
제동 마찰제 시험결과 보고

2016. 6.



운 영 본 부
[차량정비처]

제동 마찰재 시험 결과 보고

수입산 제동 마찰재의 운용상 문제점인 이상소음, 조기정차 등 원인 분석과 제동 마찰재 구매선 다변화와 우리공사 전동차 ATO 운전 및 제동시스템에 최적화된 마찰재 규격을 마련하기 위한 시험결과 보고

※ 관련 근거

- 차량정비처-732('16.2.19) 『유럽산 마찰재(라이닝,슈) 사용 모니터링 협조』
- 차량정비처-1460('16.4.4) 『5·6호선 전동차 제동마찰재 시험계획(안)』

I 시험 개요

1. 시험기간 : 2016. 4월 ~ 5월 (약 30일간)

2. 시험편성 : 576, 637, 519편성 (※ 기타 비교 575편성 등 6개 편성)

편성	취부일	주행Km	취부량	제조사
576	4.29	9,552	슈/라이닝 전량(96개)	(주)상신브레이크
637	4.28	4,942	슈/라이닝 전량(96개)	(주)세창라이닝
519	4.15	6,733	슈 4량(32개)	이탈리아 CoFren社 (15년 납품분 대비 개선품)

※ 제동마찰재 구성 및 취부 수량 (8량 기준 1개 편성 총 96개)

구분	취부위치	취부수량	관련기기 및 제동 마찰재	
브레이크 슈	M차(동력차) 2,3,6,7호	32개 (8개/량×4량)		
브레이크 라이닝	TC, T차(제어,부수차) 1,4,5,0호	64개 (16개/량×4량)		

3. 시험방법

동일차량에 제품(제조사)별 **평균마찰계수**가 다른 제동마찰재를 설치하여 ATO 정위치정차 영향, 제동시 소음 발생 등 이례사항 모니터링 추진

1. ATO 정위치 정착

가. TEST 1

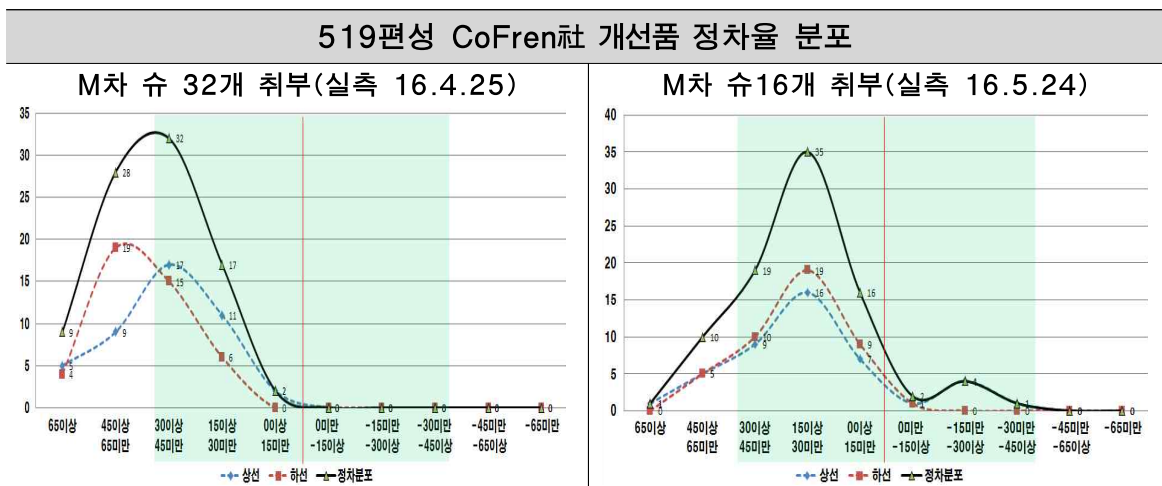
- 1) 조 건 : T차 라이닝 동일, M차 슈 서로 다른 제품(규격) 취부
- 2) 시험편성 및 결과

편성	마찰제 취부		기간 (‘16년)	ATO 정위치 정착(±65cm)			
	M차 슈	T차 라이닝		TC기록 (기간중)	실측 (1회)	내·외 민원	
						조기	진과
575	‘15년 수입산 (CoFren社)	기존 사용품 (S&T)	3.21~ 5.12	91.8%	93.2%	156건	1건
519	CoFren社 개선품(32개)		4.15~ 5.19	74.7%	81.8%	0건	23건
	CoFren社 개선품(16개) (개선품 16개 +기존 사용품 16개)		5.19~ 5.30	96.5%	100%	0건	0건

3) 결과 분석 및 대책

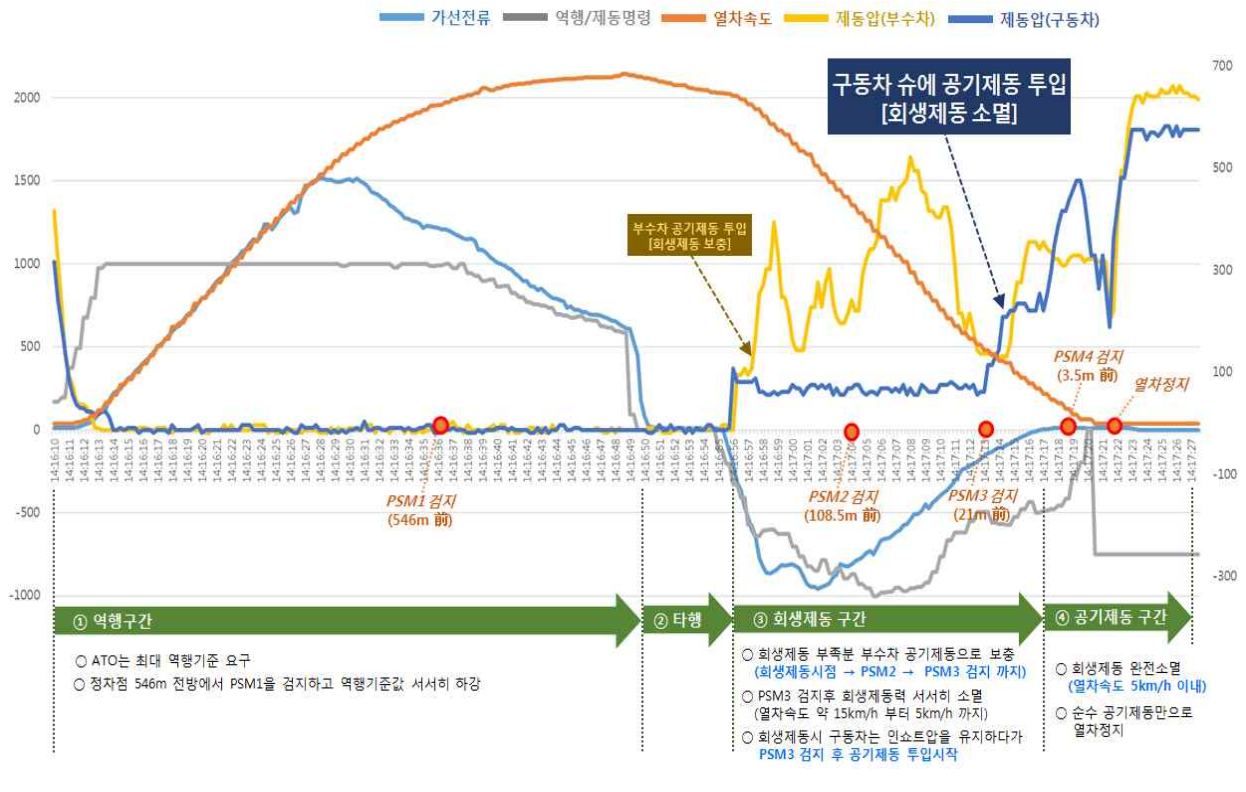
① ATO 정밀정지 영향 : M차 슈 ≫ T차 라이닝

T차 라이닝은 동일제품(국산품) 유지, M차용 슈를 서로 다른 제품(규격)으로 사용하였을 경우 정위치 정착율 변동이 크며, 특히 519 편성에 수입산 마찰제 M차용 슈를 32개→16개로 축소시 정위치 정착율이 개선 되었듯이 **M차용 슈가 정밀정지에 미치는 영향이 크다** 할 수 있음.



☞ ATO 운전시 정밀정지(정지점 ±65cm)에 영향을 미치는 제동은 공기제동이며, 공기제동을 수행하는 마찰제중 회생제동 소멸시점에 정위치 정차지점으로부터 21m(PSM3) 지점에서 동작을 시작하는 **M차용 슈가 T차용 라이닝 보다 절대적임을 확인**

5호선 전동차 자동운전 패턴 예(마포-공덕)



☞ 차륜교환검사 후 M차용 슈 32개를 모두 수입산(CoFren社)으로 장착한 편성에서 조기정차로 인한 PSD 미개방 등 민원이 급증하고 있으며, 정위치 정차율도 2014년 6월 실측한 5호선 전동차 전체 76개 편성의 평균 정차율 99.93%에 크게 못 미치고 있음.

※ 최근 중정비 차륜교환검사 편성 정차율

편성	장착후 운행시작일	ATO 정위치 정차율		내·외 민원	
		TC운행기록	실측	조기정차	진과정차
575	'16.3.21	91.8%	93.2%	156건	1건
549	'16.5.23	84.0%	-	41건(운용변경1건 포함)	0건
563	'16.5.30	92.6%	-	19건	1건

나. TEST 2

1) 조 건 : 동일편성에 M차용 슈의 평균마찰계수가 서로다른 제품(규격)

2) 시험편성 및 결과

편성	평균마찰계수		기간 (‘16년)	마찰제 취부	ATO 정위치 정차			
	M차 슈 (제조사)	T차 라이닝 (제조사)			TC기록 (기간중)	실측 (1회)	내·외 민원	
							조기	진과
576 편성	0.197 (S&T)	0.381 (S&T)	1.4~ 1.31	기존 사용품	97.2%	100%	0	0
	0.250 (CoFren社)	0.361 (CoFren社)	3.20~ 4.22	수입산	81.3%	92.4%	7건	0
	0.221 (상신)	0.397 (상신)	4.29~	국산 시험용	98.2%	100%	2건	1건

3) 결과 분석 및 대책

① M차용 슈의 평균마찰계수 크기에 따라 ATO운전시 정차 특성(진과, 조기)이 변동 되며, 적정한 평균마찰계수 값은 정위치 정차의 정밀도에 중요한 역할을 수행함.

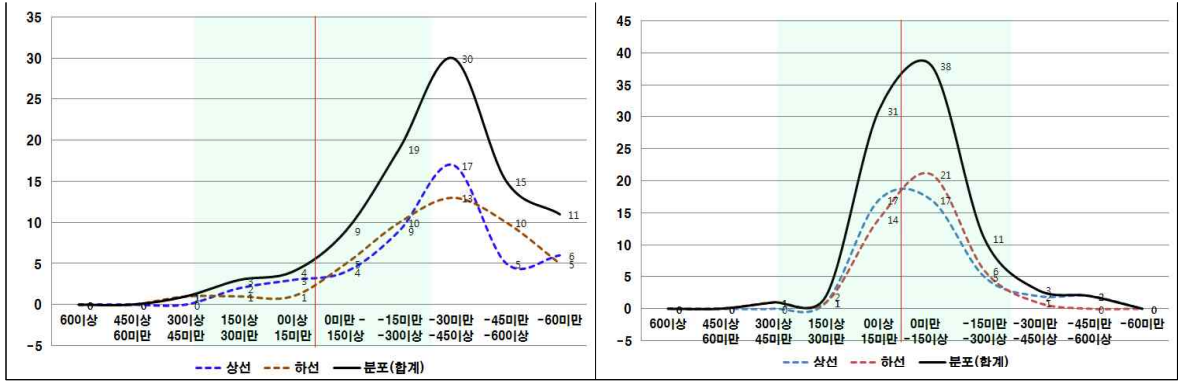
☞ 동일(576)편성에 M차용 슈의 평균 마찰계수가 서로 다른 제품을 장착하였을 경우 평균마찰계수 값의 크기에 따라 정위치 정차율이 차이가 있으며, 정차거리를 세분화 할 경우 ATO 정위치 정차 점 “0”을 기준으로 상대적으로 고(高)마찰계수는 조기정차, 저(低)마찰계수는 진과정차 방향의 특성변화가 있음.

※ 576편성 제조사별 정차율 분포(본선 실측)

○ 측정일 : 16.3.3, (방화↔마천 92개)	○ 측정일 : 16.5.16, (방화↔상일동 88개)
○ 제조사 : CoFren社(수입산)	○ 제조사 : 상신브레이크(국산시험품)
○ 평균마찰계수 : M차 슈 0.250	○ 평균마찰계수 : M차 슈 0.221
○ 결 과 : ±35기준(47.8%), ±65기준(92.4%)	○ 결 과 : ±35기준(97.7%), ±65기준(100%)

정차거리	정차 수	비고
65이상	0	진과 8개
45이상 65미만	0	
30이상 45미만	1	
15이상 30미만	3	
0이상 15미만	4	
0미만 -15이상	9	
-15미만 -30이상	19	조기 84개
-30미만 -45이상	30	
-45미만 -65이상	19	
-60미만	7	

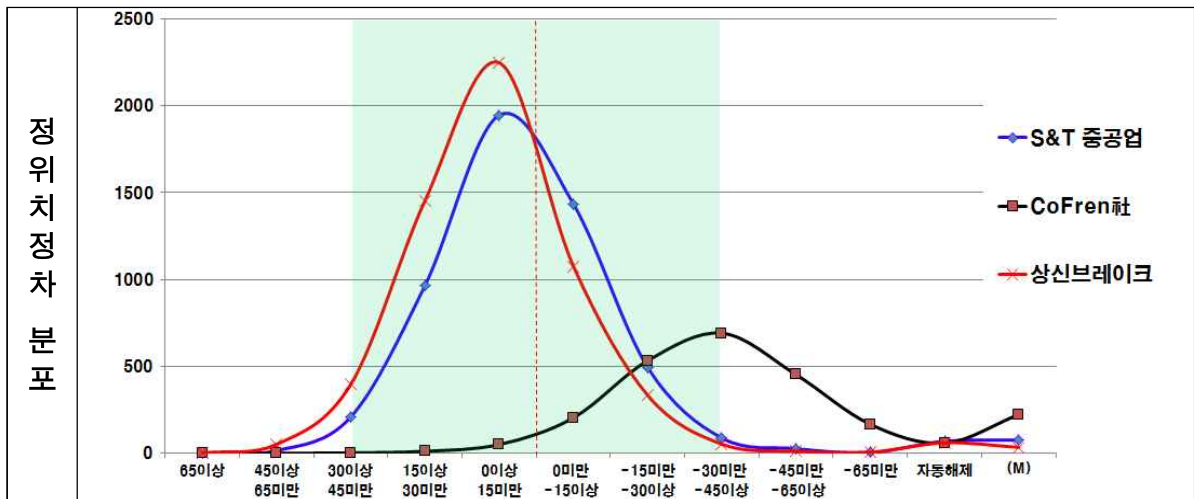
정차거리	정차 수	비고
65이상	0	진과 34개
45이상 65미만	0	
30이상 45미만	1	
15이상 30미만	2	
0이상 15미만	31	
0미만 -15이상	38	
-15미만 -30이상	11	조기 54개
-30미만 -45이상	3	
-45미만 -65이상	2	
-65미만	0	



※ 576편성 제조사별 정차율 및 분포(TC운행기록)

제조사	S&T 중공업 (기존 국산)	CoFren社 (‘15년 수입산)	상신브레이크 (국산 시험품)
분석 기간	1.4~1.31	2.16~3.3	4.29~5.30
정차율	97.2%	81.3%	98.2%

정 위 치 정 차 거 리	합계	5326	2390	5724
	65이상	1	0	1
	45이상 65미만	15	0	51
	30이상 45미만	209	2	397
	15이상 30미만	966	11	1455
	0이상 15미만	1946	50	2248
	0미만 -15이상	1434	204	1076
	-15미만 -30이상	494	533	333
	-30미만 -45이상	87	691	52
	-45미만 -65이상	26	452	11
	-65미만	4	166	6
	자동해제 (M)	69 75	58 223	60 34



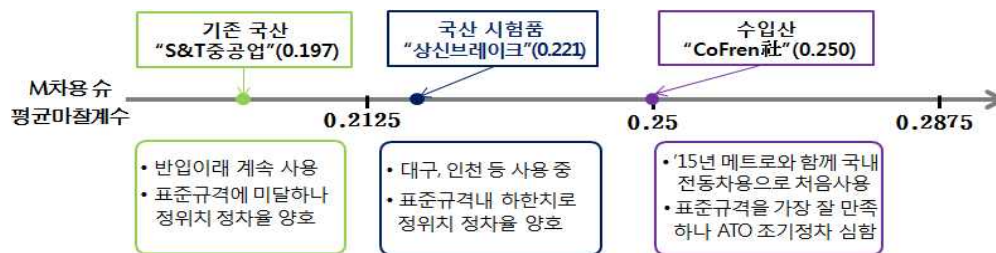
② ‘15년 수입산(CoFren社) 마찰제를 장착한 편성의 조기정차의 원인은 제동마찰재 M차용 슈의 평균마찰계수가 다소 높은 것으로 판단되며, 현 마찰재 표준규격을 우리공사 전동차 ATO운전에 적합한 규격(평균 마찰계수 $0.25 \pm 15\% \rightarrow 0.23 + 8\%, -12\%$)으로 조정이 필요.

☞ '15년 수입산(CoFren社) 마찰제는 한국철도표준규격 “전동차용 합성 제륜자(KRS BR 0017-15)”를 준용한 우리공사 표준규격에 만족하나, 시험 및 모니터링 결과와 같이 M차용슈의 평균마찰계수가 높아 조기정차 현상이 심하여 우리공사 전동차 ATO운전에 적합하지 않음.

※ 공사 전동차 제동 마찰제 평균마찰계수 규격

브레이크 슈	브레이크 라이닝	비고(준용규격)
0.25±15% (0.2125~0.2875)	0.35±15% (0.4025~0.2975)	· 슈 : KRS BR 0017-15 · 라이닝 : KRT EV300-BL 001

※ 공사규격 대비 제조사(제품별) M차용 슈의 평균 마찰계수



☞ 현재 “전동차용 합성제륜자(KRS BR 0017-15)” 표준규격내 평균마찰계수(0.25±15%)는 수동(비상)운전방식을 기준으로 상용(비상)제동 감속도 확보를 최우선으로 하여 제정 된 것으로 판단되나, 우리공사 전동차 ATO운전에 적합한 평균마찰계수(0.23 +8%, -12%)로 하향조정하여야 하며, 0.23에 대한 공차 최하위(-12%, 0.2024)의 안전성도 지난 2014년 6월 국토부 주관 비상제동거리 측정시험 결과에서 증명된 바 있으며, 현재 부산교통공사1,2호선에서도 평균마찰계수(0.23±12%)로 규격화 하여 운용 중에 있음.

※ 국토부 주관 비상제동 거리 측정시험결과(2014.6.20)

시험 차수	시험구간	제동시간 (s)	속도 (km/h)	제동감속도 [km/h/s]	제동거리 (m)	시험 마찰제 (평균마찰계수)
1차	중계→하계	14	68.03	4.740	134.0	S&T중공업 (M차 슈 : 0.197) (T차 라이닝 : 0.381)
2차	하계→중계	12	61.63	5.018	106.0	

다. TEST 3 : 637편성에 적용한 국산 시험품(세창) 시험분석 제외

☞ ATO 정위치 정차 관련 시험결과는 우수(실측 100%)하나, 성적서가 자체 시험성적서임으로 판단 기준이 불명확하여 분석에서 제외 함.

2. 제동시 이상소음

가. TEST 1

- 1) 조 건 : 동일편성에 평균마찰계수가 서로다른 제품(규격) 취부
- 2) 시험편성 및 결과

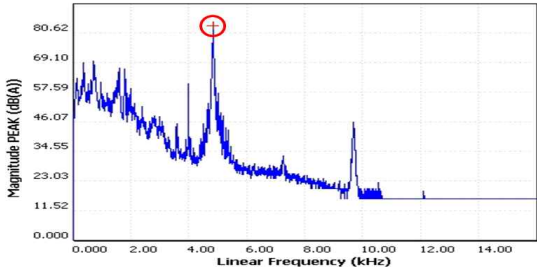
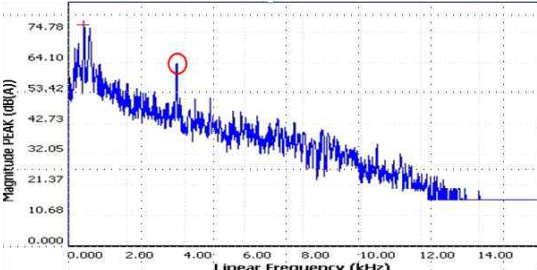
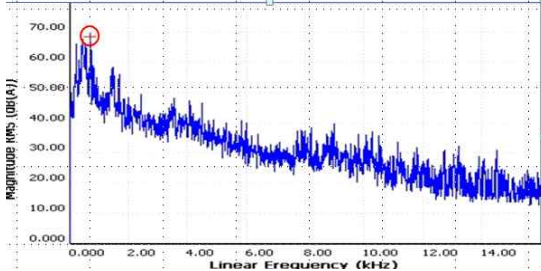
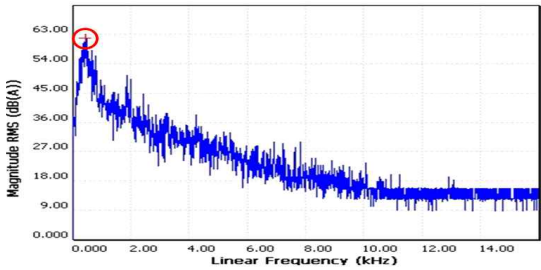
편성	평균마찰계수		마찰제 취부	제동시 이상소음	
	M차 슈	T차 라이닝		실측	민원
576	0.197(S&T)	0.381(S&T)	기존 사용품	無	0건
	0.250(CoFren社)	0.361(CoFren社)	수입산	심함	1건
	0.221(상신)	0.397(상신)	국산 시험용	無	0건

3) 결과 분석 및 대책

- ① 제동시 이상소음 발생여부는 제동마찰제(슈,라이닝)의 평균마찰계수의 크기와 연관이 없음.

☞ 측정구간 전역에서 소음이 심한 수입산(CoFren社) 대비 T차용 라이닝 마찰계수가 상대적으로 높은 기존 사용품(S&T)과 국산 시험품(상신브레이크)은 측정구간 이상음이 발생하지 않았으며, 일반적으로 마찰계수가 높으면 제동시 이상음이 발생할 수 있다는 의견과 상반되는 결과임.

※ 576편성 제조사별 제동시 소음 측정

수입산 ('15년산 CoFren社)	국산 시험품(상신브레이크)
○ 측정일 : 16.4.21, 공덕역 등	○ 측정일 : 16.5.12, 공덕역 등
○ 측정결과 : 심함(Peak 4.8kHz / 84dB)	○ 측정결과 : 이상소음 없음
<p>MAX (4.8kHz / 84dB)</p>  <p>MIN (3.6kHz / 64dB)</p> 	<p>MAX (0.6kHz / 67dB)</p>  <p>MIN (0.5kHz / 61dB)</p> 

나. TEST 2

1) 조 건 : '15년 수입산(CoFren社) 마찰제 취부 편성 측정 및 모니터링

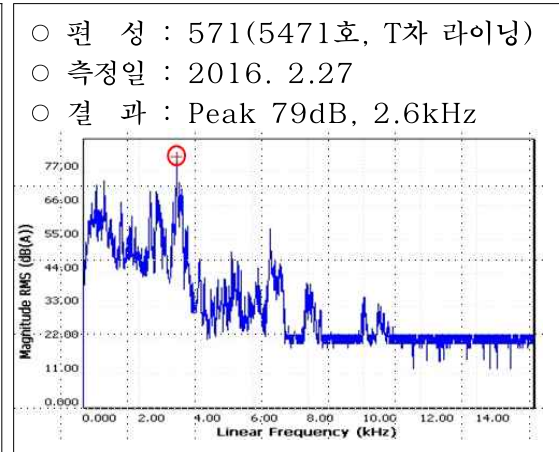
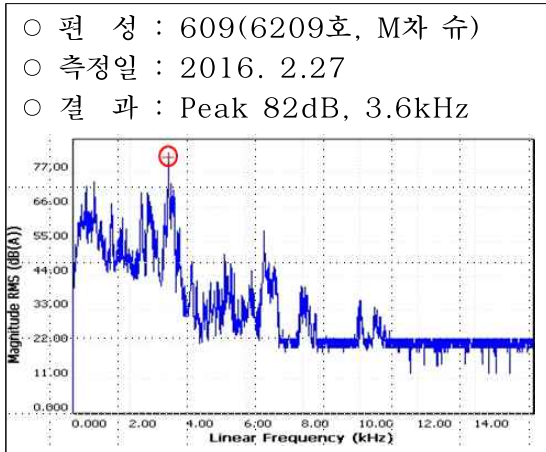
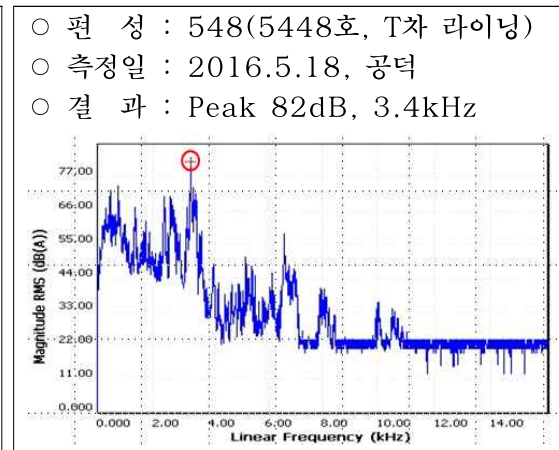
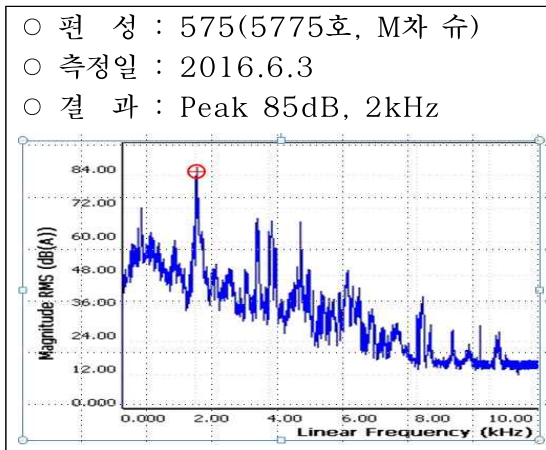
2) 결 과

① 운행중 소음으로 인한 민원(2016.1월~5월)

- 총 50건 (도중입고 3건 포함, 기관사 구두 민원 제외)

② 본선 소음 측정 : 전구간 소음 심함

※ 소음 측정 샘플



3) 결과 분석 및 대책

① M차용 슈, T차용 라이닝 모두 제동시 이상소음으로 간주 할 정도의 큰 소음 발생.

☞ 소음이 “크다”, “작다”의 기준은 개인차, 주변 환경 등에 의하여 정도의 차이가 있을수 있지만, 현재 수입산 마찰제 소음으로 인한 불특정 다수의 내·외부 고객으로부터의 상당한 민원과, 우리공사 전 동차(열차)내 소음관리기준(도시철도차량 표준규격) 80dB 이상을 초과하는 이상소음이 발생하고 있음.

※ 도시철도차량 표준규격상 소음의 기준(요약)

- 모든 장치를 가동한 상태에서 최고운행 속도(80km/h)까지 공차 운행시 측정된 소음의 평균치 80dB(A)이하여야 한다.

② 제동시 이상소음의 발생원인은 마찰제 제작시 재료의 비율과 제조 방법 등과 관련이 크다고 판단되며, 제동시 이상소음의 객관적인 기준값을 정하여 표준규격에 반영하여야 함.

☞ 현 표준규격서 전동차용 합성제륜자(KRS BR 0017-15), 전동차용 브레이크 라이닝(KRS BR 0022-16) 모두 “제동 시 이상 소음이 없어야 한다.” 고 정하고 있으나, 이상소음에 대한 객관적인 기준이 없어 운영사와 납품업체와의 분쟁이 발생하고 있음.

☞ 소음의 원인은 마찰제에 사용되는 수지류, 금속분말류, 고무류 등 재료의 비율과 제조방법 등에 기인한 것으로 판단되므로 소음발생의 기준값을 정하여 규격화 하는 것이 필요함.

☞ 소음의 기준은 개인차에 따라 상이함으로 절대적 기준을 정하기는 어려우나 현 사용 중인 수입산 마찰제 소음 측정치, 소음·진동 규제 법, 철도차량의 소음권고기준 및 검사방법 등에 관한 규정, 철도차량 기술기준, ISO 226 순음등가곡선 등을 참고하여 우리공사 전동차 제동 마찰제 규격에 반영하고자 함.

※ 제동 시 이상소음 기준치 (안)

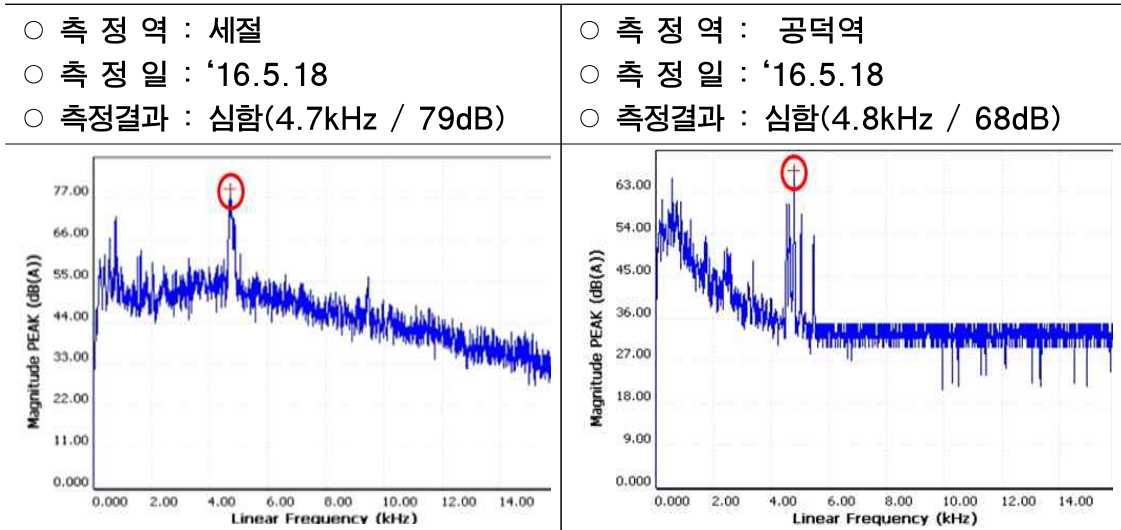
가청 주파수	2kHz 이상 8kHz 미만	8kHz 이상
객실내	70dB 이상	75dB 이상

다. TEST 3

1) 조 건 : 637편성에 적용한 국산 시험품(세창라이닝) 소음 측정

2) 결 과

제동시 M차 슈 소음 심함(T차 라이닝은 양호)



III 결론 및 향후 계획

1. 시험결과 종합

가. 시험편성 ATO 정위치 정차 및 소음

편성 (제조사)	ATO 정위치 정차(±65cm)				정차시 이상소음	
	TC기록 (기간중)	실측 (1회)	내외 민원		실측	내외 민원
		조기	진과			
576편성 국산시험(상신브레이크)	98.2%	100%	2건	1건	無	0건
519편성 (CoFren社 개선품)	74.7%	81.8%	0건	23건	無	0건
617편성 국산시험(세창라이닝)	-	100%	0건	0건	심함 4.7kHz/79dB	0건

나. ATO 조기정차 및 소음

- 1) ATO 조기정차 및 이상소음의 원인은 마찰재 재료의 성분과 제조 방법 등에 의한 것으로 판단되며, 특히 이러한 이유로 M차용 슈의 평균 마찰계수가 높을 경우 조기정차 현상이 두드러지며,

- 2) 현재 우리공사 전동차 제동성능에 맞고 ATO 정밀정지에 최적화를 위해 표준규격상 M차용 슈의 평균마찰계수 값을($0.25 \pm 15\% \rightarrow 0.23 +8\%, -12\%$)하향 조정하고, 제동시 이상소음에 대한 객관적인 기준(안)을 표준규격에 반영 필요.

2. 향후 계획

가. 제동마찰재 공사 규격 개정 및 KRS 개정 의뢰

나. 표준규격을 반영한 '16년 양공사 통합 발주 전 시험결과가 양호한 국산 시험품 우선 구매 하여, '15년 수입산과 혼용사용으로 민원 축소

※ 국산 시험품 우선 구매

- 소요예산 : 19.7 백만 원
- 예산과목 : 저장품, 재료비, 일반재료비
- 계약방법 : 수의계약(상신 브레이크)
- 구매수량 : 500점(M차 320, T차 180). 끝.