

고속철도차량용 주변압기 성능향상을 위한 Mold type기술사양 검토연구

Review of Mold type technical specification for upgrading performance of Main transformer on High speed train

한성호*[†], 양도철

Seong-Ho Han^{*}, Doh-chul Yang

Abstract Currently the oil type main transformers are used for all of high speed train in domestic and international railway service. To minimize the weight and size of the transformer comparing with existing them is of benefit to maintenance cost. Old-style way should consider oil leakage problem and explosion safety matter due to the driving vibration. Thus, we tried to apply Mold type main transformer for high-speed railway vehicle to make maintenance free, safety, energy savings and high efficiency) in order to improve performance. In this paper we examined the development of key technologies required to classify the main requirements.

Keywords : High speed train, Main transformer, Insulation oil type, Mold type

1. 서론

최근 국내 고속철도차량 기술은 시속 430km/h 차세대 고속철도차량(HEMU-430X) 실용화 사업에 따라 분산형고속차량 주요 핵심기술을 확보하고 있으며, 시속500km/h급(HEMU-500X)의 고속화 핵심부품기술 확보를 위해 노력하고 있다. 더욱이, 연구기관 자체적으로 시속 600km/h급 고속철도차량 원천기술 연구개발과 운영기관이 주축이 된 기존철도 부품 국산화 및 성능향상 기술개발 기획연구 추진을 토대로 볼 때 향후 철도 주요시스템 및 핵심부품 국산화개발 연구 및 산업시장은 활발히 확대될 것으로 전망해 본다.

한편, 이러한 국내 철도부품 국산화 및 성능향상 기술개발 관련한 연구활동이 활발하게 추진되고 있는 가운데 현재 상업운전 중인 고속철도차량의 경우 철도차량 유입식 주변압기(Main transformer)의 운영상에서 나타나는 냉각오일의 누유와 같은 문제점들이 유지보수비용을 증가시키는 요인으로 나타나기도 한다. 따라서, 유입변압기가 적용되고 있는 철도차량용 주변압기를 대체할 수 있는 핵심부품 성능향상기술 차원에서의 신개념 변압기 개발 적용연구가 절실히 요구되고 있다. 본 연구에서는 변압기의 누유문제가 발생하지 않으면서 유지보수가 필요 없는 몰드타입 변압기 개발을 위한 기술사양을 검토하였다. 이를 위해 몰드변압기 개발에 필요한 제반 요소기술 분류 및 기본적인 요구사항을 검토하였다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부(shhan@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 시험인증안전센터(dcyang@krri.re.kr)


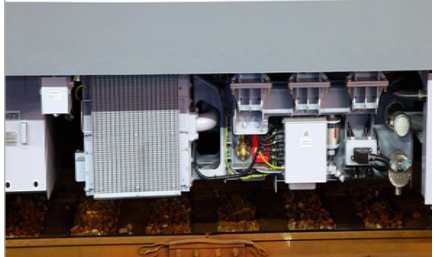
2. 고속철도차량용 주변압기 기술현황 분석

2.1 동력방식별 주변압기 특성비교

고속철도차량에 적용되는 주변압기는 동력집중식과 동력분산식으로 용량과 형태가 구분된다. 국내에서 운행되고 있는 고속철도는 대부분 ALSTOM과의 기술제휴를 통해 전수받은 동력집중식이다. 그러나 운행의 신뢰성과 차량 공간의 활용성을 위하여 최근에는 동력분산식 철도차량 개발이 주를 이루고 있다. 동력집중식에 적용되는 주변압기는 현대중공업에서 개발하여 KTX, KTX-II에 탑재하였으며, 동력분산식에 적용되는 주변압기는 프랑스의 JST사에서 수입하여 HEMU, ITX에 탑재하였다. 동력분산식에 적용되는 변압기는 동력집중식에 적용되는 변압기에 비해 용량이 작은 반면에 객차 하부에 설치하는 관계로 크기가 작고, 납작한 형태로 변압기를 컴팩트하게 설계/제작해야 한다. 국내 변압기 제작사에서는 현재까지 동력분산식에 적용되는 주변압기를 개발/제작한 경험이 없는 관계로 외국사 제품을 탑재하고 있으나, 철도차량의 해외수출 증대를 위해서는 차량과 이에 적용되는 핵심부품에 대해서는 국내에서 자체 설계/개발 능력을 확보해야 한다. 현재 철도기술연구원 주도로 진행되고 있는 “430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발” 사업에서는 동력분산식에 적용되는 주변압기를 국산화하는 내용이 포함되어 있다. 아래 table 1에는 동력집중식과 동력분산식에 적용되는 주변압기에 대한 주요 특성을 정리하였다.

Table 1 Main characteristic of transformers depending on the power type

항목	동력집중식(KTX-II) 변압기	동력분산식(HEMU) 변압기
설치 위치	동력운전제어차(PC) 내부에 설치 (PC : Power car with Cab)	동력객차(MP) 하부에 설치 (MP : Motor coach with Pantograph)
총대수/편성	Tr. 2대/10량	Tr. 2대/8량
제조사	현대중공업(한국)	JST-Transformers(프랑스)
변압기 종류	유입변압기	유입변압기
정격 사양	단상 6,200[kVA], 25/1.4/0.383[kV]	단상 4,350[kVA], 25/1.4/0.38[kV]
철심 타입	내철형(Core Form)	외철형(Shell Form)
% 임피던스	고압-저압간 43.4[%]	고압-저압간 20[%]
냉각방식	송유풍냉식	송유풍냉식
절연유	실리콘유(난연성유)	실리콘유(난연성유)
사이즈(중량)	H2,706×W1,600×L2,700[mm] (9ton)	H720×W2,800×L3,100[mm] (3.7ton)

비고		소형/경량화 요구 (차량 하부에 취부)
변압기외형		

2.2 몰드형 변압기 특성검토

주변압기는 절연방식에 따라서는 유입변압기와 건식변압기로 분류된다. 유입변압기는 절연매질로 오일(Oil)을 사용하며, 건식변압기는 절연매질로 에폭시 레진(Epoxy resin) 또는 바니쉬(Varnish)을 사용한다. 건식변압기 중 에폭시 레진을 이용하여 권선부 절연을 하는 변압기를 일반적으로 몰드변압기라 한다. 현재까지 몰드변압기는 배전급과 특수용도용으로 주로 사용되는데, 에폭시의 성능향상과 절연설계기술이 발전함에 따라 송전급 몰드변압기가 개발되고 있는 추세이다. 아래 figure 2.1은 배전급의 유입변압기와 몰드변압기의 형상이다.



(a) Oil type



(b) Mold type

Figure 1 Oil type and Mold type transformer for distribution

Figure 1을 통해서 알 수 있듯이 몰드변압기의 경우 1차 및 2차 권선을 에폭시 레진으로 몰딩하여 제작되며, 오일을 사용하지 않으므로 외함과 콘서베이터가 없는 단순한 구조이다. 이런 구조적 특징 때문에 건물이나 공장에서 사용이 증대되고 있다. 아래 table 2에서는 유입 변압기와 몰드변압기의 주요 특성을 정리하였다.

Table 2 Key specific character of oil type and mold type transformer

항목	유입변압기	몰드변압기
연소성	가연성	난연성/자기소화성
폭발성	오일 압력상승시 폭발	비폭발성
소음 관점	우수	중
손실 관점	중	우수
단락기계력	약함	강함
수분 흡수력	중	약함

Table 2에서 알 수 있듯이 몰드변압기의 최대 장점은 유입변압기에 비해 화재 및 폭발 위험성이 없다는 것이다. 그러나 유입변압기와 몰드변압기를 객관적으로 비교하기는 어려우며, 각기 사용 용도나 설치 장소에 따라 적절히 선택할 필요가 있다. 위와 같은 장점을 지닌 몰드변압기가 배전급 특수용도용 변압기로서는 유입변압기에 비해 유리하다고 할 수 있다. 기존의 유입변압기로 제작되었던 풍력용 및 선박용의 특수용도 변압기들이 점차적으로 몰드변압기로 대체되고 있는 추세이다. 현재 철도차량용 주변압기로는 유입변압기가 사용되고 있으나, 차량 운전시 진동에 의한 누유가 발생하는 문제점이 대두되고 있다. 이런 문제점에 대한 개선책으로는 오일을 사용하지 않는 몰드변압기 개발도 한 방안이라고 사료된다. 그러나 세계적으로도 철도차량용 몰드변압기 개발 사례가 없으므로, 다각적인 기술적 검토가 선행되어야 한다.

2. 고속철도차량용 몰드형 주변압기 핵심기술 검토

2.1 몰드형 주변압기 균열방지 대책 기술 검토

개발 몰드변압기가 철심, 권선 등을 포함한 변압기 전체가 epoxy resin 몰딩에 의해 고정된 일체형 구조로 제작될 경우 각 부품의 독립된 고유모드 및 고유진동수는 비교적 고주파 영역에서 존재할 것으로 추정된다. 이에 차량운행시 바닥의 기진력에 의해 발생하는 주요 가진 주파수 영역인 저주파 영역에서 벗어나 figure 2에서 나타낸 바와 같이 상대운동에 의한 각 부품 사이의 연결부 등의 특정 부분에 응력이 집중되는 현상이 나타날 확률이 낮을 것으로 판단된다. 따라서 일체형 몰드변압기는 철도차량 진동에 대하여 유입변압기와 비교하여 뛰어난 내응답성을 가지며 진동에 의한 crack 발생 가능성도 크게 낮아질 것으로 예상된다.

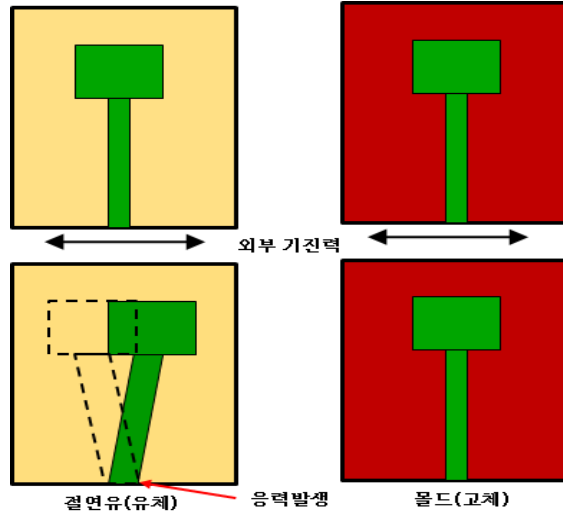


Figure 2 Comparison of stress effects between oil type and mold type transformer

하지만 기존의 유입변압기의 crack 발생 주요 원인인 진동조건과 달리 개발 변압기는 절연유가 아닌 epoxy resin 에 의한 고체절연이기 때문에 변압기 운전조건에 의한 재료의 특성과 변압기 형상 문제로 인한 crack 발생 가능성이 존재한다. 따라서, 철도차량용 몰드변압기 설치 조건에 의한 고유진동수 예측과 운행중 철도차량 바닥의 가속도 가진에 대한 내용담성을 검토하여 충분한 진동에 대한 구조 안전율을 갖도록 설계단계에서 고려해야 한다. 몰드변압기는 철도차량 진동에 대하여 유입변압기와 비교하여 높은 내용담성을 가진다고 예측되지만 혹시 있을지 모를 철도차량과 몰드변압기의 공진 모드에 대비하여 구조 안전성을 확보해야 한다. 또한 시제품 제작 후 가진 시험을 통한 설계 검증 및 구조 안전성 검토도 필요하다.

2.2 몰드형 주변압기 냉각방식 기술 검토

고속전철용 몰드변압기에 적용 가능한 냉각방식으로서 히트파이프 냉각시스템에 대하여 검토하였다. 전력반도체, CPU 등의 부품에서 발생하는 열을 제거하여 공기중으로 소산 시킴으로써 발열체의 온도를 허용범위로 유지하는 히크싱크는 구조 및 제조 방법에 따라 여러 가지로 구분된다. 냉각장치는 발열체에서 발생하는 열을 공기의 대류유동에 의하여 소산시키는 원리를 사용함에 따라 공기와의 접촉 전열면적을 확보하는 제조 방법에 따라 구분된다. 몰드변압기의 냉각은 figure 3 과 같이 일반적으로 권선 사이에 공기유동 통로를 확보하고 자연대류 또는 팬에 의한 강제대류에 의하여 열을 소산시킨다. 이 때 권선내부의 온도는 권선 구성물의 두께, 발열량 및 공기 통로를 흐르는 공기의 유속에 의하여 결정된다. 일반적으로 유동방향을 따라 공기가 흐르며 통로 벽에서 가열되기 때문에 공기출구측으로 진행됨에 따라 온도가 상승한다.

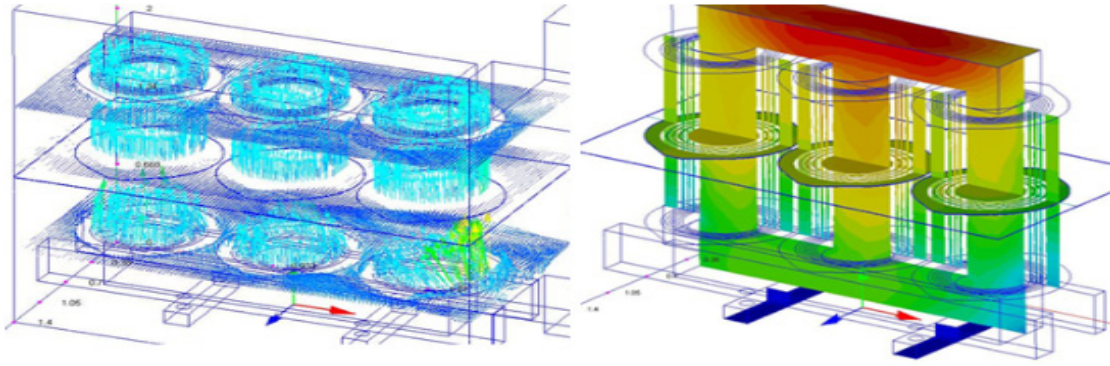


Figure 3 Cooling method of mold type transformer

이와같이 히트파이프 냉각시스템을 적용할 경우, 일체형 몰딩 구조 내의 발열을 효과적으로 외부로 방출하여 몰드형 주변압기 요구사항을 만족시킬 수 있을 것으로 분석되었다. 하지만, 열차주행조건에서의 epoxy resin 과 마찬가지로 히트파이프의 운행 신뢰성 확보가 관건이며 비용이 고가인 히트파이프 적용시 제품의 가격 경쟁력 확보에 대한 면밀한 사전검토가 요구된다.

3. 결론

고속철도차량의 성능향상 부품기술개발을 위해 본 연구는 기존의 유입식 주변압기기술을 대체할 몰드형 주변압기 적용기술에 대해 기술적 측면에서 개발 가능성을 검토하였다. 핵심기술에 대한 선정은 몰딩 균열방지사항과 냉각기술에 대하여 검토하였다. 향후 제작성 및 경제성 분야를 고려한 상세한 연구추진과 신뢰성 확보 방안에 대한 연구가 지속적으로 요구된다.

참고문헌

- [1] 남대호, “KTX 주 변압기 외함 파손 원인 분석 및 대책 수립”, 현대중공업 사내과제 완료보고서, 2011.
- [2] “EPIKOTE Resin”, Momentive Technical Data Sheets, 2010.
- [3] 강인권, “최신 전기철도개론”, 의제, 2000.
- [4] IEC, “IEC 60310 : Railway application - Traction transformers and inductors on board .rolling stock”, IEC standard, 2004.
- [5] IEC, “IEC 60076-11 : Power transformers – Part 11: Dry-type transformers”, IEC standard, 2004.
- [6] “VCC Brochure Enabling the power of wind”, ABB brochure, 2009.
- [7] “Efficient transformers for the grid integration of wind power”, Siemens AG brochure, 2011.
- [8] “현대 몰드변압기”, 현대중공업 몰드변압기 카탈로그, 2013.