

원전 해체시 발생한 탄소강 금속폐기물 용융 특성 연구

이미현*, 황석주, 이상우, 김천우

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

*leemh2513@khnp.co.kr

1. 서론

원전 해체 시 발생하는 폐기물은 금속, 콘크리트, 토양 등이나 발생량으로 볼 때 대부분은 금속이다. 전 세계적으로 향후 50년동안 탄소강 870만톤, 스테인레스강 약 95만톤, 구리 220만톤이 발생할 것으로 예측하고 있다[1]. 원전에서 규모가 큰 구성품 교체나 해체 시 발생하는 다량의 금속폐기물을 그대로 수용하기에는 부족한 폐기물 처분장 문제뿐만 아니라, 지속적으로 처분단가의 상승이 예상되므로 방사성 금속폐기물의 효과적인 감용 및 재활용 기술이 요구된다[2]. 최근 금속폐기물의 효율적인 관리방안으로 용융제염 기술이 각광받고 있다. 용융제염은 다른 감용방법에 비해 부피감용이 가장 커 최종처분시설 공간을 절약할 수 있으며 탄소강, 스테인레스강 등 많은 양의 금속을 회수하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 원전해체시 발생하는 금속폐기물의 양이 가장 많은 증기발생기 및 열교환기, 배관 등에 사용되는 탄소강의 용융특성에 관한 연구를 수행하였다.

2. 본론

2.1 실험방법

탄소강의 용융온도에 따른 용융정도 및 특성을 확인하기 위해 알루미늄 도가니에 탄소강을 넣어 전기로를 이용하여 1,400~1,550°C 온도에서 시료를 용융시켰다. 실험은 4가지 온도조건을 가지고 수행하였고, 나온 결과를 바탕으로 Co 첨가에 따른 금속의 특성 및 용융정도를 확인하기 위해 Co 첨가한 탄소강 용융 실험도 수행하였다. 금속시료는 열전도도가 크기 때문에 한 번에 높은 온도를 상승시키지 않고, 여러 단계로 나눠 온도를 상승시켰다. 총 4개의 시료를 전기로에 넣어 초기온도 40°C에서 10°C/min으로 1,200°C까지 승온 시킨 후, 1,200°C에서 1 시간 동안 유지시켰다. 1 시간 후 20°C/min으로 1,400°C까지 승온 시키고, 1,400°C에서 30 분간 유지시킨 후 1번 시료를 인출하였다(C-1). 1번 시료를 인출한 후 10°C/min으로 145

0°C까지 승온 시켜 30 분간 유지 시킨 후 2번 시료를 인출하였다(C-2). 세 번째도 첫 번째, 두 번째 시료와 마찬가지로 두 번째 시료를 인출한 후 10°C/min으로 1,500°C까지 승온 시키고, 30 분간 유지 시킨 후 3번 시료를 인출하였다(C-3). 마지막으로 10°C/min의 조건으로 1,550°C까지 승온 시키고 30 분간 유지한 후에 4번 시료를 인출하였다.(C-4)

2.2 실험결과

2.2.1 용융

탄소강 시료의 용융조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Melting Condition for Carbon Steel

ID	용융 전(g)	용융 후(g)	용융온도 (°C)	유지시간 (min.)	결과 (육안판정)
C-1	1,709	1,672	1,400	30	용융안됨
C-2	1,706	1,612	1,450	30	용융안됨
C-3	1,780	1,660	1,500	30	용융안됨
C-4	1,741	1,769	1,550	30	용융됨
C-5*	1,729	1,773	1,550	30	용융됨

* C-4에 1wt% CoO loading

Fig. 1은 육안상 탄소강의 용융정도를 확인하기 위해 용융 후의 사진이다. C-1, C-2, C-3는 상부만 용융되었을 뿐 대부분 용융되지 않은 것을 확인할 수 있었다. 반면 C-4는 완전히 용융된 것을 확인하였다.

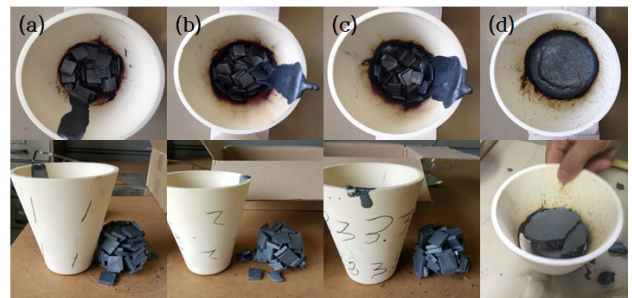


Fig. 1. After melting of Carbon steel (a) C-1, (b) C-2, (c) C-3, (d) C-4.

완전히 용융된 C-4의 형태를 확인하기 위해 도

가니를 깨서 용융된 시료의 형태를 확인하였다. 그 결과 슬래그와 금속물로 층을 이룬 것을 확인하였고(Fig. 2), 완전히 용융된 C-4 금속시편의 단면을 확인하기 위해 워터젯 절단기를 사용하여 단면을 절단하였다. 절단결과 금속시편 안쪽까지 모두 용융된 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

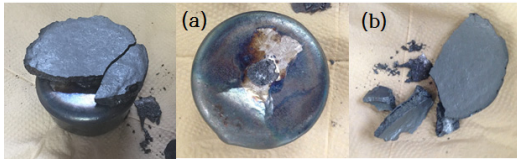


Fig. 2. Melted C-4 (a) Metal (b) Slag.



Fig. 3. Cross sectional view of C-4 Metal.

2.1.2 Co loading에 따른 금속특성 및 Co 분포도

CoO loading에 따른 금속의 특성 및 Co 분포도를 알아보기 위해 1wt% CoO를 loading 시킨 후 2.1.1 에서의 완전히 용융된 C-4의 온도조건과 동일하게 C-5 실험을 수행하였다. 도가니에 탄소강 시료 절반을 장입한 후 그 위에 CoO를 장입하고 나머지 탄소강 시료를 덮은 후 전기로에 위치하였다. Co 분포 분석결과 Co는 공기분위기($PO_2=0.21\text{atm}$)에서 환원 포텐셜이 높아 금속상으로 환원되어 Slag상에서는 나타나지 않았고, 금속상에서만 나타난 것으로 확인 되었다.

2.1.3 금속 및 Slag 상 분석

완전히 용융된 시료 C-4와 CoO가 첨가된 시료 C-5의 금속영역 균질도를 평가하기 위해 SEM/EDS 분석을 수행하였다.

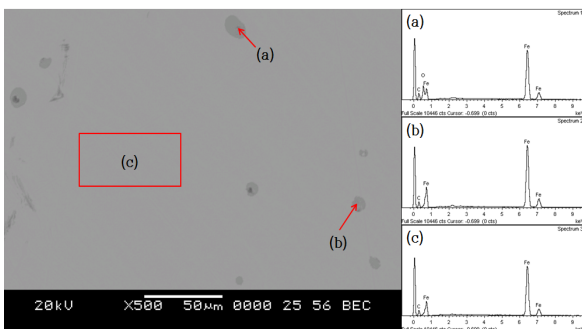


Fig. 4. SEM/EDS result of C-4 metal.

Fig. 4 왼쪽사진에서 보는바와 같이 C-4의 metal 표면은 대부분 균질한 것으로 나타났다. 그러나 표면에 일부 다른 물질이 포함되어 있는 것을 확인하여 물질의 종류를 알아보기 위해 EDS 분석을 실시하였다. 분석결과 (a), (b)는 Fe 산화물이며, (c)는 금속인 것을 확인할 수 있었다. Fe 산화물은 금속 용융시 금속상 위에 위치하는 slag 이다.

C-4 slag의 SEM/EDS 분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. SEM 분석결과 비균질상으로 나타났다. C-4 slag EDS 분석결과 대부분은 Fe 산화물이나 일부 Al_2O_3 가 나타난 것을 확인할 수 있었다(Fig. 5 (a) 영역). 알루미늄은 도가니의 부식에 의한 것으로 판단된다.

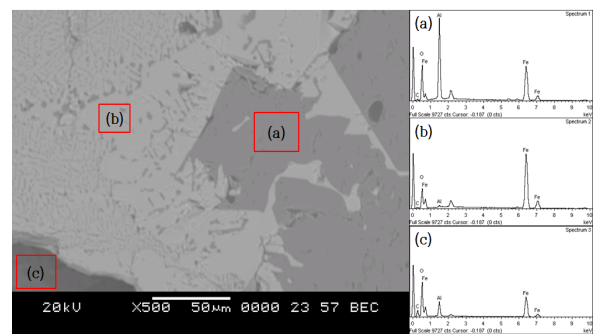


Fig. 5. SEM/EDS result of C-4 Slag.

3. 결론

원전 해체시 발생 예상되는 탄소강 모의폐기물을 이용하여 용융온도를 확인하였고 용융된 금속과 Slag의 구조를 확인하였다. 비중이 높은 금속의 경우 도가니 하부에 위치하며 대부분 균질한 것으로 분석되었으며 비중이 낮은 Slag의 경우 산화물 형태를 이루는 것으로 분석되었다. 이 결과를 바탕으로 향후 플라즈마토치 용융로 및 인덕션 용융로에서의 용융조건을 확립하고 금속폐기물의 처리·처분과 처리·재활용 방향을 결정하는 기본자료로 활용 예정이다.

4. 참고문헌

- [1] Recycling and reuse of radioactive material in the controlled nuclear sector, EUR18041EN, Euro Commission.
- [2] B-Y Min, et, al. J. of Korean Soc. of Waste Management 29[7] 603-615(2012).