

다이캐스팅용 알루미늄 합금으로 제작된 윈도우 와이퍼의 강도 해석

조승현^{a*}, 이정호^b, 김한구^c

Strength Analysis of Aluminum Alloy Window Wiper Manufactured by Die Casting

Seunghyun Cho^{a*}, Jeungho Lee^b, Hanguo Kim^c^a Department of Mechanical Engineering, Dongyang Mirae University, 445, Gyeongin-ro, Guro-gu, Seoul 08221, Korea^b KODACO Co., Ltd., 331-29, Dorim-ri, Ipjang-myeon, Seobuk-gu, Cheonan, Chungnam-do, 31061, Korea^c NEDEC Co., Ltd., 94-17, Saneop-ro 92Beon-gil, Gwonseon-Gu, Suwon, Gyeonggi-do, 16643, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	5	April	2016
Revised	18	May	2016
Accepted	18	May	2016

Keywords:

Window wiper
Al alloy
Strength
Die-casting
FEA

ABSTRACT

This study analyzed the amount of displacement of window wipers according to pressure by using finite element analysis (FEA) with KS standards for aluminum alloy window wipers manufactured by die-casting method. The product design was changed over four steps considering the die-casting process to achieve strength greater than that of the conventional steel window wiper. According to the FEA results, the strength of final aluminum alloy window wiper improved by 55% over that of a steel window wiper, and the weight of the former was less by approximately 45%. Therefore, there is the possibility of module downsizing for driving motor capacity. Further, the cost competitiveness improved, and the manufacturing process of aluminum alloy window wipers was simplified.

1. 서론

자동차 사양화의 고급화 트렌드로 인해 1990년대 이후 자동차의 무게는 년 평균 15 kg이 증가하였다. 그러나 동시에 지구 환경을 보호하려는 환경규제로 인해 배출가스 감소를 위한 자동차 경량화는 피할 수 없는 대세로 자리잡고 있다. 이와 같은 차량무게를 줄이기 위한 연구는 자동차 부품의 경량화 가벼운 복합소재의 적용^[1-3], 비철합금의 적용^[4-6], 제조공법의 변화^[7,8] 등이 지속적으로 이루어지고 있다^[9-12].

최근에는 자동차 샤시 뿐만 아니라 부품 경량화를 위해 AI의 적

용이 연구되고 있다.

이와 같은 AI의 한계를 극복하기 위하여 자동차 부품에 적용이 가능한 Al-Mg 합금이 개발된 바 있다^[13]. 일반적인 스틸 윈도우 와이퍼는 Fig. 1과 같이 후크로드, 리테이너, 암헤드의 3부분으로 구성되어 있으며 절곡, 용접, 프레스 등의 여러 공정으로 제작되고 있다.

따라서 본 논문에서는 다이캐스팅 공법을 이용하여 기 개발된 알루미늄 합금이 적용된 H사의 대형트럭 Trago 차량용 윈도우 와이퍼의 강도를 해석하였다. 이를 통해 AI소재 윈도우 와이퍼의 강도 우수성은 기 개발된 AI합금이 자동차 경량화를 위해 다양한 자동차용 전신재(wrought alloy)로 적용가능성을 제시하고자 한다.

* Corresponding author. Tel.: +82-2-2610-5191

Fax: +82-2-2610-5191

E-mail address: coolsh@dongyang.ac.kr (Seung Hyun Cho).



Fig. 1 Structure of window wiper

2. 해석모델

2.1 강도 해석조건

자동차용 윈도우 와이퍼는 회전축에 암헤드, 리테이너, 후크로드가 만들어내는 압축력과 회전력으로 유리를 세정하는 것으로 와이퍼의 휨강도가 핵심 설계요소이다. 이러한 특성을 평가하기 위한 방식이 Fig. 2와 같이 하중에 의한 와이퍼의 변형량을 측정하는 것이다. 이때 변형량은 표준측정법(KS R 3015: 2007)에 따르며 블레이드가 장착되는 후크 로드에서 일정한 하중을 가할 때 처짐량 또는 휨 각도를 측정하는 것으로 평가한다.

자동차의 주행속도가 저속이거나 고속일 때 가해지는 하중은 Fig. 3에서 표시한 바와 같이 고속과 저속일 때 각각 압축하중은 0.08 N/cm, 0.12 N/cm, 0.15 N/cm가 되고 블레이드 길이에 따라 달라지는데 본 연구는 블레이드의 길이를 500 mm인 경우를 적용하기 때문에 압축하중은 각각 4 N, 6 N, 7.5 N이 된다.

Fig. 3은 각각 윈도우 와이퍼의 강도를 해석하기 위한 수직하중 조건을 나타낸 그림이다. 수직하중은 블레이드가 차량의 유리에 접지하는 힘을 평가하기 위함이고, 수평하중은 블레이드가 유리에 접지된 상태에서 회전하는 힘을 평가하기 위함이다. 해석에서는 암헤드의 축을 x, y, z방향 모두 고정하였다. 수직하중 조건은 위에서 언급한 3가지 하중을 적용하였는데 하중이 가해지는 면적이 Fig. 3과 같이 52.2 mm²이므로 하중을 76.63 kPa, 114.94 kPa, 143.68 kPa의 압력으로 변환하였다. 이와 같은 해석조건으로 구조 해석은 범용 소프트웨어인 MSC/Marc 2013을 사용하여 CAE 해석을 수행하였다^[13].

2.2 다이캐스팅용 알루미늄 합금

본 논문에서 브레이크 페달로 적용하고자 하는 Al합금은 고강도, 고신율 연계형 다이캐스팅용 Al합금으로서 단순합금화(Mg 첨가)가 아닌 복합합금(Mg+Al₂Ca)이다. Al₂Ca의 Al합금에서의 작용으로 Al합금은 조직이 미세화되어 강도와 신율이 동시에 향상되었

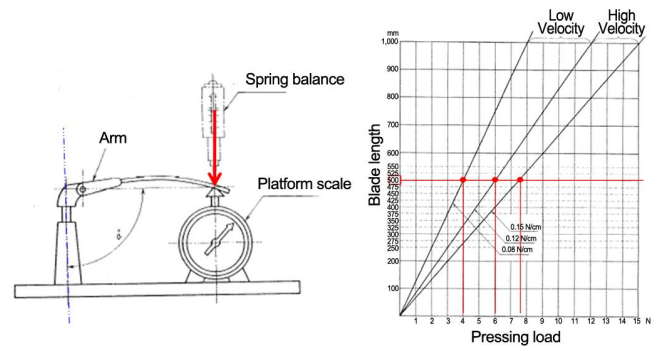


Fig. 2 Deformation test under pressure of KS standard (KS R 3012:2007)

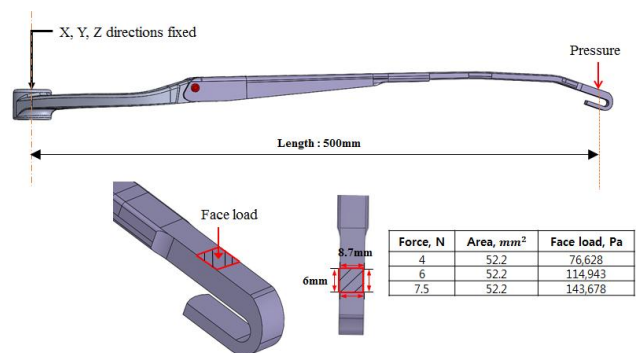


Fig. 3 Boundary conditions for FEA

다. Al합금은 중요한 첨가원소인 Mg의 산화성을 제어함으로써 Mg에 기인한 산화개재물로 기계적 특성이 낮아지는 것을 방지하였다. 특히 내산화성이 강한 Mg를 사용함으로써 Mg 함량을 5% 이상 함유하고, 기포결함을 제어함으로써 다양한 파생 소재 개발이 가능한 것이 특징이다.

이와 같은 알루미늄 합금을 다이캐스팅 공법으로 부품을 일체성형으로 제작함으로써 프레스, 용접, 절곡 등의 공정이 단순화하여 비용이 절감되고 부품 경량화와 리사이클링이 되는 브레이크 페달의 제조가 가능하였다. Fig. 4는 논문에서 사용한 Al합금의 응력-변형률 특성을 보여주고 Table 1은 브레이크 페달의 CAE해석에 사용된 스틸과 알루미늄 합금의 기계적 특성값이다. Steel은 Al 합금에 비해 강성도가 우수하여 탄성계수, 항복강도가 높지만 포아송비는 낮게 측정되었다.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 기존 윈도우 와이퍼의 강도 해석

Fig. 5(a), (b)는 기존 윈도우 와이퍼의 소재가 각각 스틸과 알루미늄 합금일 때 압력 114.94 kPa에서 발생한 수직방향 변위량 분포를 보여주는 그림이다. 그림과 같이 스틸 윈도우 와이퍼에서는

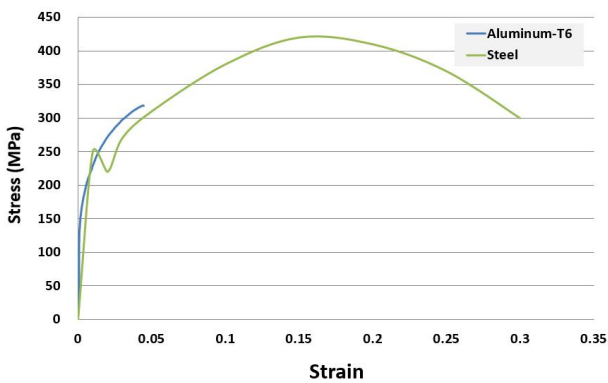


Fig. 4 Stress-strain property of Al alloy

Table 1 Material properties of steel and Al alloy for brake pedal

Material	Density, kg/m ³	Elastic modulus, GPa	Yield strength, MPa	Fatigue strength, MPa	Poisson's ratio
Steel	7,872	205	285	-	0.29
Al alloy	2,700	68.9	276	96.5	0.33

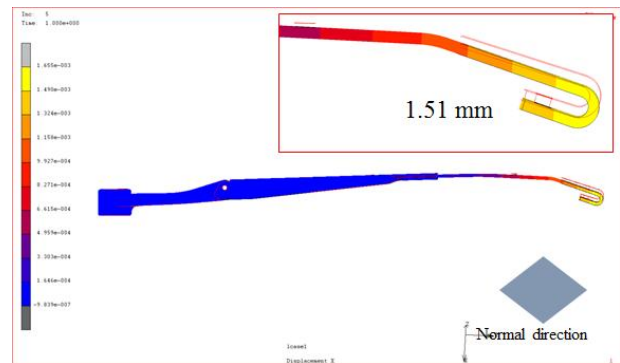
1.51 mm의 처짐량이 발생하였고 디자인은 동일한데 소재만 알루미늄 합금으로 변경되면 4.48 mm로 변위량이 크게 증가하였다. 이때 윈도우 와이퍼의 무게는 스틸과 알루미늄 합금을 적용할 경우 각각 0.219 kg과 0.076 kg이다. Fig. 6은 위와 동일한 모델에서 압력이 76.63 kPa, 114.94 kPa, 143.68 kPa일 때 스틸과 알루미늄 합금 소재를 비교한 결과이다. 압력의 크기에 따라 알루미늄 합금 윈도우 와이퍼에서 약 2.96배가 큰 변위량이 발생하였다. 따라서 기존 윈도우 와이퍼의 모델에 알루미늄 합금을 그대로 적용하는 것은 불가능하고 강도를 향상시킬 수 있는 디자인을 변경하는 것이 필요하다.

3.2 알루미늄 합금 와이퍼 해석

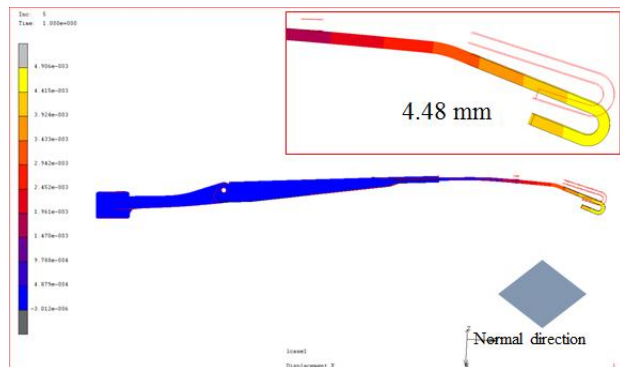
Fig. 5와 Fig. 6의 결과로부터 기존 윈도우 와이퍼의 디자인에 소재만 알루미늄 합금으로 변경할 경우 강도가 향상된 디자인으로 변경해야하는 것을 알 수 있다. Fig. 7(a), (b), (c)는 기존 스틸 윈도우 와이퍼를 알루미늄 합금을 적용하기 위해 다이캐스팅 제조공법을 고려한 디자인을 변경하고 114.94 kPa의 압력이 가해질 때 발생한 변위량 결과이다.

다이캐스팅 공법의 제약(Fig. 7(a) 참조)을 고려하여 불필요한 홀을 매우고 일체화를 구현하였다 (Fig. 7(b) 참조). 이와 같이 디자인을 변경하면 무게는 0.079 kg이고, 발생한 변위량은 4.3 mm로 기존 모델에 알루미늄 합금을 적용한 결과보다는 감소하였으나 여전히 기존 스틸 윈도우 와이퍼의 변위량보다는 크게 발생하였다 (Fig. 7(c) 참조).

따라서 1차 디자인의 강도를 보강하기 위해 Fig. 8(a), (b)와 같



(a) steel



(b) Al alloy

Fig. 5 Displacement to the normal direction of a conventional steel window wiper under pressure of 114.94 kPa

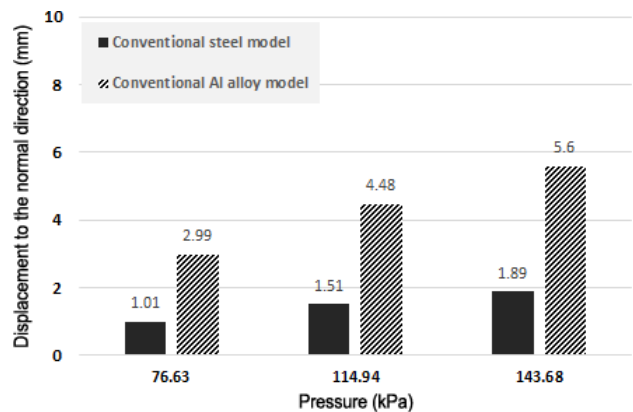
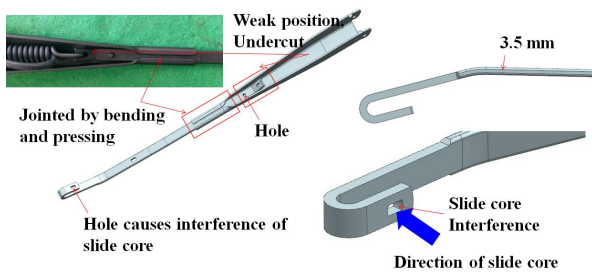
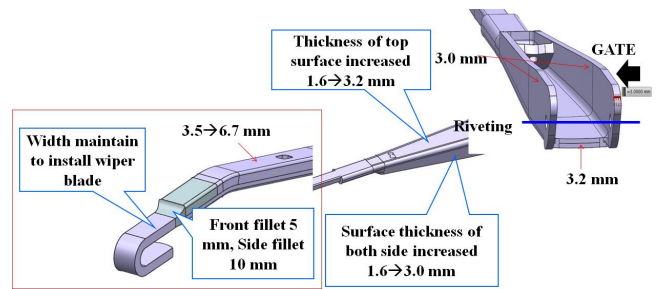


Fig. 6 Displacement to the normal direction of a conventional window wiper model under pressure

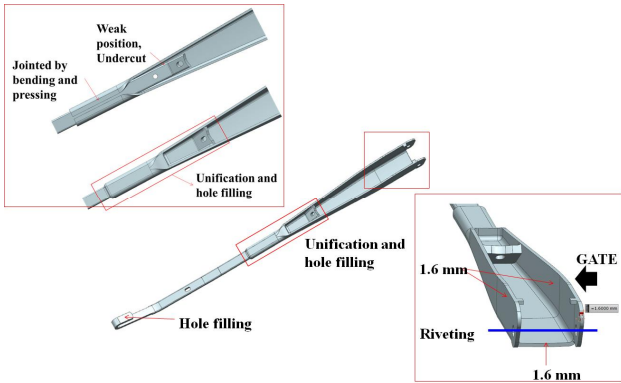
이 디자인을 변경하여 2차 디자인을 제안하였다. 윈도우 와이퍼의 윗면 두께와 옆면의 두께를 각각 3.2 mm와 3.0 mm로 증가시켰다. 또한 후크 로드와 앞 두께도 6.7 mm로 증가시키고 두께 증가로 인한 경계면을 정면(5 mm)과 측면(10 mm)의 필렛처리 하였다. 이와 같은 디자인 변경으로 무게는 0.144 kg으로 1차 모델보다 다소 증가하였으나 변위량은 1.04 mm로 크게 감소하였는데 이것은 기존 스틸 윈도우 와이퍼의 변위량보다 낮은 수치로서 강도가 크게 향상되었음을 의미한다.



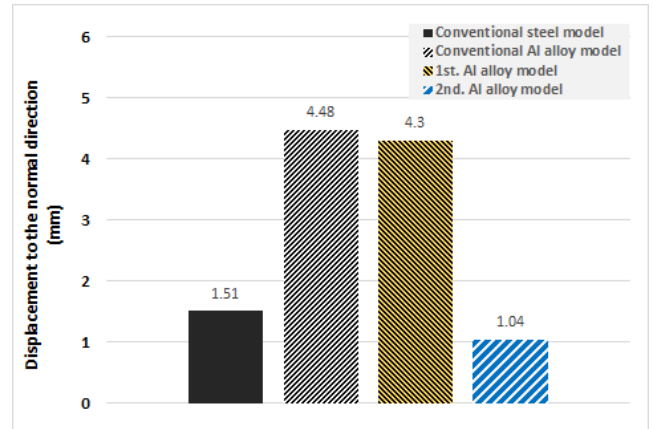
(a) Restriction of die-casting process



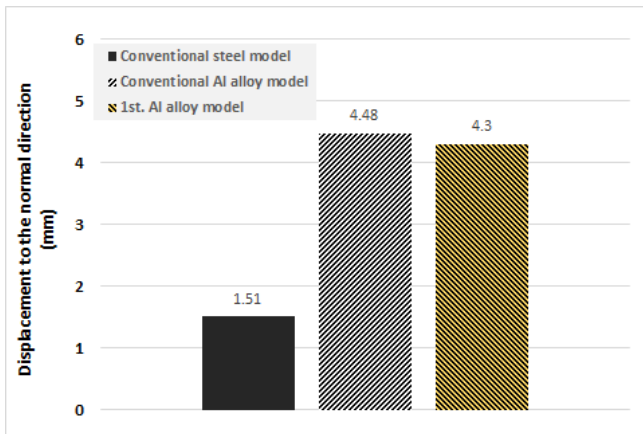
(a) 2nd design



(b) 1st. design



(b) Displacement under pressure of 114.94 kPa



(c) Displacement under pressure of 114.94 kPa

Fig. 7 1st design changed for Al alloy window wiper considering die-casting process

Fig. 9(a), (b), (c)는 3차 디자인의 변경된 내용과 변위량 결과를 보여주는 그림으로 무게는 0.146 kg이다. 2차 디자인에 블레이드를 장착할 경우 Fig. 9(a)와 같이 블레이드가 장착되는 후크 로드 앞단의 강도가 약해 블레이드와 와이퍼 사이에 간섭이 발생하고, 다이캐스팅 공정 중 용융된 알루미늄 합금의 흐름이 원활하지 않을 것으로 예상되었다. 따라서 Fig. 9(b)와 같이 후크 로드 앞단의 두께를 6.7 mm로 리테이너의 두께와 동일하게 함으로써 강도를 향상시키고 용융된 알루미늄 합금의 흐름을 개선하였다. 이와 같이 디자인을 변경하였을 때 발생한 변위량은 0.994 mm로 2차 디자인보다 개선되었으나 크게 향상되지는 않았다 (Fig. 9(c)

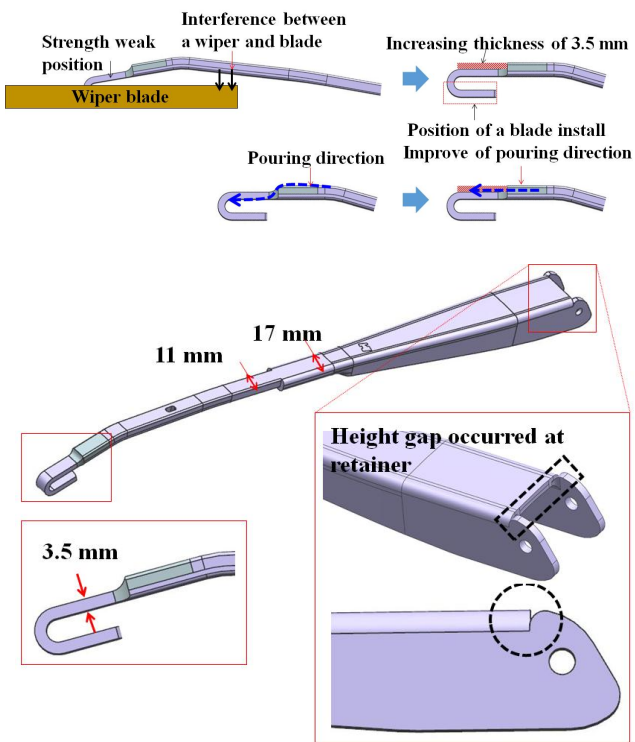
Fig. 8 2nd. design changed for Al alloy window wiper considering die-casting process

참조).

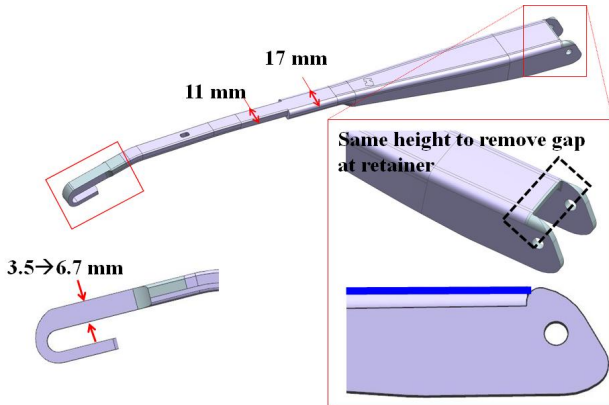
Fig. 10(a), (b)는 4차 디자인의 변경된 내용과 변위량 결과를 보여주는 그림으로 질량은 0.159 kg이다. 3차 디자인의 와이퍼가 90°로 회전할 경우 리테이너의 회전부에서 높이차로 인한 간섭이 예상되기 때문에 5 mm의 간극을 두어 90°회전 시 간섭이 발생하지 않도록 하였다. 그리고 와이퍼 강도를 증가시키기 위해 리테이너의 폭을 17 mm로 동일하게 증가시켰고 리테이너 내부에 다수의 리브를 보강하였다. 또한, 스프링이 체결되는 알루미늄 판의 휨이 예상되어 스프링의 체결력을 유지하기 위해 지지판을 추가하였다.

이와 같이 4차에 걸친 변경을 통해 최종 알루미늄 합금 윈도우 와이퍼 디자인이 제안되었고 발생한 변위량은 0.836 mm로 기존 스틸 윈도우 와이퍼의 약 55% 수준으로 강도가 크게 향상되었으며, 무게도 약 45%가 감소하였다. 구조해석은 윈도우 와이퍼 소재의 탄성범위 내에서 해석한 결과이므로 변위량의 감소를 강도의 향상으로 설명할 수 있다. Fig. 11은 최종 제시된 알루미늄 합금 윈도우 와이퍼의 변위량 분포를 보여주는 그림이다.

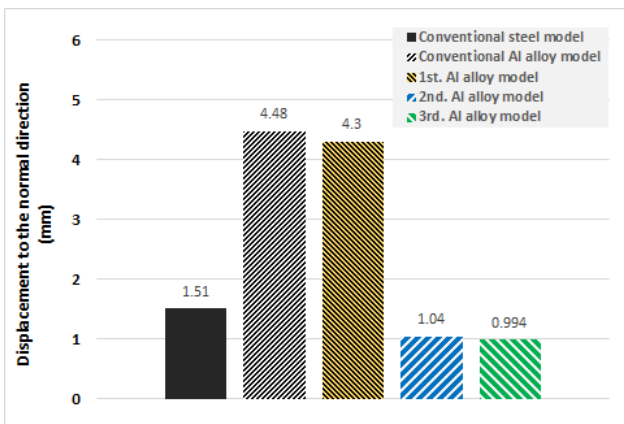
Table 2는 4차에 걸친 윈도우 와이퍼의 모델변경에 대해 문제점과 개선사항을 요약한 표이다. Fig. 12는 CAE해석을 통해 결정된 윈도우 와이퍼의 실차 장착성을 평가한 그림으로서 플라스틱 프로



(a) Restriction of strength and assembly process

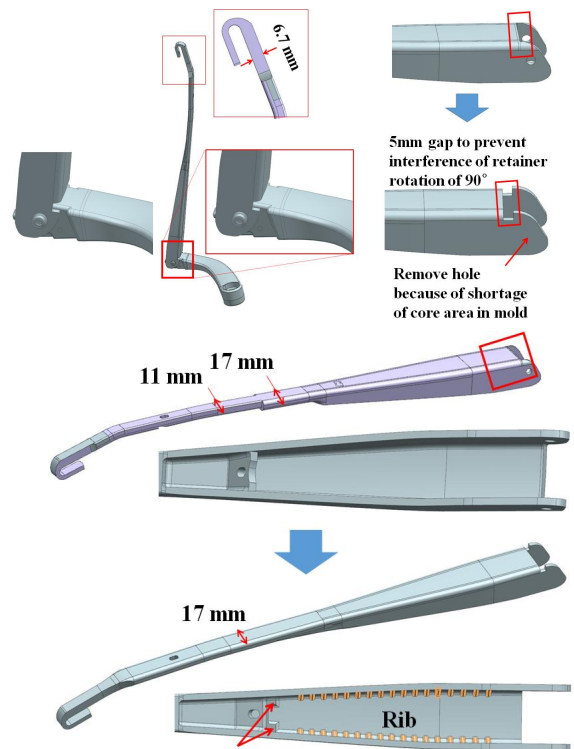


(b) 3rd design



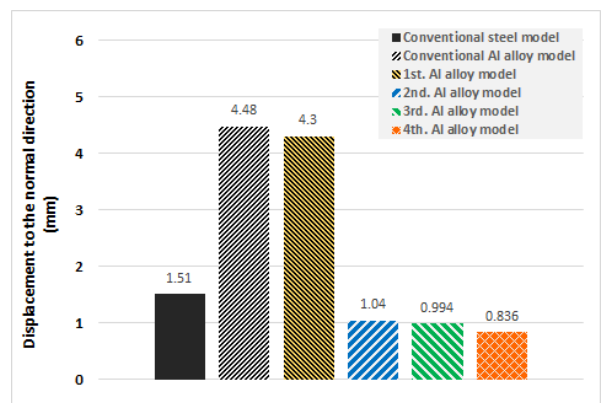
(c) Displacement under pressure of 114.94 kPa

Fig. 9 3rd design changed for Al alloy window wiper considering assembly process



Support pole in spring install plate

(a) 3rd design



(b) Displacement under pressure of 114.94 kPa

Fig. 10 4th. design changed for Al alloy window wiper

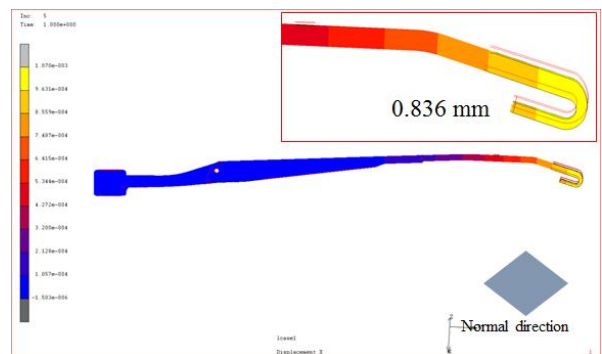


Fig. 11 Displacement to the normal direction of a final optimized Al alloy window wiper under pressure of 114.94 kPa

Table 2 Insufficiency and improvement directions of wiper design

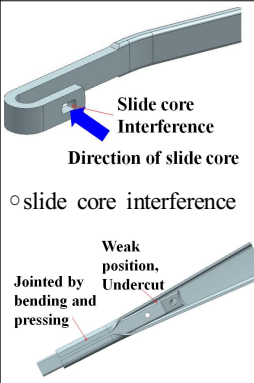
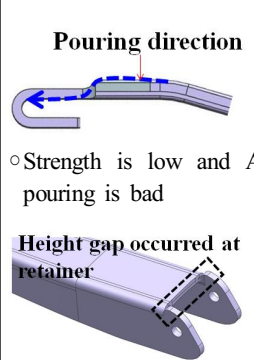
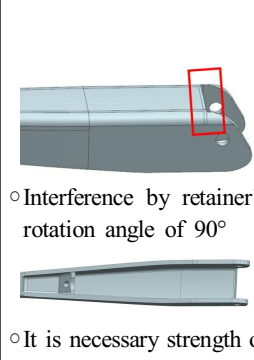
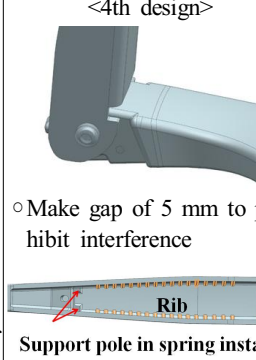
	Insufficiency	Improvement directions
Original model	 <ul style="list-style-type: none"> Slide core Interference Direction of slide core slide core interference Weak position, Undercut Jointed by bending and pressing Undercut and interference 	<p><1st design></p> <ul style="list-style-type: none"> Remove of hole Filling of undercut area
1st Improvement	<p><Results of 1st. design></p> <ul style="list-style-type: none"> Displacement increase under 114.94 kpa of pressure (1.51 mm→4.3 mm). It means strength lower than that of steel brake pedal 	<p><2nd design></p> <ul style="list-style-type: none"> Thickness increasing to improve strength Increase of side thickness of retainer (1.6 mm→3.0 mm) Increase of top thickness of retainer (1.6 mm→3.2 mm) Increase of top thickness of hook rode (3.5 mm→6.7 mm)
2nd Improvement	<p>Pouring direction</p>  <ul style="list-style-type: none"> Strength is low and Al pouring is bad Height gap occurred at retainer Step pulley at end of retainer 	<p><3rd design></p> <ul style="list-style-type: none"> Increasing thickness of 3.5 mm Improve of pouring direction Thickness of front of hook rode is 6.7 mm to improve strength and make good Al pouring Height gap occurred at retainer Same height to remove gap at retainer
3rd Improvement	 <ul style="list-style-type: none"> Interference by retainer's rotation angle of 90° It is necessary strength of retainer improve 	<p><4th design></p>  <ul style="list-style-type: none"> Make gap of 5 mm to prohibit interference Support pole in spring install plate Make several rib to improve strength of retainer



Fig. 12 Rapid prototype manufacturing and interference test for heavy truck



Fig. 13 Pilot product manufacturing

토타입을 제작하여 H사의 Trago 트럭에 장착하여 문제가 없음을 확인하였고, 실차 장착 평가를 마친 후 Fig. 13과 같이 Al 윈도우 와이퍼의 브레이크 페달의 시제품을 제작하였다.

따라서 본 연구를 통해 알루미늄 합금 윈도우 와이퍼가 개발될 경우 Fig. 13과 같이 공정간소화로 제조비용이 감소되고 무게 감소로 인해 윈도우 와이퍼 구동을 위한 모터용량이 감소함으로써 모듈의 다운사이징이 가능할 것으로 기대된다.

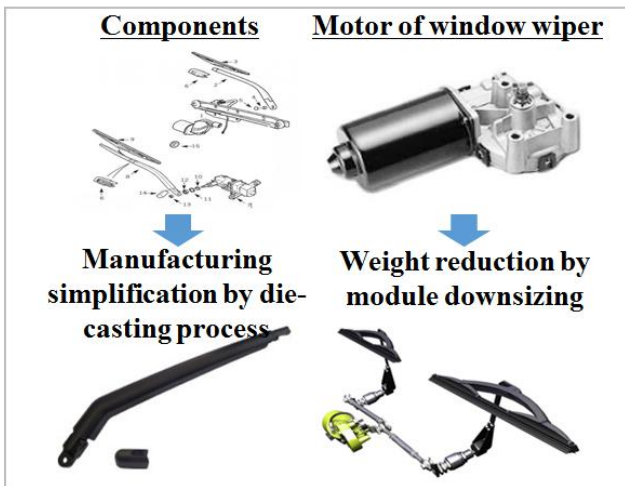


Fig. 14 Benefits of die-casting process for a window wiper

4. 결론

본 논문에서는 FEA를 사용하여 자동차 경량화와 다이캐스팅공법을 위한 알루미늄 합금 윈도우 와이퍼의 강도해석을 휨강도에 대한 KS기준을 적용하여 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 최종 알루미늄 합금 윈도우 와이퍼는 114.94 kPa 압력 하에서 변위량이 0.836 mm가 발생하여 기존 스틸 윈도우 와이퍼의 변위량 1.51 mm에 비해 변위량이 약 55% 감소하였고, 질량은 약 0.219 kg에서 0.12 kg으로 약 45% 감소하였다.

(2) 구조해석을 통해 제안된 고강도, 경량 윈도우 와이퍼는 다이캐스팅 제조공법으로 제조가 가능하도록 디자인 되었으며, 시제품으로 제작되어 트럭에 장착성에 문제가 없음을 확인하였다.

(3) 본 논문에서 제안된 알루미늄 윈도우 와이퍼 디자인은 다이캐스팅 공법으로 제조가 가능한 일체형으로써 제조원가의 감소뿐만 아니라 윈도우 와이퍼용 모터의 다운사이징이 감소할 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 지식경제 기술혁신사업(글로벌전문기술개발사업)의 지원으로 수행되었음[과제번호: 10044655, 과제명: 전신재(wrought alloy)부품 대체를 위한 다이캐스팅용 합금 및 공정기술 개발].

References

- [1] Jin, S. W., Park, D. H., Lee, G. S., Kim, C. W., 2013, Material Optimization of BIW for Minimizing Weight, The Korean Society of Automotive Engineers, 21:4 16-22.
- [2] Park, K. S., Kong, C. D., Park, H. B., 2015, Structural Design of Light Weight Natural Fiber Composites for Next Generation Automobile Bonnet, Composites Research, 28:2 46-51.
- [3] Kim, K. S., KBae, K. M., Oh, S. Y., Seo, M. K., Kang, C. K., Park, S. J., 2012, Trend of Carbon Fiber-reinforced Composites for Lightweight Vehicles, Elastomers and Composites, 47:1 65-75.
- [4] Kim, G. J., Lim, J. H., Park, J. H., Choi, B. I., Lee, J. W., Kim, Y. J., 2012, Light-weight Design of Automotive AA6061 Rear Sub-frame Based on CAE Simulation, The Korean Society of Automotive Engineers, 20:3 77-82.
- [5] Park, S. C., Shin, K. S., 1996, Mg Alloys for Weight Reduction of Automobiles, Bulletin of the Korean Inst. of Met & Mat, 9:2 160-171.
- [6] Sanji, K., 1995, Automobile Weight Reduction and Quality Improvement of Al-Alloy Castings, Journal of Korea Foundry Society, 15:2 127-137.
- [7] So, S. W., Whang, H. T., Lee, J. -H., Choi, H. W., 2011, Development of Automotive Lower Arm using Hybrid Manufacturing Process, KSMTE, 20:2 214-218.
- [8] Kim, E. S., 2012, A Study of Optimal Design for Mg Armrest Frame by using Response Surface Method, KSMTE, 20:5 797-804.
- [9] Choi, B. S., Lee, D. Y., Jin, C. K., 2013, Study of Plastic Deformation of Steel Wire for Weight Reduction of Automotive Weather Strip, The Korean Society of Automotive Engineers, 21:5 82-86.
- [10] Park, J. H., Kim, K. J., Yoon, J. G., 2013, Light-weight Design of Automotive Spring Link Based on Computer Aided Engineering, The Korean Society of Automotive Engineers, 21:5 157-161.
- [11] Kim, Y. S., Kim, I. K., Tark, J. H., Kim, D. S., 1999, A Study of Light Weight of Tie Rod End in Auto Supplies, The Korean Society for Power System Engineering, 3:3 70-75.
- [12] Cho, J. G., Koo, J. S., Jun, H. S., 2013, A Weight-reduction Design Method by Underframe Material Substitution in a Box-type Bodyshell with Cut-outs, The Korean Society of Automotive Engineers, 21:2 45-54.,
- [13] Ha, S. H., Yoon, Y. O., Kim, S. K., 2014, Effect of Al₂Ca on Oxidation Resistance and Tensile Property of Al-5Mg Alloy, Journal of Korea Foundry Society, 34:6 194-199.
- [14] MSC/MARC, 2013, MSC/MARC User's Manual Volume A, MSC Software Corporation.