

저압주조방식에 의한 AZ91D 마그네슘 휠 특성

김광희^{1*}

¹(재)인천테크노파크 기술혁신본부

The characteristic of low pressure casting AZ91D Magnesium alloy wheel

Kwang-hee Kim^{1*}

¹Division of Technical Innovation, Incheon Technopark

요 약 본 연구에서는 마그네슘 합금 AZ91D를 소재로 18인치 휠을 개발하고 동일사양의 알루미늄 휠과 해외 시판 중인 마그네슘 휠과 기계적인 성질을 비교하였다. 저압주조 방식에 의해 18인치 마그네슘 휠 시제품을 제작하여 동일 사양의 알루미늄 휠 대비 26%의 경량화를 이룩하였고, 신폴 마그네슘 휠 대비 동등 수준의 연신율, 인장강도, 경도를 달성하였다. 향후 주조와 열처리 공정 개선을 통해 항복강도 향상이 필요한 것으로 판단된다.

Abstract In this study, 18-inch wheels, magnesium alloy AZ91D was developed and we compared overseas go on sale magnesium wheels and same specifications of the aluminum wheels mechanical properties. Prototype 18-inch magnesium wheels by a low-pressure casting method to achieve the same specifications of aluminum wheels and reduced 26% of the weight, the new edition of magnesium wheels compared to the same level of elongation, tensile strength, hardness. Casting and heat treatment process to improve future need to improve the yield strength is expected.

Key Words : Magnesium alloy, AZ91D, Wheel, Low pressure casting, Flange

1. 서론

1.1 연구 배경

최근 자동차 환경규제가 강화되면서 연비개선을 위한 유력한 방안으로 차량 경량화에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 차량 경량화가 실현되면 제동거리단축, 주행 성능 향상, 연소가스 감소 등의 효과도 거둘 수 있다. 경량 자동차부품의 소재도 기존 알루미늄에서 마그네슘으로 수요가 점차 증가하고 있다. 마그네슘은 알루미늄에 비해 경량이며, 비강도가 우수하며, 성형성도 좋지만, 가격면에서 불리하다.

전문기관에서는 자동차 1대당 마그네슘 적용량이 2005년 기준 5kg에서 2020년 160kg으로 증가할 것으로 예상하고 있다[1].

현재 전세계 마그네슘 생산량의 80% 이상을 중국이 독점하여 소재가격 변동에 따라 국내 산업에도 불안요소가 되고 있다. 이에 따라 국내에서 마그네슘 소재 국산화와 제련기술 개발 및 관련부품개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 자동차부품 중 휠을 기존 알루미늄에서 마그네슘으로 교체할 경우, 경량화는 30%, 연비는 10% 정도 향상되고, 타이어 마모도 7% 정도 개선효과가 있을 것으로 기대된다[3].

1.2 연구 목적

경량 자동차부품개발을 위해서 마그네슘 소재의 범퍼빔, 도어몰딩, 휠 등에 대한 개발이 이루어지고 있다. 자동차 알루미늄 휠의 생산성과 품질 향상에 대한 연구가 있었으며, 그 외 마그네슘 합금인 AZ31에 대한 피로균열

*Corresponding Author : Kwnag-hee Kim

Tel: +82-32-260-0814 email: kkhkbs@itp.or.kr

접수일 12년 10월 24일

수정일 12년 11월 07일

게재확정일 12년 11월 08일

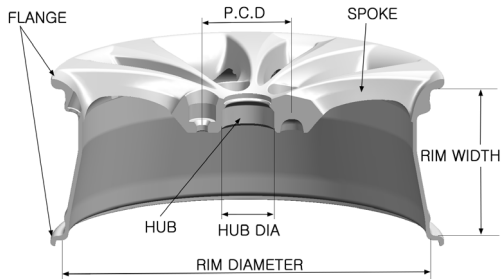
연구와 AZ91의 첨가제에 따른 산화방지 효과와 반응용 상태 가압성형에 대한 기계적 특성에 관한 연구가 수행되었다[4-8].

본 연구에서는 저압주조방식에 의한 마그네슘 주조 휠을 개발하고 객관적 성능평가를 위하여 기존 동일사양의 알루미늄 휠과 선진회사의 마그네슘 휠의 물성과 기계적 성질을 비교하였다.

2. 마그네슘 휠 설계

2.1 설계 방법

그림 1은 휠의 부분 명칭을 나타내는데, 플랜지, 스포크, 림, 허브 등은 휠 성능에 영향을 미치는 주요 설계 인자라고 할 수 있다.



[그림 1] 휠의 주요부 명칭

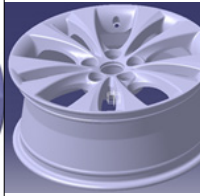
[Fig. 1] Title of wheel

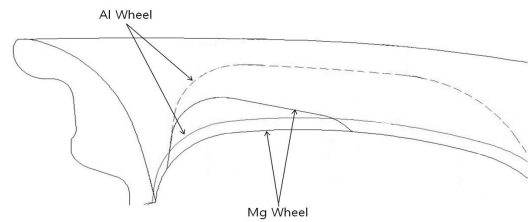
본 연구의 마그네슘 주조용 휠 설계는 기존 양산 중인 18인치 알루미늄 휠을 기준으로 하였다. 표 1에 알루미늄 휠과 본 연구의 마그네슘 휠의 사양을 나타내었다. 양산 중인 알루미늄 휠(A356.2 - T6)의 인장강도 280 Mpa이며, 마그네슘 휠(AZ91D - T4)의 인장강도 220 Mpa 정도로 알루미늄 휠과 동등한 내구성을 만족시키기 위하여 체적을 늘리는 설계가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 알루미늄 휠 설계에서 스포크부와 림부에 체적을 늘려 보강하는 설계를 하였다. 또한, 개발 마그네슘 휠은 알루미늄 휠과 동일디자인으로 하여 향후 실차 시험이 가능하도록 Size, Off Set, Hub Dia, P.C.D 등 조립에 관련된 사양을 동일하게 하였다.

그림 3은 시제품제작을 위한 마그네슘 휠의 제작도면을 나타낸다. 마그네슘 휠과 알루미늄 휠의 3차원 모델에서 체적을 기준으로 중량을 비교한 결과, 알루미늄 휠은 11.26kg, 마그네슘 휠은 8.56kg 으로 계산되어 기존 알루미늄 휠 대비 24% 경량화 되는 것으로 나타났다.

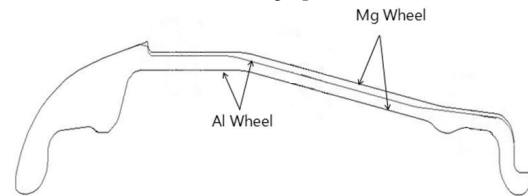
[표 1] 알루미늄과 마그네슘 휠 모델 비교

[Table 1] Comparison of Al and Mg wheel models

	Al Wheel	Mg Wheel
Model	18 inch	
Appearance		
Size	7.5J x 18	
Offset	39mm	
Hub Dia	Ø67	
P.C.D	Ø114.3, 5 Hole	
Rim thickness (mm)	4/3/4	5/5/5
3D Weight	11.26Kg	8.56kg



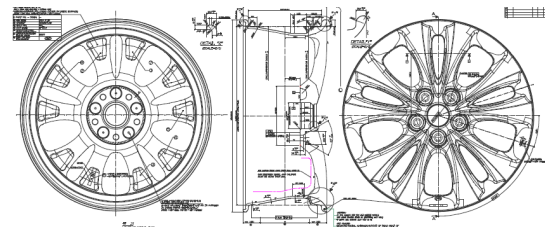
a) Flange part



b) Rim part

[그림 2] 주요 부분의 설계인자 비교

[Fig. 2] Comparison of design factors; Al and Mg wheel



[그림 3] 18인치 마그네슘 휠 설계도면

[Fig. 3] Drawing of 18-inch Mg wheel

2.2 주조 소재

현재 상용화된 주조용 마그네슘 합금 가운데 AZ91D는 일반적으로 많이 쓰이는 소재이다. 난연성 마그네슘 소재인 AZX912는 마그네슘 발화시 마그네슘 플럭스가 공기를 차단하고 반응을 억제함으로써 소화에 효과적임을 주조 시험에서 확인하였다. 그러나, AZ91D와의 단가 차이가 많이 나서 양산에는 적합지 않은 것으로 판단하고 AZ91D를 위주로 하였다. 표 2에는 AZ91D와 AZX912의 성분을 비교하였다.

2.3 시제품 제작 공정

주조 공법의 검증과 성능시험을 위하여 시제품을 제작하였다. 시제품은 마그네슘 합금 AZ91D를 대상으로 다음과 같은 공정에 따랐다. 제작 공정 중 주조와 열처리하는 공정조건에 따라 시제품 품질에 직접적 영향을 줄 것으로 판단된다.

2.4 비교 대상

비교 대상선정은 양산중인 동일사양의 알루미늄 휠과 외국에서 에프터마켓용으로 판매되는 제품을 입수하여 비교 하였다. 기존의 알루미늄 휠은 설계데이터와 실물을 확보하였으며, 외국의 벤치마크용 휠은 역설계를 통해 3차원 데이터를 확보하고, 시편을 제작하여 기계적인 물성을 측정하였다.

[표 2] AZX912 및 AZ91D 성분 분석[wt%]
[Table 2] Component analysis of AZX912 & AZ91D[wt%]

성분 \ 품명	AZX912	AZ91D
Mg	88.27	90.05
Al	8.8	8.99
Zn	0.64	0.7
Mn	0.29	0.207
Ca	2.0	-
Fe	-	0.0015
Cu	-	0.0027
Si	-	0.0479
Ni	-	0.0005
Be	-	0.0008



[그림 4] 마그네슘 휠 제조 공정
[Fig. 4] Manufacturing process of Mg wheel



[그림 5] 해외 시판 마그네슘 휠 벤치마크 휠 역설계
[Fig. 5] The benchmark of Mg wheel reverse engineering in the overseas market

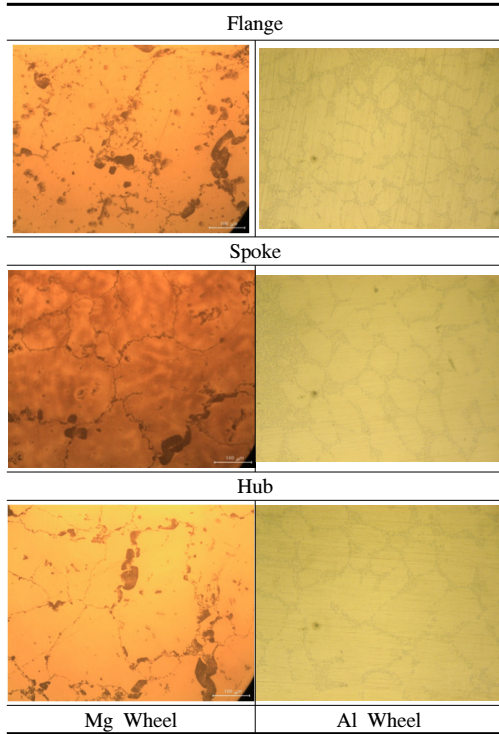
3. 결과 고찰

3.1 조직 비교

알루미늄 휠과 마그네슘 휠 시제품에 대한 시편을 가공하여 확대 조직을 비교하였다.

그림 6은 휠의 플랜지와 스포크, 허브의 200배 확대 모습을 비교하였는데, 부위에는 무관하게 일정한 모습을 보였다. 마그네슘 휠(AZ91D-T4)은 알루미늄 휠(A356.2-T6)에 비해 조직이 조대하고 일정한 패턴을 가지고 있지 않아서, DAS(Dendrite Arm Spacing, 수지상정 간거리)를 측정할 수 없었다. 마그네슘 조직 중 검고 불

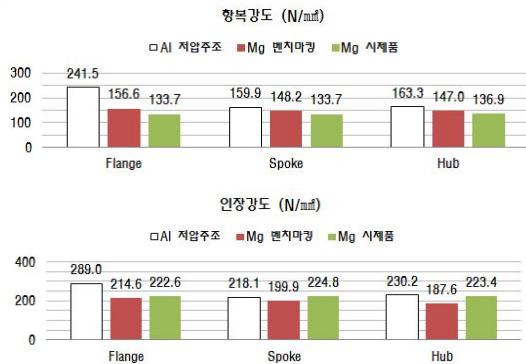
규칙하게 보이는 부분은 소재 용탕과정에서 유입된 이물질로 판단된다. 알루미늄 휠은 균일한 입자로 일정한 분포를 나타내었다.



[그림 6] 알루미늄 휠과 마그네슘 휠 확대 조직 비교
[Fig. 6] Magnification photography Mg wheel and Al wheel

3.2 기계적 성질

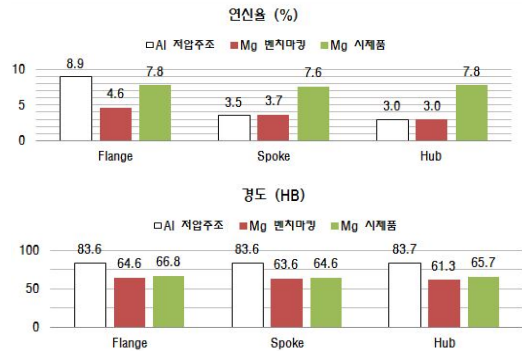
알루미늄 휠과 마그네슘 휠, 해외시판 마그네슘 휠의 주요 부위 기계적인 성질을 비교하였다.



[그림 7] 마그네슘 휠 물성 비교 1
[Fig. 7] Comparison of mechanical property I

항복강도와 인장강도를 보면 알루미늄 휠이 플랜지부위에서 벤치마크용 마그네슘 휠보다 35~50% 정도 높게 나타났다. 마그네슘 휠 시제품은 스포크나 허브 부분에서 벤치마크 휠보다 7~11% 정도 항복강도가 적게 나타났으며, 알루미늄 휠 보다는 20% 정도 낮았다. 인장강도는 스포크와 허브 부분에서 시제품이 마그네슘 벤치마크 휠보다 12~19% 높았는데, 이는 알루미늄 휠과 동등한 수준이었다.

연신율은 플랜지부위에서 알루미늄 휠이 8.9%를 나타내어 벤치마크 휠보다 약 2배를 보였으며, 알루미늄 휠과 벤치마크 휠이 플랜지와 스포크, 허브 순으로 낮아지는데 비해 마그네슘 휠 시제품은 부위와 무관하게 일정한 수치를 보였다. 경도는 알루미늄 휠이 83.6 HB로 일정하였으며, 벤치마크 휠과 시제품은 61.3~66.8 HB를 보였는데, 재질의 고유한 특성으로 생각된다.



[그림 8] 마그네슘 휠 물성 비교 2
[Fig. 8] Comparison of mechanical property II

이와 같이 마그네슘 휠 시제품이 인장강도와 연신율, 경도에서 벤치마크 휠대비 동등하거나 높은 수치를 나타내었다. 그러나, 항복강도에서 벤치마크 휠대비 7~11% 낮은 것으로 파악되었다.

알루미늄 휠에 비해 마그네슘 휠 시제품은 인장강도와 경도에서 77~97% 수준을 보였으면, 연신율은 85~260%를 나타내었다. 항복강도는 마그네슘 시제품 휠이 알루미늄에 비해 55~84% 정도로 낮았고, 벤치마크 휠 보다 10% 가량 낮은 수준이다. 이는 마그네슘 휠 시제품 제작의 용탕과정 중 이물질 혼입이 항복강도 저하의 원인 중 한가지로 파악되므로 용탕청정화 조치가 필요한 것으로 판단된다.

3.3 시제품 비교

저압주조공법으로 성형한 마그네슘 휠 시제품과 알루미늄 양산제품을 비교한 모습을 표 3에 나타내었다. 동일

한 사양의 18인치 휠일 때 마그네슘 휠의 중량은 8.5kg으로 알루미늄 휠 11.5kg 대비 26% 가벼웠다.

[표 3] 알루미늄과 마그네슘 휠의 시제품 비교

[Table 3] Comparison of prototype about Al wheel and Mg wheel

	Al Wheel	Mg Wheel
Photo		
Method	Low pressure casting + Flow Forming	Low pressure casting
Weight	11.5 kg	8.5 kg
Remark	26 % weight reduce	

4. 결론

본 연구에서는 18인치 마그네슘 휠을 개발하고 동일 사양의 알루미늄 휠과 해외 시판 마그네슘 휠과 기계적인 성질을 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 저압주조 방식에 의해 18인치 마그네슘 휠을 개발하여 동일 사양의 알루미늄 휠대비 26%의 경량화를 달성하였다.
- 2) 해외 시판 마그네슘 휠 대비 동등 수준의 기계적 성질을 갖는 마그네슘 휠 시제품을 개발하였다.
- 3) 향후 마그네슘 주조휠 품질향상을 위해 주조방법과 열처리 개선이 필요한 것으로 판단된다.

References

- [1] A consortium of the United States Council for Automotive Research, "Magnesium Vision 2020 : A North American Automotive Strategic Vision for Magnesium", pp. 3-7, USAMP, 2006.
- [2] RIST, "Great-sphere Economy Collaboration Annual Report: Development of low pressure casting Mg wheel", The Ministry of Knowledge Economy, 2012.
- [3] Lee Won-sik, "Machinery Industry : Technical trend of Magnesium part manufacture", pp.104-109, KISTI, 2006.
- [4] Young-Chul Lee, Jeong-Gil Choi, "Study on the

improvement of productivity and quality on the Aluminum wheel by low pressure die casting", Proceedings of KAIS Spring Conference, pp.224-228, 2001.

- [5] Seon Soon CHOI, "Estimation of Empirical Fatigue Crack Propagation Model of AZ31 Magnesium Alloys under Different Maximum Loads", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 2, pp. 552-528, 2012.
- [6] Seon Soon CHOI, "Effect of Boundary Conditions on Reliability and Cumulative Distribution Characteristics of Fatigue Failure Life in Magnesium Alloy", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 2, pp. 594-599, 2011.
- [7] Choi, Byung-Ho You, Bong-Sun Park, Won-Wook Huang, Yan-Bin Park, Ik-Min, "Effect of Ca Addition on the Oxidation Resistance of AZ91 Magnesium Alloys at Elevated Temperatures", METALS AND MATERIALS International, Vol.9 No.4, pp. 295-398, 2003.
- [8] Se-Kwang Kim, Young-Jik Kim, "Evaluation of Thixoformability and Mechanical Properties of AZ91D Mg alloy", Journal of the Korean institute of metals and materials, Vol.38 No.12, pp. 1626-1630, 2000.

김 광 희(Kwang-hee Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학박사)
- 2012년 10월 ~ 현재 : (재)인천 테크노파크 기술혁신본부 본부장

<관심분야>

CAD/CAM/CAE, 정밀가공, 최적설계