

고속차량(KTX) 제동디스크 균열부위 용접 정비

Welding Repair of KTX Brake Discs Cracks

강기석*[†], 최영수*, 이재향*, 남대근*Ki-Sok KANG*[†], Young-Soo CHOI*, Jae-Hyang LEE*, Dae-Keun NAM*

Abstract Cracks on the brake discs of KTX often occurring by repetition of the cooling and overheating due to severe press and thermal stresses.

If the cracks exceed the limits, we have to separate the brake discs from the train and repair by turning or dispose permanently.

For saving the discs repairing budget, we found a new welding technique through a number of experiments.

After repairing the discs by our new welding technique, we have completed test run with KTX trains successfully and satisfied standards set by the Korea Testing & Research Institute(KTR).

We expect improvement on efficient brake disc regeneration and reducing significantly the purchase cost of new equipment.

Keywords : KTX, Brake disc, Cracks, welding

초 록 KTX 열차의 기계제동장치인 제동디스크는 심한 압력과 열응력을 받아 과열 냉각이 반복적으로 일어남에 따라 균열이 발생하고 있다. 균열의 한도가 기준을 초과하면 열차에서 분리하여 균열부가 사라질 때까지 디스크를 삭정하거나 폐기 한다.

삭정 등으로 인한 손실을 줄이기 위해 디스크 균열부위의 재생 방법을 몇 가지 검토 적용한 결과 용접 재생 기술을 확보하였다. 이렇게 확보된 용접기술로 재생한 제동디스크를 고속차량에 적용하여 운행한 결과 특이사항이 발견되지 않았으며, 용접 재생 디스크를 한국화학융합시험연구원(KTR)에서 특성시험 분석결과 기준 값을 만족하였다.

제동디스크 용접재생기술로 고속차량 유지보수의 효율성을 높이고 신품 구입비용을 감소시켜 경영효율화에도 기여할 것으로 기대된다.

주요어 : KTX, 제동디스크, 균열, 용접

1. 서 론

철도차량이나 자동차에서 제동장치는 열차나 자동차의 속도를 줄이거나 원하는 위치에 정차하는데 목적이 있으며, 또한 위급한 상황에 즉시 정지할 수 있어야 한다. 철도차량에서 제동장치는 크게 전기제동과 기계(마찰)제동으로 이루어져 있다. 기계제동으로는 차륜의 답면을 압부하는 답면제동과 차축에 압입된 디스크를 압부하는 디스크 제동이 있다.

† 교신저자: 한국철도공사 부산철도차량정비단(pierre kang@korail.com)

* 한국철도공사 부산철도차량정비단

고속차량(KTX)은 동력차에는 답면제동을, 객차에는 디스크제동을 사용하고 있으며 고속으로 운행하는 열차를 감속하고 정지하기 위해 제동을 체결함으로써 디스크는 과열과 냉각이 반복되어 디스크 표면에 온도가 상승되어 열응력에 의한 균열이 발생한다.

균열의 크기가 사용한도를 초과하면 디스크를 교체하거나 삭정 작업으로 인한 유지보수 비용을 증가시킨다.

본 논문에서는 디스크의 삭정이나 교체로 인한 유지보수 비용을 절감하기 위해 시행한 디스크 균열부위 용접재생 방법과 재생 완료한 디스크를 고속차량에 취부 모니터링 하여 안전성을 확인하는 과정에 대하여 살펴보겠다.

2. 본 론

2.1 제동디스크의 특징

제동디스크는 2개의 디스크 면 판이 하나의 허브에 결합되어 있으며, 하나의 차축에는 2 세트의 디스크 허브가 압입·취부되어 있다. 디스크의 신폭 두께는 45mm, 지름은 640mm, 무게는 205kg이다.

디스크는 크롬-몰리브덴-바나듐(Cr-Mo-V)합유의 단조강으로써 성분은 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Elemental Analysis of the Disc

Elemental Symbols	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
Contained Amount	0.25~0.30	0.40~0.70	0.50~0.90	<0.015	<0.007	1.20~1.60	0.50~0.90	0.20~0.40

※ NF 규격의 28CDV5-08 소재로 국내규격으로는 SFCMV1 재질

고속차량 유지보수 기준(차량기술단 내규 제27호)에 따라, 제동디스크의 검사는 제한정비(LI, Limited Inspection, 4개월 또는 150,000km)에서 시행한다.

육안 또는 측정공구로 다음 사항을 검사하여 이상이 있으면, 차축을 교체한다[1].

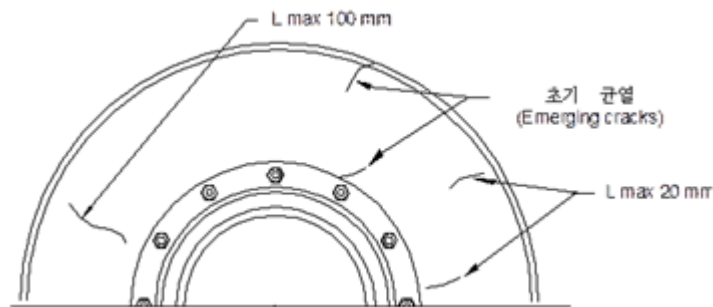


Fig. 1 Cracks on Brake Disc

- 디스크의 최소두께의 치수가 30mm 미만
- 가장자리로부터 5mm 이내 안쪽 위치에서 20mm 이상 길이의 균열
- 가장자리로부터 5mm 이상 바깥쪽 위치에서 100mm 이상 길이의 균열
- 디스크 원주 바깥 또는 안쪽의 가장자리에서 출발되는 균열
- 제동패드 접촉면(Active Face) 상의 2mm 깊이 이상의 흠

2.2 제동디스크의 균열

제동디스크는 각각의 속도에 따른 반복적이며 연속적인 제동의 사용과 제동을 사용하는 과정에서 디스크 소재내의 국부적인 급열, 급냉 등에 따른 온도 편차와 잔류응력이 디스크의 균열에 영향을 준다[2]. 균열은 디스크 표면에 나타나 마찰에 의해 발전되어 박리의 형태로 종료되는 현상과 표면의 균열이 지속적인 제동열에 의해 디스크 내부로 성장하는 현상을 보인다.

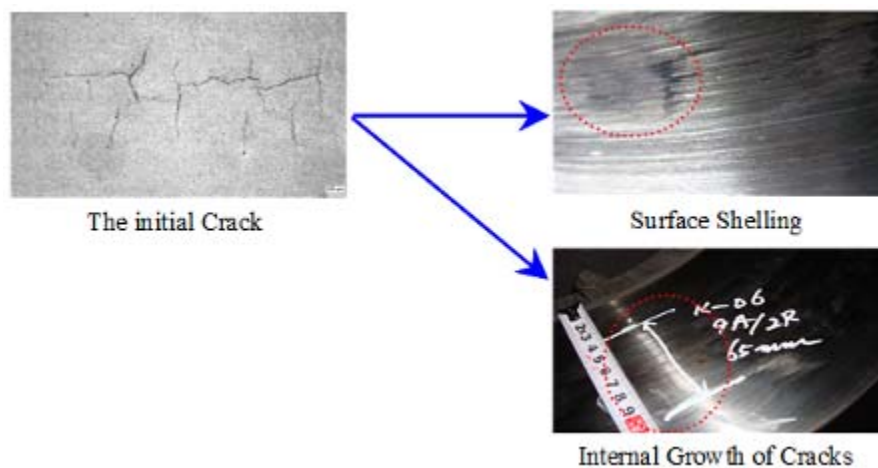


Fig. 2 Cracks in the Brake Discs

이렇게 발생한 균열이 유지보수 기준을 초과하면 차축을 교환한다. 그리고 취거된 차축을 차축선반에 장착하여 제동디스크의 표면을 균열부위가 사라질 때까지 삭정한다. 단, 디스크 두께의 사용한도까지만 삭정한다. 사용한도까지 삭정하였는데도 균열이 남아있으면 디스크를 폐기한다.

균열에 따른 디스크의 삭정으로 인한 손실로 예상 수명기간동안 사용하지 못하고 조기에 폐기되는 사례가 증가하였다. 이러한 손실과 폐기량을 줄이기 위해 균열부위 정비를 검토하였다. 고속철도 개통 후 2008년3월까지 제동디스크 균열현황은 Table 2와 같다.

Table 2 Crack Status of Brake Disks

Distribution	Depot			Remark
The Number of Cracks	Total	Goyang	Busan	Exchange : 5 (2007)
	236	173	63	

제동디스크의 균열이 발생함으로써 나타나는 문제점으로 균열된 디스크를 수명주기 전에 교환함에 따른 신품 추가구입비용의 증가와, 교환을 위한 분해 조립 작업 등 다수의 추가 공정이 발생하여 유지보수 비용 또한 증가한다.

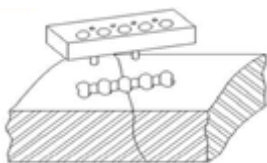
이러한 문제점을 해결하기 위해 운행 중 공기제동 사용을 자제할 것(전기제동 사용 및 전기제동력 상승)을 운전관련부서에 협조 요청하였다.

또한 균열이 발생된 디스크를 폐기하지 않고 재사용할 수 있는 방안을 검토하였다.

2.3 제동디스크의 정비

2.3.1 록킹 핀 적용 정비

균열 디스크 재생정비를 검토한 결과, 균열부위에 더 이상의 진행을 방지할 수 있는 록킹 핀 삽입 방법과 균열부위 그라인딩 후 육성용접 방법이 가능할 것으로 판단되었다. 록킹 핀 삽입 방법은 균열부위 정비 전문업체에서 외주 정비를 시행하였다.



Lock Hole Drilling



Lock Install



Pin + Lock



Repair complete picture

Fig. 3 Disc Repair by Locking Pin inserted

2011년 12월과 2012년 1월, 2회에 걸쳐 55개의 디스크를 외주 정비하여 차량에 취부하여 운행을 하였다(2012년 3월). 운행 결과 한 달이 되지 않아 록킹 핀이 빠지는 현상이 발생하였다.

외주정비 전문 업체는 더 이상의 정비 납품을 포기하여 이 방법은 부적합한 것으로 판명되었다.

2.3.2 용접정비

록킹 핀에 의한 디스크 정비가 불가능함에 따라 용접으로 재생정비가 가능한지 검토하였다. 디스크의 균열부위에 연삭기를 이용하여 균열이 나타나지 않을 때까지 연삭하고 육성용접을 시행하였다. 아크용접, 특수용접(TIG) 등 수 차례 시행착오를 거듭하여 디스크의 모재와 용착금속이 유사한 용접봉을 찾았다.

제동디스크는 프랑스 NF규격의 28CDV5-8 소재로 해당 모재와 가장 잘 용착되는 고장력용 접합 TGC-50을 선정하였으며, 육성용접 중 발생하는 열에 의한 모재의 재질 변형을 최소화하기 위하여 300℃ 이하로 용접이 가능한 TIG 용접으로 한 번에 육성용접을 하지 않고 여러 차례 나누어 시행하였다.



Fig. 4 Brake Disc Repair Procedure Weld

용접재생 완료된 제동디스크를 고속차량에 취부하여 2회에 걸쳐 모니터링을 실시하였다. 1차 모니터링은 2013년5월13일부터 2013년7월4일까지, 2차 모니터링은 2014년1월15일부터 2014년6월12일까지 시행하였다. 1, 2차 모니터링 결과 특이사항이 발견되지 않았으며, 용접

부위 또한 원주면에 표시를 하지 않았다면 위치를 찾지 못할 정도로 정상부위와 차이가 없었다.

용접 재생한 디스크를 현차에 취부하여 운행하면서 특이사항이 발견되지 않았지만, 용접 부위에 기계적 특성은 어떠한지 확인하기 위하여 한국화학융합시험연구원에 의뢰하여 인장강도, 항복강도, 연신률, 경도 및 충격시험을 하였다.

시험용 용접재생 디스크는 현차에 취부하여 약 6개월 정도 운행(240,000km)한 것으로 시험편은 Fig.5, Fig.6과 같으며 시험편 ①은 용접부위, ②는 정상부위를 나타낸다. 시험결과는 Table 3과 같이 기준 값을 만족하는 것으로 나타났다.

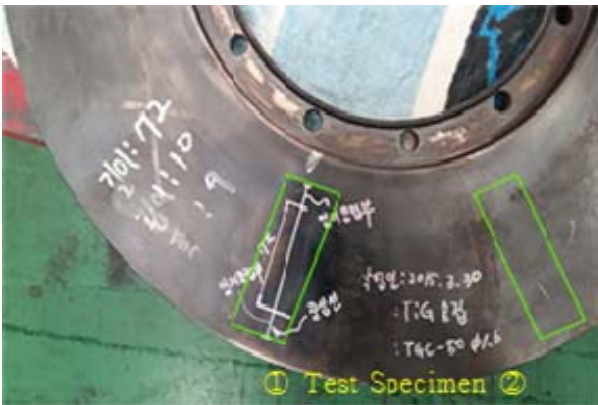


Fig. 5 Brake Disc for Test Request



Fig.6 Test Specimen

Table 3 Mechanical Characteristic Test Results

Division	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)	Impact Test (J)	
Reference Value	1,030~1,250	900≥	16≥	331~388	20≥	
Results	Weld ①	1,168 N/mm ²	1,071 N/mm ²	18	380	1 st 38
						2 nd 38
						3 rd 34
	Base ②	1,234N/mm ²	1,145 N/mm ²	18	380	1 st 41
						2 nd 37
						3 rd 36

※ Test Methods : KS B 0802, KS B 0805, KS B 0810

Test Report : See Attachment

용접 재생한 제동디스크를 현차에 취부하여 운행한 결과 특이사항이 발견되지 않았으며, 또한 용접부위와 정상부위의 기계적 특성시험 결과 기준 값을 만족하여 용접재생 품질에 문제가 없는 것이 확인되었다.

균열이 발생한 디스크를 용접 재생하여 재사용함으로써 신품 구입비용과 디스크 교체를 위한 추가 작업공정이 발생하지 않아 유지보수 비용 절감효과를 기대할 수 있다.

3. 결론

고속으로 운행하는 열차에서 기계적 제동을 담당하는 디스크는 급 과열과 급 냉각이 반복적으로 이루어짐에 따라 열 충격에 의한 균열이 발생하고 있다. KTX는 원통형의 디스크를 차축에 압입하여 사용하고 있으며, 균열이 발생·성장하여 사용한도를 초과하는 경우, 디스크를 교체하여야 한다.

부산철도차량정비단에서는 균열된 디스크를 재사용할 수 있도록 검토한 결과 균열부위를 연삭하여 특수용접(TIG)으로 육성 재생하는 방법의 기술을 확보하였다.

제동디스크를 용접 재생함으로써 디스크 교체에 따른 유지보수 비용 절감과 디스크 신품 구입비용을 줄임으로써 경영효율화에 기여 할 수 있다.

참고문헌

[1] Maintenance Guide LIMITED INSPECTION MECHANICAL, K661-1-U2410-230

[2] H.M. Lee (2002) A Study on the Thermal Cracking Phenomenon of a Rolling Stock Brake Disc, Master of Engineering, Seoul National University of Science and Technology

Attachment : Test Report



YOUR PARTNER FOR THE BEST QUALITY

TEST REPORT

무 084-084 부산광역시 김서구 영도조선사거리 5 (영도동) TEL 051(464-0771) FAX 051(462-2115)

발주사번호 : TAP-01067 접수 일자 : 2015년 04월 07일
 대 표 자 : 최연재 시험완료일자 : 2015년 04월 13일
 업 계 명 : 부산철도차량첨대단
 주 소 : 부산광역시 부산진구 신전대로 215
 시 료 명 : 금속시험편(KTx 브레이크 디스크, SCAR02)

시험결과

시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인장강도(AI WMS)	%w	1	1 168	KS B 0802 200314A호시험편 (각위차계사)
인장강도(Base)	%w	2	1 234	KS B 0802 200314A호시험편
항복강도(AI WMS)	%w	1	1 071	KS B 0802 200314A호시험편 (각위차계사)
항복강도(Base)	%w	2	1 145	KS B 0802 200314A호시험편
연신율(AI WMS)	%	1	18	KS B 0802 200314A호시험편 (각위차계사)
연신율(Base)	%	2	18	KS B 0802 200314A호시험편
경도(Base)	-	1	380 HBW 10/3 000	KS B 0805-2000
경도(Base)	-	2	380 HBW 10/3 000	KS B 0805-2000
충격시험(사로피충수에너지 , 2) 1도(Base 1)	J	1	38	KS B 0810-2000
충격시험(사로피충수에너지 , 2) 2도(Base 1)	J	2	41	KS B 0810-2000
충격시험(사로피충수에너지 , 2) 3도(Base 2)	J	1	38	KS B 0810-2000
충격시험(사로피충수에너지 , 2) 4도(Base 2)	J	2	37	KS B 0810-2000

- 다음 페이지 -

Kim Minho

주관자 : 김민호
Tel : 051-464-0771

Seo Taehye

기술책임자 : 서태교
E-mail : taehye@ktr.or.kr

2015년 04월 13일



한국화학융합시험연구원장



위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 2








YOUR PARTNER FOR THE BEST QUALITY

TEST REPORT

무 084-084 부산광역시 김서구 영도조선사거리 5 (영도동) TEL 051(464-0771) FAX 051(462-2115)

발주사번호 : TAP-01067 접수 일자 : 2015년 04월 07일
 대 표 자 : 최연재 시험완료일자 : 2015년 04월 13일
 업 계 명 : 부산철도차량첨대단
 주 소 : 부산광역시 부산진구 신전대로 215
 시 료 명 : 금속시험편(KTx 브레이크 디스크, SCAR02)

시험결과

시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
충격시험(사로피충수에너지 , 2) 1도(Base 2)	J	1	34	KS B 0810-2000
충격시험(사로피충수에너지 , 2) 2도(Base 2)	J	2	36	KS B 0810-2000

- 충격시험편 : V-furched, 10 mm x 10 mm x 15 mm

*** 범 도 : 품질관리용**
 비 고 : 1. 이 성적서는 각위차계 계사한 시료 및 시료번호로 시험한 결과로써 전체 제품의 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서에 기재된 내용은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
 2. 이 성적서는 총과, 인장, 굽힘 및 조충을 목적으로 사용할 수 없으며, 모든 시험의 사용은 규약-42
 3. 이 성적서는 각위차계 계사한 시험편에 대한 사용만을 목적으로 합니다.
 4. 이 성적서는 현행규정 요건만 유효하며, 시험 및 인차(변경)사항은 결과치 참고하십시오.

Kim Minho

주관자 : 김민호
Tel : 051-464-0771

Seo Taehye

기술책임자 : 서태교
E-mail : taehye@ktr.or.kr

2015년 04월 13일



한국화학융합시험연구원장




위변조 확인용 QR code

Page : 2 of 2



