

삼중수소 활용: 자발광유리관 (SLGT) 제조기술

김경숙, 김광신, 정은수, 손순환

한국전력공사 전력연구원, 대전광역시 유성구 문지동 106-16번지

작년 2월에 착공식을 가진 월성의 WTRF (Wolsung Tritium Removal Facility)에서 2005년 후반기부터 매년 2.6×10^{16} Bq (7 MCi) 이상의 삼중수소가 생산될 예정이므로 이제 우리나라에서도 삼중수소를 활용하는 연구를 본격적으로 할 수 있게 되었다.

현재 우리나라는 삼중수소를 전량, 수입하여 37 MBq (1 mCi) 혹은 3.7×10^{10} Bq (1 Ci) 미만의 매우 적은 양으로 생물, 생화학, 농학 및 의약품 합성연구 등의 연구에 이용하고 있는 정도이고, 삼중수소의 활용에 관한 국내의 연구는 거의 전무한 상태이다. 한편, 국외에서는 삼중수소를 생산하는 캐나다에서 이 분야에 대한 연구가 가장 활발히 진행 중이다. 캐나다의 Shield Source, SRB Technology, 미국의 Safety Light 그리고 유럽의 MTB Technologies, rc Tritec 및 남아프리카 공화국의 AEC 등에서 민수용과 군사용으로 삼중수소를 이용한 여러 가지 제품을 생산하는 등 이 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 한전 전력연구원에서는 2003년 9월부터 산자부 기반기금과제로 전원공급 및 유지보수가 필요없이 10년 이상 사용할 수 있는 삼중수소를 이용한 자발광유리관 (self-luminous glass tube, SLGT)을 개발하는 과제를 진행 중에 있다.

방사성물질인 삼중수소는 붕괴하면서 베타입자를 방출하게 되는데 이러한 베타입자는 에너지 분포를 가진 전자군으로 이 전자들이 코팅된 형광체와 충돌할 때 형광체로부터 빛을 발하게 되므로 별도의 전원의 공급이 필요없는 SLGT를 제조할 수 있다. SLGT의 원리는 우선 여기원에서 에너지를 흡수하여 activator 중심 내에서 에너지 준위가 여기되는 excitation 과정, 여기상태가 완화되는 relaxation 과정과 기저상태로 천이에 기인하여 빛이 방출되는 emission 과정 등으로 나눌 수가 있다. 이러한 SLGT 제조를 위해서는 유리관 코팅기술, 유리관에 삼중수소 주입기술, 유리관 밀봉/절단 기술 및 삼중수소 취급기술의 4가지 핵심기술을 확보해야 하며, 이미 지난 학회에서 삼중수소 취급기술에 대해서 발표한 바 있으며, 이번에는 유리관 코팅기술에 대해서 소개하고자 한다.

삼중수소를 이용한 SLGT 제조개발을 위한 시뮬레이션 기반 설계패키지 구축을 위해서는 휘도에 영향을 미치는 중요한 인자인 기하학적 구조 및 상용제품에 적용되고 있는 형광체 분석과 SLGT 제조개발에 적용될 형광체의 분석 및 선정이 선행되어야 한다. 이를 위해 시판중인 민수용과 군수용 제품 중에서 각각 1가지를 선정하여 생산공정을 확립하기로 결정하였다. 우선 민수용으로는 미국 Everlite사에서 비상구 (12개 유리관으로 제조)를 구입하였고, 군수용도 한 제품을 구입하여 크기분석 및 내부에 코팅되어 있는 형광체의 성분을 분석하였다.

SLGT에 코팅된 형광체의 코팅두께 및 코팅된 형광체 분말의 크기분석을 위해서 유리관 단면을 SEM (scanning electron microscope)으로 관찰하였다. 또한 내부에 코팅된 형광체의 성분을 분석하고자 EDX (energy dispersive X-ray spectrometer)를 이용하였다. 선정된 형광체는 입자크기 및 분포를 알아보기 위해 SEM을 통해 관찰하였고, 또한 모체의 성분을 EDX로 분석하였다. 그 외에도 정확한 activator와 co-dopant 성분은 ICP-AES (inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer)로 분석하였다.

한편, 진공 계통에서 SLGT 내부의 압력을 측정했으며, 비활성 기체를 포함하여 삼중수소 이외

의 성분의 존재여부를 확인하기 위해 정밀가스 질량분석기 (mass spectrometer for precision gas analyzer)로 분석하였다.

SLGT의 유리 두께는 민수용의 경우 약 760 μm 이고, 내경이 약 3.5 mm, 외경이 5.0 mm인 반면에, 군수용의 경우 약 240 μm 으로 내경이 약 1.0 mm, 외경이 1.4 mm이다. 내부에 적용된 형광체 코팅두께는 균일하지 않으며 민수용의 경우 최대 45 μm 이고, 군수용은 대략 18 μm 인 것으로 관찰되었다. 형광체 분말 크기의 균질도는 떨어지나 민수용과 군수용 모두 대략 4~5 μm 으로 관찰되었다. 적용된 형광체의 조성을 알아보기 위해 EDX 분석을 실시한 결과 Zn와 S를 모체로 하는 ZnS 계열의 형광체이며 ICP 분석을 통해 activator와 co-dopant는 각각 Cu와 Al인 것으로 분석되었다. 또한 정량적인 첨가량은 민수용의 경우, Cu가 ZnS 모체 대비 약 0.03 mol%, Al이 0.04 mol%이고, 군수용의 경우, Cu가 ZnS 모체 대비 약 0.018 mol%, Al이 0.249 mol%로 분석되었다. 이를 바탕으로 실험에 적용할 형광체 분말을 선정하기 위해 입수된 Kasei사의 형광체 분말을 분석하였다. 분말의 크기분포는 비교적 고른 편이며, 입자가 작은 것끼리 응집 (aggregation)이 부분적으로 발생하였다. Green 형광체 분말크기는 3~4 μm 정도이며 EDX로 모체의 주성분을 분석한 결과 역시 Zn와 S이며 미량의 산소는 native oxygen layer인 것으로 XRD에서 관찰할 수 있었다. 또한 dopant의 함유량을 분석하기 위해 ICP 분석을 실시한 결과 Cu의 양은 SLGT의 형광체와 거의 비슷하게 0.015 mol% 검출되었고, Al은 다소 적은 0.040 mol%가 검출되었다. 분말의 크기나 성분 및 조성 등의 분석결과를 비교할 때 Kasei사의 ZnS: Cu,Al 형광체는 SLGT 제조개발에 적용이 가능하다고 판단되었다.

현재, SLGT를 코팅할 수 있는 유리관 도포기 및 소성기를 제작, 완료하였으며, 코팅조건의 확립을 위한 실험 중에 있다.



그림 1. 삼중수소 용용제품

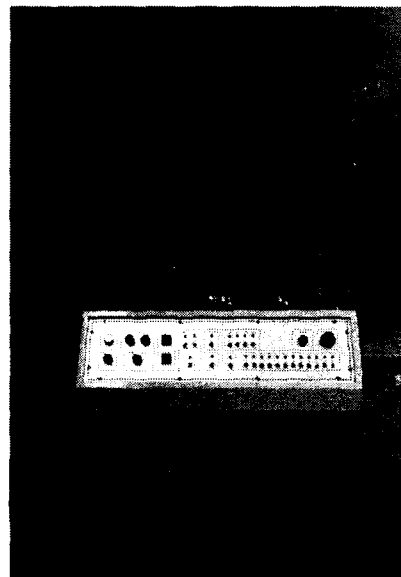


그림 2. 형광체 도포기