

브레이크 디스크의 산질화처리가 부식지연 및 제동특성에 미치는 영향에 관한 연구

한진* · 김광윤** · 이학인*** · 이정주****

A Study of Effects of Ferritic Nitrocarburized Brake Disc on Its Corrosion Resistance and Braking Performances

Han, Jin*, Kim, Gwang Yun**, Lee, Hack Ean***, Lee, JeongJoo****

Key Words : Rust(녹), FerriticNitroCarburizing(산질화), Grinding Noise(그라인딩 소음), Tiny Swelling(미세돌기), Disc Thickness Variation(디스크 두께 변화량), Run Out(흔들림), Roughness(조도), Honing(호닝가공)

ABSTRACT

FerriticNitroCarburizing (FNC) cast iron brake discs is known to improve corrosion resistance and brake creep groan noise as well as prevent corrosion-induced pulsation. But, it is necessary to treat honing machining on braking surface to avoid grinding noise during braking.

1. 서론

브레이크 디스크 제동면에서 발생하는 녹은 브레이크 초기 상품성 측면에서 매우 악영향을 주는 인자이다. 제동면에서 발생된 녹은 그라인딩성 소음을 유발하거나 심할 경우 브레이크 페달 및 조향 핸들 떨림뿐 아니라 차체 떨림과 같은 브레이크 저더 현상을 수반하게 된다.(Fig. 1)

이와 같은 브레이크 품질문제는 공교롭게도 차량의 내구문제가 아닌 고객 인도 후 수일 내지 수개월 미만 차량에서 대부분 발생되고 있으며, 완성차 메이커에서는 브레이크 패드와 디스크에 대한 무상교환 조치로 보증수리비용이 급증하고 있는 현실이다.

이에 대한 대책으로 현재 알루미늄휠에 부착하는

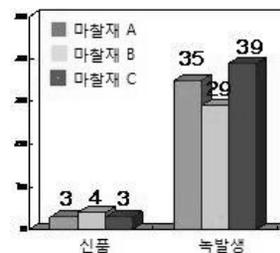


Fig.1 Brake Disc DTV resulted from Rust

휠러스트커버를 북미판매차량에 장착하고 있지만 휠커버의 구조적인 한계로 인해 녹방지효과는 최소 1개월을 넘지 못하며, 더욱이 북미포트에서 판매점으로 차량이 인도됨과 동시에 딜러들이 외관상의 이유로 모든 차량의 휠커버를 제거하고 있는 실정이다.

그래서 휠커버 보다는 캘리퍼 및 디스크 전체를 커버할 수 있는 구조적으로 유리한 디스크커버를 개발 추진하였으나, 주행검사시 열해 발생, 인라인작업성 어려움, 차량에서의 탈거불가, 커버 제거시 휠손상 문제 및 개발기간 및 투자비 과다 등으로 적용 불가하여 이

* 현대자동차(주)제동설계팀

** 현대자동차(주) 제동성능개발팀

*** 남양공업(주) 연구개발팀

**** 상신브레이크(주) 개발팀

E-mail : hanjin@hyundai.com

에 대한 대책안이 절실히 필요하게 되었다.

따라서, 양산이 가능하면서 고질적인 녹 품질문제를 근본적으로 해결하기 위해 가스 산질화 열처리공법 (Ferritic Nitro Carburizing)을 통하여 제동면에 일정 두께의 질화층(10~25 μ m)과 최상면에 산화층(2~3 μ m)을 형성시킨 브레이크 디스크를 개발하게 되었다.

이 디스크를 제작하여 실외방치시험을 통하여 녹 개선효과와 소음 및 성능평가를 통하여 질화층이 형성된 제동면이 차량의 제동성능에 미치는 영향성에 대하여 분석하고자 하였다.

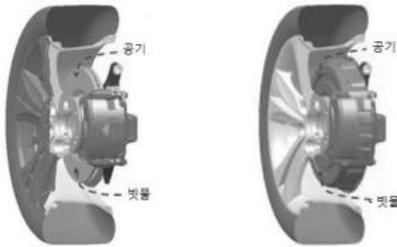


Fig. 2 Wheel rust cover and Disc cover

2. 본 론

2.1. 산질화 디스크의 제조 공정 및 특징

산질화처리란 암모니아가스와 산소를 첨가한 분위기에서 500~700℃ 조건으로 4~5시간 열처리를 실시하게 되면 질소원자의 활발한 운동으로 회주철 표면에 질화층과 내부에 질소확산층을 생성시켜 표면을 경화시키는 공법으로 일반적으로 금속의 Al 변태점인 723℃ 이하의 온도에서 실시하며, 이 공법으로 처리한 단면을 현미경분석을 통해 관찰하면 아래와 같은 특징을 나타나게 된다.

Table 1 Microstructure and Characteristics of FNC

□ 디스크 제동면 산질화 처리를 통하여 장기방치조건에서도 녹 억제 효과 기대	
<p>산질화 처리된 디스크 단면</p>	산화층 (Oxide Layer) • 더 이상 산화가 진행되지 않는 Fe ₂ O ₃ (녹) 형성 • 재료의 표면 내식성을 현저히 증가시킴
	질화층 (Compound Layer) • Fe ₃ O ₄ + Fe ₂₋₃ N 혼합 Pores층과 질소화합물 층이 공존 • 다공질 층으로 코팅막을 흡수 내피모성 및 습동성이 우수 • Fe ₂₋₃ N층은 경도가 Hv 500~1000으로 높으며 내식성 및 내피모성을 향상시킴
	확산층 (Diffusion Layer) • 확산층은 소재표면 경도를 상승시키고, 내부에는 소재의 인성 부여되어 내피로성 및 고온강도 개선

2.2. 산질화 디스크의 방청 성능

2.2.1. 국내/북미 실차이용 장기방치 시험

산질화디스크의 방청성능을 현 사양과 비교평가를 하기 위해 국내 시험차량에 장착하여 실외에서 6월부터 10월까지 방치시험을 진행하였다. 여름 우기철인 관계로 7~8월에 많은 강우량과 다습한 기후조건에서도 4개월간 시험한 결과 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

특이한 점은 커버 없는 디스크는 방치 후 9일째날부터 제동면에서 발청이 되기 시작하였으며, 1개월째 날에는 심한 적녹이 형성되었다. 리스트커버가 장착된 디스크는 1개월이 지난 시점부터 제동면에서 서서히 발청이 시작됨을 확인할 수 있었다.(Fig. 3)



Fig. 3 Outside features of current and FNC disc for domestic environment

또한, 북미판매차량의 산질화 효과를 검증하기 위해 산질화사양, 디스크커버, 비닐커버 및 커버 미 장착조건으로 각 4가지 사양별액셀조립품에 장착하여 3개월간 실외방치를 진행하였다. 국내시험결과와 마찬가지로 산질화디스크는 전 방치기간 84일 중 21일간(25%)의 강수량에 노출되었음에도 불구하고 제동면에 전혀 녹이 관찰되지 않아 방청성능이 매우 우수함을 재확인할 수 있었으며, 디스크커버와 비닐커버 순으로 녹 효과가 있음을 알 수 있었다.(Fig. 4)



Fig. 4 Outside features of current and FNC disc for north America environment

2.2.2. 국내/북미 실차이용 장기방치 시험

국내생산 북미판매차량의 디스크에서 가장 취약한 부분이 차량 선적 후 해상을 향해하면서 염분환경에 많은 영향을 받게 되는데 이 조건에서도 산질화디스크의 방청성능을 검증하기 위하여 일반디스크가 장착된 차량 5대를 산질화디스크로 교환 후 하계절의 가장 늦게 취약한 지역인 북미 남부 플로리다주 브렌즈워킹으로 해상기간을 포함하여 약 한 달간의 운송기간을 통하여 현지 도착한 차량을 확인을 해 보았다.

예상한 대로 Fig.6에서와 같이 일반 디스크 차량에서는 휠러스트커버가 장착돼 있음에도 불구하고 제동면에 많은 녹이 발생되었으나, 산질화 디스크는 fig. 5에 보는거와 같이 사전 검증한 결과와 동일하게 제동면에 전혀 녹이 발생되지 않고 있음을 확인할 수 있었다.

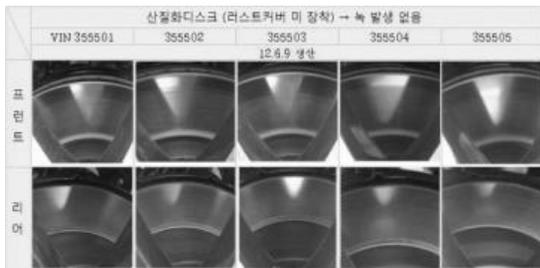


Fig. 5 Result of FNC Disc after delivered to USA

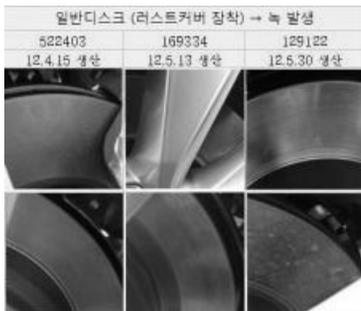


Fig. 6 Result of Non-FNC Disc after delivered to USA

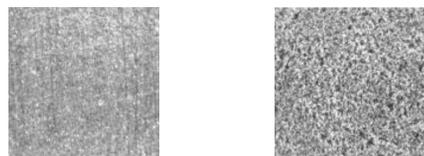
2.2.3. 산질화 디스크의 소음 특성

브레이크 디스크의 제동면은 주행, 제동 중 마찰재와 직접 접촉하여 제동력을 발생시킴과 동시에 소음 및 떨림의 주요 인자로 작용하는 영역으로 이와 같은 브레이크 품질문제를 예방하기 위해 디스크의 설계 규제를 설정하여 품질관리를 하고 있는데 제동면에 산

질화 처리 후 디스크의 DTV (Disc Thickness Variation), R/O (Run Out), 조도를 측정 한 결과 처리 전 대비 기준치를 초과하는 결과를 얻었다. 이는 노내에서 610 ℃의 분위기 온도에서 약 4~5시간 동안 열처리를 하는 과정에서 디스크 소재의 변형(Distortion)으로 발생하는 것으로 더욱이 제동표면에는 반응가스인 암모니아 가스(NH3)에서 분해된 질소(N)원자들이 철(Fe) 표면내로 침투하면서 철 구조의 변형이 발생되어 미세돌기(Tiny Swelling)들이 형성되는데 이로 인해 제동시 Stick-slip Effect에 의한 캘리퍼의 진동이 전달계를 통해 차체로 전달되어 그라인딩성 소음이 발생되었다. 이를 해결하기 위해 제동면의 미세돌기를 호닝가공으로 제거한 후 실차 소음평가를 진행한 결과 일반디스크와 동등한 7점 수준의 결과를 얻을 수 있었다.(Fig. 7)

다만 호닝가공(10초)에 의해 제동면에 형성된 질화층이 손상(약15μm)되어 방청성능의 저하가 우려되기에 호닝 가공/비가공 디스크를 제작하고, 고온/다습조건(35 ℃×RH 100 %×4일간)으로 시험한 결과 동등 수준의 성능이 확보되고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 일정량의 질화층이 잔존해 있기에 가능한 것으로 보이며 향후 디스크 사용수명을 향상시키기 위해서 질화층의 두께를 증대하는 방안에 대한 연구를 지속할 예정이다.(Fig. 8-9)

결론적으로 산질화 처리시에는 호닝가공이 최종공정으로 선정되어야 하며, 호닝가공시간도 미세돌기량 제거 외 질화층의 손상이 최소화가 될 수 있도록 공정검토가 필수적으로 수반되어야 할 것이다.



- Non FNC (Current) -

- FNC -

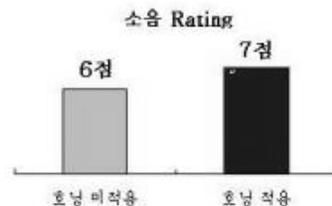


Fig. 7 Test result of grinding noise with and without honing machining

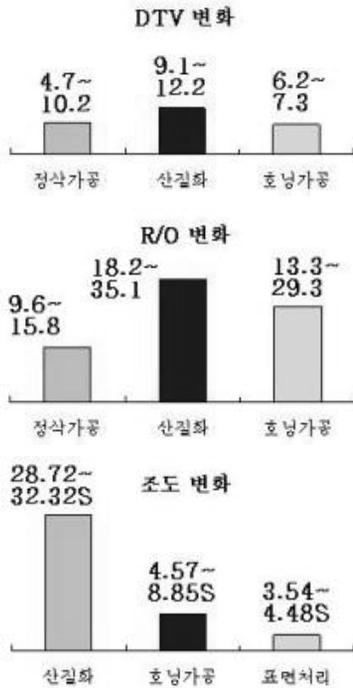


Fig. 8 Change of DTV,R/O, roughness after finished machining, nitrocarburization and honing machining

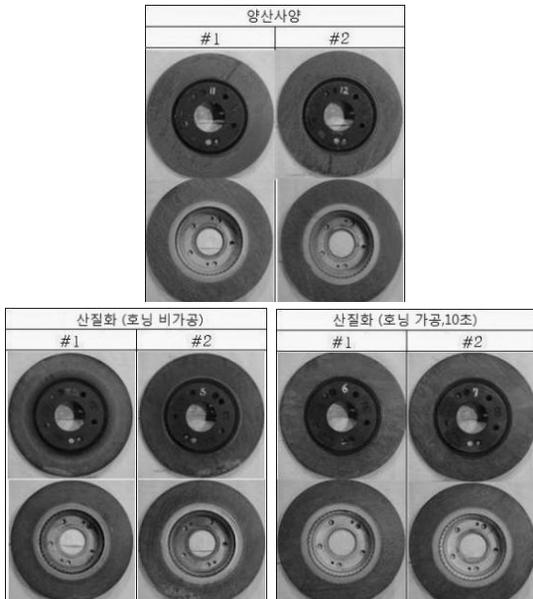


Fig. 9 Comparison of FNC disc feature with and without honing machining under the condition of 35°C/RH100%/4days

2.2.4. 실차 2만 km 실도로 내구검증

산질화디스크 장착차량의 내구성능을 검증하기 위하여 고객사용조건인 출퇴근과 주말의 실외차량방치조건으로 1인 또는 2인 탑승중량으로 약4개월간 총 2만 km 주행내구를 진행하였다.

실차량에서의 제동성능뿐 아니라 오토차량에서 발생하는 크립그론소음(Creep groan noise)은 전혀 발생되지 않았으며 그라인딩 소음은 제동면의 미세돌기들을 호닝가공으로 제거하였기 때문에 매우 양호한 수준이었다.

디스크 두께 및 런아웃의변화량은 매우 적었으며, 제동면의표면거칠기가 내구가 진행되면서 매우 양호한 수준으로 진전됨을 알 수 있었다.(Fig. 12)

특이할 점은 초기 약20 μ m 수준의 질화층이 내구 진행되면서 마모가 되어 내구완료 후에 현미경 관찰을 통해 확인해 본 결과 전반적으로는 확인이 되지 않았으나 일부 구간에서 불균일하게 잔존해 있음을 알 수 있었다.(Fig. 13-14)

이렇게 잔존된 질화층과확산층의 녹 저항성을 검증하기 위해 현재 실외방치조건에서 추가적으로 녹 발생 여부를 확인하고 있는데 방치 후 일주일 경과시점에서 일정량의 점녹이 형성된 이후 더 이상의 진행은 되지 않고 있다.(Fig. 15)

이를 통하여 산화층과질화층이 녹 저항의 주요 요소로 작용하고 있지만 확산층도 일정량의 질소(N)원자가 침투돼 있기에 녹 저항성에 많은 기여를 하고 있음을 확인할 수 있었다.

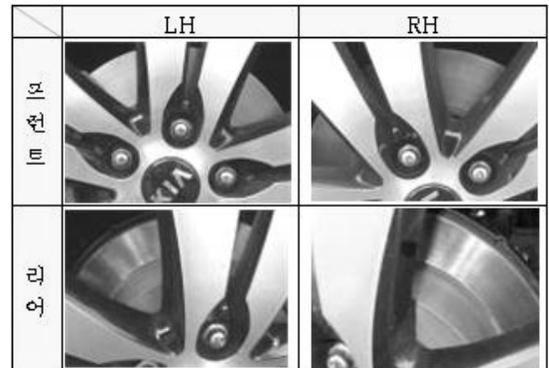


Fig. 10 FNC disc on vehicle condition before vehicle durability test

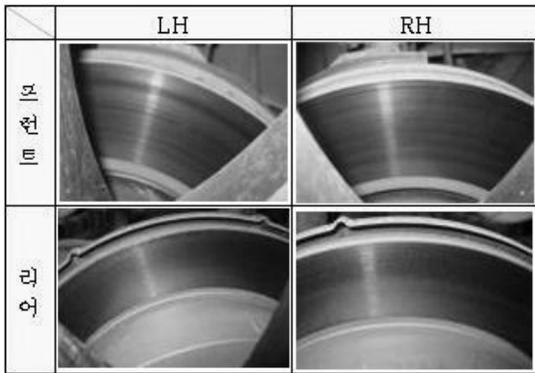


Fig. 11 FNC disc on vehicle condition after vehicle durability test

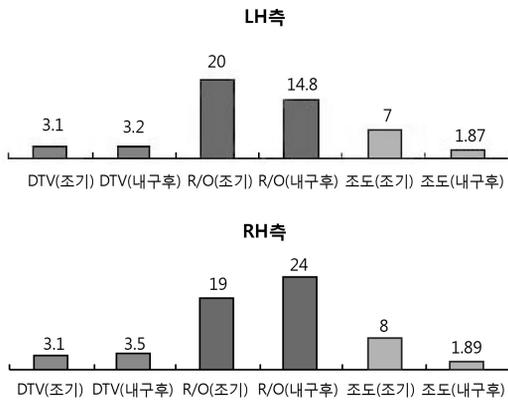


Fig. 12 Measured performance result of tested FNC disc

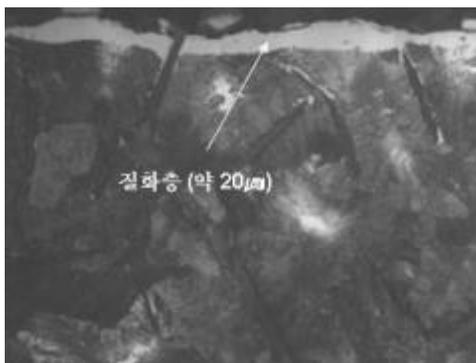


Fig. 13 Microstructure of nitriding layer before durability test

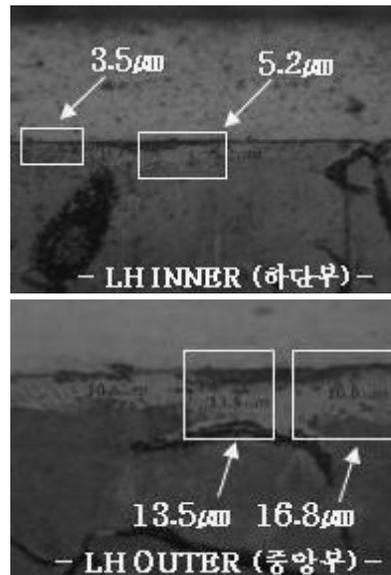


Fig. 14 Microstructure of nitriding layer after durability test



Fig. 15 Outside Result of durability tested FNC disc (7/18~19 max. rainfall)

7. 결론

고질적인 녹 품질문제를 해결하기 위해 가스산질화 공법을 통하여 제동면에 질화층과 산화층 및 확산층을 형성시킨 브레이크 디스크를 제작하여 국내외 실외방치, 북미운송, 실도로 주행내구, 제동소음 평가를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

향후 계획으로 산질화디스크 장착차량의 제동성능, 마찰재와 디스크의 마모수명 그리고 실차와 대상 저터 내구평가를 통하여 산질화디스크에 적합한 마찰재 재질에 대하여 근본적인 검증을 진행할 예정이다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 질화층 (확산층 포함)을 형성시킨 디스크는 우기철을 포함 실외 3~4개월의 장기방치기간 및 북미운송과 정상 해상의 염분 환경내에서도 제동면에서는 녹이 전혀 관찰되지 않았다.
- 2) 산질화디스크는 표면조도, DTV, R/O이 일반 디스크 대비 악화되는 경향이었으며, 제동면에 생성된 미세돌기로 인해 차량 전달계 특성이 불리한 차량에서는 제동시그라인딩 소음을 유발시키는 인자로 작용하고 있음을 알 수 있었다.

- 3) 제동면상의 미세돌기들을 호닝가공을 통해 제거시킨 결과 산화층은 제거되지만 표면조도, DTV, R/O 개선뿐만 아니라 그라인딩성 소음이 양산수준까지 회복됨을 확인할 수 있었으며, 질화층 두께의 적정량 보존을 위해서는 최적의 질화공정 시간 및 호닝가공량의 설정이 필수적으로 고려되어야 할 사항임을 확인할 수 있었다.
- 4) 산질화층의 내구수명은 실사용조건에서 2만km 사용전후 조건으로 판단되며, 내구 후의 질화층은 거의 마모되거나 잔존해 있는 확산층의 역할로 녹억제성능이 계속 유지되고 있음을 알 수 있었다.
- 5) 산질화 적용시 녹에 의해 DTV, R/O 악화 방지가 가능하여 제동시 녹에 의한 떨림 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- (1) Michael L.Holly, Lisa DeVoe and James Webster "FerriticNitroCarurizing Brake Rotors", General Motors Company, 2011.
- (2) G. Nicoletto, A.Tucci, L.Esposito "Sliding wear behavior of nitrided and nitrocarburized cast irons", wear 197(1996) 38-44