

자동차 휠 안전기준 개정 대응을 위한 내구 가혹도 검토

장진희* · 허성필*

A Study of the Endurance Severity for Automobile Wheel Safety Standard Revision

JinHee Jang*, SungPil Heo*

Key Words: Wheel(휠), Cornering Fatigue Test(굽힘 방향 피로 시험), Radial Fatigue Test(반경 방향 피로 시험), Endurance(내구), Finite Element Analysis(유한요소해석)

ABSTRACT

The CFT(Cornering Fatigue test) and RFT(Radial Fatigue Test) are tests for evaluating the endurance of the disc and rim region of the wheel. In recent, automobile wheel safety standards have been revised and the applied load and target life criteria are different from existing conditions. The verification evaluation of all wheels requires a lot of time and cost. In this study, the endurance severity of each test was compared through strain-life approach by selecting 4 steel and 8 aluminum wheels.

1. 서론

차량 개발 중 평가되는 항목으로 로드휠의 필드 내구 문제 발생을 예방하기 위하여, 단품 내구 시험인 굽힘 방향 피로 시험(Cornering Fatigue Test, CFT)과 반경 방향 피로 시험(Radial Fatigue Test, RFT)이 국가 표준인 KS R ISO 3006에 기반하여 이루어지고 있다.⁽¹⁾ CFT와 RFT는 각각 휠의 디스크와 림 영역의 내구 성능 평가를 위한 시험이며, 당사에서는 위 표준에 기반한 로드휠 ES(Engineering Specification)를 제정하여 개발에 적용 중이다. 주행 중 휠의 파단 시에는 큰 사고로 이루어질 수 있으므로 개발 단계의 성능 평가가 매우 중요하다.^(2,3) 지난 2017년 1월 「자동차 및 자동차 부품 성능과 기준에 관한 규칙」 개정안이 공포되었고, 유예기간 1년 후인 2018년 1월부터는 안전기준 개정안 기준으로 휠을 개발 중이다. 이 기준은 유럽 기준인 ECE R-124로부터 개정 되었는데, 적용 하중 및 목표 수명 기준이 기존 조건과 일부

상이다. 때문에 국내 제작사는 기존-개정안 간 내구 가혹도를 비교 검토 할 필요가 있다. 유한요소 해석은 많은 비용과 시간을 필요로 하는 다수의 반복된 시험 대신 부품의 기계적 특성을 빠르게 검토할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 자동차 휠 내구 시험법의 안전기준 개정안이 기존 대비 가혹 한지 유한요소해석을 이용하여 검토 하였으며, 이에 대한 대응 방안을 고찰해보았다.

2. 본론

2.1. 모델 선정

당사에서 개발 완료 및 개발중인 차량의 스틸/알루미늄 휠 중 각각 4종과 8종을 사이즈 및 재질 별로 Table 1과 같이 선정하였다.

2.2. 검토 조건

내구 해석에 앞서 CFT 및 RFT의 하중 및 수명 조건

* 현대자동차, 책임연구원
E-mail: jhjang88@hyundai.com

Table 1 The list of Steel/Aluminum wheels

	Project	Rim width	Tire size	OEM
S T L	SA 13"	4.5J	155/80R13	A
	SA 14"	5.5J	175/65R14	A
	SB 15"	6.0J	195/65R15	B
	SC 16"	6.5J	205/60R16	A
A L	AA 14"	5.5J	175/65R14	C
	AB 15"	6.0J	195/65R15	D
	AC 16"	6.5J	205/60R16	C
	AD 16"	6.5J	205/55R16	C
	AE 17"	6.5J	205/45R17	E
	AF 18"	7.5J	235/45R18	C
	AG 18"	7.5J	225/45R18	E
	AH 19"	7.5J	235/55R19	E

을 비교하였다. 안전기준 기존안과 개정안 기준 하중 계산식이 다르며 목표 수명 또한 다르기 때문에 어떤 조건이 더 가속할 지는 시험 또는 해석이 없이 예측이 불가능하다.

2.2.1. 굽힘 방향 피로 시험(CFT)

차량 선회 시 횡 하중에 관한 내구 성능 개발을 위하여 굽힘 방향 피로 시험(CFT)이 이루어지고 있다. CFT는 Fig. 1과 같이 휠을 고정시키고 휠 하부에서 굽힘 모멘트를 반복적으로 가하여 내구 성능을 평가한다.

식 (1)은 CFT시험의 모멘트 하중(M) 계산 식이다⁽¹⁾. 식의 각 파라미터와 목표 수명이 기존 대비 변경되었으며, 상세 값은 국가 표준 KS R ISO 3006에서 확인 가능하다. 개정안은 기존안 기준과 다르게 두 개의 하중 조건으로 각각의 목표 수명을 평가한다.

$$M = (\mu \times R + d) \times F_v \times S \quad (1)$$



Fig. 1 Cornering Fatigue Test setting⁽⁴⁾

μ : 마찰계수

R : 타이어 반지름

d : 휠의 인셋(inset) 또는 아웃셋(outset)

F_v : 제작사 규정 휠 최대 하중

S : 가속 시험 계수

2.2.2. 반경 방향 피로 시험(RFT)

CFT와 마찬가지로 주행 시 차량 중량에 따른 반경 방향 내구 성능 개발을 위하여 반경 방향 내구 시험(RFT)이 이루어진다. Fig. 2와 같이 휠을 장착 한 후 반경 방향으로 하중을 반복적으로 가하여 내구 성능을 평가한다.



Fig. 2 Radial Fatigue Test setting

식 (2)는 RFT 시험의 반경 방향 하중(F_t) 계산 식이다⁽¹⁾. 이 또한 기존안 기준 대비 안전률과 목표 수명이 변경되었다.

$$F_t = F_v \times K \quad (2)$$

F_v : 제작사 규정 휠 최대 하중

K : 가속 시험 계수

2.3. 내구 성능 검토

2.3.1. 변형률-수명 접근법

탄-소성 변형을 갖는 부재의 전 변형률은 탄성 변형률과 소성 변형률의 합이므로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\Delta \epsilon_e}{2} + \frac{\Delta \epsilon_p}{2} \quad (3)$$

위 식에서 탄성변형률은 피로 강도 계수 σ'_f 와 피로 강도 지수 b로, 소성변형률은 피로 연성 계수 ϵ'_f 와 피로 연성

지수 c 를 이용하여 다시 나타낼 수 있으며, 식 (3)은 식 (4)와 같이 변환 될 수 있다.

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\Delta \epsilon_e}{2} + \frac{\Delta \epsilon_p}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_f)^b + \epsilon_f' (2N_f)^c \quad (4)$$

식 (4)의 변형률-수명 접근법과 Miner's rule, Rainflow Counting를 이용하여 휠의 누적 데미지를 합산, 내구 수명 (N_f)을 계산하였다.

2.3.2. 유한 요소 해석

당사의 해석 표준을 적용하여 모든 휠 모델의 메쉬 사이즈, 타입, 하중 적용 방법 등을 모두 동일하게 적용하였고, Fig. 3의 스틸/알루미늄 휠 해석 모델 예시이다. Hypermesh를 이용하여 메쉬 모델링 하였고, Abaqus를 이용 정적 해석을 수행하였다. 정적 하중 해석 결과를 내구 해석 프로그램인 MSC fatigue를 이용하여 해석을 수행하였다. 기존-개정안 기준 간의 내구 성능을 내구지수 개념을 이용하여 상대 비교 하였으며, 내구지수 1.0 이상일 시 목표 수명 만족으로 판단하고 지수가 클수록 내구 성능이 유리하다.

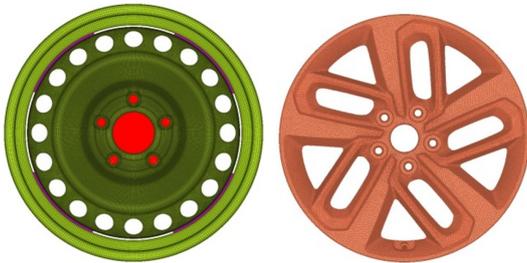


Fig. 3 Finite element models of Steel/Aluminum wheel

2.3.3. CFT 해석 결과

Fig. 4에 SC 16인치 스틸/AC 16인치 알루미늄 휠의 CFT 해석 결과를 나타내었다. 기존안과 개정안 기준으로 내구 해석 시 취약부는 동일하게 나타났고, 내구 지수 차이만 있었다. CFT의 취약부는 스틸 휠의 경우 벤트 홀, 알루미늄 휠의 경우 스포크 중간에 위치한다. 각 스틸/알루미늄 휠의 기존안과 개정안 CFT내구지수를 Table 2에 나타내었고 이를 Fig. 5에 상대 비교하였다.

한 개의 하중-수명 조건이었던 기존안과 다르게 안전기준 개정안은 하중-수명 조건이 각각 다른 Case1, Case2

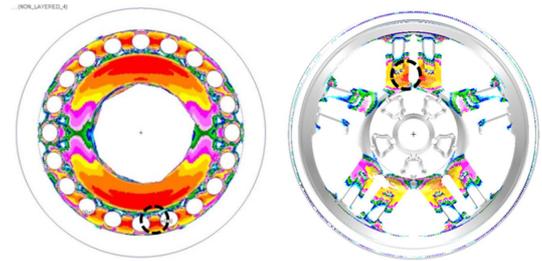


Fig. 4 The CFT analysis result of SC 16 inch Steel and AC 16 inch Aluminum wheels

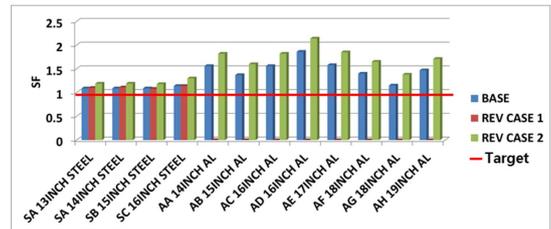


Fig. 5 The comparing of CFT safety factor between existing/revised criteria

Table 2 The CFT safety factor of Base/Revision criteria

CFT	Safety factor(Target 1.0 ↑)			
	Base Criteria	Revision Criteria		
		Case 1	Case2	
S T L	SA 13"	1.09	1.10	1.19
	SA 14"	1.09	1.11	1.19
	SB 15"	1.09	1.08	1.18
	SC 16"	1.14	1.14	1.30
A L	AA 14"	1.56	Low load condition and equal target life	1.82
	AB 15"	1.37		1.60
	AC 16"	1.56		1.82
	AD 16"	1.86		2.14
	AE 17"	1.58		1.85
	AF 18"	1.40		1.65
	AG 18"	1.15		1.38
	AH 19"	1.47		1.71

두 개의 조건을 만족하도록 변경되었다. 스틸 휠의 CFT내구지수는 기존안 대비 개정안 기준 Case1 하중 적용 시 동등 수준이며, Case2 하중 적용 시 8~14%내구지수 증가 양상을 보였다. Case1, 2 하중 모두 기존안 대비 개정안 기준 내구 지수가 높아 유리할 것으로 판단된다.

자동차 휠 안전기준 개정 대응을 위한 내구 가속도 검토

알루미늄 휠의 개정안 Case1 하중은 식 (1)과 개정안 기준 파라미터를 이용하여 계산 시 모두 기존안 기준보다 작고, 목표 수명은 같으므로 해석 또는 시험 수행 없이도 개정안이 덜 가속하다고 판단할 수 있다. Case2 하중은 개정안 기준이 기존안 기준 대비 내구지수가 15~20% 크다.

위의 결과에서 스틸/알루미늄 휠 안전기준 개정안 기준 CFT내구 성능은 기존안 기준 대비 동등 이상 수준으로 예상된다.

2.3.4. RFT 해석 결과

식 (2)의 반경 방향 하중(F_r) 계산 시 스틸 휠의 경우 기존안과 개정안 기준 하중 크기가 동일하고, 목표 수명은 기존안 대비 개정안이 작기 때문에 스틸 휠 RFT 내구 성능은 해석 검토 없이 개정안이 유리할 것으로 판단된다.

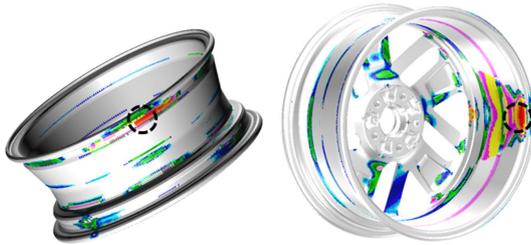


Fig. 6 The RFT analysis result of Aluminum wheels for AB 15 inch(General flatness ratio)/AF 18 inch(Low flatness ratio)

Table 3 The RFT safety factor of Base/Revision criteria

RFT		Safety factor(Target 1.0 ↑)		
		Base criteria	Revision criteria	Etc
S T L	SA 13"	2.0 ↑	Equal load condition and Low target life	
	SA 14"			
	SB 15"			
	SC 16"			
A L	AA 14"	2.85	3.01	General
	AB 15"	2.43	2.58	
	AC 16"	2.37	2.48	
	AD 16"	2.40	2.50	
	AE 17"	1.78	1.71	Low flat ratio
	AF 18"	1.71	1.67	
	AG 18"	1.94	1.87	
	AH 19"	2.61	2.65	

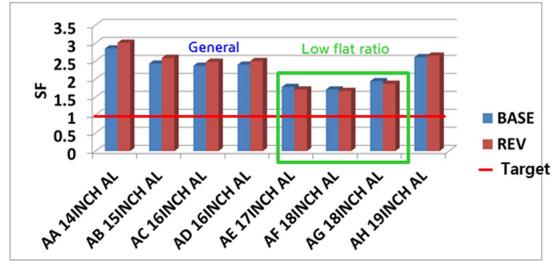


Fig. 7 The comparing of RFT safety factor between existing/ revised criteria

Fig. 6은 일반 타이어 사이즈의 15인치 알루미늄 휠과 저 편평비 타이어 사이즈의 18인치 알루미늄 휠의 RFT해석 결과이다. RFT내구 해석의 경우 반경 방향의 하중이 반복적으로 들어오기 때문에 최 취약 부는 모두 립의 반경 방향에서 나타났다. 마찬가지로 기존안과 개정안 기준의 내구 해석 취약부 위치는 동일하였고, 내구지수 차이만 있었다. 각 휠의 내구 지수 및 타이어 사이즈 정보를 Table 3에 나타내었다.

Fig. 7은 알루미늄 휠의 기존안/개정안 기준 내구지수를 상대 비교한 결과이다. 일반 사이즈 타이어가 적용되는 휠의 경우 기존안 대비 개정안 기준 내구지수가 4~7% 증가하였고, 저 편평비 사이즈 타이어가 적용되는 휠의 경우 2~4% 내구지수가 감소하였다. 저 편평비 휠은 타이어 단면 높이가 일반 타이어보다 작아 립에 적용되는 하중이 더 가속할 것으로 판단된다.

기존안 대비 개정안 기준 알루미늄 휠 RFT내구 성능은 일반 사이즈 타이어일 경우 동등 이상, 저 편평비 사이즈 타이어일 경우 미소 가속 수준으로 예상된다. 하지만 현재 개발 기준 성능 여유가 있는 편이고, 기존-개정안 기준 간 내구 가속도 차이가 크지 않으므로 개발 대응 가능 할 것으로 판단된다.

3. 결 론

위와 같은 자동차 휠 안전기준 개정에 따른 내구 가속도 검토를 통하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 스틸/알루미늄 휠 안전기준 개정안 기준 CFT내구 성능은 기존안 기준 대비 동등 이상 수준으로 예상된다.
- 2) 안전기준 기존안 대비 개정안 기준 알루미늄 휠 RFT내구 성능은 일반 타이어일 경우 동등 이상, 저

편평비 타이어일 경우 미소 가속수준으로 예상된다. 하지만 현재 개발 기준 보다 성능 여유가 있는 편이고, 기존-개정안 기준 간 성능 차이가 크지 않으므로 개발 대응 가능할 것으로 판단된다.

- 3) 산포인자로 인한 시험의 불확실성을 피하고 다수의 중복된 시험 수행 없이 휠 내구 가속도 검토를 통하여 안전기준 개정안 대응 가능성을 판단하였다.

참고문헌

- (1) 국가 기술 표준원, 2018, "Road vehicles - Passenger car wheels for road use-Test methods", KS R

ISO 3006.

- (2) B.W. Noh, S.I. Bae and D.K. Kim, 1997, "Structural Analysis of Aluminum Wheel for Automobiles," KSPE Fall Conference Proceedings, pp. 822~825.
- (3) B.S. Kim, C.H. Chi and S.D. Mun, 2001, "An Experimental study on vibration characteristics of Alloy wheel for passenger car," KSME Fall conference Proceedings, pp. 623~628.
- (4) 민윤상, 2017, "실제 차량 주행과 휠 내구 시험이 휠에 미치는 영향에 관한 연구", 한국 자동차 공학회 추계 학술대회, Vol. 2017, No. 11, pp. 494~499.