

방사성폐기물 운반용기 완충재의 재질 특성 평가

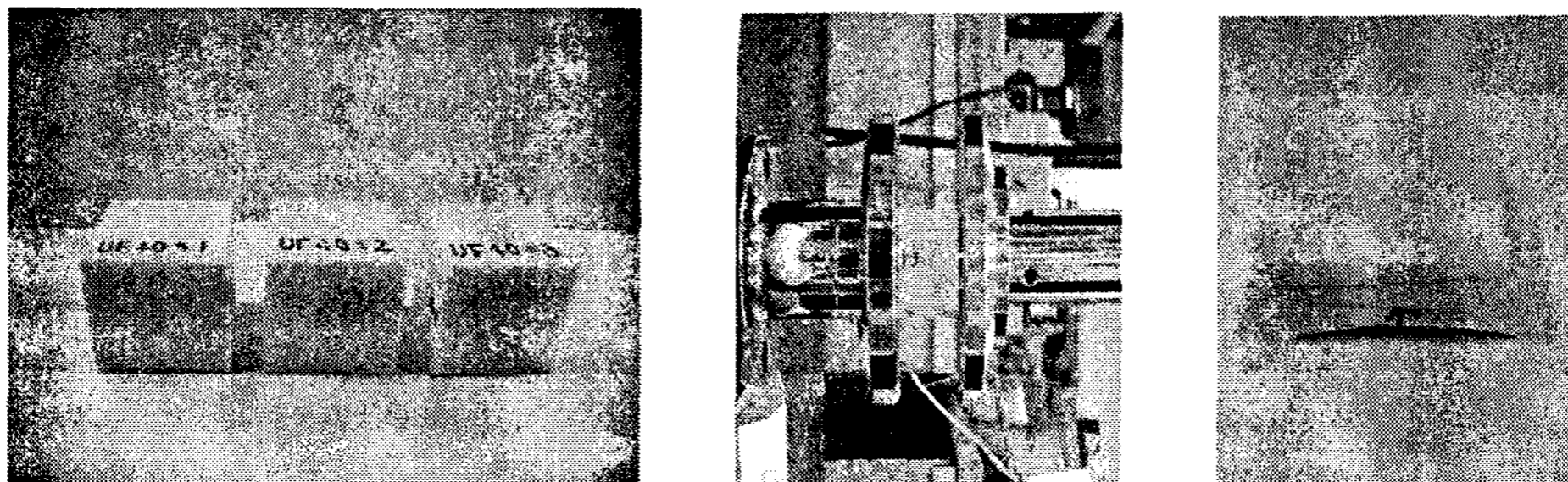
남경오, 이주찬, 방경식, 최우석, 서기석
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
namko@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물 운반용기는 저장용기와는 달리 운송 중 발생할 수 있는 예상치 못한 사고에 대비한 대책이 강구되어야 한다. 이러한 사고에는 화재, 침수, 낙하, 관통, 파열 등 여러 형태의 사고 유형으로 분류될 수 있다. 특히 육상운송 중 차량의 충돌이나 추돌사고로 인한 차량에서의 용기이탈이나 교량에서의 추락, 크레인 인양작업 중 기계고장으로 인한 용기의 낙하 등 운반용기는 다양한 낙하사고에 노출되어 있다. 따라서 운반용기는 이러한 낙하사고조건에서 용기 내부의 방사성폐기물 유출이나 운반용기의 심각한 파손을 방지하기 위한 완충시스템이 구축되어야 한다. 이런 완충시스템은 용기에 직접 적용되거나 용기와 별도의 시스템을 구축하여 결합하는 방식 또는 두 가지 방식을 혼합한 형태로 구분된다. 용기에 직접 적용하는 경우는 용기 내외부 벽 사이에 완충재를 삽입하여 낙하충격 시 외부 및 삽입된 완충재가 충격을 흡수하여 내부 벽의 손상을 방지하는 시스템이다. 외부 완충시스템은 운반용기와는 별도로 충격을 흡수할 수 있는 별도의 충격흡수시스템을 제작하여 용기의 상하부에 장착하여 충격을 흡수하는 시스템으로 낙하사고 시 충격흡수시스템이 충격에너지를 흡수하여 용기손상을 방지하는 시스템이다. 마지막으로 두 시스템을 혼합한 형태로 가장 일반적인 방식이다. 운반용기 및 충격흡수시스템을 모두 갖추고 있어 가장 안전한 방식으로 평가할 수 있다. 이런 충격흡수시스템은 다양한 재질의 완충재를 사용하게 되는데 우레탄 폼, 나무, 에어 룸(air room), 허니콤 등이 주로 사용되고 있다. 특히 완충시스템을 설계하기 위해서는 운반용기 시스템에 가장 적절한 완충재를 선정하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 완충재의 재질별 특성 평가가 이루어져야 한다. 그러나 아직 국내에서는 이런 완충재질에 대한 특성평가가 매우 미흡한 현실이다. 본 연구에서는 방사성폐기물 운반용기에 사용되는 완충재 재질에 대한 재질 특성 시험을 수행하였다. 본 연구결과는 완충재 선정 및 차후 해석을 위한 자료를 도출하기 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 시험 및 결과

방사성폐기물 운반용기의 충격흡수시스템에 일반적으로 적용되는 발사 우드(Balsa wood), 우레탄 폼(urethane foam), 허니콤(honeycomb) 등에 대한 정하중 압축시험을 수행하였다. 우레탄 폼은 밀도가 각각 24, 26, 40 kg/m^3 인 시편을 준비하였다.(Fig 1. (a)참조) 압축속도는 5 mm/sec 이며 데이터획득속도는 2 msec으로 설정하였다.(Fig1 . (b), (c)참조)

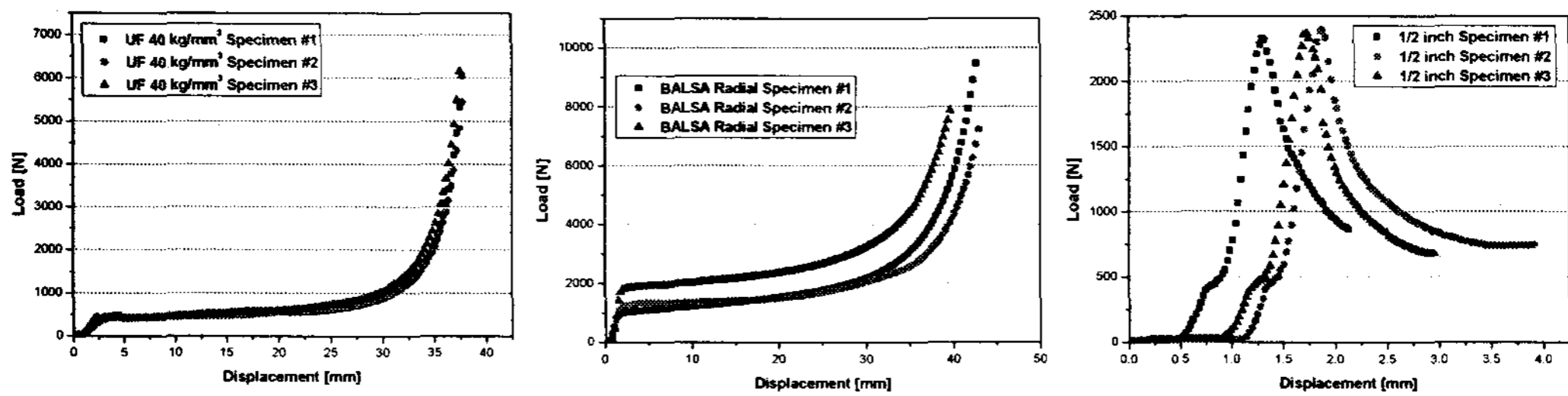


(a) Density 40 kg/m^3 specimen (b) Compression test (c) After the test

Fig 1. Compression test of the urethane foam

발사 우드의 경우 나무라는 특성상 나이트의 방향에 따라 재질의 특성이 모두 다르다. 따라서 압축시험도 이런 방향성을 고려하여 수직, 반경 그리고 접선방향의 압축시험을 모두 수행하였다. 허니콤의 경우 격자모양의 간격에 따라 재질특성이 달라진다. 따라서 본 시험에서는 격자모양의 간격이 1/4, 1/2 그리고 1 인치인 허니콤에 대한 압축시험을 수행하였다. 압축속도와 데이터 획득 속도는 우레탄 폼과 동일하게 설정하였다. 시편 크기는 50 mm의 정육면체 형상으로 제작하였고, 허니콤의 경우 상하부면에 판재를 접착하였다.

밀도 40 kg/m^3 우레탄 폼의 정하중 압축시험 결과에서 변위가 약 2.6 mm까지 변형될 때까지는 하중이 선형적으로 변화하여 약 500 N까지 하중이 증가하였다. 그러나 이후 변위가 25 mm까지 하중의 변화 없이 변위만 증가하는 강소성 특성을 보이다가 그 이상 변위가 증가하게 되면 하중은 비선형적으로 크게 증가하는 경향을 보였다.(Fig 2. (a)참조) 이는 밀도가 24, 26 kg/m^3 인 시편에서도 비슷한 양상을 보였다. 발사 우드의 경우 반경 및 접선방향의 시편에서는 우레탄 폼과 동일하게 일정한 변위까지는 선형적인 하중 증가를 보이다가 그 이상 변위가 증가할 경우 하중은 더 이상 크게 증가하지는 않았다. 그러나 약 30 mm 이상 변위가 증가하게 될 경우에는 하중이 비선형적으로 증가하는 경향을 보였다.(Fig 2. (b)참조) 그러나 수직방향의 발사 우드 압축시험에서는 이와는 달리 일정 변위동안 하중이 증가하다가 더 이상의 하중 증가 없이 변위만 진전되는 경향을 보였다. 허니콤 시편의 압축시험에서는 다른 시편과는 달리 변위가 어느 정도 진전되는 동안에도 하중이 증가하지 않았다. 이 후 일정 변위에 도달하게 되면 하중은 급격하게 증가하는 경향을 보이다가 약 2400 N에서 다시 급격하게 감소하는 경향을 보였다.(Fig 2. (c)참조)



(a) Urethane foam 40 kg/m^3 (b) Balsa radial direction (c) Honeycomb 1/2 inch size

Fig 2. Results of the Compression test

3. 결론

방사성폐기물 운반용기의 완충시스템은 운반경로, 운반용기의 형상, 사고조건, 중량, 운송종류 등 다양한 외부 설계변수에 따라 재질의 선정이나 배치, 형상, 두께가 결정되어야 한다. 특히 기술한 설계변수에 따른 재질의 선정에 있어서 완충재의 특성 평가를 통해 가장 적합한 완충 재질 선정이 이루어져야 한다. 본 정하중 압축시험을 통해 우레탄 폼, 발사 우드, 허니콤 등의 충격흡수를 위한 완충재의 변형거동을 확인할 수 있었다. 또한 본 시험 데이터는 수치해석을 위한 물성 데이터로 활용할 수 있을 것으로 판단되며 추후 동하중 압축시험을 통한 동적거동 특성 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.