

技術資料

自動車用 輕合金 휠에 대하여

최정철,* 박익민,** 윤의박,*** 남태운****

Disk Wheels of Light Metals for Automobiles

J.C. Choe, I.M. Park,** E.P. Yoon,*** T.W. Nam****

1. 서 언

요즈음 자동차산업이 국내산업을 주도하며 호황을 누리고 있다. 자동차발전의 한 경향으로써 경량화가 요구되고 있다. 일반적으로 자동차의 경량화에는 고장력 강판의 채용, Al, 플라스틱등의 경량재료의 이용이 증가되고 있다. 그중 휠의 경량화는 자동차경량화에 적지않은 점이 있으며 무엇보다도 패션성의 우위에서 주목받고 있다.

경량휠의 유래는 미국 최대 자동차경주인 인디애나 폴리스경주에서 Mg 합금주물 휠장착차가 우승함으로써 출전하는 전경주차가 Mg 합금주물제휠을 사용하게 되었다. 이 풍조가 스포츠형차에 번져 Mg 합금제휠이 보급되고, 이 보급판으로써 보다 싼 Al 합금주물제휠이 1970년경 승용차용으로 제조되게 되어 본격적으로 판매되었다. 그후 주로 젊은 층을 중심으로 늘어나 해마다 증가하여 최근에는 신차에 라인장착되는 예도 많다. 금일에는 Al 합금휠이 미국, 일본, 서유럽뿐 아니고 소련, 불가리아를 비롯하는 공산권국가에도 보급되고 있는 실정이다. 국내에서는 일부 고급승용차에 주로 장착되어 있으며 Al 휠 제조업체로는 선두주자인 삼선공업(주)와 동화오토(주)가 있고 개발중 혹은 관심을 가진 업체가 몇사 있다. 앞으로 급진적으로 발전하는 국내자동차산업 추이에 따라 Al 휠의 수요전망은 밝은 것으로 사료된다. 또 휠에 대한 수요자의 복잡한 요구에 응하기 위해 여러가지 공법이 개발되어 비교적 단순구조의 부품임에도 불구하고 주조, 소성가공 혹은 이들을 조합한 것등 여러 제법에 의한 제품이 세계시장에 나와 있는 실정이다. 국내에는 아직 제조회사 공

히 동일방법인 일체식 저압주조법을 채택하고 있어 그 다양화가 금후 기대된다.

그렇지만 아직 국내에서는 관련 논문·자료는 거의 발표되지 않고 있는 실정이다. 본고에서는 경합금휠의 전반과 합금의 종류, 각종 제조법의 특징에 대해 일반적으로 논하겠다.

2. 자동차휠의 기능·특성

경합금휠은 강제휠에 비해 가격면에서 불리함에도 불구하고 경량, 패션면의 이점을 살려 수요를 넓여가고 있다. 보급단계인 국내보다 성숙기에 돌입한 일본의 휠추이를 살펴보면 그림 1과 같다.

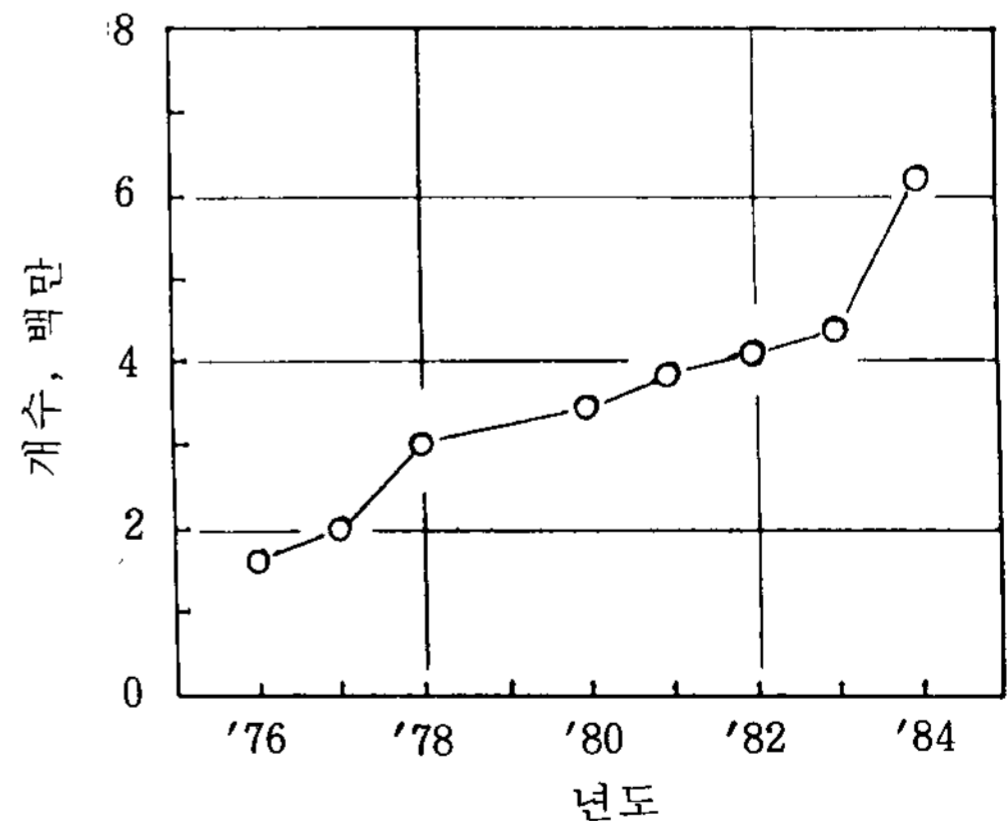


그림 1. 승용차용 경합금휠의 판매실적(일본)

경합금휠(Mg 휠이 1%미만으로 나머지는 Al 합금 휠)의 판매량은 년 10~40%의 증가를 나타내고 있다. 1984년에 약 950만개로 증량으로 5만t이상에 달한다. Al 휠 생산량은 전휠수요의 약 20%를 점하고 있다. 미국에 있어 Al제휠 장착율은 1984년 약 5%

* 아주대 재료과 조교수
** 부산대 금속과 부교수
*** 한양대 재료과 교수
**** 한양대 금속과 교수

로, 주류는 아직 강제휠이지만 곧 10%정도까지 보급 될 것으로 예측되고 있다. 장착시기는 신차의 라인장착 혹은 option에 의하거나 그후의 after market이다. 타이어판매점이나 정비공장인 after market는 무시할 수 없는 시장이다. 외국생산업체로는 미국의 경우 쉘시·헤이즈, 엠파이어캐스팅등이고 일본의 경우 日立金屬, 神戸製鋼所등 수십사에 이르며 대만도 최근 생산하고 있다. 일본업체중에서는 무역마찰을 줄이기 위해 미국현지생산공장설립도 모색하고 있다.

Al휠은 강제의 휠에 비해 안전도가 높으며 승차감이 좋고 중량감소에 의한 제동력 가속력이 향상되고 연료비가 절감된다. 그중 my car시대를 맞이하여 강판제에 없는 디자인의 다양성이 차츰 소비자에 인식되고 있는 점이 무엇보다 강점이라 생각된다. 또 snow tire 등 광폭래디얼타이어용휠은 강판제라도 표준품보다도 훨씬 고가이고 광폭의 경우 경량화의 이점은 더욱 돋보인다. 이 경향에서 국내에서는 외국수출용에 미국의 경우는 신차에 Al합금휠을 장착한 Original Equipped market 분야가 전개됨에 따라 휠의 수요도 비약적 증대의 계기가 되고 있다. 승용차용휠만 아니고 2륜차용휠이 OEM으로써 주로 수출용의 2륜차에 장착율이 높고 그 양은 승용차용 Al휠에 필적하는 양이다.

여기에 강제휠과 비교한 Al휠의 특징을 나열하면

- 1) 경량이다 ... 강제에 비해 30% 이상 경감되고, 관성중량감소, 가속성, 제동성, 조종성이 연비효율을 향상시킨다. 표 1은 트럭의 예인데 Al휠 채용에 표 1에 따른 연비등의 효과를 나타낸다.
- 2) 열전도성이 좋다 ... 열전도도가 철의 약 3배이므로 브레이크와 타이어에서 발생하는 열의 방출에 유리하다.
- 3) 정밀도가 높다 ... Al 합금은 성형성이 좋고 휠 제조에는 높은 소성가공이 행해지기 때문에 치수·형상의 정도가 높은 휠이 얻어진다. 주조휠도 절삭성이 좋기 때문에 치수가 중요한 부위는 전면 절삭가공하고 있어 정밀도가 높다. 따라서

표 1. 10 톤 대형트럭에 있어 휠의 Al과 이점

종류	중량, kg / 11륜	연료효율, km / 경유 1	타이어수명, km	브레이크 라이닝, 년
Fe	460~500	3.00	15.00 만	1
Al	250	3.12 (4% 향상)	16.92 만 (12.8% 향상)	2 (100% 향상)

(12 만km/년 주행으로 가정)

차체와 조향의 진동이 저감하여 안정성·승차감이 향상한다.

- 4) 패션성이 높다 ... 구조와 단조가 가능하기 때문에 자유로운 의장 디자인을 얻기 쉽다. 또 Al 특유의 색·광택도 패션성에 유리하게 작용된다.
- 5) 녹슬기 어렵다.
- 6) 비싸다 ... Al 합금은 강소재에 비해 4배의 가격, 생산속도는 약 1/10이기 때문에 실제 가격은 강제휠의 4배 이상이 된다. 이점이 Al휠이 보급되어도 강제휠을 능가할 수 없는 이유가 된다.

Al휠의 구조에 의한 분류를 도시하면 그림 2와 같다. 그리고 이들의 특징을 정리하면, 표 2와 같다.

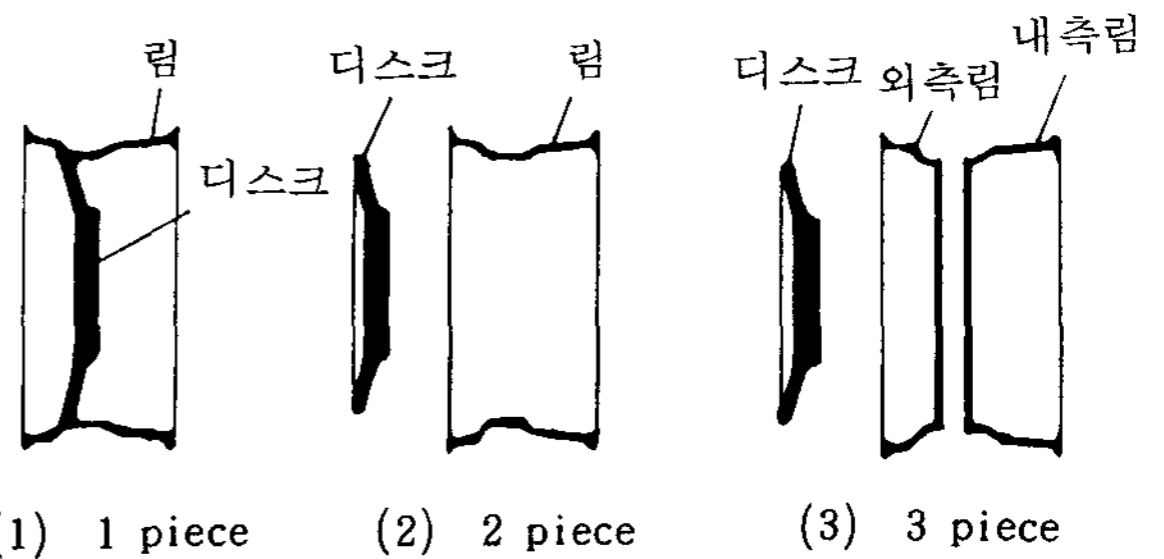


그림 2. 휠 구조상 분류

표 2. Al휠의 구조상 종류와 특징

종류	경량화	정밀도	신뢰성	디자인 자유도	생산성	가격
1 piece	하	하	하	하	하	저
2 piece	상	상	상	중	상	고
3 piece	상	중	중	상	상	고

1 piece 휠은 타이어를 장착하는 림부분과 차량에 부착하기 위한 디스크부분을 일체로 주조성형하여 기계 절삭가공에 의해 마무리한 것으로 주조품의 특징으로 자유로운 형상이 얻어지는데서 강제 휠보다 우수하나 경량화와 기능성, 다양성의 면에서 림폭등이 금형에 제한된다. 주조시 피할 수 없는 기공등의 결함이 공기누출의 원인이 된다. 따라서 불량율이 타방법보다 높다. 3 piece는 의장을 바꾼 다중소량생산이 요구되는 디스크부와 공통으로 사용할 수 있는 합체식의 림부와 볼트등으로 접합한 구조로 된다. 림부는 정밀도 인성이 높은 가공재의 판에서 만들어지기 때문에 밸런스도 좋고 강도도 강하다. 또 림을 얇게 할 수 있기 때문에

1 piece 보다 가벼워 다중소량생산에 적당하다. 2 piece는 기본적으로 3 piece와 같은데, 내외 림합체부가 없는 일체림이기 때문에 기밀성에 관한 염려가 적다. 공통으로 사용할 수 있는 고정도의 일체림을 양산해 싼값으로 제조하고 의장이 다른 디스크부를 조합함에 따라 휠 의장을 풍부히 할 수 있다.

일본의 최근 경향으로서는 일체주조 휠에 대해 2 piece 및 3 piece형의 조립식휠의 증가가 현저하여, 조립식휠의 비율은 1977년에 1%에도 달하지 않았지만 1981년에는 36%에 달했다. 금후 계속 2 piece 휠이 증가할 것으로 전망된다.

3. 휠용합금

주된 휠용합금의 화학조성을 표 3에 나타낸다. 그외 AC4A, AIDC8, 6062 등이 있고 일본경금속(주)에서 개발한 DX30 등이 사용되고 있다. 많이 쓰이는 것으로는 주물용으로 AC4C 그리고 2 piece 휠의 가공재로 A5454 등이 있다.

3-1 주 물 재

주조디스크로는 신율, 인성이 높은 비열처리형합금으

로 5000계가공재와 같은 계에 해당하며 용접성이 좋은 AC7A 합금이 쓰인다. 또 1 piece 휠로 실적이 있고 AC7A보다 주조성이 좋기 때문에 의장상의 자유도가 높은 AC4C-T6재도 쓰이고 있다. 1 piece주조휠용에는 주조합금중에서 바란스가 좋고 주조성이 좋은 AC4C합금이 가장 많이 사용된다. 이 합금은 Al-Si-Mg계합금으로 금형주조법 혹은 저압주조법으로 사용된다. 보통 T6처리가 행해지는데 유럽일부에는 신율을 높이는 원소를 첨가한 개량합금으로 열처리를 하지 않고 사용되는 예도 있다. 다이캐스트에는 ADC3, A380으로 열처리를 하지 않는다. 일반 다이캐스트로는 휠에 적당하지 못하기 때문에 열처리가 가능한 PF 다이캐스트가 있는데 이에 AC4C의 Si와 Fe를 올려 개량한 전술한 DX30이라 불리는 재료등이 있다.

Mg 합금으로는 다이캐스트와 금형주조법이 일반적이고 AZ91보다도 주조성이 좋은 AM60의 다이캐스트나 AM100 금형주조품이 쓰인다.

3-2 가공재

가공성이 좋은 5083, 5454 합금의 0재 상태 또는 6061 합금의 T6처리가 이용되고 있다. 림용 재료로서는 가공성, 강도, 내구성, 내식성, 표면처리성, 가격등

표 3. 활용 합금의 화학성분(wt%)

	KS	JIS	ASTM	Si	Fe	Cu	Zn	Mg	Mn	Sn	Ni	Ti	Al
주 조 용 Al	AC3A	AC3A	A413	10-13	<2.0	<.6	<.50	<.10	<.35	<.15	<.50	-	bal.
	AC4C	AC4C	A356	6.5-7.5	<.2	<.20	<.10	.2-.4	<.10	-	-	<.20	bal.
	AC7A	AC7A	514	<.35	<.50	<.15	<.15	3.5-4.5	<.35	-	-	<.25	bal.
DC 용 Al	AIDC2	ADC3	A360	9.0-10.0	<1.3	<.6	<.50	.4-.6	<.35	<.1	<.50	-	bal.
	AIDC7	ADC10	A380	7.5-9.5	<1.3	3.0-4.0	<1.0	<.10	<.50	<.35	<.50	-	bal.
가 공 용 Al	5052	5052	5052	Si+Fe<.45		<.10	<.10	2.2-2.8	<.10	Cr .15-.35		-	bal.
	5083	5083	5083	<.40	<.40	<.10	<.25	4.0-4.9	.3-1.0	.05-.25		<.15	bal.
	5086	5086	5086	<.40	<.50	<.10	<.25	3.5-4.5	.20-.7	.05-.25		<.15	bal.
	5154	5154	5154	Si+Fe<.45		<.10	<.20	3.1-3.9	<.10	.15-.35		<.20	bal.
	5454	5454	5454	Si+Fe<.40		<.10	<.25	2.4-3.0	.50-1.0	.05-.20		<.20	bal.
	6061	6061	6061	.40-.8	<.7	.15-.40	<.25	.8-1.2	<.15	.04-.08		<.15	bal.
Mg	-	-	AM60	.1	-	-	-	bal.	.3	-	-	-	6
합 금	MDC1A	MDC1A	AZ91C	<.3	-	<.10	.4-1.0	bal.	<.13	-	<.01	-	8.1-9.3
	MC5	MC5	AM100A	<.3	-	<.10	<.3	bal.	>.10	-	<.01	-	9.3-10.7

의 면에서 채택된다. 예를들면 6061 합금은 가공성과 정밀도가 우수하지만 5000번계합금에 비해 열처리가 필요하고 내구성도 떨어지는 단점이 있다. 그래서 이들 성질이 좋은 5000번계합금이 잘 쓰인다. 또 5052 합금은 용접성, 기계가공성, 내식성 등이 우수하지만 표 4와 같이 5454 합금에 비해 강도와 내구성이 약간 나쁘다. 그래서 5000번계중에서도 특히 이들 성질이 양호한 5454 합금이 많이 쓰인다. 디스크용재료에도 같은 특성이 요구되는데 의장에 대한 자유도(가공성·주조성 등)가 특히 중요하다. 프레스디스크는 의장에 공법상의 제한이 있지만 림과의 용접성과 소성가공성에서 5454 합금이 쓰인다. 단조디스크로는 모양을 내기쉬운 6061 합금을 T6 처리하여 쓴다.

표 4. 림용 가공재의 비교

재 질	용접성	가공성	내식성	강 도
A5454	□	□	□	□
A5083	□	△	△	◎
A5052	□	□	□	△

※ ◎ 우수 △사용가 □양호

이상과 같은 합금은 재질·제조방법이 다르면 당연히 기계적성질도 차가 생긴다. 대개 인장강도는 30~16 kg/mm², 내력 25~8 kg/mm², 신율 33~3%로 차이가 많다.

4. 제조방법

4-1 일체형 휠(1 piece wheel)

일체형 휠의 거의가 주조에 의해 만들어진다. 휠의 주된 주조방법의 특징을 정리해 표 5에 나타낸다. 중력구조는 도형기술에 숙련을 요하고 고순도지금에 의

표 5. 1 piece wheel의 주조방법과 특징

방 법	경량화	치수 정도	품질	디자인 자유도	생산성	제품율 (제품/주입량)	인장강도, T6 (kgf/mm)
중력주조	하	하	하	상	하	50%	20-26
저압주조	하	중	중	중	하	90%	20-24
용탕단조	중	상	상	하	중	40-60%	30-34
PF다이캐스트	상	상	중	하	상	40-60%	24-28

한 고력주물의 제조가 가능하며 내압주조에 알맞고 적용형상, 적용재질범위가 넓다. 중력구조의 용융합금주입법을 개선한 것이 저압주조이다. 저압주조는 용융합금이 밑에서 조용히 형내로 유입하기 때문에 합금의 유입에 기인한 결함이 적다. 또 압탕부의 용탕을 밑의 holding furnace에 되돌릴수 있기 때문에 수율이 좋다. 두께가 균일하고 다이캐스트보다 수량이 적은 것에 적당하며 산화물의 혼입이 많은 단점이 있다. 현재 일체형휠 제조의 주류를 이루고 있다. 용탕단조법(고압주조법, Squeeze casting)은 주물내의 결함을 없애기 위해 피스톤으로 용융합금을 가압한 채 응고시키는 방법으로 얻어지는 제품의 품질은 가장 높다. 고압이 걸리고 금형에는 얇은 이형제밖에 바르지 않기때문에

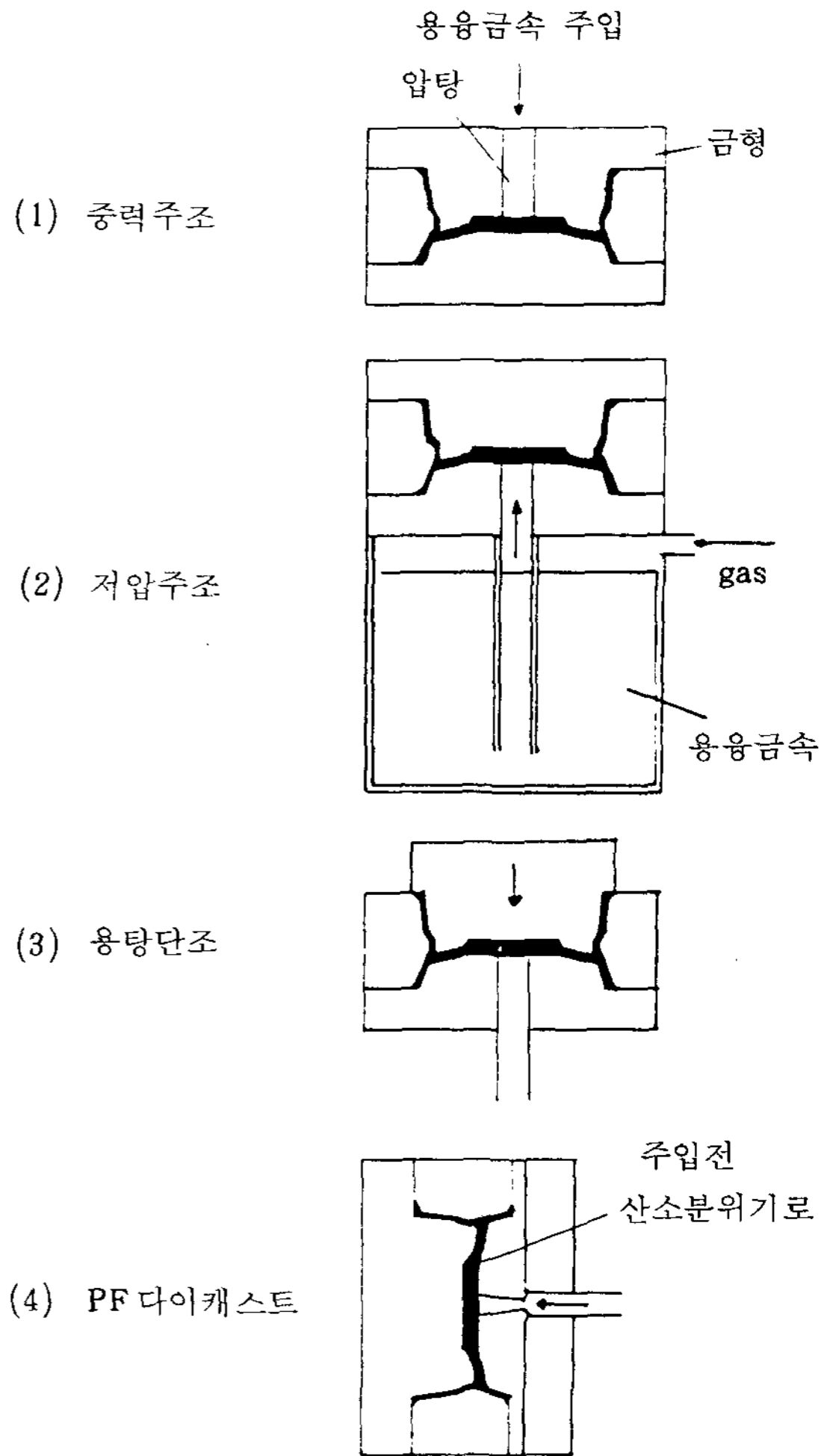


그림 3. 주조에 의한 휠 제조법

치수정도가 좋다. 주조기와 금형의 비중이 크기 때문에 디자인변경등에 난점이 있다. 또 응고방향의 조절을 위해 얇게 하는데 제한이 다소 있다. PF 다이캐스트는 형내의 공기를 산소로 뺀후에 용융합금을 분무충진하는 방법이다. 합금충진시에 Al 과 산소가 반응하여 고정되기 때문에 주물내에 공기혼입이 없는 다이캐스트제품이 얻어진다. 이것도 얇은 이형제밖에 사용하지 않기 때문에 치수정도가 좋고 또 보통 다이캐스트에 가까운 높은 생산성이 얻어진다. 따라서 수량이 많은 것에 적당하고 보통 다이캐스트로는 불가능한 열처리가 가능해 강도를 높힐 수 있다. 주탕온도는 낮다.

이외 타방법에 비해 기계적성질이 떨어지며 다중소량생산방법으로 사형주조법 그리고 원심주조에 의한 생산도 있다.

국내에서는 오토바이 휠에 Al 합금주물을 채택해 호평을 받고 있다. 제조법은 일반 승용차와 동일한 일체형 저압주조법에 의한다. 선진국에서는 이외 트럭 버스용 Al 휠이 주조 혹은 단조에 의해 생산 판매되고 있는데, 이때는 경량효과가 일반 승용차보다 더욱 커진다. 항공기용 Al 휠은 단조로만 현재 만들어지고 있다.

4-2 2 piece wheel

림부에 있어 Flash butt welding (FBW, 가볍게 접촉시킨 2개의 금속끝부분이 직접통전에 의한 저항열로 반응용상태까지 가열하고 압력을 가해 결합시키는 용접법)에 의한 관만들기에는 특수한 용접기가 필요하지만 재료수율이 극히 좋아 가장 합리적이고 경제적인 방법이다. 관의 굽힘가공에 의해 얻어지는 관이기 때문에 정도가 가장 높다. 프레스에 의한 seamless 관의 제조로는 재료수율이 50%이하로 극히 나쁘지만 범용 프레스를 쓸 수 있기 때문에 소량 생산에는 오히려 저렴하다. 압출 seamless pipe를 절단한 관은 약간의 두께차를 피할 수 없기 때문에 후공점에서 정도를 올리는 가공을 필요로 한다.

roll forming에 의한 림성형에는 대형 전용설비를 필요로 하는데 생산성이 높아 대량생산으로는 싸고 정

도높은 림이 얻어진다. 한편 spinning은 roll forming에 비해 생산성이 약간 떨어지는데 디자인 변경등에 유리하기 때문에 소량생산에 위력을 발휘한다.

디스크의 제조방법으로는 fashion성이 요구되는 경우에는 주조, 경량이 요구될 때에는 단조가 선택된다. 관의 프레스로 싸고 가벼운 디스크가 얻어지는데 현 추세는 다양한 디자인, 소량생산도 가능한 주조제 디스크의 주류를 이루고 있다. 일체형에 비해 경량화도 개선되어 4kg이하의 제품도 생산되고 있다.

림과 디스크의 접합에는 MIG용접(Metal electrode inert gas welding, 용해금속 자신이 소모전극으로 되어 모재사이에 arc를 만들어 붙이는 방법)이 사용된다.

4-3 3 piece wheel

관의 제조는 필요없지만 만드는 공법과 특징은 기본적으로 2 piece와 비슷하다. 공정은 림을 MIG용접 후 디스크를 외측에서 볼트조임하는 방법 이외에 디스크를 내측에서 붙이는 방법, 내외 림으로 디스크를 끼워서 MIG용접하는 방법이 있다. 접합시에는 기밀성, 위치, 접합부강도등에 주의를 요한다.

5. 결 언

휠크기가 13~14인치에서 고속안정성, 조종안정성 면에서 15~16인치로 크게 되고, 이에 보다 경량화가 요구되기도 한다. 금후의 과제로는 차의 개성화, 고성능화에 맞추어 보다 경량화의 노력, 고정도화, 버스용 등 품종·용도의 확대와 고부가가치제품의 개발, 고강도재료의 개발, 불량율감소등 산재하고 있다. 주조품의 경우 선진국에서도 불량율이 15%이상인 바 이 개선책도 중요하다. 국내는 경합금휠 분야가 아직 초창기로 앞으로 지속적 발전과 관심이 모아질 것으로 전망된다.