

Reynolds값이 낮은 유수 분리기

HD Q-PAC®의 사용 결과가 Stoke의 법칙의 예상치보다 우월

개념

유수분리기는 통상 Stoke의 법칙을 사용하여 설계됩니다. 그러나, HD Q-PAC®을 기름 흡착 매체로서 사용한 유수분리기의 현장에서의 성능은 Stoke의 법칙에 의해 예측된 것보다도 좋았습니다. 이런 현상은 HD Q-PAC®을 통과하여 흐르는 층류에서의 매우 낮은, 100 이하의 Reynolds값에 의하여 이론적으로 설명될 수 있습니다.

소개

전 세계적으로 많은 나라에서 뿐만 아니라, 미국에서 대부분의 Class 1 유수분리기들은 미국 석유 연구소 고시 421¹에 주어진 지침들에 따라 설계됩니다. 폭풍우 처리 시에는 미국에는 국가 효율 표준이 없습니다. 지방의 수자원 관리 당국들이 필요한 배출수의 품질을 통상 규정하며, 대부분 10~5mg/L의 범위입니다. API 421이, 많은 연구 기관들⁵뿐만 아니라, 여러 주, 지방, 연방 정부들^{2,3,4}이 발행한 규제 고시집에서 자주 인용됩니다. 그 결과, 유수 분리기 제조하여 판매하는 많은 회사들은, 이 표준^{6,7,8}을 기준으로 자기의 유수 분리기들을 설계합니다. API 421은, 45°~60° 경사진, 3/4"(19mm)~ 1.5"(38mm) 이격의 기우러진 판들과 60미크론 이상의 방울들 제거를 규정하고 있습니다. API 421은 유수 분리기의 출측물의 품질을 규정하지 않고, 배출수 안에 50mg/L의 기름 성분이 존재하는 것을 추천합니다. API 421은 또한, Reynolds값(N_{Re})을 거론하지 않습니다. 그러나, 500이하의 N_{Re}값은 유수분리기에서는 산업계 전반에 공통된 하나의 설계 계수입니다. 이것은 물이 반응조를 통과할 때 층류의 물 흐름(와류 없이)을 보장하기 위함입니다.

이 계수의 정의⁹는

$$N_{Re} = (\rho V D) / \mu$$

$$\rho = \text{물의 밀도, lbm/ft}^3(\text{g/m}^3)$$

$$V = \text{단면 통과 액체 유속, ft/hr (cm/s)}$$

$$D = \text{특성적인 (물의) 직경, ft (cm)}$$

$$\mu = \text{물의 점도, lbm/hr - ft (dyne sec/cm}^2 \text{)}$$

그 Reynolds 값은 단위가 없습니다. N_{Re}은 영국식과 메타식 단위 체계 모두에서, 그 값들이 위의 예에 대하여 일관성이 있는한, 유동의 형태를 정의하기 위하여 사용됩니다. 공통적인 산업계의 관습은 유수분리기들을 Stoke의 법칙이 기술한 대로, 물 기둥 안의 한 기름 방울의 상승률을 사용하여, 설계하는 것이어 왔습니다.

$$V = (2gr^2) (d_1 - d_2) / 9\mu$$

$$V = \text{물 기둥 내에서의 기름 방울 상승 속도, ft/hr (cm/sec)}$$

$$g = \text{중력 가속도, ft/hr}^2 \text{ (cm/sec}^2 \text{)}$$

$$r = \text{기름 방울의 반경, ft (cm)}$$

$$d_1 = \text{물의 밀도, lbm/ft}^3 \text{ (g/m}^3 \text{)}$$

$$d_2 = \text{기름의 밀도, lbm/ft}^3 \text{ (g/m}^3 \text{)}$$

$$\mu = \text{물의 점도, lbm/hr - ft (dyne sec/cm}^2 \text{)}$$

Stoke의 법칙은 기름 방울의 반경이 증가할수록, 그 기름 방울이 물 기둥 안에서 상승하는 속도는 그 반지름의 제곱에 비례하여 증가한다고 예언합니다. 그러므로, 유수분리기 안의 기름 흡착 매체의 목적은 기름에 오염된 물이 유수분리기를 통과하여 흐르면서, 기름 방울들이 결합 또는 흡착 될 곳에 접촉하기 위한 적합한 표면들을 제공하는 것입니다. 물에서 기름의 제거는 기름 방울 크기가 커짐에 따라 크게 제고됩니다. 과거에는 기름 흡착 매체는 자주 보통 0.5"(13mm) ~ 0.25"(6mm)이거나, API 421에 규정 된 0.75"~1.5"와 같은 여러 가지의 이격 거리의, 기우러진 골판형 판들의 여러 가지 변형들로 설계되어 왔습니다. 더 작은 이격은 기름 방울들의 흡착을 개선하여, 기름 제거 효율을 개선하기 위한 하나의 노력입니다. 그러나, 근접하도록 이격된 매체는 막히고, 오염물이 축적되기도 쉬운 것으로 알려져 왔습니다.

CEN EN858-1

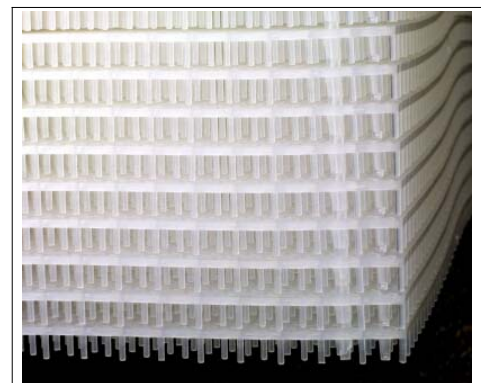
유럽 연합은 Class 1 유수분리기들에 대하여 2001년 3월 8일 유럽 연합 내에서만 적용할 수 있는 하나의 성능 표준 규격을 채택했습니다. 이 표준은 API 421에서 허용되는 것과 비교하여, 유수분리기에서 배출되는 물 안에 매우 낮은 기름 함량을 규정합니다. EN858-1의 성능 시험 요구 사항들을 요약하면

가벼운 액체 :	밀도 0.85 g/cm ³ (연료유)
물 :	먹을 수 있거나 정수된 물
가벼운 액체의 용해도 :	무, 용해될 수 없음
환수 :	시험 설비의 부피의 최소 4배
액체 부하 :	25~40 m ³ /hr-m ² (10~15gpm/ft ²)
유입측 기름 농도 :	4250 mg/L
가벼운 액체의 최대 잔류량 :	5 mg/L(IR spectroscopy로 측정)

그러므로, 이 표준은 99.88%의 기름 방울 제거 효율을 요구하고 있습니다. 그 EN858-1 표준이 기름 방울의 최소 크기에 대하여 허용치를 규정하고 있지 않음에 유의하십시오. 이 표준은 최근까지 충족시키기가 매우 어려운 것으로 판명되었습니다.

기름 흡착 매체 HD Q-PAC[®]

Lantec사가 공급한 HD Q-PAC[®]은 지속적으로 EN858-1 시험 표준을 달성할 뿐 아니라, 그것을 능가했습니다. 이 사실은 가동되고 있는 현장 설비들¹²뿐만 아니라, 독립적인 제3자 시험¹¹에 의하여도 확인되었습니다. HD Q-PAC[®]은 지속적으로 EN858-1에서 요구한 5 mg/L 대비 1 mg/L의 잔류 기름 배출 농도를 달성했습니다. (유럽 연합 표준 규격이 요청한 99.88% 대비 99.98%의 제거 효율)



HD Q-PAC[®]

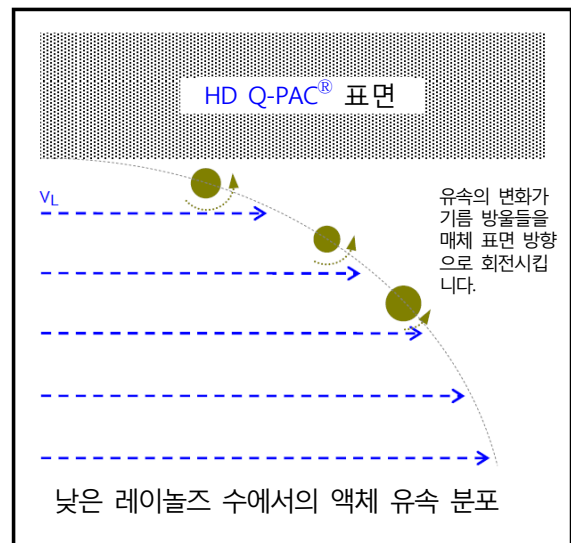
미국 특허 등록 #5,458,817

낮은 레이놀즈 수의 유수분리기, HD Q-PAC®

HD Q-PAC®은 전통적으로 유수분리기에서 가능했던 레이놀즈 수보다 많이 더 낮은 레이놀즈 수를 달성합니다. N_{Re} 를 산출하기 위하여 전형적인 분리기의 액체 부하들에서 HD Q-PAC®의 등가의 수력학적(특성적인) 직경을 사용하여 산출한 값들은

HD Q-PAC® 액체 부하 gpm/ft ² (m ³ /hr-m ²)	레이놀즈 수 N_{Re}
10 (25)	30
13 (32)	40
20 (39)	60

매우 낮은 레이놀즈 수에서의 유수분리기 가동의 유체 역학은 상세 연구의 명제이여 왔습니다.¹³ 기름이 오염된 물이 하나의 고정된 표면 위를 흐를 때, 그 표면에 가까운 액체의 유속은 마찰 때문에 더 느립니다. 만일, 한 기름 방울의 한쪽에서 물이 다른 쪽보다 더 느리게 흐른다면, 그 방울은 회전할 것입니다. 기름 방울들은 유속이 정지에 접근하는 표면 방향으로 유동 방향이 바뀝니다. 이것이 물방울들이 정지해 고여 있는 물 안에 있는 방울들에 대하여 예언된 Stoke 법칙보다, 빨리 흡착될 수 있게 합니다. 실험실 시험들에서 이 방울 회전의 "휘는 공" 효과는 레이놀즈 수, 100이하에서 나타납니다.



많은 수직 침상 봉들을 가진 모든 원형의 표면들인 HD Q-PAC®의 자정 능력 설계는 그 폴리프로필렌제 요소들이 오염된 물 안에 존재하는 어떤 부유 고형체들에 의하여 막히는 현상이 없이, 5mm 이하로 이격 배치 될 수 있게 합니다. 이 이격 거리는 전술한 바와 같이, 전통적인 흡착 매체의 요소들 간의 전형적인 이격 거리보다 많이 작습니다. 그 결과, HD Q-PAC®을 유수분리기 안에 기름 흡착 매체로 사용할 때, 전술한 바와 같이 20 gpm/ft²(49 m³/hr-m²)의 유체 부하에서도 극히 낮은 레이놀즈 수, 60이 달성됩니다.

결론

유수 분리를 가속화하여 EN858-1의 요구보다 탁월한 효율을 성취하는 HD Q-PAC®의 놀랄만한 능력은 확립된 과학적 원리에 근거하여 여기에 설명되었습니다. 이러한 결과들은, 100 이하의 극히 낮은 레이놀즈 수들에서는 Stoke 법칙이 HD Q-PAC®을 사용하는 유수분리기 내의, 기름 방울들의 관측된 흡착율을 해명하지 못한다는 사실을 확인합니다. Stoke 법칙은, 하나의 안내 지침으로 사용될 수는 있지만, HD Q-PAC®이 기름 흡착 매체로 사용될 때에는 유수분리기의 설계를 지배하지 말아야 합니다.

참고 자료들

1. American Petroleum Institute, API Publication 421 *"Design and Operation of Oil Water Separators"*, 1st Edition, Feb. 1990
2. New Zealand government publication, *"Appendix 5, Separator Design Methodologies"*, www.mfe.govt.nz/publications/hazardous/water-discharges-guidelinesdec98/ap-5-
3. New York State, Office of General Services, *"Master Specifications, Section 11313, Oil/Water Separation"*, www.ogs.state.ny.us/dnc/generalInfo/masterspec/html/11313.htm
4. United States Coast Guard, *"Guidelines for Approval of 15 ppm Oily Water Separators (Oil Filtering Equipment) to MEPC.60(33) December 1997"*, www.usgc.mil/hq/gm/mse/regs/owsguide.html
5. University of Washington, *"Chapter 11 - Oil Water Separators"*, www.ci.tacoma.wa.us/waterservices/permits/Volume5/SWMM%20V5_C11.pdf
6. Pan America Environmental, Inc.
7. Koch / Infinity, Inc.
8. We-Mac Manufacturing, Inc.
9. Perry's Chemical Engineering Handbook, 7th Ed., p. 6-50, Table 6-7 *"Dimensionless Groups and Their Significance"*
10. Swedish Standards Institute, Stockholm, Sweden, *"Official English Version EN 858-1:2002"*, www.sisforlag.se
11. Danish Institute of Technology, Copenhagen, privileged communication, 2003.
12. Lantec Products, Inc., proprietary data, 2003 - 2005.
13. N. Nassif, et. al., *"Advanced Laminar Flow Oil/Water Separation Technology"*, 2003 American Association of Drilling Engineers Technical Conference.

지인들이들

Paul Guerra, Kathleen Fitzgerald, Benjamin Caranci, James Eldridge/Lantec Products, Inc.