

위험물 수송 탱크 차량의 국내외 안전기준 비교 연구-유류 차량 중심 A Study for the Safety Regulation of Tank Car for the Hazardous Material - General Oil Tank Car

김재훈[†] · 구병춘

Jae-Hoon Kim[†] · Byung-Chun Goo

한국철도기술연구원

(2007. 8. 10. 접수/2008. 11. 6. 채택)

요 약

최근 들어 철도차량 안전과 관련하여 국내에서 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만 대부분의 연구는 여객을 수송하는 일반 객차, 전동차, 고속열차 등을 중심으로 행해지고 있으며, 화물 특히 위험물 수송 화물차량에 대한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 위험물질을 수송하는 탱크차의 안전기준을 개발하기 위하여 유류를 중심으로 국내외의 관련된 안전기준을 비교 분석하여 국내 위험물 수송 탱크차 안전기준 개발의 기초를 마련하고자 한다.

ABSTRACT

Recently, there are so many studies related safety of railway vehicle. But these studies are focused on the passenger car, metro system and high speed train. However, the leakage of hazardous materials may contaminate the environment and cause terrible damage to the ecology, even the human and properties. And so, Safety and security have been already established in many countries, currently they are investing lots of money on the development of technology to prevent accidents. Therefore it is necessary to make a systematic plan and develop safety specifications. In this study, we compared between domestic and international general oil tank car safety regulations for the hazardous materials, and prepare the basic for the making of systematic safety plans and safety regulations for the transport of hazardous materials by tank car.

Keywords : Hazardous material, Tank car, Safety regulations

1. 서 론

최근 들어 철도차량 안전과 관련하여 국내에서 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만 이와 관련된 대부분의 연구는 여객을 수송하는 일반 객차, 전동차, 고속열차 등을 중심으로 행해지고 있으며, 화물 특히 유류 등 폭발 및 독성을 지닌 위험물 수송 화물차량에 대한 연구는 전무한 실정이다.

위험물질의 누출은 환경을 오염시키고 생태계를 파괴할 뿐만 아니라, 누출된 지역의 인명 및 재산에 심각한 손실을 초래할 수 있다. 특히 국내의 경우에는 화물열차가 대단위 주택가나 아파트 등 주거지역을 통과하는 사례가 많아 상대적으로 더 큰 위험에 노출되어

있다고 볼 수 있다. 따라서 이에 관한 충분한 대비가 필요하다. 이와 관련하여 선진국의 경우 위험물질 수송에 대한 안전대책은 가장 중요한 안전정책 분야로 취급하고 있으며, 많은 국가에서 이미 안전체계구축이 완료되어, 현재는 안전성 향상을 위한 구체적인 기술 개발 연구가 진행되고 있다.

따라서 국내의 경우에도 위험물 수송 화물차량의 충돌, 전복, 탈선, 화재 등 여러 조건에서 발생할 수 있는 위험요소를 줄이고 안전성을 제고하기 위해 선진국 수준의 안전기준 제정을 서둘러야 할 시점이다.

본 연구에서는 위험물질을 수송하는 탱크차의 안전기준을 개발하기 위하여 유류를 중심으로 국내외(미국 안전기준 중심) 관련된 안전기준을 비교 분석하여 국내 위험물 수송 탱크차 안전기준 개발의 기초를 마련하고자 한다.

[†]E-mail: lapin95@krii.re.kr

2. 철도위험물 수송용 탱크차 안전기준 분석

2.1 국내 위험물 수송용 탱크차 안전기준체계

국내의 철도 위험물 수송 안전에 관련된 규정은 그림 1과 같이 철도안전법 제43조, 제44조(위험물의 운송) 및 철도안전법 시행령 제45조(운송취급주의 위험물)에 규정되어 있다¹⁾. 하부 법령으로서 “위험물 철도 운송규칙”에서는 운송 취급주의 위험물 종류와 위험물 포장 및 적재, 위험물 운송 및 안전조치 그리고 철도 차량 연결에 대하여 규정되어 있다²⁾.

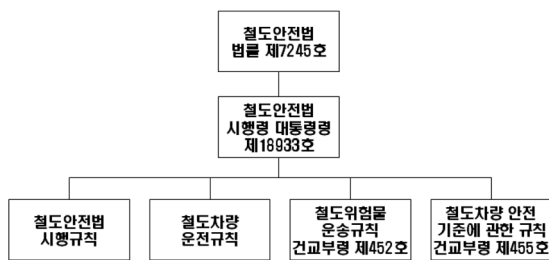


Figure 1. Safety regulation related domestic hazardous material transportation tank car.

위험물의 저장, 취급 및 운반과 이에 따른 안전관리에 관한 사항으로는 위험물 안전관리법, 위험물 안전관리에 관한 규칙 및 시행령에 규정하고 있지만 항공기, 선박, 철도 및 궤도에 의한 저장, 취급 및 운반에 있어서는 적용하지 않고 있다^{3,4)}. 하지만 국내의 경우에는 철도안전법 내에서도 아직 위험물 수송용 탱크에 관한 안전 및 제작 규격은 없으며, 다만 차량 제작사양서에 일부 내용이 제시되어 있다. 또한 위험물을 수송하는 육상차량 고정용 압력용기에 대하여 고압가스 안전관리기준통합고시 등이 규정되어 있다⁵⁾.

2.2 국외 철도위험물 수송용 탱크차 안전기준 체계

미국의 위험물 수송용 탱크차에 관련한 안전기준은 크게 미국법률(US Code), 이에 따른 세부시행 규정인 미국연방규정(Code of Federal Regulation, 이후 CFR)으로 구분되어져 있다. 또한 이러한 미국철도 안전기준의 제정 및 개정에 관한 전반적인 업무는 미국연방철도국(Federal Railroad Administration, FRA)에서 맡고 있다. 미국 법률인 US Code에서는 위험물 수송용 탱크차에 대하여 Title 49-Transportation 하위의 Subtitle III-General and Intermodal Program 중 Chapter 51-Transportation of hazardous material 의 “Section 5111-rail tank cars”에 규정되어 있다⁷⁾. 그 규정된 내용은 다

음과 같이 “상업적인 위험물(hazardous material) 수송용으로 공기제동장치(air brake)가 장착된 탱크차는 미국연방규정 CFR49-Transportation 하위의 Part 179 Specifications for tank cars; 179.100-16에서 179.200-19를 따라야 한다”고 명기 되어 있다. CFR49의 연방 위험물 기준 내에는 위험물 프로그램 과정, 누유방지 절차, 위험물 운송과정, 위험물 포장, 표기 등의 기준 및 규정이 자세히 정의되어 있다. 특히 위험물 수송용 탱크차에 관련된 세부규정은 CFR49-Transportation 하위의 Sub-title B의 Part 179 Specifications for tank cars에 규정되어 있다⁸⁾. 그리고 그림 2에 위험물 수송용 탱크차와 관련 미국 안전기준 구조를 도식화하여 설명하였다.

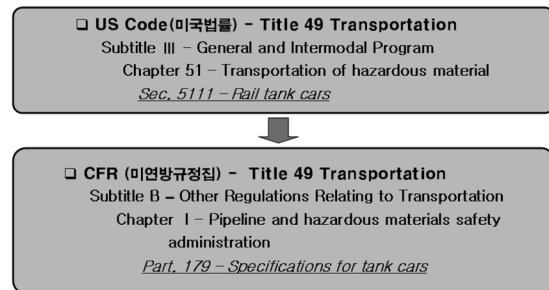


Figure 2. Safety regulation related U.S.A. hazardous material transportation tank car.

미국의 탱크차 종류를 살펴보면 일반화물, 특수화물, 위험물 수송용을 포함하여 크게 DOT(Department of Transportation) 계열과 AAR(Association of American Railroad) 계열로 나누어지며, 1984년 기준으로 134종류(DOT 계열 103종, AAR 계열 31종)의 탱크차가 생산되어 운행되고 있다⁹⁾. 이 중에서 본 연구의 대상이 되는 유류 운반용 위험물 수송 탱크차의 종류는 위험물 종류별로 아래 표 1과 같이 대표될 수 있다. 이때, DOT111A 계열의 탱크차는 비압력 tank이며, DOT105A, DOT112A는 압력 tank이다^{10,11,12)}.

2.3 국내 철도위험물 수송용 탱크안전기준 내용

앞에서 언급한 것과 같이 철도 위험물 수송용 탱크차와 관련하여 국내 안전기준은 현재 전무한 실정이다. 다만 위험물을 수송하는 육상차량 고정용 압력용기에 대하여 고압가스안전관리기준통합고시 등이 규정되어 있으며, 이외 철도차량용 위험물 수송용기 제작 사양서에 일부 안전장치가 요구되어 있다.

고압가스 안전관리기준 통합고시에 나와 있는 육상차량용 고정 탱크의 요구조건은 설계 및 가공, 안전장

Table 1. U.S.A. tank car classified hazardous material

Hazardous material	Tank specimens	Type
GENERAL SERVICE (Gasoline, Diesel)	DOT111A100W1	non-pressure
MOLTEN SULFUR	DOT111A100W1	non-pressure
SULFURIC ACID	DOT111A100W2	non-pressure
ASPHALT	DOT111A100W1	non-pressure
HYDROCHLORICACID	DOT111A100W5	non-pressure
CHLORINE	DOT105A500W	pressure
CARBON DIOXIDE	DOT105A300W	pressure
VINYL CHLORIDE - MONOMER/LPG	DOT112A400W	pressure
LPG/AA	DOT105A400W DOT112A400W DOT112A340W	pressure

치 등으로 다음과 같다⁵⁾. 탱크의 설계 및 가공 요구조건에는 용접방법, 재료, 열처리 등이 정의되어 있다. 용접방법으로 탱크의 길이이음 및 원주이음은 맞대기 양면용접이 규정되어 있으며, 초저온 저장탱크의 경우 원주의 반지름에 있어서 맞대기 양면용접으로 실시가 곤란할 경우, 맞대기 단면 용접을 하도록 규정되어 있다. 또한 탱크의 재질로는 KS D 3521 압력용기용 강판, KS D 3541 저온 압력용기용 탄소 강판, 스테인레스 강 또는 이와 동등이상의 기계적 성질 및 가공성 등을 갖는 재료를 사용하도록 명기되어 있다. 다만 용접을 하는 부분의 탄소량은 탄소함유량이 0.35% 미만인 것을 사용하도록 되어 있다. 탱크는 용접을 마친 후 열처리를 하도록 요구하고 있으며, KS B 0883 용접부의 노내 응력 제거 방법 규정에 따라 625±22°C에서 열처리를 해야 한다. 또한 고압가스 안전관리기준 통합고시에서 요구하는 탱크 안전장치로는 안전밸브와 긴급차단밸브, 액면계와 압력계 등이 있으며 각각의 기준은 KS 기준을 따르도록 되어 있다.

이와는 별도로 철도 위험물 수송용 탱크차와 관련하여 유류 수송차량은 “차량제작 사양서”에 일부 안전장치가 요구되어 있다⁶⁾. “차량제작 사양서” 내용은 (1) 적용범위, (2) 일반사항, (3) 사용조건, (4) 기술사항, (5) 시험 및 검사, (6) 기타사항 항목으로 구성되어 있으며, 이중 (4)항 기술사항에 “4.1 차체 중 탱크의 재료 및 치수”, “4.2 탱크설비”, “4.3 하화설비 등 유류 수송차량에 대한 제작안전기준” 등이 제시되어 있다.

2.4 위험물 수송차량의 안전기준 분석(유류차량 중심)

유류 수송차량의 안전기준 분석은 앞에서 언급한 국내 유류 운송용 탱크차 “제작사양서”와 미국 CFR 규

Table 2. Major index of oil tank car for domestic light oil transportation

하중	약 50 톤
자중	약 22 톤
총하중	약 22 톤
용적	약 55 m ³
차체길이	11,090 mm
대차중심간거리	7,800 mm
차체높이	4,335 mm
차체폭	2,950 mm
고정축거	1,800 mm

격을 이용하여 수행하였다^{6,8)}. 국내에서 운행 중인 유류 수송량은 대부분 구 철도청에서 발주한 차량들로서 철도청에서 운용할 최고속도 120 km/h 운행에 적합한 경질유 수송용 유조차이며, 주요 제원은 표 2와 같다. 앞에서 언급한 것과 같이 철도 위험물 수송용 탱크차와 관련하여 국내 안전기준은 현재 빈약한 실정이다. 다만 유류 수송차량에 대해서는 “차량제작 사양서”에 일부 안전장치가 요구되어 있으며, 이외 탱크 및 기타 장치를 제외한 부분에 대해서는 위험물 수송 화물차량 뿐만 아니라 일반 기관차, 객차, 전동차 등과 동일하게 “도시철도 차량안전기준에 관한 규칙”과 “철도차량 안전기준에 관한 규칙” 등을 따르고 있다. 이밖에도 국유철도건설규칙, 철도 관련법규, 구 철도청 등이 지급 또는 승인한 도면 및 부품설명서 등에 따르고 있다. 또한 제작방법, 부품규격, 검사, 시험방법, 도면 등은 KS, KRS, AAR, ASTM, JIS, UIC의 규격 순으로 따르도록 규정하고 하고 있다.

Table 3. Comparison of domestic and abroad safety regulation of hazardous materials transportation tank car-in oil tank car

항목	현재의 안전기준 (제작사양서 기준)	안전기준 분석 (미국 안전기준과 비교검토)
탱크	(탱크 일반 개요) - 차체프레임 기능을 갖고 중앙 하부로 경사진 단면을 가진 탱크에 상부에는 적재설비를 포함한 돔과 하부에 하화설비를 설치하여야 하고, 하부에서도 적재가 가능(Bottom loading)하여야 하며, 차량 양측에서 돔 상부로 오르내릴 수 있는 사다리를 설치하여야 한다.	- (§ 179.200-3) 탱크는 단면이 원형이어야 하고, 돌출부가 외부로 향하도록 설계된 헤드를 형성하여야 한다. 규정 될 경우, 그 탱크는 적어도 하나의 맨웨이 또는 맨웨이를 가진 하나의 확장 돔을 가지고 있어야 하고, 탱크가 콤팩트먼트로 구획될 경우 각 콤팩트먼트는 분리된 탱크로 취급되어야 한다.
	(탱크 형상) - 탱크는 중앙하부로 경사진 구조로 프레스 가공하여 전체를 용접구조로 시공하며, 사용재료 및 탱크치수는 다음과 같다. 사용재료: 내후성열간압연강재 (SMA50C) 탱크길이: 10,500 mm 탱크내경: 경관부 2,500 mm, 중앙부 2,800 mm	- (§ 179.200-8) 모든 외부 탱크 헤드는 주축이 외관의 직경과 동일하고 보조 축은 주축의 절반 길이에 해당하는 타원 회전형이어야 한다. (b) 내부 구획별 탱크 헤드는 2:1 혹은 3:1 타원형이거나 또는 규정하는 두께로 플랜지를 붙여 접시형 헤드 모양을 할 수도 있다.
	(탱크 재질 두께) - 없음	- (§ 179.200-6) 3:1 타원 헤드 형성 후 벽의 두께는 규정된 것(7/16 인치) 이상이어야 하고 다음 식에서 계산된 값 이상이어야 한다. $t = Pd/2SE \times 1.83$ d=내부 지름(인치) E=0.9 용접 조인트 효율; 단 용접선이 없는 헤드에 대해서는 E=1.0 P=최소 폭발 압력 (psig) S=규정된 판 자재의 최소 장력 (p.s.i.) t=형성 후의 판의 최소 두께 (인치)
	(용접) - 용접될 부분의 표면은 녹, 페인트, 그리스 및 기타 이물질들을 깨끗이 제거한 후 용접하여야 하며 용접 후에는 용접 결함이 없도록 후처리를 하고 용접작업 기준은 KS에 따르며 상세 용접작업설명서를 별도로 제출하여 승인을 받아야 한다.	- (§ 179.200-10) (a) 모든 지점은 AAR 탱크차 명세서 부록W 요건을 준수하여 퓨전웰딩 되어야 한다. 용접 공정, 용접원 및 조립자는 승인을 받아야 한다. (b) 연성 강철 또는 가단주철 부속물에 대한 용접은 허용되지 않음.
	(용접 후 열처리) - 없음, 국내 제작사 확인결과 현재 열처리 하지 않음.	- (§ 179.200-11) 용접이 끝난 후 열처리는 규정된 경우 AAR 탱크차 명세서 부록 W 요건을 준수하여야 한다. - (§ 179.201-5) (a) 탱크 및 탱크에 용접으로 부착된 기물은 예외를 제외하고는 하나의 단일체로서 취급하여 적절한 온도에서 용접 후 열처리를 받아야 한다.

Table 3. Continued

항목	현재의 안전기준 (제작사양서 기준)	안전기준 분석 (미국 안전기준과 비교검토)
안전 장치	(연결기) - AAR E형으로 윤곽 10A번이며, 상크 159 mm×203 mm, 재료 AAR - M211 C급으로 한다.	- (§ 179.14) (a) 각각의 탱크차는, 다음의 수직 억제 능력을 가진 연결기가 장착되었거나 혹은 장착되지 않은 차량에 설치되었을 때 이탈이나 고장 없이 상향 및 하향 방향 조합이 적용된 적어도 200,000 파운드의 수직 하중(90,718.5 kg)을 완충하중 2,000 파운드(907.2 kg)와 더불어 지탱할 수 있는 연결기를 장착해야 한다. (d) 공인된 연결기는 섹션 (c)항의 시험 검증을 대신한다.
	(탱크 전두부 펑크 저항 장치) - 없음.	- (§ 179.16) (a) 탱크 전두부 펑크 저항 장치는 화물의 소실이 전혀 없이, 상대 차량 속도 29 km/hour (18 mph)에서 연결기 대 탱크 전두부 충격을 지탱할 수 있어야 한다. (1) 충돌차량의 무게는 적어도 119,295 kg (263,000 파운드)로 한다. (2) 충돌 받는 탱크차는 총중량 217,724 kg (480,000 파운드) 이상이 되는 하나 이상의 백업카와 연결되어 있고, 마지막 “백업”카에는 핸드브레이크가 적용되어 있다. (3) 충돌 받는 탱크차는 적어도 6.9 Bar (100 psig)로 가압되어 있다. (c) 대체안으로 탱크차의 각 말단에 전체 탱크 전두부 보호실드 또는 전체 탱크 전두부 재킷을 장착함으로써 충족시킬 수 있다: (1) 전체 탱크 전두부 보호실드 또는 전체 탱크 전두부 재킷은 적어도 1.27 cm (0.5 inch) 두께, 탱크 헤드 외형에 맞는 모양, 379.21 N/mm ² (55,000 psi)을 초과하는 인장 강도를 가진 철재로 제작되어야 한다.
시험	(탱크 수압시험) 탱크의 수압시험은 각 탱크 부속품을 완전히 취부한 후 3.5 kg/cm ² 이상의 수압시험을 10분간 시행하여 누설이나 변형이 전혀 없어야 하며, 완성 탱크의 내부는 녹을 완전히 제거한 후 깨끗이 청소하고 에폭시 코팅처리를 하여야 한다.	- (179.200-22) (a) 각 탱크는 탱크 및 돔 또는 노즐을 물 또는 다른 비슷한 점성의 액체로 완전히 채우고, 시험 중 100°F를 초과하지 않는 온도에서 100 psi 압력을 적용해 실시해야 한다. 탱크는 누출 또는 피로의 징후 없이 최소 10분 동안 앞에서 설명한 압력을 유지해야 한다. 시험을 실시할 때 안전 릴리프 밸브나 안전 벤트를 제외하고, 모든 리벳과 차단기가 설치되어 있어야 한다. (b) 절연 탱크는 절연을 적용하기 전에 시험해야 한다. (c) 고무 내장 탱크는 고무 내장을 적용하기 전에 시험해야 한다. (d) 앞서 말한 시험 중 나타나게 되는 누출을 방지하기 위해 용접 접합부의 틈을 막는 것은 금지된다.

미국의 경우 유류 수송차량을 이용해서 수송하는 물질 중 대표적인 것은 가솔린(Gasoline)과 디젤(Diesel)이며, 이중 가솔린은 UN ID는 UN1203, Package group II의 midium danger에 해당하는 물질로서 미국 CFR 172.101 Hazardous materials table 분류 중 Class 3 (flammable and combustible material)에 해당한다. 또한 디젤은 UN ID 1202, Package group III의 minor danger에 해당하는 물질이며, 가솔린과 동일하게 CFR 위험물 분류 중 Class 3에 해당한다. 일반적으로 Class 3의 flammable 물질인 경우 인화점이 60.5°C 이하 37.8°C 이상, combustible 물질인 경우 인화점이 60.5°C 이상 93°C 이하로서, 해당 인화점 이상의 온도에서 운송되는 경우이다. 또한 가솔린과 Diesel 등 유류물질이 철도차량 탱크에 의해 대량(bulk)으로 운반될 경우에는 AAR 차량형식 111A100W1을 이용해서 운반되도록 규정하고 있다⁸⁾.

도면검토 및 제작업체 조사결과 국내 유류탱크차량은 미국의 AAR 형식의 탱크차량과 매우 유사하며, 이에 따라 본 연구에는 국내 유류운반 수송차량과 미국 AAR 형식 111A100W1의 비압력 탱크차량을 기준으로 탱크와 안전장치, 시험 등 다음 표 3과 같이 위험물 수송용 탱크차의 안전기준을 비교 분석하였다.

비교결과, 국내 유류차량 제작기준과 미국 CFR 기준은 유사한 유류 운반 화물차량의 경우에도 기준 내용이 상이한 것으로 확인되었다. 가장 큰 차이점은 국내의 경우, 유류차량이 단일 종류이기 때문에 한 차량에 특화되어 규정하고 있지만, CFR의 경우에는 유류 수송용 AAR 형식 111A100W1의 비압력 탱크차량의 경우에도 다양한 용량을 갖는 여러 종류의 차량이 존재하기 때문에 이들을 고려한 안전기준을 제정하여 사용하고 있다. 또한 국내 제작기준의 경우, 사용자의 운영 측면에 주 관점을 두어 규정된 것으로 판단이 되나, CFR의 경우에는 사용자의 운영 측면 뿐만 아니라, 차량의 운영상 안전을 고려한 기준들이 포함되어 있다. 예로, 국내의 경우 제작사양서에도 유류 탱크 두께에 관한 규정 없이, 제작사의 책임으로 탱크 두께를 정하고 있으나, CFR의 경우에는 형상에 따른 최고 장력 및 폭발 압력 등을 고려한 “탱크 성형 후의 재질 최소 두께” 기준이 규정 되어 있다. 또한 안전장치 측면에서도 국내 차량에는 없는 “탱크 전두부 펑크 저항 장치”에 대한 기준을 마련하여 혹시 발생할지 모르는 탱크 충돌 사고에 있어, 연결기 등 외부충격에 의해 탱크의 전두부가 파손되어 운송물이 유출되는 사고를 방지하고 있다. 이외에도 탱크 전체에 대한 열처리를 의무화해 잔류응력 감소로 인한 탱크 안전성 향상 등 다양한

안전 기준 등을 규정하고 있다. 따라서 이러한 기준들은 국내 유류차량의 경우에도 필수적으로 규정되어, 적용 가능할 것으로 판단된다. 그리고 탱크의 수압시험 기준에 있어서도, 국내 제작사양서와 미국 CFR 기준은 동일한 수압시험을 요구하고 있으나, 그 실험값에 차이가 있어, 현재 국내에서 요구하고 있는 압력값은 3.5 kg/cm²로 미국 시험값 100 psi(약 7.0 kg/cm²)의 절반에 해당한다.

3. 결 론

본 연구에서는 위험물질을 수송하는 탱크차의 안전 기준을 개발하기 위하여 유류 탱크차를 중심으로 국내의 안전기준과 국외의 안전기준을 비교 분석하였다. 분석 결과 국내 위험물 수송용 탱크차의 경우에는 탱크 형상 및 탱크 수압시험 등 일부부분에서는 안전기준이 마련되어 있으나, 최근 안전을 강화하는 국제적인 환경에 비추어 아직도 많은 부분이 제작사의 몫에 맡겨진 것으로 판단된다. 특히 국내 지형적인 특성상 위험물질을 수송하는 탱크차량이 대단위 주택가나 아파트 주변 등 주거지역을 통과하는 사례가 많기 때문에 이를 고려하여 국내 위험물 수송용 탱크차 제작 및 시험, 안전장치 등에 있어 현재 보다 강화된 안전규정을 갖추어 강제할 필요가 있다고 판단되며, 이와 관련된 계속적이고 심도 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 철도 안전법 제43조, 제44조, 제45조
2. 위험물 철도 운송 규칙
3. 위험물 안전 관리법
4. 위험물 안전에 관한 규칙
5. 고압가스 안전관리 기준 통합 고시-육상차량 고정용 압력용기
6. 유류 운송용 화물차량 제작 사양서, 구 철도청
7. US Code-Title 49 Transportation
8. Code of Federal Regulation- Title 49 Transportation; Part 179-Specifications for tank cars
9. AAR Manual of standards and recommended practices section C-III, Specifications for tank car
10. UTLX Tank Car Manual, 1996, Union Tank Car Company
11. GATX Tank Car and Freight Car Manual, 1994, General American Transportation Corporation
12. Trinityrail, 2005, Updates to Standard Tank Car Specifications