

XRD(X-ray Diffractometry), SEM(Scanning Electron Microscope, 주사전자현미경) 검사 및 EDX(Energy Dispersive X-ray)검사를 수행하였다.



그림 1 단선 조가선

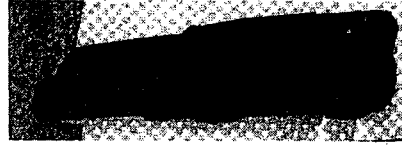


그림 2 사용된 방호관

2.3.1 인장시험

철도용품 표준규격에 적합하게 제작되었는지 확인하기 위하여 철도용품 표준규격(철도6145-3186라)에 따라 인장강도시험을 수행하였다. 신품 소선 3개 시편에 대하여 아래와 같이 인장강도시험을 수행한 결과 모두 표준규격 이하의 값을 얻었다.

표 1 신품 시편 인장강도시험 결과

시편번호	시험기준	시험결과(N/mm)	시험방법
1	608이상 (N/mm)	581	KS C 3002:1996
2		575	
3		568	

또한, 사고현장에서 수거한 조가선의 일부를 절단하여 소선 4개에 대하여 인장강도시험을 아래와 같이 수행한 결과 부식에 의해서 강도가 많이 작아진 것을 확인할 수 있었다.

표 2 단선 시편 인장강도시험 결과

시편번호	시험기준	시험결과(N/mm)	시험방법
1	608이상 (N/mm)	355	KS C 3002:1996
2		551	
3		483	
4		507	

2.3.2 화학분석

가. XRD(X-Ray Diffractometry) 분석

XRD는 결정질 화합물에 X-Ray를 조사시켜 각 결정물질마다 고유하게 나타나는 회절무늬(diffraction pattern)를 판독하여 화합물을 분석하는 장비로써, X-선 회절을 연구하는 steroid, 비타민, 항생물질과 같은 복잡한 자연물의 구조를 밝히는 데 주로 이용되고 있다. 따라서 본 분석을 통하여 조가선 표면의 화합물 성분을 확인할 수 있을 것이다.

사용한 장비는 RIGAKU (JAPAN)에서 제조한 Rigaku Rotaflex D/MAX System를 이용하였다. 시편은 신품 시편 및 사고현장에서 수거한 시편의 표면에 대해서 XRD분석을 실시하였다.

그림 3은 신품에 대한 XRD분석을 나타내며, 주로 Cu가 주로 검출되었다. 그림 4는 현장수거품에 대한 XRD분석결과를 나타내며, 신품과는 달리 구리산화물(CuO)이 주를 이루고 있었으며, 또한 철산화물(Fe₃O₄)도 검출되었다. 이것은 산화에 의해서 조가선 표면이 부식이 되어 나타난 것이며, 철산화물은 외부에서 유입된 부유물질이 조가선에 부착되어 형성된 것으로 볼 수 있다.

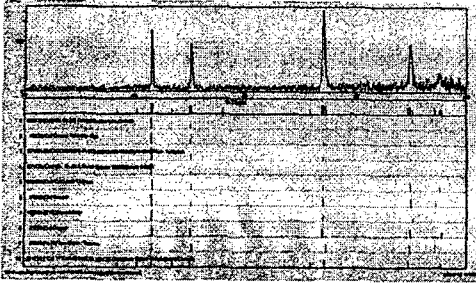


그림 3 XRD 분석결과(신품 표면)

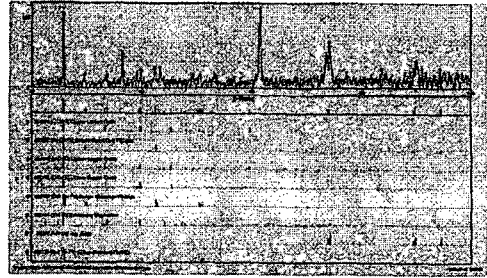


그림 4 XRD 분석결과(현장수거품 표면)

나. SEM 분석결과

조가선의 표면 및 단면의 미세구조를 관찰하기 위해서 SEM분석을 실시하였으며, EDX분석을 통하여 조가선의 원소성분을 분석하였다. 표 3에 SEM과 EDX분석에 사용된 시편의 개략적인 사항을 나타내었다.

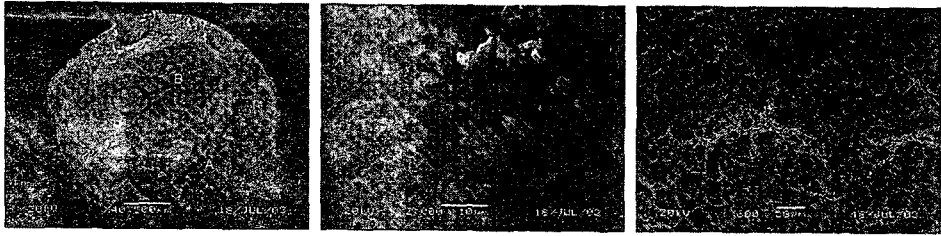
표 3 분석에 사용된 시편

시 편	설 명	비 고
#1	현장에서 수거한 절단된 소선	절단면분석 (SEM, EDX)
#2	〃	〃
#3	현장에서 수거한 조가선 소선을 인장시험 실시한 시편	〃
#4	신품으로 인장시험 완료 후의 시편	〃
#5	사고 현장에서 수거한 시편	표면분석 (SEM, EDX)

그림 5~7은 현장에서 수거한 시편(#1~#3)의 단면을 SEM 분석을 실시한 것이다. 그림 5(a), 6(a), 7(a)에서, A부분은 모두 색깔이 검게 변한 부분이며, B부분은 색깔의 변화가 없는 부분이다. 그림 5(b), 6(b)의 SEM 사진에서 볼 수 있듯이 부식층이 형성이 되어 있는 것을 알 수 있다. 그림 7(b)의 경우는 현장에서 수거한 시편을 인장시험 실시한 것으로 A부분의 SEM 사진에서 보면, 이미 부식에 의해서 소선의 절단이 진행이 된 것을 알 수 있다.

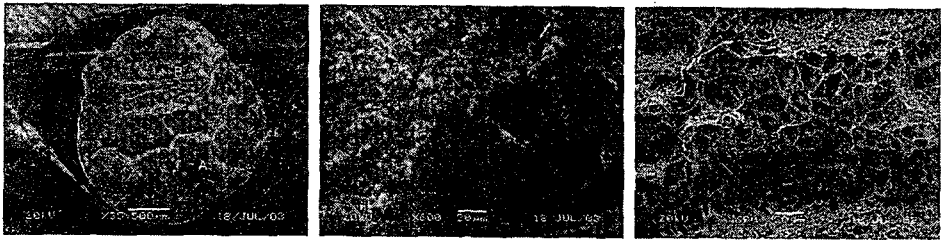
그림 5(c), 6(c), 7(d)의 형상을 보면 분화구 모양(dimple 이라고 함)과 공동이 관측이 되었는데 이러한 형상은 연성파괴(ductile fracture)시에 나타나는 독특한 형태이다. 이것은 A부분의 부식에 의해서 조가선이 점차적으로 단면이 줄어들어 가다가 기계적인 인장 축, 조가선 장력에 의해서 결국에는 절단이 된 것으로 볼 수 있다.

그림 8(b)는 신품 시편으로 인장시험 연신이 일어나다가 절단이 되는 것을 확인할 수 있었으며, SEM 분석에서도 알 수 있듯이 사고 난 시편의 산화되지 않은 부분은 형상이 같게 나타나는 연성파괴에 의한 것으로 볼 수 있다.



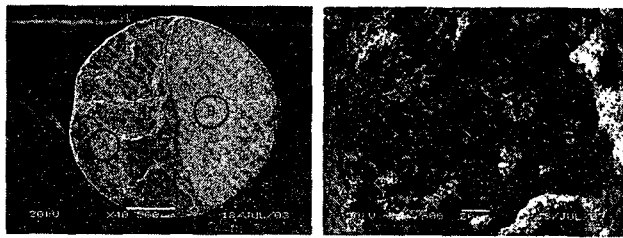
(a) 단면 (b) A 부분(2,000 배) (c) B 부분(600 배)

그림 5 시편 #1에 대한 SEM 촬영 결과

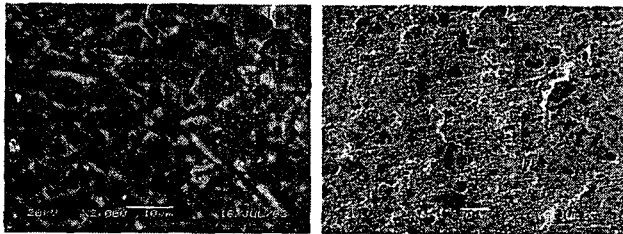


(a) 단면 (b) A 부분(600 배) (c) B 부분(600 배)

그림 6 시편 #2에 대한 SEM 촬영 결과

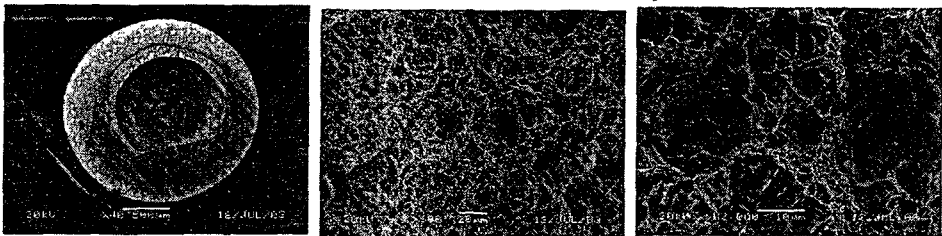


(a) 단면 (b) A 부분(600 배)



(c) A 부분(2000 배) (d) B 부분(600 배)

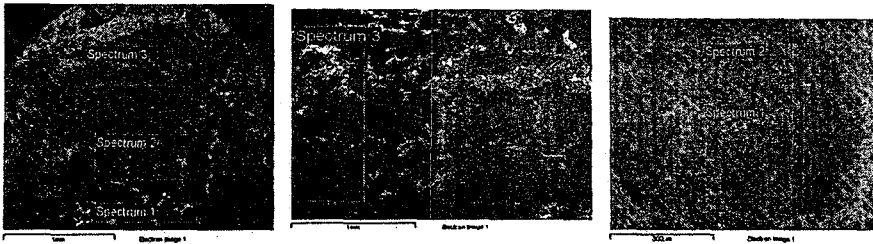
그림 7 시편 #3에 대한 SEM 촬영 결과



(a) 단면 (b) A 부분(600 배) (c) A 부분(2000 배)

그림 8 시편 #4에 대한 SEM 촬영 결과

다. EDX 분석



(a) 현장 수거품(단면) (b) 현장수거품(표면) (c) 시품(단면)
그림 9 EDX분석 영역

표 4. EDX 결과(현장수거품, 단면)

Spectrum	O	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Br	Cd	Total
Spectrum 1	21.17	3.77	0.36	0.44	0.27	0.38	72.44		1.15	100
Spectrum 2	22.98	0.69					75.28		1.05	100
Spectrum 3	1.21						97.49	0.44	0.86	100

EDX 성분분석을 위의 그림과 같이 세 부분으로 나누어 실시하였다. spectrum 1은 부식된 부분, spectrum 2는 부식된 부분과 부식되지 않은 부분이 같이 존재하며, spectrum 3는 부식되지 않은 부분이다.

spectrum 1은 산화에 의해서 산소원소가 많이 검출이 되었고, Al, Si, Fe과 같은 이물질은 외부의 부유물질이 표면에 흡착된 것이다. 특히 황성분은 황화물이 존재하고 있다는 것을 의미하며 이것은 구리의 황화물이 구리의 부식층의 조밀도를 떨어뜨려서 부식층이 외부 충격에 의해서 쉽게 파손이 되어 모재금속의 노출을 일으키게 된다. 이러한 부식 및 모재노출이 반복되면서 부식환경 하에서 모재의 열화는 계속적으로 진행되어 조가선이 절단사고를 유발시킨다.

표 5. EDX 결과(현장수거품, 표면)

Element	C	O	Al	Si	S	Cl	Ca	Ti	Fe	Cu	Cd	Total
Spectrum 1	13.97	41.81	0.32	0.52	0.45	0.11	0.26	0.42	0.57	40.34	1.24	100

현장 수거품의 표면을 성분 분석 결과, 표면의 산화에 의해서 산소성분이 검출이 되었으며, 표면에서 탄화에 의해서 탄소성분도 또한 검출이 되었다. 단면과 마찬가지로 황이 존재하는 것을 또한 확인할 수 있었다. 기타 Al, Si, Cl, Ca, Fe 등의 물질은 공기 중의 부유물질이 조가선에 흡착되어 나온 것으로 보인다.

성분을 보면 거의 Cu, Cd가 주성분을 이루고 있는 것을 확인할 수 있다. 산소와 탄소는 공기중에 방치해 둔 결과로 인해서 나온 성분으로 해석할 수 있다.

표 6. EDX 결과(신품, 단면)

Spectrum	C	O	Cu	Cd	Total
Spectrum 1		0.88	98.24	0.88	100
Spectrum 2	3.46	0.64	95.22	0.68	100

4. 결론

조가선의 절단사고 원인을 분석하기 위해서 기계적 강도를 평가하기 위한 것으로 인장시험을 실시

하였으며, 조가선 부식에 따른 표면 및 단면의 화학적 변화 및 미세조직을 분석하였다.

인장시험결과 신품 및 사용품 모두 인장파괴강도가 철도용품에서 규정하고 있는 값(608[N/mm²] 이상)보다 낮게 나타났으며, 이러한 조가선을 현장에 설치할 경우 부식에 의해서 소선의 절단을 빨리 가져올 수 있다. 그리고, 인장파괴강도의 경우도 현장에 설치되었던 시편의 경우가 더 작게 나온 것도 부식에 의한 영향으로 볼 수 있다. 이러한 영향을 줄이기 위해서는 소선 제작시 철도용품 규격에 적합하게 제작을 해야 할 것이다.

조가선 소선의 SEM분석을 통하여 부식층이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었으며, 부식된 곳 이외의 부분에서는 연성파괴 현상을 관측하였다. XRD 및 EDX분석을 통하여 부식시편의 대부분은 구리산화물이 주성분을 이루고 있으나, EDX 분석에서는 황이 검출되었다. 황화물이 조가선의 표면에 존재하게 되면 부식층의 조밀도가 떨어지고 부식환경 하에서 조가선 모재로부터 부식물이 쉽게 떨어져 나가도록 하는 역할을 한다.

또한 조가선이 설치된 곳은 절연방호관으로 덮여져 있는 구간이다.

절연방호관의 경우도 절연레벨이 적이러한 개소는 오염물질이 침투를 하게 되면 자연적인 세정작용이 많이 일어나기 어렵고, 수분이 방호관으로 침투했을 경우도 쉽게 수분이 사라지지 않는 구조이기 때문에 부식이 더욱 가속될 수 있다. 따라서 방호관 채용시 수분이 쉽게 증발 할 수 있는 구조로 설계된 것을 사용하는 것이 바람직 할 것이다.

참고문헌

1. 서울산업대학교, “환경인을 위한 상해 기기분석”, 1983
2. 한국철도기술연구원, “차세대 철도원천 기술개발사업-철도환경기술개발”, 2002