

진공 기술을 이용한 유증기 회수 기술

주장현

최근의 연료 품질과 엔진 기술의 엄청난 발전에도 불구하고, 도심에서의 공기 오염은 여전히 자동차같은 이동 수단에 의해 대부분 발생한다. 대기 환경 오염에 대한 다른 주요 요인들은 주유소, 공정에서 솔벤트를 사용하는 산업들, 정유와 쓰레기 매립이다.

이 중에서 석유증기(Petrol vapor) 누설이 주유소에서 공기 오염원들 중 주요 요인의 하나이다. 석유는 3 ~ 11 개의 탄소 원자를 갖는 탄화수소(hydrocarbon)들로 주로 구성된 복잡한 혼합물이다. 주유소 근처의 대기 중에는 수 많은 휘발성 방향족 탄화수소들(VAHs, Volatile Aromatic Hydrocarbons)이 존재하는데 그 이유는 석유를 주입, 상차, 하차 그리고 운반하는 동안 증기들이 배출되기 때문이다. 주요 VAHs는 벤젠, 톨루엔 그리고 크실렌이며 BTX 화합물로 불린다. 벤젠에 집중된 대기로의 BTEX 배출에 관한 연구들에 의하면 전체 배출량에서 운반 과정에서의 배출이 절반 이상을 차지한다. 주유소가 두 번째 요인(20% 미만)이고 산업 분야는 그 비율이 크지 않다. 환경에 위대한 휘발성 유기 화합물들의 배출을 줄이기 위한 탄화수소 증기의 포획과 회수가 현대적인 오일과 가스 생산과 운반에 있어 중요한 관심사이다. 질량 기준의 배출량보다는 회수율(recovery efficiencies)이 원유 배출 규제를 정의하는데 통상 사용되는데 그 이유는 원유 조성의 광범위한 복잡성때문이다. 지구상의 서로 다른 곳에서 생산되는 원유들은 매우 다양한데 어떤 곳은 가벼운 VOC 화합물 함량이 높고 다른 곳은 무거운 화합물 함량이 높은 식으로 서로 다르기 때문이다. 이러한 조성의 차이로 인하여 원유의 가격은 생산지, 즉 조성의 차이에 따라 달라진다.

벤젠은 BTX 그룹 중에서 가장 위대한 화합물로 간주된다. 국제 암연기구(IARC)와 미국 환경보호 기구(USEPA)는 벤젠을 Group A와 CLASS I의 발암 물질로 각각 규정하고 있지만 톨루엔과 사일렌은 이 그룹에 속하지 않는다.

증기 회수 시스템을 설계하는데 있어 취급하는 대상에 대한 명확한 이해가 필수적이다. 이 과정은 회수 대상 분석과 통상 관련있으며 회수 대상 물질의 전체 조성을 확인하고 유증기 회수장치(VRU) 시스템 설계자로 하여금 증기 조성, VOV 농도 그리고 시스템을 통해 배출되는 양을 결정하게 된다.

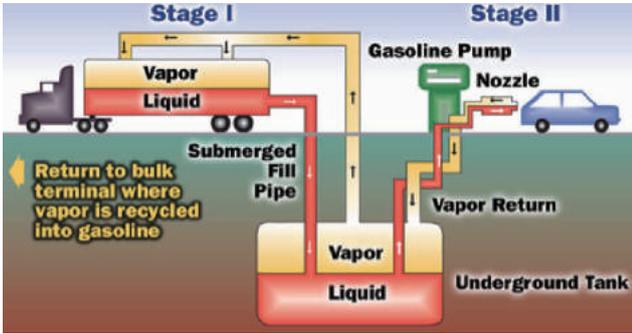
선박 탱크에서 나오는 증기는 vapor header를 지나 회수 장치로 가게 된다. 원유를 처리하는 경우에 증기에는 황 화합물들이 포함되어 있기 때문에, 황에 대한 선택적 흡착제가 들어 있는 pre-filter(quard bed)를 이용하여 dimethyl sulphide, mercaptanes 그리고 H₂S에 대해 VOC 회수 시스템을 보호하게 된다. 증기 중의 황 화합물들은 이런 방식으로 증기 회수 시스템으로 유입되기 전에 제거되어 부식성을 최소화하게 된다.

탄소 진공-재생 흡착(CVA) 시스템은 활성 탄소가 되어 있어 VOCs를 흡착하거나 재생하는 사이클 방식으로 가동된다. 활성 탄소는 매우 큰 표면적을 가지고 있고 탄화수소가 탄소 표면의 매우 얇은 층에 흡착된다. 탄소는 포화 상태가 될 때까지 VOC 탄화 수소의 특정한 양만을 흡착한다. 결과적으로, 탄소는 흡착 능력을 복원하기 위해 재생되며 이로 인하여 다음 사이클에서 탄화수소가 충분히 흡착될 수 있다. 따라서 흡착 용기 내의 탄소는 몇 년 동안



<저자 약력>

주장현 박사는 1996년 연세대학교 물리학과 박사학위를 받고 에드워드 코리아주식회사에 입사하여 현재까지 근무하고 있으며, 2005년 제 1회 반도체 기술 대상 산업자원부 장관상을 수상하였으며 저서로 <진공기술 실무>와 <진공 이해하기>가 있다.
(jh.joo@edwardsvacuum.com)



[Fig. 1] 오일 증기 회수 장비 구분(Stage I과 Stage II)



[Fig. 2] 다양한 형태의 오일 주입 노즐과 오일 증기 회수 구멍

충분한 흡착 능력을 가지는데 통상 7~10년 정도 주기로 교체할 수 있다.

재생은 두 단계로 진행된다. 먼저, bed를 배기하여 탄소 표면에 탄화수소가 탈착될 수 있을 정도의 압력으로 내부 압력을 낮춘다. 많은 양의 탄화수소가 이 단계에서 제거된다. 잔류물이 남지 않도록 하기 위해서는 소량의 퍼지 공기를 공급할 필요가 있다.

재생에 사용되는 진공 펌프는 증기 회수 장치의 크기, 회수 대상 증기 그리고 기계적 사양 등에 따라 액상 밀봉 링 또는 건식 진공 펌프를 쓸 수 있다. 탄화수소 함량이 매우 큰 증기는 진공 펌프 시스템을 거쳐 흡착 용기로 가게 되는데 흡착 용기에서는 적합한 흡착제, 종종 가솔린이나 원유의 역방향으로 대량의 탄화수소가 흡수된다.

저장 용기를 채우는 동안 증기 회수에 사용되는 장비를 Stage I 제어라고 하며 저장 용기에서 자동차에 연료를 채울 때 사용하는 증기 회수 장치를 Stage II 제어라고 한다. 진공-지원 Stage II 시스템은 가솔린 분배 장치 내부에 있는 진공 펌프를 사용하여 각 노즐 끝에 있는 증기 구멍을 통해 증기를 가솔린 저장 용기로 회수한다.

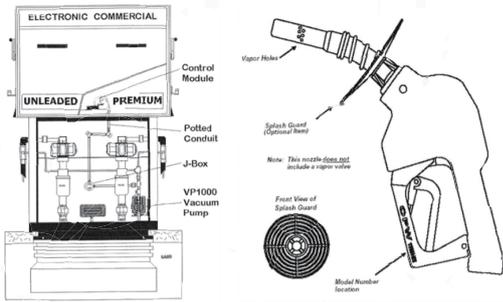
주유소에 가면 휘발유나 경유를 본인 차량의 연료 탱크에 채워 넣을 때, 오일 주입 노즐을 사용하게 되는데 그림 1의 Stage II에서 오일 주입 노즐을 자세히 살펴보면 그림 2와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 다양한 형태로 오일 주입 노즐에 오일 증기 회수 구멍을 만들게 된다. 오일 증기 회수 구멍의 크기, 모양, 개수 등은 휘발유나 경유냐에 따라 달라지는데 그 이유는 두 종류의 휘발성이 다르기 때문이며 아울러 오일 증기 회수에 사용되는 진공 펌프의 용량에 따라서도 달라진다. 그림 2 는 다양한 형태의 오일 주입 노즐과 오일 증기 회수 구멍을 보여 주고 있다.

그림 3은 오일 주입기의 내부 단면을 보여 주고 있으며

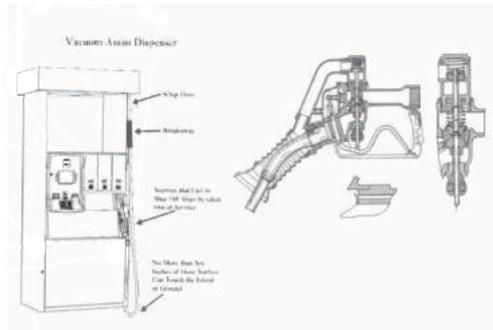
내부에는 오일 저장 탱크에서 오일을 끌어 올리는 펌프와 함께 오일 증기 회수를 위한 진공 펌프가 장착되어 있는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 또 다른 형태의 오일 주입기와 오일 주입 노즐 내부 단면을 보여 주고 있다. 한 가지 주목할 것은 오일 주입기와 오일 주입 노즐을 연결하는 튜브는 정전기가 누적되지 않도록 하기 위해 접지 장치나 땅과 닿을 수 있을 정도로 충분한 길이가 확보되어야 하며, 이는 튜브에 정전기가 대전되는 것을 막기 위한 것이다. 이처럼 환경에 대한 오염과 정전기에 의한 오일 증기 화재/폭발 같은 안전 사고를 막기 위해 오일 증기 회수 장치를 설치하는 것이 필요하지만, 휘발유나 경유를 구매하여 사용하는 사용자 입장에서는 본인의 차량에 주입한 오일의 일부가 증기 형태로 다시 오일 주입기를 통해 주유소 오일 저장 탱크로 돌아 간다는 측면에서 보면 회수된 증기량에 해당하는 금액만큼 주유소에서 돌려 받아야 하는 것일 수도 있다. 한 마디로 ‘내 기름 돌려 주세요’이다

이처럼 진공 기술은 우리 생활 깊이 그리고 우리가 인식하지 못 하고 있는 상태에서 광범위하게 사용되고 있다는 것을 알 수 있다.



[Fig. 3] 오일 주입기 내부 단면과 오일 주입 노즐 (예1)



[Fig. 4] 오일 주입기 내부 단면과 오일 주입 노즐 (예2)

참고 자료 1.

		Enzene, Benzol	Toluene, Methylbenzene	Xylene, Dimethylbenzene, Xylo
이름, 화학식		방향족 탄화수소, C ₆ H ₆	C ₆ H ₅ CH ₃ 또는 C ₇ H ₈	방향족 탄화수소, C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂
외형		맑은 무색 (또는 얇은 노란색)의 액체.	무색 액체	무색 액체
냄새		향기로운 냄새, 가솔린 냄새, 좋은 냄새	달콤한, 자극성 매우 냄새, 벤젠 냄새	약한 단 냄새
분자량(g/mole)		78.11	92.14	106.17
녹는점(°C)		5.5	- 95	- 47.5
끓는점(°C)		80.1	110.6	135 ~ 155
발화	최저한계(LFL)	1.2 %	1.1 %	1.0 %
	최대한계(UFL)	7.8%	7.1 %	7.1 %
자동점화온도(°C)		497.78	480	432 ~ 530(ASTM E659)
Flash point(°C)		- 11.1	4.4	21 ~ 27(close up)
부식성		통상의 금속에 대해 부식성없음	통상의 금속에 대해 부식성없음	통상의 금속에 대해 부식성없음
연소생성물		CO, CO ₂	CO, CO ₂	CO, CO ₂
화재 위험성		MSDS 참고	MSDS 참고	MSDS 참고
폭발 위험성		MSDS 참고	MSDS 참고	MSDS 참고

참고 자료 2. BTX의 반응성과 폭발성

	Benzene	Toluene, Methylbenzene	Xylene, Dimethylbenzene, Xylo
피해야 할 조건	<ul style="list-style-type: none"> • Heat, sparks, open flames and ignition sources(정전기 포함) • 증기 누적(vapor accumulation) 	<ul style="list-style-type: none"> • Heat, sparks, open flames and ignition sources(정전기 포함) • 증기 누적(vapor accumulation) 	<ul style="list-style-type: none"> • Heat, sparks, open flames and ignition sources(정전기 포함) • 증기 누적(vapor accumulation)
피해야 할 물질	<ul style="list-style-type: none"> • 산화제, 질산(nitric acid), 불화물(fluorides), perchlorates • Iodine heptafluoride, Dioxygenlyl tetrafluoroborate 	<ul style="list-style-type: none"> • 산화제, strong alkaline, strong acid ⇒ 발열 반응(exothermic reaction) 	<ul style="list-style-type: none"> • 산화제, strong alkaline, strong acid ⇒ 발열 반응(exothermic reaction)
폭발 / 화재 위험성	<ul style="list-style-type: none"> • 상온에서 소량의 benzene 에 작은 입자들을 첨가하는 경우 점화될 수 있음. • Sodium peroxide와 접촉하는 경우 점화 • Powdered chromic anhydride와 접촉시 점화 • Hydrogen+Rene nickel, bromine trifluoride(BrF3)와 강렬하게 반응. • Benzene 증기 + 염소(Cl₂)와 빛(light)로 인하여 폭발. • Bromine pentafluoride(BrF₅), Cl₂, ClF₃, diborane, 질산, nitryl perchlorate, 액체 산소, O₃, silver perchlorate와 폭발적으로 반응 • Trichlorotrifluoroethane 안에서 Benzene + pentafluoride과 methoixde가 있는 경우 폭발 • MSDS 참고 	<ul style="list-style-type: none"> • Open flame, spark, heat 들이 있을 때 폭발성있음 • 공기와 함께 폭발성 혼합체 형성. • 증기가 점화원(ignition source)에 닿으면 flash back하게 됨. • 1,3-dichloro-5,5-dimethyl-2,4-imidazolididione, dinitrogen tetraoxide, cocentric nitric acid, sulfuric acid+nitric acid, N₂O₄, AgClO₄, BrF₃, WF₆, sulfur dichloride 등과 폭발적으로 반응. • Trtranitromethane과 함께 폭발성 혼합체 형성 • MSDS 참고 	<ul style="list-style-type: none"> • Open flame, spark, heat 들이 있을 때 폭발성있음 • 공기와 함께 폭발성 혼합체 형성. • 용기내에서 가열되는 경우 폭발할 수 있음. • 증기가 점화원(ignition source)에 닿으면 flash back하게 됨. • 가열되면 폭발적으로 폴리머화됨. • Chlorinate xylene with 1,3-Dichloro-5,5-dimethyl-2,4-midazolidindione (dichlorohydrantoin) ⇒ 강한 폭발 • MSDS 참고