Metallurgical Research & Technology*, **101**, 831 (2004). Doi: https://doi.org/10.1051/metal:2004154
10. Y. Shimoyama, K. Miyoshi, M. Tanino, T. Wada, Development of Non-oriented Silicon Steel Sheet with Very Low Core Loss, *IEEE Transactions on Magnetics*, **19**, 2013 (1983). Doi: https://doi.org/10.1109/TMAG.1983.1062614
11. T. Sand, J. Liske, T. Helander, J.-E. Svensson, L.-G. Johansson, *Oxidation of Metals,* **98**, 163 (2022). Doi: https://doi.org/10.1007/s11085-022-10117-3
12. J. Dąbrowa, G. Cieślak, M. Stygar, M. Zajusz, M. Jawańska, A. Gil, J. Jedliński, K. Mroczka, K. Matsuda, T. Kulik, M. Danielewski, Oxidation Behavior of Alx(CoCrFeNi)100-x High-Entropy Alloys Under Thermal-Cycling Conditions, *Oxidation Metals,* **96**, 307 (2021). Doi: https://doi.org/10.1007/s11085-021-10048-5
13. Rui Wang, Yanzhou Ji, Tian-Le Cheng, Fei Xue, Long-Qing Chen, You-Hai Wen, Phase-field modeling of alloy oxidation at high temperatures, *Acta Materialia*, **248**, (2023). Doi: https://doi.org/10.1016/j.actamat.2023.118776
14. E. Epifano, D. Monceau, Ellingham diagram: A new look at an old tool, *Corrosion Science*, **127**, (2023). Doi: https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111113
15. Mary-Lee Bürckner, Lukas Mengis, Emma M. H. White, Mathias C. Galetz, Influence of copper and aluminum substitution on high-temperature oxidation of the FeCoCrNiMn "Cantor" alloy, *Materials and Corrosion*, **74**, 17 (2023). Doi: https://doi.org/10.1002/maco.202213382