

아연합금 부품의 고장발생에 미치는 사용 환경의 영향

서금희, 이원식, 고세현, 장진만.

한국생산기술연구원

Effects of environments on occurrence of failure in zinc alloyed parts

Kum-Hee Seo, Wonsik Lee, Se-Hyun Ko, Jinman Jang.

Reliability Assessment Center for Metallic Materials, KITECH, Chonan 330-825, Korea

1. 서론

아연합금은 대부분 다이 캐스팅(die casting)용 합금으로서, 합금원소로 알루미늄과 구리를 첨가하며, 특히 압력 주조에 적합하다. 다이캐스팅용 아연합금은 표. 1과 같이 화학 성분에 따라서 ZDC 1종과 2종으로 구분된다. 그리고 표. 2와 같은 기계적 성질을 가지게 된다. 주조시 제품의 공차가 $\pm 0.002\text{mm}$ 정도 이며, 표면 상태가 매우 양호하다. 하지만 미량의 Pb, Sn, Cd을 함유하면 입계의 부식을 일으키기 쉽기 때문에 이의 성분의 총량을 0.01%이하로 제한하면 상당한 강도와 안전성을 지니게 할 수도 있다. 또한 아연합금은 습기 있는 장소나, 특히 고온에서 입간 부식을 일으키므로 고순도 아연을 사용하기도 하고, Cu, Mg을 넣어 입간 부식을 억제함과 동시에 강도와 경도를 개선한다. 또한 주물 후 경과함에 따라 기계적 성질과 치수에 상당한 변화를 일으킨다. 이것은 이 합금의 조직변화에 기인하는 것이며, 특히 순도가 낮은 아연 합금 다이캐스팅은 95°C의 수증기 중에서 처리하면 입간 부식을 일으켜 기계적 성질이 저하하고 또 길이의 변화를 일으킨다. 그리하여 아연합금 다이 캐스팅 제품의 검사에서는 95°C전후의 수증기 처리시험을 하게 되어 있으며 균열, 팽창, 변형의 여부를 조사가 필요하다.

본 연구는 ZDC 2종의 부품에서 발생하는 고장에 관한 사용 환경의 영향을 분석하였으며, 사용 환경에 따른 아연합금의 조직변화와 이에 따른 부품의 고장유발형태를 현상을 조사하였다.

표 1. 다이캐스팅 아연합금의 화학성분 ⁽¹⁾

단위: wt%

성분 기호	Al	Cu	Mg	Fe	Zn	불순물		
						Pb	Cd	Sn
ZDC1	3.5~4.3	0.75~ 1.25	0.020~ 0.06	0.1이하	Bal.	0.005이하	0.004이하	0.003이하
ZDC2	3.5~4.3	0.25이 하	0.020~ 0.06	0.1이하	Bal.	0.005이하	0.004이하	0.003이하

표 2. 다이캐스팅 아연합금의 기계적 성질⁽¹⁾

성분 기호	충격치 kgf·m/mm ²	경도 HB 10/500	인장시험	
			인장강도 kgf/m/mm ²	연신율 %
ZDC1	16	91	33	7
ZDC2	14	82	29	10

2. 실험방법

부품의 고장분석을 위해서 우선적으로 손상품은 손상부위(파단면)를 부식, 외부의 충격으로부터 보존하였다. 그리고 손상 원인을 예측하기 위해서 부품의 제조공정 이력 및 사용 환경, 작동조건을 파악하였고, 육안관찰, 광학현미경, 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 미사용품과 손상품을 비교해 함으로써 손상품의 외형변화와 파단면을 관찰을 통해 부품의 손상원인을 예측하였다. 그 후 원인분석과 확인을 위하여 성분분석, 상 분석, 표면분석을 실시하였다. 화학성분분석은 ICP장비를 이용해 미사용품과 손상품을 비교하여 화학성분으로 인한 고장분석 여부를 확인 하였고, 미세조직 분석할 수 있는 장치인(SEM/EDS)을 통해 미세조직에 따른 성분분석 또한 실시하였다. X선회절분석기(XRD)를 통해 손상품이 미사용품과 상변화가 일어났는지 확인해 보았다. 마지막으로 가속시험을 통해 고장 분석한 결과를 확인하는 절차를 걸쳤다.

3. 고장 분석

3.1 고장현상

고장분석 대상 부품은 ZDC 2종으로 주조한 후 표면코팅처리되어 생산되어졌다. 부하를 전혀 받지 않은 조건에서 사용되며, 동일한 로트(lot)에서 생산된 부품 중 국내에서 사용한 것은 고장 건이 나타나 있지 않은 상태이지만, 인도네시아에서 1년 정도 사용한 제품에서는 그림 1(b)과 같이 표면에 균열이 상당히 많이 존재하고 있으며, 그림 1(c)과 같이 균열 발생과 함께 부분적 파손도 관찰되었다. 이는 손으로 부서도 부서질 정도도 아주 약한 힘에도 파손되었다.

미사용품의 무게는 약 12.2g 이지만 손상품에서는 0.4g정도 증가하여 12.6g 으로 무게가 증가 하였고, 미사용품에 비해 그림 1(c)에서와 같이 부품의 폭이 2mm정도 증가하는 현상

을 관찰 할 수 있었다. 또한 부피 증가로 인하여 부품이 전체적으로 휘는 현상을 관찰할 수 있었다. 이러한 부품의 손상현상으로 인해 부품의 기능이 작동되지 않게 되었다.



그림 1. ZDC 2종 부품의 손상현상

3.2 고장원인 분석

3.2.1 성분분석

고장분석 부품을 성분분석을 함으로써 아연합금의 길이변화에 영향을 주는 원소인 Li, Ni, Si, Mn와 입계부식을 일으키는 불순물 성분인 Pb, Cd, Sn 원소로 인해 부품의 현상변화 및 균열발생이 일어났는지를 예측하기 위해 성분분석을 실시하였다. 결과는 다음 표에서와 같이 ZDC 2종의 합금으로 길이변화에 주는 원소와 불순물 원소는 기준치 이하였다. 이는 길이변화를 주는 원소와 불순물 원소로 인한 손상이 아님을 알 수 있었다.

표 3 . 손상품의 성분분석

단위: wt%

	Al	Cu	Mg	Fe	불순물			길이변화를 주는 원소			
					Pb	Cd	Sn	Li	Ni	Si	Mn
손상품	3.92	0.082	0.031	0.004	0.007	0.0007	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.01	0.0003

3.2.2 조직관찰 및 상분석

손상원인이 주조시 발생된 것인지 확인하기 위하여 부품의 단면을 절단하여 단면을 연마한 후 부품의 주조 상태를 관찰하였다. 미사용품과 손상 정도가 적은 부품 그리고 손상이 심한 상태의 부품을 관찰한 결과 모두 내부에 다량의 기공이 존재함을 볼 수 있었다. 또한 생산년도가 다른 로트의 미사용품 내부를 관찰한 결과 모두 내부에 다량의 기공이 존재하였다. 따라서 부품의 주조상태는 생산년도나 손상품과 미사용품 모두 동일 한 것을 알 수 있었으며 이를 통해 주조상태로 인한 손상이 아님을 판단 할 수 있었다. 하지만 손상품의 경우 기공의 크기가 증가하고 표면에 균열이 많이 생성되는 경향을 볼 수 있었다.

광학현미경을 이용해서 에칭하기 전에 미사용품과 손상품을 비교하여 관찰해 보았다. 그림 2 (a)에서와 같이 미사용품에서는 특별한 조직이 관찰되지 않았다. 하지만 손상품에서는 그림 2 (b)에서와 같이 표면부에 가까운 부분은 에칭 전에도 결정립계처럼 보이는 조직이 보였고 균열이 표면에서 시작되는 것을 관찰 할 수 있었지만 내부에서는 이러한 조직이 보이지 않았으며 이는 표면으로부터 조직변화가 발생하며 조직변화로 인하여 균열이 발생하는 것을 예상할 수 있었다.

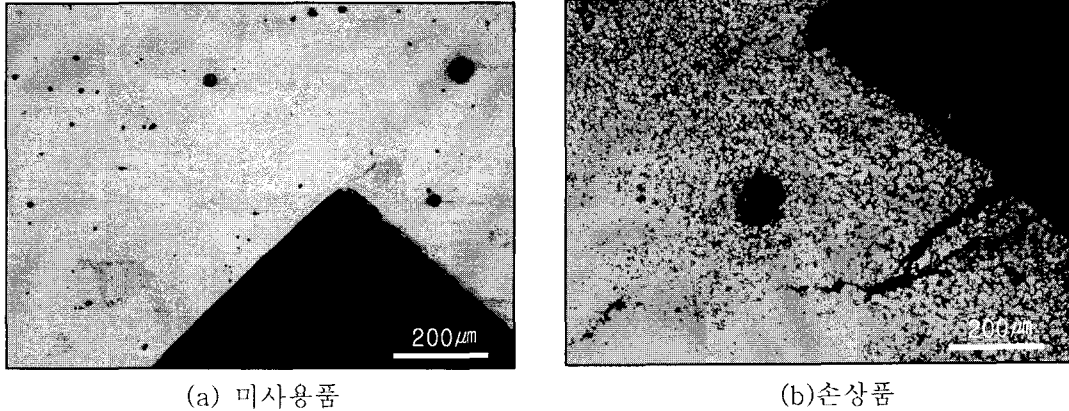


그림 2. 에칭 전의 조직관찰

다음은 그림 3에서 보는 바와 같이 제품의 로트에 따라서 코팅상태를 조사해 보았다 2001년도에 생산된 부품은 그림 3 (a)과 같이 코팅상태가 양호하지만, 2004년도 생산된 부품은 그림 3 (b)에서 보는바와 같이 코팅상태는 매우 불량함을 볼 수 있었다. 인도네시아에 수출된 제품 중 손상이 발생한 제품의 대부분은 2004년도에 생산된 제품이었으며, 이는 코팅상태에 따라 손상의 발생이 더 용이함을 알 수 있다.

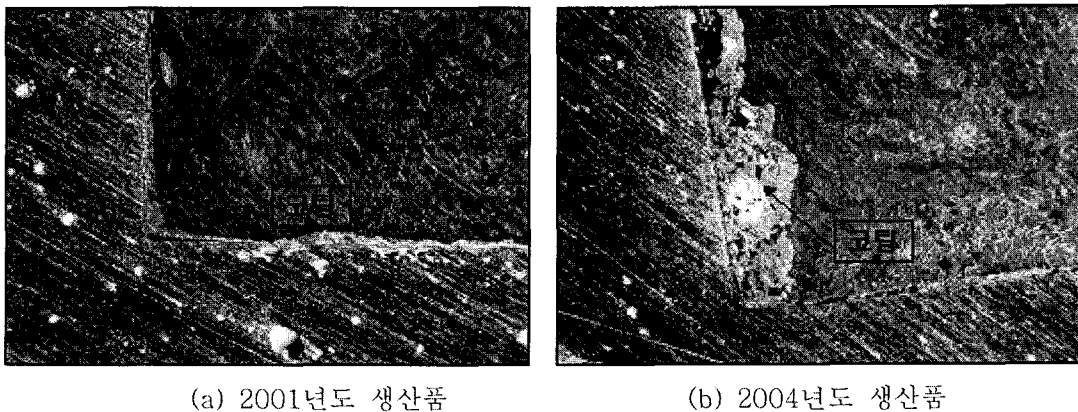
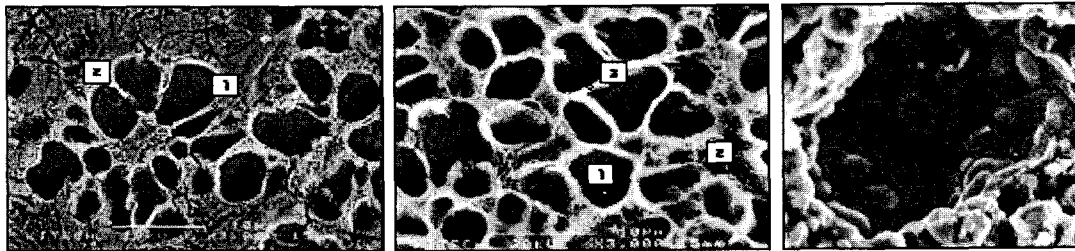


그림 3. 생산년도에 따른 코팅상태

그림 4는 에칭 후의 미세조직을 보여 준다.. 미사용품에서의 미세조직은 그림 4 (a)와 같이 1번 영역(Zn합금)과 2번 영역(Al합금)으로 2상으로 존재하며 2번 영역에서는 1번 영역보다 O와 Al가 더 많은 양이 존재하였다. 손상품에서는 미세조직이 1번, 2번, 3번 영역으

로 3상이 공존해 있음을 볼 수 있었다. 표.4에 나타낸 바와 같이 입계를 둘러싸고 있는 하얀 층, 즉 3번 영역의 성분분석을 실시한 결과 산소량이 약 35%이상으로 매우 높음을 안수 있었다. X선회절기(XRD)를 통해 그림 5와 같이 미사용품과 손상품은 회절패턴을 측정하였다. 미사용품과 손상품은 유사한 회절패턴을 가지고 있지만 손상품에서는 ZnO가 생성됨을 알 수 있다. 이것은 산소 즉 수분이 내부에 투입되어 ZnO가 생성되었음을 예상 할 수 있었다.

미사용품에 비하여 손상품에서는 산화층이 형성되는 것을 확인할 수 있었고, 경계에 존재하고 있는 산화층은 Zn합금과 Al합금사이에서 균열의 발생 및 성장의 경로로 작용하는 것을 그림 4 (c)에서 관찰 할 수 있었다.



(a) 미사용품

(b) 손상품

(c) 균열성장경로

그림 4. 미세조직관찰

표4. 미세조직의 성분분석(SEM/EDS)

미사용품	O	Al	Zn
1	1.88	3.54	94.57
2	4.10	10.45	62.48

손상품	O	Al	Zn
1	1.43	3.13	95.44
2	9.09	19.82	60.86
3	35.45	20.64	43.91

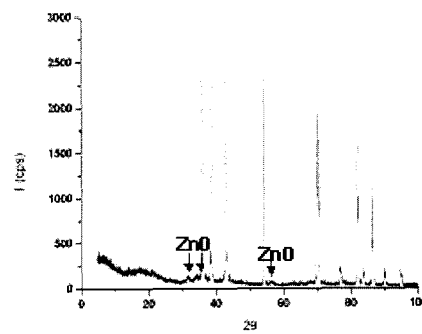
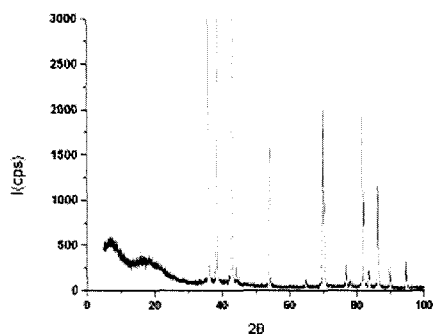
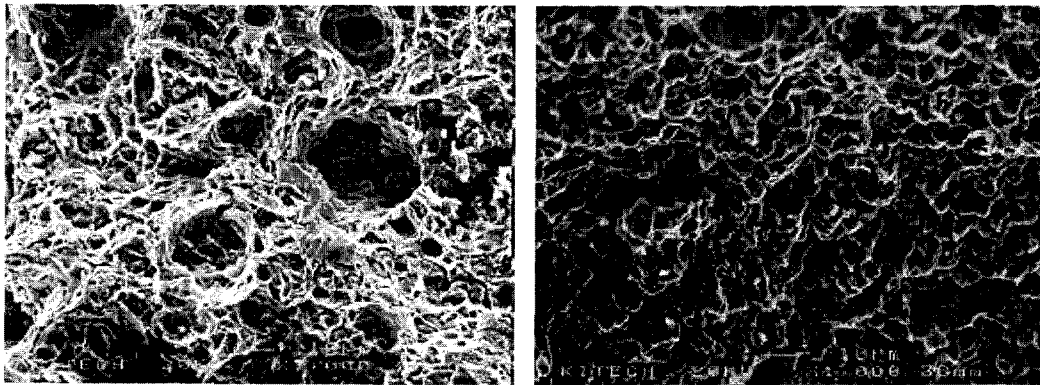


그림 5. X선회절패턴

3.2.3 파단면 관찰

미사용품과 손상품을 주사전자현미경(SEM)을 이용해 그 파단면을 관찰하였다. 미사용품은 액체질소에 시편을 담근 후 인위적으로 파단 시켜 그 파단면을 관찰한 결과 그림 6 (a)과 같이 입내파괴가 일어남을 알 수 있었다. 손상품은 손으로도 쉽게 부서지게 되는데 그 파단면을 관찰한 결과 그림 6(b)과 같이 동글한 형태의 Zn합금 조직의 입계를 따라 파단이 일어남을 알 수 있었다. 파단면 관찰을 통해서도 손상품에서의 입계부분(그림 4 (b)의 3번 영역)의 상당히 취약함을 알 수 있었다.



(a) 미사용품

(b) 손상품

그림 6. 파단면 관찰

3.3 고장원인 검증을 위한 가속시험

ZDC 2종 부품의 사용 환경에 의해서 미사용품과 손상품은 동일한 로트에서 생산이 되어 국내에서 사용한 시편은 고장 발생이 일어나지 않았지만 인도네시아에서 사용된 동일한 부품은 무게, 부피, 치수가 증가하는 등의 현상변화가 발생하였다. 이는 인도네시아에서 사용된 부품은 국내에서 사용된 부품보다 고온과 고습에 노출되어 있기 때문에 부품의 표면으로부터 산소(수분)가 투입이 용이하여 Zn합금에 ZnO가 생성되어 조직변화를 야기하고, 상변화는 표면에서부터 내부로 진행이 되었다. 또한 취약한 산화층을 따라 균열발생이 진행되는 현상을 볼 수 있었다.

ZDC 2종 부품의 손상원인을 검증하기 위해 표.5와 같은 조건으로 코팅 및 Backing 처리된 시편들을 이용하여 항온항습 실험을 하였다. 즉, 온도와 습도를 가속 시험 조건으로 하여 코팅에 따라서 아연합금 부품의 조직변화와 균열 발생이 일어나는 정도를 관찰하였으며, 이때 시험 시간을 단축하기 위해서 실제 사용조건보다 더 가혹한 조건인 가속시험을 실시하였다. 90℃와 95%의 높은 온습도 조건에서 72시간동안 환경실험을 하였다. 그 결과는 그림 7.과 같다. C1에서 C6으로 갈수록 가혹한 조건이 되는데 조건이 가혹할수록 표면부에서부터 입계부식의 발생 정도가 더 심해짐을 볼 수 있었다. 코팅처리는 입계부식의 속도를 늦출 수 있으며 220℃의 Backing 처리는 오히려 조직변화에 좋지 않은 영향을 주었다. 또한 조직이 변화된 영역에서는 균열이 발생이 확인 되었다.

표.5 가속시험조건

Designation	Coating	Backing	Enviroment
C1	×	×	×
C2	○	×	×
C3	○	×	T:90℃, H:95%
C4	○	220℃	T:90℃, H:95%
C5	×	×	T:90℃, H:95%
C6	×	220℃	T:90℃, H:95%

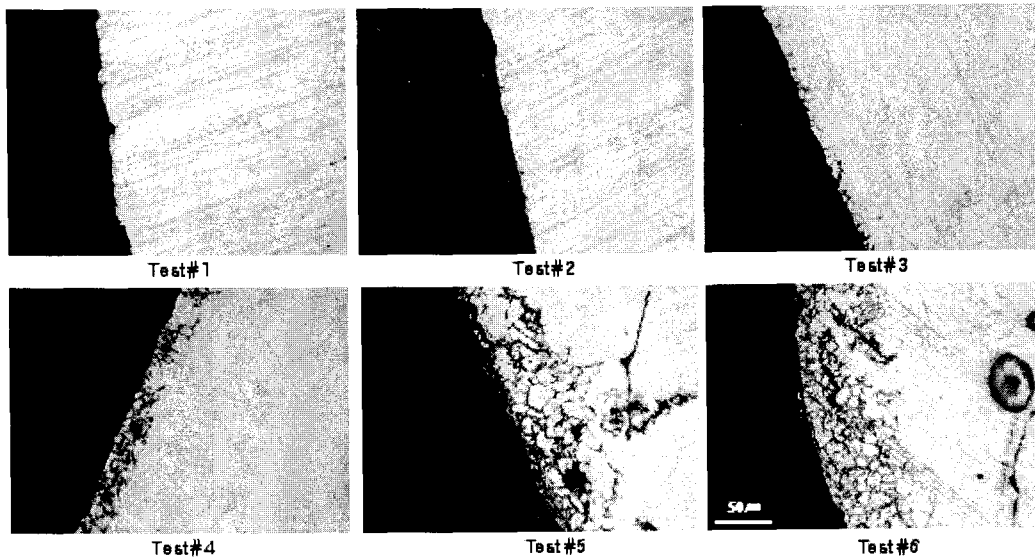


그림 7. 가속시험 결과

4. 결론

아연합금 부품의 사용 환경에 따른 영향을 고장분석과 가속시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

균열발생 및 제품의 취성은 산화층의 형성에 기인한 것으로 사료된다. 산화층의 형성은 외부에서의 산소(수분)의 침투에 의해 야기되었으며, 코팅상태에 의해 직접적으로 영향을 받았다. 즉, 코팅 층이 불량한 2004년도 제품에 수분(산소)투입이 쉬움을 알 수 있었고, 특히 고온고습의 사용조건에서 손상 발생이 더욱 용이하였다.

5. 참고문헌

1. KS D 6005 ,1991 : 아연합금 다이캐스팅
2. C.K.KIM, The Journal of the Foundrymen's Society, 1988 : "Zina Alloy Casting"