

油類의 증발손실에 대한 연구 (下)

강 봉 렬
(極東石油·技術部)

V. 浮動지봉식 탱크의 손실

부 동지봉식은 그 자체가 손실을 줄이기 위한 목적이므로 근래의 휘발유류 및 원유탱크는 거의 이 방식으로 되어 있으며, 부동지봉식에도 정지시의 호흡손실과 충전손실로 나누어 생각할 수 있다.

1. 정지시의 호흡손실

부동지봉식 중에는 리벳식 탱크가 극소량 있으나, 근래는 거의 없으며, 특수한 경우(예를들면 군용)에만 쓰인다. 또한 용접식보다 보통 2-3배의 호흡손실이 있으며, 리벳탱크를 아무리 잘 설치해도 용접식보다 적어도 15% 이상은 상승한다고 보고되어 있다. 최근 탱크의 SHELL 부분은 거의 용접식이며, 지봉은 SINGLE이나 DOUBLE SEAL로 되어 있으나, 손실량과 지봉형식과는 거의 관계가 없다. SEAL은 부력에 관계할 뿐 손실량과는 무관하며 손실량은 진 증기압과 면적에 비례하고 벽면 색상과 풍속에도 약간의 영향이 있다. 본 검토와 석유정제 기술편람의 식(총손실 $SI=0.49DP$)과는 많은 차이를 보이는 바, 그 이유로는 예전보다 장치제작 및 운전의 기술이 더욱 향상되었으며, 벽면 접촉 SEAL의 구조도 매우 발전되었기 때문으로

간주된다. 또 TUBE-SEAL을 쓰면 호흡손실이 없다고 하나, 실제로 벽면마찰, MAN-HOLE 등에 의해 반드시 공간이 생기며 그로 인해 손실이 생기고 있었다. 본 검토를 정리해 보면 식-8 및 식-9가 되며, 실험오차를 고려하여 美國 API의 자료와 손실치를 대비한 결과 매우 근접하였다.

휘발유의 경우

$$SI=0.32DP FwFp \dots \dots \dots \text{식-8}$$

원유 경우

$$SI=0.24DP FwFp \dots \dots \dots \text{식-9}$$

SI : 년간 호흡손실량 Bbl/년

D : 직경 Ft P : 진 증기압 PSIA

Fw : 풍속인자 Fp : 색상인자

풍속인자 Fw는 釜山지방 년평균풍속 4.5m/sec를 기준으로 하여 식을 작성하였고 만약 사전조건이 없으면 국내에서는 모두 1.0으로 간주하며 또한 그 지역의 평균풍속을 알 수 없는 경우는 가까운 해상풍속의 약 1/2 정도가 해변 또는 해변 가까운 내륙의 풍속으로 간주될 수도 있다. 또 색상인자 Fp는 고정지봉식보다 증발면적이 작으므로 차이가 현저히 줄었으며, 그 차이는 <表-8>에 나타나 있다. 보통 부동지봉식 탱크는 백색 또는 알루미늄색으로 도장하는 것이 세계적인 통례이며, 일반적으로 흑색, 어두운 색 등은 거의 도장되지 아니하며 휘발유류 탱크는 휘발유에 적어도 3년은 용해

〈表-8〉 부등 지붕식 탱크의 색상인자

색상종류	알루미늄	흰색	흑색 또는 어두운색
색상인자	1.0	0.9	1.2*

註：*오차가 있는 추정치임.

되지 않고 견딜 수 있는 백색 특수도료도 개발되어 있으므로 건설초기부터 내벽면에 도장하여 사용하면 손실 및 부식방지에 도움이 있을 것으로 사료된다.

2. 충전손실

휘발유의 경우 충전손실을 원인별로 나누면 첫째, 벽면이 젖는 손실과 둘째, 벽과 지붕의 간극에 의한 손실이다. 벽면의 젖음에 기인된 손실은 불출량 즉 불출횟수와 벽면의 면적에 비례하며 보통 불출량의 0.005% 정도이고 간극에 의한 손실원인은 지주봉과 벽면사이의 모세관 현상에 의함이며, 손실량은 벽면의 마찰정도(즉 부식정도), 벽면과 지주봉의 근접도에 비례한다. 이러한 손실도 약 0.005%이며 둘을 합하면 총 손실은 총 불출량의 약 0.01% 정도로 나타나고 있다. 또한 원유는 상기 손실의 약 75% 정도인 것으로 나타나고 있으며, 상세한 현장실험만이 확실한 값을 구할 것이나, 본 조사 검토의 결과 많은 오차를 가져 왔으므로 채택할 수 없어 美国의 API DATA를 인용하여 사용하였다. 그러나 실험치가 API DATA의 약 70%~150% 범위내에 있었으므로 추후 더욱 정확한 검토를 해야 할 것으로 사료된다.

3. 계산 예

〈문제-5〉 부등지붕식 탱크에 휘발유(RVP=9)가 들어 있다. 다른 조건은 〈문제-1〉과 같다고 하며, 연간 총 불출량은 400,000Bbl이다. 연간 총 증발손실은 얼마나?

〈답〉 〈그림-1〉에서 진 증기압은 4.4PSIA, 직경: 60Ft, $F_w = F_p = 1$ 이라면 호흡손실 SI은,

$SI = 0.32 \times 60 \times 4.4 = 84 \text{ Bbl/년}$ 충전손실은 $400,000 \times 0.01/100 = 40 \text{ Bbl/년}$

총합계: $84 + 40 = 124 \text{ Bbl/년}$

〈문제-6〉 용량 200,000Bbl의 부등지붕식 원유탱크의 직경은 180Ft이고, 연간 총 불출 횟수는 12회이다. 원유의 RVP는 4이고, 벽면도장은 알루미늄이며, 풍속은 5.4m/sec일때 연간 총 증발손실은 얼마나?

〈답〉 진 증기압은 〈그림-2〉에서 1.9PSIA이고, 식-9에서 호흡손실 SI은 $SI = 0.24 \times 180 \times 1.9 \times (5.4/4.5) 0.6 = 92 \text{ Bbl/년}$

충전손실은 $0.0075 \times 12 \times 200,000/100 = 180 \text{ Bbl/년}$

총 증발손실 = 호흡손실 + 충전손실 = $92 + 180 = 272 \text{ Bbl/년}$

VI. 요인별 증발손실 비교

국내 사용중인 유류중 상압 상온에서 액상으로 RVP가 가장 높은 것은 휘발유이고 물량이 가장 많은 것은 원유이다. 그러므로 이 두 종류를 예를 들어 비교하였다. 특히 지역은 공장과 저유소가 있는 釜山, 蔚山, 麗水를 상대로 하였고 기간은 1년을 3등분하여 가장 더울 때, 가장 추울 때, 보통의 때로 나누어 단기간의 손실과 기간별 손실차를 비교할 수 있게 하였다. 또 탱크외벽의 색상을 3색으로 나누어 손실차를 비교했고, 고정지붕식에서는 호흡밸브 사용시와 불사용시로 나누어 비교했다. 본 비교에서 유류의 조건은 다음과 같다.

휘발유의 경우:

RVP: 10, ASTM 10% SLOPE: 3.5, 장소: 저유소, 평균액면: 1/2, 가격: 600W/ℓ, 풍속: 4.5 m/sec, 충전횟수: 20회(총불출량/용량) 호흡밸브 설정압: 토출+80mmAg, 흡입-25mmAg

원유의 경우:

RVP: 7, 평균액면: 1/2, 장소: 공장, 풍속: 4.5 m/sec, 충전횟수: 14회/년, 가격: 24,300 W/Bbl

비교조건에서의 탱크사양은 〈表-9〉와 같다. 그리고 월별 평균기온과 4개월 평균기온을 〈表-10〉에 나타냈다. 중앙기상대 발표의 평균기온과 탱크 지역의 평균기온과는 검토 결과 3℃~6℃ 정도 차이로 공장이 높았다. 이 결과가 탱크내부까지 영향을 줄 수 있는지는 아직 밝혀지지 않고 있다. 또 〈그림-1〉과 〈그림-2〉에 의해 〈表-11〉에 진

□ 研究資料 □

중기압을 나타냈다. 그리고 <表-12>에는 호흡밸브 부착여부에 따른 고정지붕식 탱크의 연간 손실량을 나타냈고 <表-13>에는 고정지붕식에서 색상에 따른 손실을 비교했으며 <表-14>에는 고정지붕식 탱크의 용량별로 손실을 비교해 보았다. 또한 <表-12>에 있는 호흡밸브 유무에 따른 손실차를 다시 비교하여 <表-15>에 나타냈고 55,000Bbl의 용량을 20,000Bbl 탱크에 저장시 손실차도 비교 조사했다(비고란에 기록했음). <表-16>과 <表-17>에는 부동지붕식의 연간 손실량과 색상별 손실량을 조사했고 <表-18>에는 고정지붕식과 부동지붕식의 차이를 나타냈다. <表-19>에는 부동지붕식의 용량별 손실을 비교하고 55,000Bbl의 용량을 20,000Bbl 탱크에 저장시 손실차도 조사했다(비고란에 기록).

<表-9> 종류별 탱크사양

(單位: 1 Bbl=42GAL=159ℓ)

탱크 및 내용 식 용 물	용 량	직 경	높 이	비 고
고 정 지 붕 식 휘 발 유 탱 크	20,000Bbl	60Ft	40Ft	거 의 사 용 않 음 간 혹 사 용
"	55,000Bbl	100Ft	"	"
부 동 지 붕 식 휘 발 유 탱 크	20,000Bbl	60Ft	"	많 이 사 용 함
"	55,000Bbl	100Ft	"	"
부 동 지 붕 식 원 유 탱 크	200,000Bbl	160Ft	60Ft	"
"	750,000Bbl	250Ft	90Ft	"

<表-10> 월별 평균기온 및 4개월 평균기온

(중양기상대 부산지대 제공)

지 역	월 별	월 별												평 균
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
釜 山	山(°C)	2.2	3.8	7.7	12.7	17.1	20.0	23.9	25.5	21.8	17.0	11.1	5.1	14.0
麗 水	水(°C)	1.6	2.9	7.0	12.5	17.2	20.4	24.1	25.8	22.0	16.8	10.6	4.5	13.8
蔚 山	山(°C)	0.9	2.7	6.7	12.2	17.1	20.5	24.6	25.6	20.9	15.4	9.4	3.5	13.3

지 역	월 별	월 별			비 고
		1.2.3.12月	4.5.10.11月	6.7.8.9月	
釜 山	山(°F)	4.7(40)	14.5(58)	23(73)	
麗 水	水(°F)	4.0(39)	14.3(58)	23(73)	
蔚 山	山(°F)	3.4(38)	13.5(56)	23(73)	

<表-11> 평균기온에 따른 진중기압

(單位: PSIA)

유종 지역	휘 발 유			원 유		
	1.2.3.12月	4.5.10.11月	6.7.8.9月	1.2.3.12月	4.5.10.11月	6.7.8.9月
釜 山	3.50	5.0	6.65	2.94	4.12	5.4
麗 水	3.43	5.0	6.65	2.88	4.12	5.4
蔚 山	3.35	4.84	6.65	2.82	3.96	5.4

<表-12> 호흡밸브 유무에 따른 고정지붕식 탱크의 연간손실(호흡손실 / 충전손실)

(單位: Bbl / 년)

지 역	월 별	호흡밸브 불사용경우 손실량(Bbl / 년)				호흡밸브 사용경우 손실량(Bbl / 년)	밸브유무 의 차이	금액차이 (만원)	비 고
		1.2.3.12月	4.5.10.11月	6.7.8.9月	연간합계				
2 만Bbl	釜 山	128 / 140	182 / 200	243 / 266	553 / 606	401 / 606	152 / 0	1450	색 상 은 알 미 님
	麗 水	125 / 137	182 / 200	243 / 266	550 / 603	399 / 603	151 / 0	1441	"
	蔚 山	122 / 134	177 / 194	243 / 266	542 / 594	393 / 594	149 / 0	1421	"
5 만 5 천Bbl	釜 山	320 / 385	458 / 550	609 / 732	1387 / 1667	1006 / 1667	381 / 0	3635	"
	麗 水	314 / 377	458 / 550	609 / 732	1381 / 1659	1001 / 1659	386 / 0	3625	"
	蔚 山	307 / 369	443 / 532	609 / 732	1359 / 1633	985 / 1633	374 / 0	3568	"

〈表 - 13〉 고정지붕식 탱크의 연간 손실비교

(單位 : Bbl / 단원)

지 역	색 상	호흡밸브 불사용시				호흡밸브 사용시				최대손실차
		① 흰색	알루미늄 녹색	② 어두 운색	②-①	③ 흰색	알루미늄 녹색	④ 어두 운색	④-③	
2 만Bbl	釜 山	1021	1159	1297	276/2633	907	1007	1107	200/1908	390/3721
	麗 水	1016	1153	1291	275/2624	902	1002	1102	200/1908	389/3711
	蔚 山	1001	1136	1272	271/2585	889	987	1085	196/1870	383/3654
5 만 5 천Bbl	釜 山	2707	3054	3401	694/6621	2422	2673	2925	503/4799	979/9340
	麗 水	2695	3040	3385	690/6583	2410	2660	2910	500/4770	975/9302
	蔚 山	2652	2992	3332	680/6487	2372	2618	2864	492/4694	960/9158

〈表 - 14〉 고정지붕식 탱크의 용량별 호흡밸브 유무별 연간손실(대비 : 부산경우)

저 강 용 량	연간손실량 BBL		단원손실량 손실Bbl / 용량Bbl		비 교 값	
	밸브無	밸브有	밸브無	밸브有	밸브無	밸브有
20000 Bbl	1159	1007	0.0580	0.0504	1.0	0.869
55000 Bbl	3054	2673	0.0555	0.0486	0.957	0.838

밸브無 : $55000/20000 \times 1159 - 3054 = 133.25\text{Bbl}$
(₩ 1,271,000)

밸브有 : $55/20 \times 1007 - 2673 = 96.25\text{Bbl}$
(₩ 918,000)

〈表 - 17〉 부동지붕식 휘발유 탱크의 색상별 연간손실비교

지 역	색 상	색상별연간손실량Bbl/연			흰색과어두운색이	
		흰 색	알루미늄 녹색	어두운 색	용 량 (Bbl)	금 액 (만원)
20000 Bbl	釜 山	113	137	161	48	458
	麗 水	113	136.6	161	48	458
	蔚 山	111	134.9	159	48	458
55000 Bbl	釜 山	231	271.5	312	81	773
	麗 水	231	270.8	311	80	763
	蔚 山	229	268.2	308	79	754

〈表 - 15〉 고정지붕식 탱크의 호흡밸브 설치유무에 따른 금액손실(대비 : 부산경우)

저강용량	호흡밸브 유무의 손실차이	금액차	밸브有/밸브無	비 고
20000Bbl	152Bbl/연	1450만원	0.869	55000Bbl밸브無경우 차액1271만원
55000Bbl	381Bbl/연	3635만원	0.875	55000Bbl밸브有경우 차액 918만원

〈表 - 16〉 부동지붕식 휘발유 탱크의 연간 손실량 (호흡손실 / 총전손실, 색상 : 알루미늄)

용 량	종 류	월 별 손 실 Bbl			손실합계 Bbl	총 손 실 Bbl
		1.2.3.12月	4.5.10.11月	6.7.8.9月		
2 만Bbl	釜 山	22.4 / 13.3	32 / 13.3	42.6 / 12.3	97 / 40	137.0
	麗 水	22.0 / 13.3	32 / 13.3	42.6 / 12.3	96.6 / 40	136.6
	蔚 山	21.3 / 13.3	31 / 13.3	42.6 / 12.3	94.9 / 40	134.9
5 만 5 천Bbl	釜 山	37.3 / 36.7	53.3 / 36.7	70.9 / 36.7	161.5 / 110	271.5
	麗 水	36.6 / 36.7	53.3 / 36.7	70.9 / 36.7	160.8 / 110	270.8
	蔚 山	35.7 / 36.7	51.6 / 36.7	70.9 / 36.7	158.2 / 110	268.2

〈表 - 18〉 고정지붕식과 부동지붕식의 연간손실비교 (부산경우)

종류 용량	고정지붕식 Bbl/연		부동지붕 식Bbl/연	손실량차이 Bbl/연		손실금액차=만원		손실비교정식/부동식	
	밸브無	밸브有		밸브無	밸브有	밸브無	밸브有	밸브無	밸브有
20000Bbl	1159	1007	137	1022	870	9750	8300	8.46	7.35
55000Bbl	3054	2673	271.5	2782.5	2401.5	26545	22910	11.25	9.84

〈表 - 19〉 부동지붕식 탱크의 용량별 연간손실비교 (부산경우)

종류 용량	총손실 (Bbl/연)	금액 (만원)	단위용량당 손실치		비 고 55000Bbl을 20000Bbl 탱크에 저장한다고 할 때 손실차
			손실 Bbl/ 저장 Bbl	비 교 치	
20000Bbl	137	1307	6.85×10^{-3}	1	55000/20000 × 137 - 271.5 = 105Bbl, 연 : 1004만원
55000Bbl	271.5	2590	4.94×10^{-3}	0.72	

〈表 - 20〉 부동지붕식 원유탱크의 증발손실량 (호흡손실 / 충전손실, 색상 : 알루미늄)

(單位 : Bbl)

지 역	월 별	1.2.3.12月			4.5.10.11月			6.7.8.9月			손실합계	총손실 (Bbl)
		釜	麗	蔚	釜	麗	蔚	釜	麗	蔚		
200000Bbl	釜	山	37.6 / 93.3	52.7 / 93.3	69.1 / 93.3	159.4 / 280	439.4					
	麗	水	36.9 / 93.3	52.7 / 93.3	69.1 / 93.3	158.7 / 280	438.7					
	蔚	山	36.1 / 93.3	50.7 / 93.3	69.1 / 93.3	155.9 / 280	435.9					
750000Bbl	釜	山	70 / 350	100 / 350	133 / 350	303 / 350	653.0					
	麗	水	68.6 / 350	100 / 350	133 / 350	301.6 / 350	651.6					
	蔚	山	67 / 350	96.8 / 350	133 / 350	296.8 / 350	646.8					

〈表 - 21〉 부동지붕식 원유탱크의 색상별
연간손실비교

(單位 : Bbl/만원)

용 량	지 역	흰 색 Bbl		알루미늄 색 Bbl		어두운 색 Bbl		흰색과 어두운색 차이	
		釜	蔚	釜	蔚	釜	蔚	釜	蔚
200000 Bbl	釜 山	400	439.4	479	79 / 192				
	麗 水	399	438.7	478	79 / 192				
	蔚 山	397	435.9	475	78 / 190				
750000 Bbl	釜 山	577	653.0	729	152 / 369				
	麗 水	576	651.6	727	151 / 367				
	蔚 山	573	646.8	721	148 / 360				

〈表 - 22〉 부동지붕식 원유탱크의 용량별
연간손실비교 (부산경우)

용 량	총손실	금 액 (만원)	단위용량당 손실량 Bbl	비교치	*비교
200000 Bbl	439.4 Bbl	1068	2.2×10^{-3} 손실 / 저장	1	
750000 Bbl	653Bbl	1587	8.7×10^{-4}	0.4	

註 : * 75만Bbl을 20만Bbl 탱크에 저장한다고 할 경우 손실차 75만 / 20만 × 439.4 - 653 = 995 Bbl / 연 (2418만원)

〈表-24〉 종류별 흰색과 어두운색의 연간손실차액 (부산경우)

종 류	고정지방식 : 휘 발 유	부동지방식 : 휘 발 유	부동지방식 : 원 유
용 량 : Bbl	55000 / 20000	55000 / 20000	75000 / 200000
금액차 : 만원	6621 / 2633	773 / 458	369 / 192

Ⅶ. 맺는말

전항의 비교를 크게 나누어 보면, 용량, 색상, 호흡밸브 부착여부 및 저장방법 등이다. 이들을 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

① 탱크용량별 손실을 비교해 보면, 고정지방식은 〈表-14〉에서 호흡밸브가 없을 때 단위용량당 손실비교치가 0.957로서 약 4.4%가 절감된다. 또 〈表-15〉에서 55,000Bbl을 20,000Bbl 탱크들에다 저장한다고 할 때 손실량을 나타낸 바 호흡밸브가 없을 시는 부착시 보다 더 손실되었다. 또 부동지방식은 〈表-19〉에서 단위 용량당 55,000Bbl이 20,000Bbl보다 28% 감소하며 원유탱크는 〈表-22〉에 나타난 바와 같이, 60%가 감소되는 것으로 계산되었다. 이를 종합비교하면 〈表-23〉과 같고 결과적으로 고정지방식보다는 부동지방식이 훨씬 손실이 적으며 같은 종류, 같은 량이면 대용량이 유리한 것으로 나타났다. 물론 투자비 운영용량등을 감안하여 조절하는 것이 좋을 것이다.

〈表-23〉 종류별 손실대비표

종 류	고정지방식 : 휘 발 유	부동지방식 : 휘 발 유	부동지방식 : 원 유
용 량 대 비	55000/20000	55000 / 20000	750000/200000
단위손실대비	0.957 / 1	0.72 / 1	0.4 / 1

② 색상대비는 고정지방식에서는 〈表-13〉에 부동지방식에는 〈表-17〉, 〈表-21〉에 나타냈는 바 이를 종합하여 〈表-24〉에 종합비교해 본 결과 단지 외부도장에 의한 연간손실의 차가 탱크 1기당 수백만원에서 수천만원까지 된다는 것은 에너지 절약 및 국가적 차원에서 국내 탱크의 외부도장을 재고해야 할 것으로 사료된다.

③ 호흡밸브 설치시의 비교는 〈表-12〉에서 보는 것과 같이, 설치 않는 것보다 설치하는 경우가 20,000Bbl 용량탱크인 경우 연간 152Bbl 정도 절약이 되고, 55,000Bbl 용량탱크인 경우 연간 381

Bbl 정도 절약되므로 이 또한 매우 많은 량이다. 이러한 의미에서 에너지 절약과 안전면에서 반드시 설치해야 할 것으로 사료되며 본 검토에서는 +80mmAg~ -25mmAg이나 탱크신설시 압력을 조금더 올릴 수 있다면 더욱 절약이 가능하고 압력을 40mmAg정도 이하로 낮추면 효과가 거의 없으므로 고려해야 한다.

④ 저장방법별 대비는 〈表-18〉에 나타난 바와 같이, 20,000Bbl 용량탱크인 경우 연간 손실량이 부동지방식에 대해 고정지방식이 약 7.35~8.46배 정도나 손실이 크며, 55,000Bbl 용량탱크인 경우는 이것의 약 3 배이므로 젯트유 이상의 초경질유류는 필히 부동지방식 탱크에 저장되도록 고려되어야 할 것이다.

⑤ 탱크내부의 액의 온도는 〈表-5〉에 나타난 것처럼 결코 비등하지 않게 해야한다. 본 검토에서는 냉각수에 의한 탱크표면냉각을 고려하고 있으나 조건이 좋지않은 곳에서는 냉각수에 의한 표면냉각을 실시함으로써 그 절감효과가 매우크며 또한 소방안전면에서도 매우 유익하리라 사료된다.

⑥ 충전횟수에 따른 비교는 본 검토에서는 다루지 않았으나, 〈表-4〉에 나타난 바와 같이, 공장에서는 10회 저유소에서 40회까지는 일정하나, 그 이후부터의 절대손실량도 10회나 40회의 경우처럼 횟수에는 거의 차이가 없으며, 실제 공장에서나 저유소의 충전횟수는 10회 또는 40회를 초과하는 경우가 많으므로 손실량은 충전횟수보다 총불출량에 따라 바뀐다.

⑦ 휘발유의 경우 SHORT-CUTMETHOD 로서는 Fo, Fp, Fsp가 1 일경우 직경 60Ft까지는 0.032PD² 70Ft~120Ft까지는 0.028PD²으로 나타낼 수 있고 약 ± 5% 정도의 오차가 있다. *