

자동차용 스틸휠 디스크부품의 성형불량 및 파손사례분석

이성희^{1#}, 김무연¹, 김태규², 윤호영², 강석우²

Analysis of Damaged Instance and Forming Fault for Disc Part in Automotive Steel Wheel

Sunghye Lee, M. Y. Kim, T. G. Kim, H. Y. Yun, S. W. Kang

Abstract

In this research, an analysis of damaged instance and forming fault for disc part in automotive steel wheel was performed. Rolled steel material, which had been used in the manufacturing of the damaged disc part, was prepared for tensile test, quantitative analysis of chemical component and acquirement of scanning electron microscope images. Although the results of mechanical properties and chemical component ratio for the material satisfied the suggested specification, some material inherent problem was found in the scanning electron microscope images. Finally, in an analysis of chemical component for the damaged disc part used in road condition, mismatching of chemical component ratio between the suggested specification and test result was found.

Key Words : Steel wheel(스틸휠), Disc part(디스크부품), Damage instance(파손사례), Forming fault(성형불량), Scanning electron microscope (주사현미경), Tensile test(인장시험)

1. 서론

자동차용 휠은 크게 알루미늄 휠(aluminum wheel)과 스틸휠(steel wheel)로 구분될 수 있으며, 전자의 경우는 외형상 고급스러움과 기능상 연비와 승차감을 만족시키기 위해 사용되고 후자의 경우는 경. 소형차와 같이 경제성이 요구되는 차량에 주로 사용하게 된다. 이렇듯 알루미늄 휠은 스틸휠보다 경량이고 변형량이 적어 주행성능이 우수하나 고가이므로, 지금까지도 스틸휠의 성능을 향상시켜 알루미늄 휠이 가지고 있는 성능을 구현하기 위한 연구가 계속되고 있다. 스틸휠의 성형측면에서 상용유한요소 Code 를 사용하여 자동차용 휠 디스크의 성형성을 파악하기 위한 연구^[1]를 찾아 볼 수 있으며, 상기 연구에서는 유한요소해석으로부터 휠 디스크의 성형과정 또는 성

형 후에서 발생한 잔류응력, 스프링백, 두께변화 및 변형을 결과를 제시하고 금형 설계시 시간 및 비용적인 측면에서 매우 효과적인 방법임을 제시하였다. 또한 스틸휠의 경량화에 대한 연구로는 근사함수를 이용한 스틸휠의 디스크 홀 최적화 연구^[2]를 살펴볼 수 있는데, Pro/E 와 ANSYS 를 이용하여 각각 CAD, CAE 를 수행하였고, 스틸휠의 질량을 최소화하기 위한 최적화 작업을 수행하기 위해 순차이차계획법인 PLBA (Pshenichny-Lim-Belegundu-Arora) 알고리즘을 이용하여, 형상적인 측면에서 디스크 홀을 80% 정도 키울 수 있었으며, 질량은 2.5% 감소의 결과를 도출하였다. 일반적으로 자동차용 휠은 연속적인 회전운동으로 인해 반복적인 하중을 받게 되고, 자동차가 장기간 주행하게 되면 피로균열이 발생될 확률이 높아지게 된다. 따라서 휠의 피로특성에 대한 연구도 계

1.#. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
E-mail: birdlee@kitech.re.kr

2. 코리아휠㈜ 기술연구소

속적으로 진행되어 왔다^{[3]-[5]}. 하지만 이러한 자동차용 스틸휠은 성형과정 중에도 예측되지 않은 균열이 발생되거나, 이미 사용중에 있는 제품에서도 운전중에 파손이 발생되기도 한다. 이를 해석이나 실험적으로 정확히 규명하는 일은 매우 어려운 작업이 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 자동차용 스틸휠의 성형특성 및 내구특성에 관계된 성형불량 및 파손사례에 대해 원소재의 원천적 측면에서의 분석을 통하여 발생 현상에 대한 직간접적인 원인 규명을 진행하고자 한다. 이를 위해 성형중 균열이 발생된 소재에 대해서는 사용된 소재를 확보하고 소재의 두께 편차 측정, 인장시험, 화학분석시험 및 SEM 분석을 수행하였으며, 사용중 파손된 자동차용 스틸휠의 경우에 대해서는 화학분석시험 및 SEM 분석을 통한 원인규명을 진행하였다.

2. 본 론

본 연구대상인 자동차용 스틸휠은 압연강판재(SAPH440, 3.2t)를 사용하여 제작된다. 소재 메이커로부터 제공된 소재의 기계적 화학적 물성치는 Table 1 & 2에 제시하였다. 본 소재를 사용한 자동차용 스틸휠의 제작공정은 시어링(shearing), 블랭킹(blanking), 드로잉(drawing), 트리밍(trimming), 플랜징(flanging), 볼트홀 피어싱(bolt hole piercing), 코이닝(coining), 사이트홀 피어싱/코이닝(side hole piercing & coining)으로 구분된다.

Table 1 Mechanical properties of SAPH440

규격	TS (N/mm ²)	YP (N/mm ²)	EL(%) (압연방향, JIS 5 호 시험편)					
			1.6mm~2.0mm	2.0mm~2.5mm	2.5mm~3.15mm	3.15mm~4.0mm	4.0mm~6.0mm	
SAPH440	440 以上	305 以上	29 以上	30 以上	32 以上	33 以上	34 以上	

Table 2 Chemical components of SAPH440(wt%)

POSCO spec.				
C	Mn	Si	P	S
0.03~0.12	0.6~1.3	Max 0.20	Max 0.02 (0.04 이하)	Max 0.20 (0.04 이하)

2.1 성형불량사례 및 분석

2.1.1 압연판재의 두께 분포특성

스틸휠의 제조과정에서 발생된 성형불량(크랙)의 원인을 분석하기 위한 작업으로 화학적, 기계적, 미세조직 분석에 앞서, 사용된 압연소재의 두께 분포 특성을 측정 분석하였다. 압연방향에 대해 양쪽 측면(a, b)을 측정하였으며 상부로부터 하부로 10 개의 위치에 대해 각각 3 번씩 측정하여 산술평균을 구하였다. 사용된 SAPH440 판재의 두께 허용공차는 $\pm 0.1\text{mm}$ 이며, 측정결과(Fig. 1)에서 보듯이 허용공차를 만족하고 있음을 볼 수 있다.

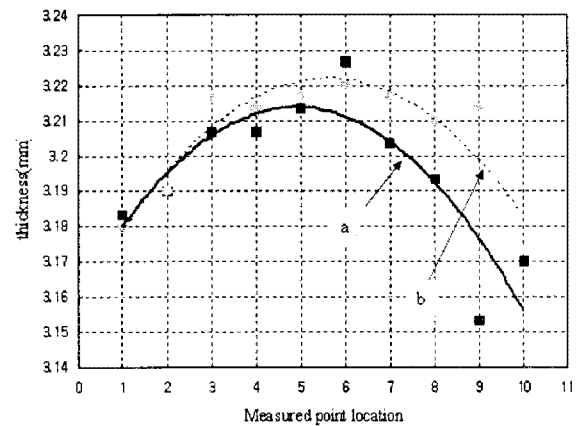


Fig. 1 Measurement of thickness variation for rolled steel cross rolling direction

2.1.2 인장시험

인장시험편을 제작하기 위해 380mm×380mm 크기의 판재에서 압연방향, 압연방향의 45 도, 압연방향의 횡방향(90 도)으로 각각 3 개의 시험편을 중심부에서 좌우로 동일 간격으로 떨어진 위치에서 와이어 커팅을 이용하여 절취하였다. 시험편 절취의 최적 위치를 찾기 위한 3 가지의 방법(Fig. 2(a))이 제시되었으며 판재의 위치에 따른 인장시험편의 결과를 비교하기 위해 3 안을 최적 위치로 선정하였다. Fig. 2(b)에서는 인장시험편의 절취 방법 및 위치, 그리고 최종적으로 절취된 시험편을 보여주고 있다. 준비된 인장시험편은 만능시험기(MTS810)로 인장시험이 수행되었으며, 각각의 시험편에 대한 인장시험결과는 Fig. 3에 제시하였다. 결과에서 보듯이 기계적 물성은 주어진 시험편에 대해 큰 차이가 없었으며, Table 1의 기준을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

2.1.3 화학성분분석

분석은 5 개의 주요 성분(C, Si, Mn, P, S)을 분석 하였으며, Table 3 에 제시된 결과에서 보듯이 모두 유사한 결과를 보이고 있다. 다만 크랙이 발생되는 3 번 Burring 부의 Si, Mn 성분이 다른 시편에 비해 수치적 차이를 보이나, 이는 실제로 미세한 차이로 실제 성분차가 큰 것이 아니다. 화학 성분 테스트의 결과는 성형 판재의 제조업체(POSCO)에서 제공받은 성분 Mill Sheet 성분 범위내에 분포함을 확인하였다.

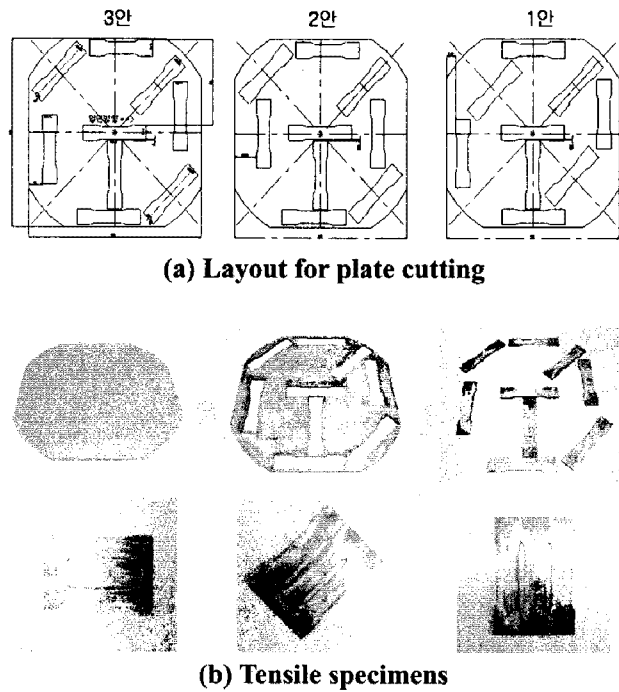
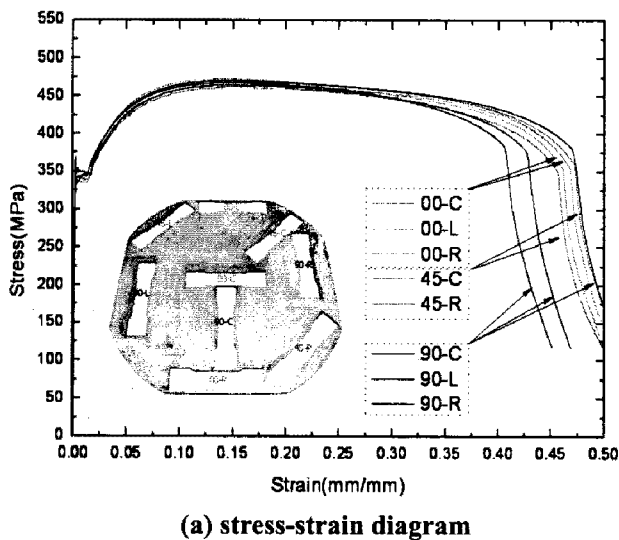
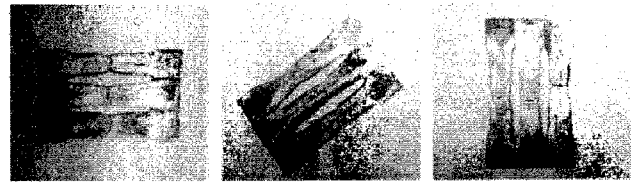


Fig. 2 Layout for plate cutting and prepared tensile test specimens(t=3.2mm)



(a) stress-strain diagram



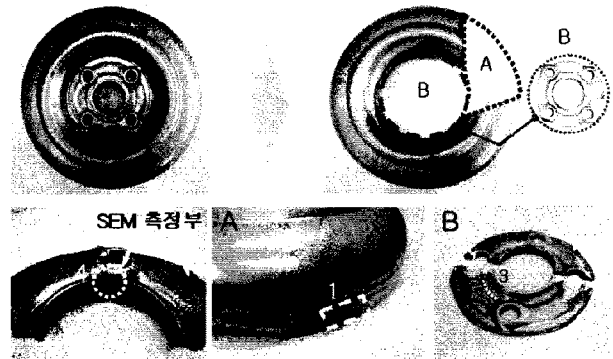
(b) Fractured specimens

Fig. 3 Result of tensile test for SAPH440(t=3.2mm)

Table 3 에서 시편의 번호는 Fig. 4 에서 표시된 성형불량 스틸휠의 각 부분에 해당된다. Fig. 4(b)는 화학성분검사(Optical Emission Spectrometer)를 위해 준비된 시편 및 측정부위를 보여주고 있다.

Table 3 Measured chemical components of SAPH440

No.	C	Mn	Si	P	S
1	0.11	1.07	0.098	0.013	0.007
2	0.11	1.08	0.099	0.013	0.007
3	0.11	1.12	0.110	0.013	0.007



(a) cutting process of wheel disc part



(b) Measured points and samples

Fig. 4 Cutting process and prepared samples for chemical component analysis

2.1.4 SEM 측정 및 분석

파단부의 보다 정밀한 분석을 위해 Fig. 4(a)의 4 번부에 대한 SEM(Scanning Electron Microscope) 측정을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 5 에 제시하였다. Fig. 5 의 결과에서 2,3 번째 행의 결과는 파손

부의 SEM 측정결과이며, 결과에서 보듯이 구상형태의 물질이 파손부에서 존재하고 있음을 확인하였다. 이에 대한 성분분석을 좀더 정밀하게 수행한 결과(4 번째 행) Al, Ca 임이 확인되었다. 물론 이를 좀더 정확히 분석하기 위해서는 해당부분에 대한 면밀한 분석이 필요하지만 이러한 결함의 존재는 구조적으로 응력의 집중을 유발할 수 있음을 알 수 있었다.

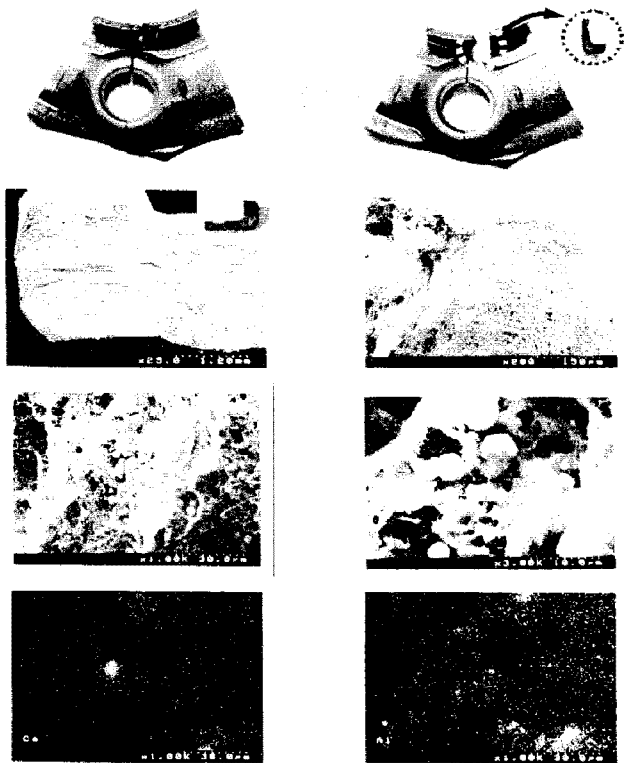


Fig. 5 Photograph results of SEM measurement

2.2 사용 중 파손사례 및 분석

앞 절의 경우는 스틸휠의 성형과정에서의 성형 불량사례에 대해 살펴보았으며, 본 절에서는 이미 제작되어 일정기간(약 3 년) 사용 후 파손이 발생한 휠(Fig. 6)에 대한 화학성분 분석 및 SEM 측정을 수행하였다. 그림에서 보듯이 사이드 홀에 대해 반경방향으로 크랙에 의한 파손이 발생되었음을 볼 수 있다. 물론 대상 스틸휠 부품은 개발 당시 주어진 강도 및 피로시험을 통과한 부품이다.

2.2.1 화학성분분석

성형불량사례에서 살펴본 동일한 방법으로 사

용중 파손된 휠에 대한 파손부를 중심으로 한 화학성분분석을 수행하였으며, 그 결과를 Table 4 에 제시하였다. 앞의 경우와는 달리 이번의 경우에는 Mn 의 성분비가 Table 2 에 제시된 기준치를 초과하고 있음이 확인되었다. 이러한 Mn 성분의 초과 는 재료적인 측면에서 사용소재를 취성화 시킬 수 있는 요인으로 작용할 수 있어 외력의 작용에 대해 구조적으로는 불안정을 유발할 수 있다. 그러므로 소재에 대한 정확한 관리가 요구된다.

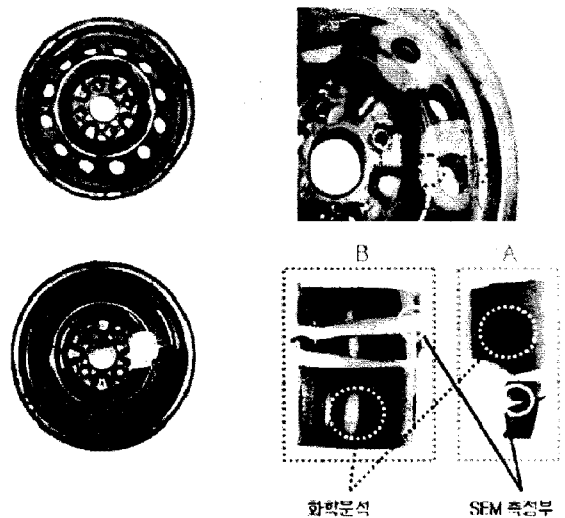


Fig. 6 Damaged steel wheel in-service condition

Table 4 Measured chemical components of SAPH440 for in-service steel wheel with failure

(wt%)					
No.	C	Mn	Si	P	S
A	0.092	1.4393	0.0146	0.0195	0.0052
B	0.092	1.4477	0.0150	0.0204	0.0051

2.2.2 SEM 측정 및 분석

성형불량사례에서와 같은 방법으로 Fig. 6 에 제시된 파손이 발생한 부분에 대한 SEM 측정을 수행하였으며, Fig. 6 의 "B"부분에 대한 SEM 측정 결과를 Fig. 7 에 제시하였다. 성형 중 불량발생사례와는 달리 재료의 혼합측면에서는 뚜렷한 불균일 특성이 발견되지 않았다. 하지만 SEM 측정을 통해 스틸휠의 표면부에서 외부의 충격으로 인해 크랙이 진전되었을 것으로 추측되는 손상부 및 크랙 진전부를 확인할 수 있었다.

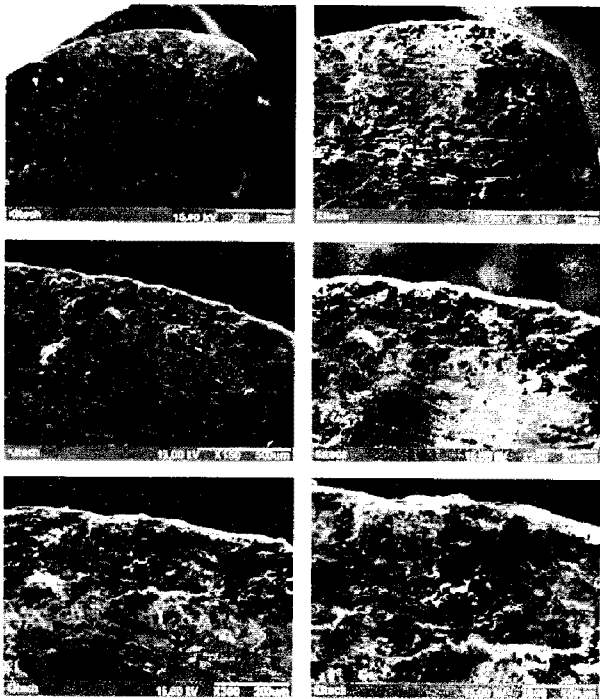


Fig. 7 Photograph results of SEM measurement for damaged in-service steel wheel

3. 결 론

본 연구에서는 압연판재로 성형된 자동차용 스틸휠 디스크 부품의 성형불량사례 및 일정기간 사용중 파손된 사례에 대한 원인분석을 위해 화학적분석, 기계적분석 그리고 미세조직분석을 수행하였다.

연구를 수행한 결과 자동차용 스틸휠의 디스크 부품의 성형불량사례에 대해서는 화학적/기계적 특성으로는 각각 주어진 기준치를 만족하는 결과를 얻었으나, 미세조직분석결과 특정 원소의 구상 형태를 발견하였다. 이는 대상 부품의 구조적 불안정성을 유발할 것으로 판단되었다.

또한 일정기간 사용중 파손이 발생된 자동차용 스틸휠의 디스크 부품의 경우는 화학적 성분상으로 요구 기준치를 초과하는 성분이 존재함을 확인 하였으며, 초과된 성분은 재료를 취성화시킬 수 있으므로 주의를 요하는 성분임을 확인하였다. 비록 본 연구에서는 성형불량 및 파손사례에 대한 근본적인 원인규명을 위한 접근 방법을 진행 하였으나, 좀 더 명확한 원인규명을 위해서는 보다 많은 다른 접근 방법(해석검증, 모의실험, 내구, 신뢰성 시험 등)이 병행되어야 한다고 사료되었다.

후 기

본 연구는 2006 년도 산업자원부의 부품소재종합기술지원사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김주성, 민흥기, 1992, 자동차용 휠 디스크 스탬핑 해석, 자동차 공학회, 제 14 권, 제 3 호, pp. 26~31.
- [2] 임오강, 유완석, 김우현, 조재승, 2002, 근사함수를 이용한 스틸휠의 디스크 홀의 최적화, 한국전산구조공학회, 제 16 권 제 1 호, pp. 105~111.
- [3] 김만섭, 고길주, 김정현, 양창근, 김관목, 2004, CAE 를 이용한 자동차용 휠(wheel)의 피로수명 예측기법 연구, 한국자동차공학회, 제 12 권, 제 2 호, pp. 117~122.
- [4] U. Kocabicak, M. Firat, 2001, Numerical analysis of wheel cornering fatigue tests, Engineering Failure Analysis, Vol.8, pp. 339~354.
- [5] M. Carboni, S. Beretta, A. Finzi, 2003, Defects and in-service fatigue life of truck wheels, Engineering Failure Analysis, Vol.10, pp. 45~57.