

酒精工場에서의 合理的인 에너지管理方向

鄭 同 五

에너지管理公團

1. 現 況

가. 에너지 使用現況

우리나라의 醱酵 酒精工場은 12個 工場으로 그 生産容量은 하루 2,261드럼(452,200ℓ)이며 조주정을 원료로한 정제주정 시설은 13個工場에서 하루 2,500드럼(500,000ℓ)이다.

에너지 利用合理化法 第10條 1項에 의한 에너지使用 實績報告를 근거로할 때 각 醱酵酒精工場에서 '84년도 酒精生産(밀가루, 소주등 타 제품에 소비된 에너지 제외)에 消費된 에너지는 <표 1>과 같이 總酒精生産量 181,614 K에 대하여 燃料는 石油換算으로 89,105톤, 電力은 42,853 MWh을 소비하여 에너지로는 998,182 × 10⁶ Kcal이다.

나. 에너지節約實績

12個 醱酵酒精工場에서 '84년에 실시한 총

<표-1> '84 에너지 사용실적

업 체	생 산 량 (Kl)	에너지 사용량		
		연 료 (석유환산t)	전 력 (MWh)	에 너 지 (10 ⁶ Kcal)
A	14,587	8,890	4,203	99,407.5
B	18,677	7,955	6,454	95,685.0
C	13,638	6,840	3,585	77,362.5
D	11,573	6,288	2,887	70,097.5
E	12,653	5,821	4,216	68,750
F	14,999	7,703	1,143	79,887.5
G	23,893	11,375	5,033	126,332.5
H	22,079	9,421	4,812	106,240
I	14,932	5,844	2,313	64,222.5
J	13,139	6,865	3,504	77,410
K	14,636	7,915	3,459	87,797.5
L	6,808	4,188	1,244	44,990
계	181,614	89,105	42,853	998,182.5
평균	15,134.5	7,425.4	33,571.1	83,181.9

目 次

1. 現 況

가. 에너지使用 現況

나. 에너지節約 實績

다. '85年 에너지節約計劃

라. 에너지原單位 實績

2. 에너지 管理方向

가. 에너지原單位管理

나. 보일러에서의 에너지管理

다. 仕込工程에서의 에너지管理

라. 蒸溜工程에서의 에너지管理

에너지 절감량은 석유환산 7,454톤으로 절감 금액은 1,220,128천원으로, 이를 달성하기 위한 投資費는 約 2,120,709천원으로 投資回收期間은 약 1.7년으로 나타나고 있다.

〈표-2〉에서 A공장은 '84년 이전에 연료 대체(메탄발효)시설에 投資하였고 E공장은 '84년 후반기에 주로 메탄발효시설에 투자하였기 때문에 投資費가 많은데 비하여 節減效果가 아직은 적게 나타나고 있으나 '85년부터는 절감 효과가 증가되고 있다.

節減量 7,454톤은 주로 燃料部門에서 절감되었으며 總燃料使用量 89,105톤에 대하여 7,141톤을 節減하여 절감율은 8.0%에 달하며, 電力은 總電力使用量 42,853MWh에 대하여 節減電力은 1,252MWh(석유환산 313톤)으로 約 2.9%로 나타나 燃料部門에서의 節約이 많다는 것을 알 수 있다. 燃料節減項目으로는 廢醪液으로 메탄가스를 醱酵시켜 B-C油를 CH₄로 대체한 연료대체가 49.8%로 큰비중으로 나타나고 있으며 다음이 공법, 공정개선이 15.4%, 운전관리합리화 10.6%의 순이다. 電力部門에서의 節減項目은 설비설치가 41.2%, 과대용량의 전동기의 적정용량 개선이 25.9%, 공정개선이 22.7% 순이다.

다. '85년 에너지節約計劃

'85년의 에너지節約計劃은 〈표-3〉과 같이 燃料部門에서 '84년 總燃料使用量인 石油換算 89,105톤에 대하여 약 8.8%에 해당하는 7,845톤을 절감할 계획으로 나타나고 있으며 그중 設備代替項目이 36.7%의 비율로 크며 이는 A 및 D공장에서 B-C油 燃燒보일러를 石炭보일러로 代替計劃이고, F공장은 老朽보일러를 高效率보일러로 代替하는 것 등이며 다음은 B-C油 燃料를 메탄연료로 代替하려는 燃料代替項目이 28.6%, 工法, 工程改善項目이 11.7%의 순으로 나타나고 있다. 電力部門에서는 '84년 電力使用實績 42,853MWh에 대하여 約

〈표-4〉 '84 에너지 원단위실적

업체	생산량 (Kl)	원단위		
		연료 (t/Kl)	전력 (MWh/Kl)	에너지 (10 ⁶ Kcal/Kl)
A	14,587	0.609	0.288	6,810
B	18,677	0.426	0.346	5,125
C	13,638	0.502	0.263	5,677.5
D	11,573	0.543	0.249	6,052.5
E	12,653	0.460	0.333	5,432.5
F	14,999	0.514	0.076	5,330
G	23,893	0.476	0.211	5,287.5
H	22,079	0.427	0.218	4,815
I	14,932	0.391	0.155	4,297.5
J	13,139	0.522	0.267	5,887.5
K	14,636	0.541	0.236	6,000
L	6,808	0.615	0.183	6,607.5
계	181,614	6.026	2.825	67,322.5
평균	15,134.5	0.502	0.235	5,610.2

1%인 400MWh(석유환산 100톤)을 節減할 계획으로 되고 있다. 그 내용은 운전합리화 및 용량개선이 큰 비율을 차지하고 있다.

라. 에너지原單位實績

에너지原單位實績은 다음 〈표-4〉와 같이 平均燃料原單位는 0.502 ton/Kl, 電力은 0.235 MWh/Kl로 에너지原單位는 5610.2×10⁶Kcal/Kl이다. F工場の 전력원단위는 酒精外에 밀가루를 생산하고 있어 酒精生産에 消費된 電力량이 잘못된 것 같으며 I業體의 연료 및 전력 원단위도 이웃 프라스틱공장에 보낸 것에서 잘못 계산된 것으로 간주되며 해당 업체의 에너지 담당자는 틀림없다고 확인하고 있어 再檢討가 요망된다. 에너지原單位는 粗酒精使用량이 많으면 감소되며 또한 澱粉原料에 따라서도 달라지나 工場別로 생고구마, 또는 乾燥澱粉

質 및 粗酒精原料의 配定比率 및 製品酒質과 製成比率이 비슷하다고 볼 수 있어 工場別로 큰 차이가 없어야 하는 것이 바람직하다. 粗酒精을 使用하지 않았던 A 및 L工場을 제외한 工場에서의 燃料原單位를 비교하면 최소 원단위는 B업체의 0.426 ton/Kl이고 최대원단위는 D업체의 0.543 ton/Kl로 그 차이는 0.117 ton/Kl이 되고 있다. 따라서 D업체에서는 11,573 Kl를 생산하였기 때문에 $11,573 \text{ Kl} \times 0.117 \text{ ton/Kl} = 1,354 \text{ ton}$ 만큼의 석유환산 연료를 필요이상 낭비한 것으로 평가될 수 있고 이를 B-C油로 환산하면 약 1,389 ton이고 용량으로는 약 1,462 Kl가 되어 업체에서의 B-C油 구입단가 165 원/l를 적용하면 $1,462,000 \ell \times 165 \text{ 원}/\ell = 241,230$ 천원에 해당하는 연료비가 되어 B업체 수준으로 연료원단위를 실현시켰다면 이만큼의 연료비용을 절감하게 되는 결과가 됨을 알 수 있다. 연료원단위 뿐만 아니라 전력원단위도 각 업체간에 매월 비교하여 사전에 손실요인을 防止하도록 하는 것이 바람직할 것이다.

2. 에너지管理方向

가. 에너지原單位管理

에너지原單位의 효율적인 管理를 위하여서는 에너지관리 담당자 또는 관리부서가 주관하여 에너지原單位 現況을 매일 또는 주기적으로 파악하고 그 변화추이를 보일러, 仕込, 蒸溜 등 각 부서 責任者와 會議를 통하여 討議, 分析하여 그 결과의 不良原因을 改善해 나가도록 운영되어야 할 것이다.

대부분의 酒精工場에서는 각각 에너지原單位實績을 파악하고 있으나, 원단위를 공정별, 부서별로 分離하지 못하고 있어 原單位가 높아졌을 때 또는 좋아졌을 때 그 원인이 仕込工程에서 發生하였는지 또는 蒸溜工程에서 發生되었는지를 지적 못하고 있어 改善對策을 즉시 수립 실시 못하는 실정이다.

原單位의 變化는 보일러관리, 仕込原料蒸煮條件, 仕込方法, 熟成醪의 試溜度數, 蒸溜運轉條件, 生産量의 增減, 계절적인 영향 등에 따라 다르게 되나 같은 工場에서 같은 原料를 同一條件으로 處理하여 製品으로 하였을 때에는 거의 같은 原單位實績이 나타나야 한다.

酒精工場에서의 向後 에너지原單位의 效率的인 管理方法은 다음과 같다.

1) 目標原單位 設定管理

에너지管理의 결과는 에너지原單位로 나타남으로 前年度의 原單位實績을 면밀히 分析하여 최소실적치 또는 平均실적치를 감안하여 原料別(澱粉價別)로 目標原單位를 設定하여 달성하도록 추진하며, 또한 원단위의 변화를 규명하여 改善해 나가며 각 부서별로 담당자를 선정하여 주기적으로 토의회를 가져 발전시켜 나가는 것이 바람직하다.

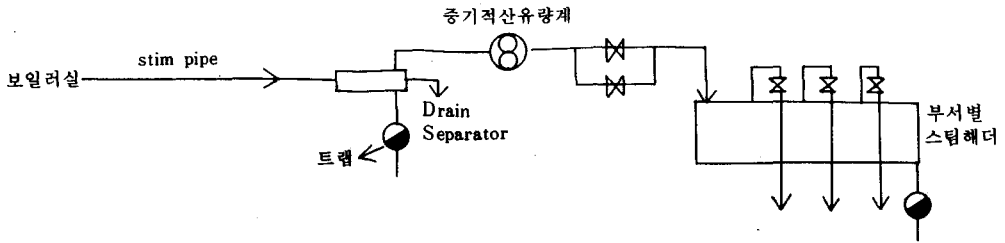
2) 工程別 原單位管理

原單位 結果를 仕込, 蒸溜의 각 공정별로 파악, 分析하지 못하면 원단위가 높아지는 경우, 어느 工程에서 그 원인이 있었는가를 판단할 수 없어 즉시 대처할 수 없게 되며 또한 서로 타부서에 전가하게 되고 결국 無關心하게 되어 發展할 수 없게 된다.

따라서 사입과 증류실에 오는 Steam Header 전의 송기관에 蒸氣積算流量計를 필히 따로 따로 부착하여 하루의 증기사용량을 연료로 환산하여 연료사용량과 生産量을 공정별로 하여 원단위로 관리한다면 많은 연료절약효과를 얻게 될 것이다. 증기적산 유량계의 앞에는 良質의 증기가 들어오도록 <그림-1>과같이 Drian Separator를 필히 부착하도록 하며 가능하면 電力原單位도 管理하기 위해 電力積算計도 각실별로 부착하여 관리하는 것도 바람직하다.

3) 에너지原單位 評價

'85년에 精密에너지管理 診斷을 받은 모공장의 '84년도의 에너지實績 原單位를 예들면



〈그림 - 1〉 Steam flow meter 설치방법

다음 〈표 - 5〉와 같다.

〈표 - 5〉에서와 같이 이 업체에서는 11,573,090 l의 酒精을 생산하였으며 CH₄ gas 發生施設이 없어 B-C油만을 6,347,700 l를 使用하였고 電力은 2,888,063 KWh를 全量 受電力으로 使用하여 에너지는 70,062 × 10⁶ Kcal이다.

이 업체에서의 평균 연료원단위는 0.5485 l / l-제품, 전력원단위는 0.2495 KWh / l-제품으로 에너지原單位는 6,054 Kcal / l-제품,

으로 나타나고 있다. 이 표에서 계절의 차이가 거의 없는 1월과 2월에 같은 原料인 切干만을 使用하였으나 1월의 생산량이 2월의 생산량에 비해 약 6.9%의 증가에도 불구하고 연료원단위가 높아 결국 에너지原單位도 높아지고 있다.

에너지 소비증가량 6,535 - 6,314 = 221 Kcal / l-제품을 生産量에 적용시키면 약 233,010 × 10³ Kcal의 에너지를 더 소비한 결과가 되며 이를 B-C油로 환산하면 1월에 23,536 l 가

〈표-5〉

'84年度 에너지原單位 實績

區分 月別	酒精生産量 (l)	에너지使用量			原單位			備考 原料
		燃料 (l)	電力 (KWh)	에너지 (10 ⁶ Kcal)	燃料 (l/l)	電力 (KWh / l)	에너지 (Kcal / l)	
1	1,054,342	633,000	249,695	6,891	0.6004	0.2368	6,535	切干
2	986,258	567,600	243,460	6,228	0.5755	0.2468	6,314	切干
3	845,963	465,700	188,826	5,082	0.5505	0.2232	6,057	切干, 타피오카
4	1,020,290	560,500	269,512	6,223	0.5493	0.2641	6,098	切干, 타피오카
5	1,054,281	570,700	287,020	6,367	0.5413	0.2722	6,039	타피오카, 裸麥
6	794,681	468,800	202,212	5,147	0.5899	0.2544	6,476	타피오카
7	1,071,400	498,000	242,962	5,538	0.4648	0.2267	5,167	조주정, 타피오카
8	1,141,041	360,100	188,791	4,037	0.3156	0.1654	3,537	조주정
9	698,458	410,500	203,819	4,573	0.5877	0.2918	6,547	타피오카
10	1,054,277	626,400	274,958	6,651	0.5714	0.2608	6,306	타피오카
11	1,020,290	626,400	263,284	6,859	0.6139	0.2580	6,723	타피오카, 생감
12	831,809	584,000	273,524	6,465	0.7021	0.3288	7,772	切干, 타피오카
계	11,573,090	6,347,700	2,888,063	70,062	0.5485	0.2495	6,054	

'84 月別 原料別 生産量 및 에너지原單位 實績

(표-6)

구분	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합 계	비고
구정생산량 (ℓ)		1,054,342	986,258	845,963	1,020,290	1,054,281	794,681	1,071,400	1,141,041	698,458	1,034,277	1,020,290	831,809	11,573,090	
	원료사용량 (ℓ)	633,000	567,600	465,700	560,500	570,700	468,900	498,000	360,100	410,500	602,400	626,400	584,000	6,347,700	
	전력사용량 KW	249,695	243,460	188,826	269,512	287,020	202,212	242,962	183,791	203,819	274,958	263,284	273,524	2,888,063	
에너지원單位 / ℓ		6,535	6,314	6,057	6,098	6,039	6,476	5,167	3,537	6,547	6,306	6,723	7,772	6,053	
	A	2,681,990	2,489,650	1,105,318	937,910	507,757	1,989,166	2,115,084						1,821,076	9,035,944
	B	1,054,342	986,258	437,854	371,561	203,154	794,681	846,249						692,000	3,542,015
	C	633,000	567,600	252,200	212,100	107,600	468,800	442,900						502,000	2,166,900
	D	249,695	243,460	97,732	98,148	53,664	202,212	215,334						238,573	927,608
	E	0,600	0,576	0,576	0,571	0,530	0,590	0,523						0,725	0,612
	F	0,237	0,247	0,223	0,254	0,264	0,254	0,254						0,345	0,262
G	6,536	6,315	6,260	6,312	5,977	6,476	5,818						8,044	6,711	
타피오카칩				981,600	1,589,375	507,757	1,989,166	2,115,084		1,740,813	2,688,320	1,816,186	149,446	13,777,747	
	B			408,109	648,727	203,154	794,681	846,249		698,458	1,054,277	715,835	139,809	5,509,301	
	C			213,500	348,400	107,600	468,800	442,900		410,500	602,400	420,500	82,000	3,096,600	
	D			9,91,094	171,364	53,664	202,212	215,334		203,819	274,358	186,692	34,952	1,434,089	
	E			0,523	0,537	0,530	0,590	0,523		0,588	0,571	0,587	0,587	0,562	
	F			0,223	0,264	0,264	0,254	0,254		0,292	0,261	0,261	0,25	0,60	
	G			5,737	5,977	5,904	6,476	5,818		6,548	6,309	6,468	6,431	6,215	
라 맥						2,293,668								2293,668	
	B					851,127								851,127	
	C					463,100								463,100	
	D					233,356								233,356	
	E					0,544								0,544	
	F					0,274								0,274	
	G					6,072								6,072	
조 주 정							233,748							1,426,000	
	B					225,151								1,366,192	
	C					55,100								415,200	
	D					27,628								216,119	
	E					0,245								0,304	
	F					0,123								0,1584	
	G					2,730								3,405	
생 감														2,668,562	
	B													304,455	
	C													205,900	
	D													76,592	
	E													0,676	
	F													0,252	
	G													7,324	

A : 원료사용량 (kg)
 B : 주정생산량 (ℓ)
 C : 원료사용량 (ℓ)
 D : 전력사용량 (KWh)
 E : 연료원單位 (ℓ / ℓ)
 F : 전력원單位 (KWh / ℓ)
 G : 에너지원單位 (Kcal / ℓ)

되며 보일러의 효율과 수송손실 등을 감안한다면 B-C유로 31,100ℓ가 되어 금액으로는 약 500여만원의 손실이 발생한 결과가 된다.

또한 타피오카 칩만 사용한 6, 9, 10월의 원단위를 10월의 6,306Kcal를 기준하였을때 9월은 B-C유로 22,490ℓ, 6월은 17,100ℓ로 금액으로는 약 650여만원을 과잉 소비된 것으로 나타나게 된다.

같은 原料를 사용하고도 원단위차가 크게 나타나는 것은 당연히 검토 대상으로 항상 관리되어야 할 것이다.

이 업체에서의 '84년도의 에너지原單位実績을 月別 原料別로 보면 다음 <표-6>과 같다.

<표-6>에서 切干 原料만을 사용하였을 때의 최소치는 4월의 0.571ℓ/ℓ-제품이고 최대치는 12월의 0.725ℓ/ℓ-제품으로 그차가 0.154ℓ/ℓ-제품으로 26.9%가 된다. 최소치0.571ℓ/ℓ-제품은 4월 전체일의 平均 연료원단위 실적치임으로 日別로 보면 平均值보다 더 적은 연료원단위 실적도 나타날 것임으로 노력과 관리여부에 따라서는 4월의 연료원단위 실적以下로도 改善될 수 있음을 알 수 있다. 이런 식으로 다른 原料에도 적용시켜 계산하면 年間 節減되는 燃料은 1,011,592ℓ라는 많은 연료량이 되어 이 업체에서 사용한 總燃料使用量の 15.9%가 되고, 電力은 869,647MWh로 總電力使用量の 30.1%가 節減할 수 있게 되어 金額으로 換算하면 2.14億원을 절감할 수 있다는 결과가 된다. 만일 원단위실적이 좋은 공장과 나쁜 공장을 즉 업체간의 원단위를 비교한다면

큰 비용차가 나타나게 됨으로 업체간의 경쟁력에서 뒤떨어지고 회사 경영합리화도 크게 영향을 미치는 결과로 나타 난다.

따라서 각업체에서는 에너지原單位管理를 철저히 하여 에너지의 과잉투입으로 인한 손실을 사전에 방지 하도록 하는 것이 중요하며 이를 위하여는 仕込·蒸溜의 各工程別로 分離하여 每日의 原單位가 集計管理되어 즉시 對策이 반영되어야함을 강조한다.

나. 보일러에서의 에너지管理

酒精工場에서의 製品出荷價格의 約 10.5~11%가 燃料費用, 1.5~2.0%가 電力費用이 占有하고 있으며 酒精工場の 設備은 크게 보일러, 仕込, 蒸溜 및 製麴으로 구분된다. 그러나 燃料은 모두 熱發生設備인 보일러에서 消費되고 있어 보일러에서의 에너지管理 즉 燃料節約이 가장 重要하다고 할 수 있다.

澱粉質을 原料로 하고 있는 12個工場에서의 보일러·保有台數는 <표-7>과 같이 총39台이며 容量으로는 477t/h이고 이중에 水缶式보일러가 30대로 전체의 약 77%이고 용량으로는 약 82%로 큰 비율을 차지하고 있다. 보일러 單位容量으로는 총39대중 15t/h이 18대(46.2%), 10t/h이 16대(41%)로 10~15t/h 보일러가 87.2%로 주종을 이루고 있으며 공장당 平均 3.25台(39.75t/h)을 보유하고 있으며 '84년 생산실적 181.614kl를 平均生産日數를 350일로 보면 시간당 약 21,600ℓ에 보일러 용량 477t/h이 되고 있어 1,000ℓ生産에 약22

<표-7>

보일러 保有現況

型 式	水 缶						小 計		煙 管	小 計		合 計		
							台 數	容 量		台 數	容 量	台 數	容 量	
容量(t/h)	5	7	8	10	15	20	-	-	7	10	-	-	-	-
台 數	1	1	1	8	18	1	30	390	1	8	9	87	39	477
比 率(%)							76.9	81.8			23.1	18.2	100	100

t/h의 용량에 해당되고 있다. 이는 각 공장에서 보유한 보일러중에는 예비로 비치된 것, 타 제품 생산에 사용된 것등이 포함되고 있으며 정격부하일 때이다.

이들 보일러에서 '84년의 연료사용실적량은 B-C油로 환산하면 약 90,000kl에 이르고 있다.

보일러에서 전체연료가 사용되고 있으므로 보일러에서 燃料節約이 에너지管理의 큰 영향을 주게된다.

보일러에서의 에너지절약대책의 중요항목을 들면 다음과 같다.

- ① 저효율 노후보일러의 대체
- ② 적정공기비 조절운전
- ③ 불완전연소의 제거
- ④ 배가스 폐열회수 이용
- ⑤ 발생증기의 건도상승
- ⑥ 급수온도의 상승
- ⑦ 경제부하에서의 계속운전
- ⑧ 과잉분출(Blow down)의 억제
- ⑨ 보온·단열보완으로 방열손실 감소
- ⑩ 급수·관수의 적정관리
- ⑪ 연료대체 등이 있다.

1) 低效率, 老朽보일러의 代替

10t/h 및 15t/h보일러의 熱效率은定格負荷에서 87% 및 88%이상이어야 형식승인이 되고 있다. 그러나 低負荷運轉 또는 管理미흡, 老朽등으로 실제 열효율은 기준치보다 떨어져 있고 있다. 診斷을 통하여 보일러의 性能試驗을 실시해 보면 잘 관리되고 있는 공장의 보일러는 10t/h이 약 82~84%선이고 20t/h보일러는 84~85%선으로 유지되고 있으나 80~82%의 熱效率로 운전되고 있는 보일러도 많다. 10t/h보일러에서 平均負荷가 85%線으로 운전되고 있을때 그 蒸氣의 乾度가 98%, 給水溫度가 70℃이라고 할 때 熱效率이 82%와 87%때의 燃料消費量을 비교하면

증기의 엔탈피 : hs

$$hs = 171.34 + 0.98 \times 489.46 = 651 \text{ (kcal/kg)}$$

82%때의 연료소비량(B-C유)

$$\frac{10,000 \text{ (kg/h)} \times 0.85 \times 1651 \text{ (kcal/kg)} - 0.82 \times 9,750 \text{ (kcal/kg)} \times 0.95 \text{ (kg/ℓ)} - 70 \text{ (kcal/kg)} \downarrow}{70 \text{ (kcal/kg)}} = 650.21 \text{ (ℓ/h)}$$

87%때의 연료소비량

$$\frac{10,000 \text{ (kg/h)} \times 0.85 \times 1651 \text{ (kcal/kg)} - 0.87 \times 9,750 \text{ (kcal/kg)} \times 0.95 \text{ (kg/ℓ)} - 70 \text{ (kcal/kg)} \downarrow}{70 \text{ (kcal/kg)}} = 612.84 \text{ (ℓ/h)}$$

임으로 같은 0.85t/h의 증기를 증발시키는데 연료증가율은 $\frac{650.21 - 612.84}{650.21} \times 100 \approx 5.7\%$

가 증가되며 年間燃料量의 차이는

$$650.21 - 612.84 \text{ (ℓ/h)} \times 24 \text{ (h/d)} \times 340 \text{ (d/年)} = 304,939 \text{ (ℓ/年)}$$

이 되며 연료비용차이는

$$304,939 \text{ (ℓ/年)} \times 165 \text{ (원/ℓ)} = 50,315,000 \text{ (원/年)}$$

이 발생되어 에너지손실이 되는 결과가 된다. 보일러를 대체하였을 때의 연료절감기대효과는

$$\frac{\text{대체후의 효율} - \text{현재효율}}{\text{대체후의 효율}} \times 100 \text{ 로 계산됨}$$

로 82%를 87%效率보일러로 代替하였을 때의 연료節減期待效果는 $\frac{(87 - 82)}{87} \times 100 \approx 5.7(\%)$

가 된다. 따라서 보일러가 최상의 熱效率로 運轉管理되고 있는가를 자주 확인하여야 하며 특히 老朽된 보일러를 보유하거나 더이상 효율향상이 불가능한 보일러는 경제성을 고려하여 代替對象으로 하여야 할 것이다. 또한 效率의 높은 보일러의 가동율을 높이는 것도 같은 이유로 중요하다. 다음 <표-8>은 보일러代替時 效率에 따른 연료절감 기대효과이다.

2) 적공기비 조절운전

대부분의 공장에서는 보일러운전자가 適正

〈표-8〉

보일러대체시 효율에 따른 기대효과

효율(%) 용량(T/H)	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	기준
0.5미만	12.5	11.3	10.0	8.8	7.5	6.3	5.0	3.8	2.5	1.3											80%
0.5~ 1.0	14.6	13.4	12.2	11.0	9.8	8.5	7.3	6.1	4.9	3.6	2.4	1.2									82
1.0~ 3.0				13.1	11.9	10.7	9.5	8.3	7.1	6.0	4.8	3.6	2.4	1.2							84
3.5~ 5.0							11.6	10.5	9.3	8.1	7.0	5.8	4.7	3.4	2.3	1.2					86
6.0~10.0								11.5	10.3	9.2	8.0	6.9	5.7	4.6	3.6	2.3	1.1				87
12.0~20.0									11.4	10.2	9.1	8.0	6.8	5.7	4.5	3.4	2.3	1.1			88
20.0 이상										11.2	10.1	9.0	7.9	6.7	5.6	4.5	3.4	2.2	1.1		89

※ 기준은 형식승인과 노후보일러 기준효율을 나타낸 것임.

※ 열효율 80%인 5t/h보일러를 형식승인 기준보일러인 효율 86% 보일러로 대체시 해당 5t/h보일러에서 소비되는 연료량의 7.0%가 절감됨.

空氣比로 운전하고 있는 것으로 알고 있다. 그러나 診斷을 통해 보면 보일러 운전일지상에 배가스의 성분분석치가 기록되지 않거나 높은 공기비로 운전되고 있는 공장이 의외로 많음을 발견하게 된다. 또한 空氣比를 조절하는 方法에서 때때로 배가스를 分析하여 空氣比를 手動으로 조절하거나 比例制御로 空燃比를 自動調節하고 있으나 대개의 경우 負荷가 變動하였을 때에 空氣比의 變化幅이 심하게 나타나는 경우가 많다. 보통 空氣比를 1.2를 기준치로 하여 조절운전하고 있으나, 診斷을 통해 연속측측 및 기록하면서 컴퓨터에서 평균치를 구하여 보면 현상이 심하여 平均 1.3~1.35의 공기비로 운전되고 있는 보일러가 많으며 심한 공장에서는 1.5로 운전되거나 燃燒裝置系統이 좋지 못하고 환경규제로 인한 매연발생을 피하기 위하여 부로 2.0이상의 공기비로 운전되고 있는 공장도 있다. 空氣比는 연료의 연소에 필요한 理論空氣量에 대한 실제투입공기량의 비율로서 공기비가 1.5라면 이론 공기량의 1.5배, 즉 50%의 과잉공기를 더 넣어주고 있다는 것으로 공기비가 높으면 보일러 爐內的 높은 열을 전달되기 전에 찬공기로 냉각하면서 굴뚝밖으로 쫓아내는 결과가 되어 熱損失이 된다. 공기비는 排가스의 가스成分을 가스

分析器로 분석하여 다음식에 의하여 구한다.

$$m = \frac{N_2}{N_2 - 3.76 \{ (O_2) - 0.5 (Co) \}}$$

$$m = \frac{21}{21 - O_2}$$

$$m = \frac{Co_2 \max}{Co_2}$$

공기비 1.2때의 배가스성분의 기준치는 다음 〈표-9〉와 같다.

空氣比調節은 가스分析 결과에 따라 연료와 연소공기량의 공급開度を 상호조절하는 것으로 투자비가 거의 없으면서 즉시 효과를 얻을 수 있는 절약항목이나 가스分析을 소홀히 하여 열손실을 보는 경우가 많다. 최근 진단사례를 들어 공기비조절에 따른 연료절감효과를 들어 본다.

년간연료사용량 : 8,368,000ℓ (B-C유)

조절전 공기비(m₁) : 1.35

조절후 공기비(m₂) : 1.2

배가스 온도 : 280℃

〈표-9〉 배가스표준분석치(B-C유인 경우)

가스성분	CO ₂	O ₂	CO	공기비
용적(%)	12.7이상	3.7이하	0	1.2

외기 온도 : 20℃

입열 합계 9,800kcal/kg - 연료

연료kg당 회수가능열량

$$= (m_1 - m_2) \times 10.709 (\text{Nm}^3/\text{kg}) \times 0.33 (\text{kcal}/\text{Nm}^3\text{℃}) \times \{280 - 20\} \text{℃}$$

$$= (1.35 - 1.2) \times 10.709 \times 0.33 \times 260$$

$$= 137.8 \text{kcal/kg} - \text{연료}$$

절감기대효과

$$\frac{\text{회수가능열량}}{\text{입열합계}} \times 100 = \frac{137.8}{9,800} \times 100 \approx 1.4 (\%)$$

연료절감기대량

$$8,368,000 (\text{ℓ}/\text{年}) \times 0.014 = 117,152 (\text{ℓ}/\text{年})$$

절감가능금액

$$117,152 (\text{ℓ}/\text{年}) \times 165 (\text{원}/\text{年}) = 19,330,000 (\text{원}/\text{年})$$

燃焼條件이 좋은 CH₄ gas와 B-C油를 混燒하는 공장에서는 空氣比의 目標値를 1.1~1.15로 하고 Steam 버너를 사용하는 공장에서는 1.15로 하여 불완전연소가 일어나지 않는 범위내에서 최소치로 운전하며 負荷變化에도 적용되는 적정공기비로 운전하는 것이 바람직하다. 근래에는 O₂Triming System이 많이 보급되어 배가스成分을 분석하여 분석치에 의해 즉시 공기비를 설정치로 조절운전하고 있다. 공기비를 0.1만큼 조절함으로써 얻어지는 연료절감기대효과를 <표-10>로 나타내 본다.

3) 排가스 廢熱回收 利用

<표-10> 공기비개선 기대효과

배 가스 온도 (℃)	150	180	200	230	250	280	300	330	350
공기비 0.1저감 (%)	0.54	0.65	0.72	0.83	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3

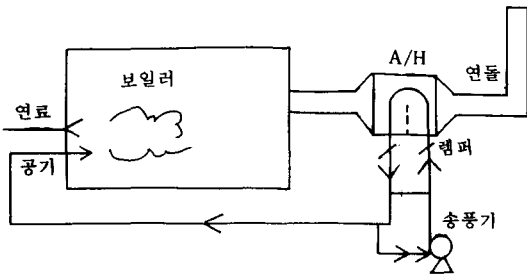
기준 : 배기가스온도는 외기온도와의 차이
공기비 저감에 따른 연료 절감을 (목표치 1.2)

<표-11> 배가스 온도개선에 따른 기대효과

공 기 비	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
20℃하강시절감율 (%)	0.92	0.99	1.06	1.13	1.2	1.27	1.35	1.42	1.49	

보일러 연돌에서 배출되는 폐열을 回收하여 燃焼用空氣의 豫熱에 利用되고 있으나 어느 溫度까지 회수하느냐가 문제이다. 使用되는 燃料의 S成分의 함유량에 따라 회수온도의 한계가 다르나 S成分의 함유량이 3.5%인 고유황 연료인 경우에는 低溫酸露點腐蝕이 되는 溫度를 감안하여 공기에열기후의 온도를 150℃가 되도록 회수할 수 있다. 특히 저유황(1.6%) B-C油나 CH₄ gas로 연소할 때는 더 회수온도를 낮게 할 수도 있다. 가령 2년에 한번 산부식에 의하여 空氣豫熱器를 代替한다고 하여도 2년내에 재투자비의 몇배의 연료비를 節減할 수 있다면 즉 경제성이 높으면 最大로 회수하는 것이 바람직하나 主정공장과 같이 作業일수가 많은 공장에서는 作業이 중단되는 때에만 대체가 가능하다.

보통 공장의 보일러에서 送風機는 最大연소량의 필요한 空氣의 容量보다 큰 용량의 송풍기를 사용하고 있고 저온산부식은 冷空氣와 만나는 공기에열기의 排가스出口部位에서 發生하기 때문에 <그림-2>와 같이 空氣豫熱器를 통과한 열풍을 재순환시키는 Hot air recycle system을 이용하여 예열된 공기를 송풍기 흡입측에 冷空氣와 혼합하여 재순환시켜 入口溫度를 높여 부식을 억제하는 방법이 이용되고 있다.



〈그림-2〉 H. A. R System

공기에열기의 부식여부판단은 A/H 전후의 배가스成分을 分析하여 전의 O₂%보다 후의 O₂%가 증가하거나 전의 CO₂%보다 후의 CO₂%가 감소하면 부식으로 인하여 연소공기가 누입되고 있는 것으로 판단한다. 배가스 폐열회수계산을 예들어 보면 다음과 같다.

$$Q_L = [G + (m_2 - 1) \times A_0] \times C_g \times (t_{g1} - t_{g2}) \times \eta, \quad (\text{kcal/kg-연료})$$

$$r = \frac{Q_L}{\text{입열합계}} \times 100 \quad (\%)$$

여기서 G : 이론배가스량 (B-C유때)
11,443 Nm³/kg

$$\text{액체연료} : \frac{15.75(H\ell - 1,100)}{10,000} - 2.18 \quad (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

$$\text{기체연료} : \frac{11.9 \times H\ell}{10,000} + 0.5 \quad (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

A₀ : 이론공기량 (B-C유때 10.709Nm³/kg)

$$\text{액체연료} : \frac{12.38(H\ell - 1,100)}{10,000} \quad (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

$$\text{기체연료} : \frac{11.00 \times H\ell}{10,000} + 0.2 \quad (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

C_g : 배가스의 평균비열 (0.33kcal/Nm³ °C)

t_{g1}·t_{g2} : 공기에열기전배가스 및 후의 온도

η : 공기에열기의 효율 (95%)

r : 기대효과

예 : 연료사용량 : 8,368,000 (ℓ/年)

$$t_{g1} \cdot t_{g2} : 280, 150 (^\circ\text{C})$$

$$\text{입열합계} : 9,920 (\text{kcal/kg-연료})$$

$$\text{공기비(m)} : 1.2$$

$$Q_L = \{11,443 + (1.2-1) \times 10,709\} \times 0.33 \times (280 - 150) \times 0.95 = 553.6 (\text{kcal/kg-연료})$$

$$r = \frac{553.6}{9,920} \times 100 \approx 5.5 (\%)$$

즉 공기에열기가 없을 때 또는 있을때의 공기에열기전의 온도가 280°C 이고 A/H를 설치하거나 A/H의 전열면적을 증대하여 150°C 까지 회수하여 연소공기의 온도를 높였을 때의 연료절감효과는 약 5.5%가 되고

연료절감기대량은

$$8,368,000 (\ell/\text{年}) \times 0.055 = 460,240 (\ell/\text{年})$$

절감금액은

$$460,240 (\ell/\text{年}) \times 165 (\text{원}/\ell) = 75,939,600 (\text{원}/\text{年})$$

이 된다. 일반적으로 배가스폐열을 회수하여 연소공기를 24°C 정도 상승시키면 1%의 연료절감을 기대할 수 있다.

4) 發生蒸氣의 乾度上昇

보일러에서 發生되는 蒸氣의 乾度가 낮을 때에는 증기가 보유하는 熱量이 적어지며 이러한 습증기가 증류탑에 供給될 때 증기의 소비량증가는 물론이고 열량변화에 各塔内の 溫度가 변하게 되어 不安定하게 되고 品質面에서도 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 보일러에서 送氣된 蒸氣중 輸送配管에서 凝縮된 Drain은 trap을 통하여 사전에 신속히 分離排出하여야 하며 더욱 중요한 것은 보일러 자체에서 乾度높은 水蒸氣를 發生시켜 송기하여야 한다. 증기의 건조저하는 缶水의 Carry-over에 의해 발생하며 Carry-over에 의한 장애는

① 보일러의 열효율을 低下시킬뿐만 아니라 有効熱을 충분히 이용하지 못하고 복수량만 증가시켜 연료낭비를 초래하고

② 열사용설비에 질 좋은 증기를 공급하지 못

해 生産과 品質에도 지장을 주며

③ Water Hammering으로 인하여 配管系統이나 設備의 수명을 단축시키게 된다.

Carry-over를 防止키 위해서는

① 氣水分離器의 性能이 유지되어야 하고

② 給水, 缶水의 水質을 관리하여 缶水의 溶解固形物 및 부유물의 농도가 높지 않게 하고 때때로 알맞은 량의 Blow down을 행하고

③ 高水位運轉을 피하고

④ 負荷急變이 일어나지 않도록 한다. 蒸溜室의 증기사용부하는 큰 변화가 없으나 仕込室에서 蒸煮을 시작할 때는 보일러실에 사전에 연락하고 蒸氣 Valve를 서서히 열도록 한다. 등이나 精密에너지管理診斷을 받은바 있는 A공장의 경우, 보일러실의 Main Steam Header의 trap에서 많은 응축수가 배출되고 있으면서 미처 나오지 못한 응축가 증기관을 통해 사용설비까지 송기되고 있었다. 休止中인 1號보일러의 氣水分離器는 증기관과의 연결이 떨어져 있었으며 稼動中인 3,4號의 평균 증기건도는 96%였다.

이 공장의 경우 乾度差로 인한 증기의 열량차 및 연료손실은 壓力 6 kg/cm²일 때

$$hs = i + xr$$

hs : 포화증기의 엔탈피 (kcal/kg)

i : 포화수의 엔탈피 (kcal/kg)

x : 증기의 건도 (%)

r : 포화증기의 잠열 (kcal/kg)

① 乾度 96%인 경우

$$hs = 165.65 + 0.96 \times 494.1 \approx 640 \text{ (kcal/kg)}$$

② 乾度 98%인 경우 (보일러형식 승인 기준)

$$hs : 165.65 + 0.98 \times 494.1 \approx 650 \text{ (kcal/kg)}$$

따라서 증기 1kg당 열량차는

$$650 - 640 = 10 \text{ (kcal/kg)}$$

$$\text{손실율은 } \frac{650 - 640}{650} \times 100 \approx 1.54 \text{ (\%)}$$

이 공장의 건도 96%인 보일러에서의 年間 B-C유 사용량은 8,368,000ℓ 임으로 건도를

향상시켰을 경우

$$\begin{aligned} \text{연료절감량} &= 8,368,000 \text{ (ℓ/年)} \times 0.0154 = \\ &= 128,867 \text{ (ℓ/年)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{절감가능금액} &= 128,867 \text{ (ℓ/年)} \times 165 \text{ (원/ℓ)} \\ &= 21,263,000 \text{ (원/年)} \end{aligned}$$

의 연료손실을 방지할 수 있게 된다.

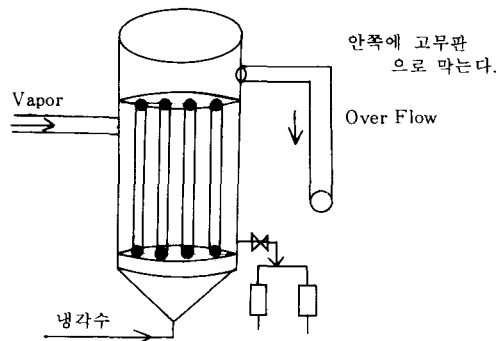
5) 보일러給水溫度上昇

주정공장에서는 보일러給水を 증류실의 콘덴서의 冷却温水 또는 糖化機의 内部사관냉각수를 回收하여 60~65℃ 정도로 給水하고 있다. 그러나 溫度와 流量을 면밀히 조사해 보면 더 높은 온도로 급수할 수 있는 공장이 많다.

우선 정상조업일 때 보일러의 필요급수량(증발량)을 감안하여 각콘덴서의 冷却水出口溫度와 流量을 조사한다. 보통 각탑의 No. 1 콘덴서에서 利用價値가 높은 높은 온도의 冷却温水가 Over Flow되고 있다.

溫度는 온도계로 조사하고 流量은 〈그림-3〉과 같이 Over Flow Pipe의 出口안쪽을 고무板으로 잠깐막고 콘덴서내의 水位가 올라오는 것을 秒時計로 check하여 水位높이와 內徑으로 時間當流量을 조사한다.

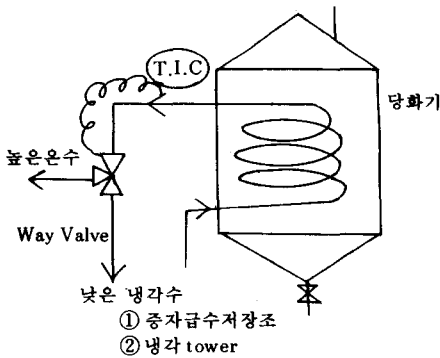
당화기에서는 가능한 빠른시간에 冷却하여 麴子投入으로 糖化를 하기 때문에 Valve을 Full open으로 하고 있으며, 초기 짧은 시간에 배출되는 냉각수의 溫度만이 높으며, 水壓과 流速 및 入口溫度에 따라 다르나 대개의 경우 冷却始作후 8~10분이 경과된 냉각수의 평균온도가 75℃ 정도가 되고 있다. 이를 확인하



〈그림-3〉 콘덴서 냉각수량 측정

기 위하여 出口 pipe 端에서 드럼통으로 받아 温度와 時間을 測定하여 그래프를 그려본다. 주정공장의 경우 증류기 콘덴서와 당화기의 냉각 온수를 75℃ 이상의 것만 회수하여도 보일러給水量과 맞게 되는 경우가 많다.

測定結果에 따라 더 높은 온도, 량의 冷却 温水の 回收對象을 정한 후, 해당 콘덴서에 보내는 冷却水는 미리 정수처리된 냉각수로 보내도록하고 糖化機의 初期冷却 温水는 따로 Softner에 통과시킨 후 보일러給水로 한다. 당화기에서의 出口流量 및 温度를 測定하여 높은온도의 냉각수를 운전요원이 따로 Tank에 저장하기는 번잡함으로 <그림-4>과 같이 冷却水 出口側 pipe에 3way valve와 T.I.C를 設置하여 温度에 따라 自動的으로 선별하여 tank에回收하여 보일러給수에 사용하거나 증자급수 및 냉각 tower로 보내도록 한다.



<그림-4>

보일러의 급수온도를 10℃ 상승시키면 연료 절감이 약 1.5%가 절감되며 부대효과로서 보일러의 열부하충격을 완화하고 부하급변에 대응하면서 증발속도도 증대되는 효과가 있다.

給水温度를 60℃에서 75℃로上昇시켰을때의 燃料節減期待效果 에는 다음과 같다.

보일러 용량 : 10t/h

운전부하 : 85%

$$\text{연료절감량} = \frac{10,000(\text{kg/h}) \times 0.85 \times (75-60)}{9,750(\text{kcal/kg}) \times 0.95(\text{kg}/\ell)} \times 24\text{h/d} \times 340\text{d/年}$$

$$= 112,323(\ell/\text{年})$$

$$\text{절감금액} = 112,323(\ell/\text{年}) \times 165(\text{원}/\ell)$$

$$= 18,533,000(\text{원}/\text{年})$$

6) 燃料代替

주정공장에서 糖質, 澱粉質원료의 蒸溜 廢液으로 메탄발효를 시켜 발생 CH₄ gas를 보일러의 연료로 사용하고 있는 工場이 현재 6개소나 되고 있다. 이는 公害처리 때문의 설비이나 연료면에서 B-C유와 메탄 gas의 가격비교를 D공장의 경우를 열량 10,000kcal를 기준으로 해보면

$$\text{B-C유} : 9,750(\text{kcal/kg}) \times 0.95(\text{kg}/\ell)$$

$$= 9,263(\text{kcal}/\ell)$$

$$\text{B-C유단가} : 163.04(\text{원}/\ell)$$

$$\therefore 10,000\text{kcal當} : 176(\text{원})$$

$$\text{CH}_4 \text{ gas} : 8,550(\text{kcal}/\text{Nm}^3) \times 0.56 \times$$

$$\frac{273}{273+35} = 4,244(\text{kcal}/\text{Nm}^3)$$

$$\text{CH}_4 \text{ 단가} : 32(\text{원}/\text{Nm}^3)$$

$$\therefore 10,000 \text{ kcal當} 75.4(\text{원})$$

으로 약 1/2.3 가격이다. 그러나 CH₄ 發生設備의 初期投資가 막대하여 보통 3~4년에 투자회수가 가능하다. 또 주정공장중 2個公장에서 유연탄 보일러를 설치중에 있다. 같은 10,000 kcal當 단가를 비교해 보면

$$\text{유연탄} : 6,600(\text{kcal}/\text{kg})$$

$$\text{단가} : 67.5(\text{원}/\text{kg})$$

$$\therefore 10,000\text{kcal當} 102.3(\text{원}) \text{이다.}$$

B-C유단가보다 약 70원이 저렴하며 이는 CH₄ 發生 설비를 完了後에 소비되는 B-C유의연료비용을 절감키 위해 설치하는 것이 순서이다.

다. 仕込工程에서의 에너지管理

糖質原料를 使用하였을 때에는 醪濃度調節과 殺菌을 하고 澱粉質原料일 때에는 전분을 糊化·液化를 하여 糖化 및 알콜발효를 할 수 있도록 蒸餾를 하는데에 蒸氣를 주로 사용하고 기타 탱크 및 配管殺菌에도 蒸氣를 사용하여

보통 보일러에서 발생하는 전체증기의 25~30%를 仕込工程에서 使用하고 있으며 仕込 工程에서의 에너지節約對策의 큰 항목은

- ① 仕込급수 온도상승
- ② 蒸煮壓力 下向조정
- ③ 濃仕込
- ④ 連續蒸煮 등이다.

1) 仕込급수溫度上昇

仕込급수를 原料粉碎後 粉碎澱粉 분말과 연속으로 混合하면서 蒸煮機에 移送하고 蒸煮를 시작한다. 이때의 粉碎粒子는 微粒子化 및 크기의 均一化를 하여야 하며 가수되는 급수의 溫度가 전분가루가 떡이 되지 않을 정도의 높은 온도로 증자기에 移送하게 되면 蒸煮機에서의 드래인발생량이 적으며 蒸氣의 消費도 절감할 수 있게 된다. 대개의 工場에서 이를 잘 실시하고 있으나 증류실 및 당화기 냉각온수의 선택과 이송중의 冷却防止 등에 再檢討가 이루어져야 할 것이다.

2) 蒸煮壓力 下向調整

澱粉質原料를 사용하여 蒸煮할 때 所定의 壓力으로 加壓昇溫시켜 一定 時間을 Holding 하여 전분이 糖化 및 醱酵을 할 수 있는 조건으로 호화, 액화, 殺菌, 濃度조정, 및 助成劑첨가를 하여 糖化機로 移送되나 증자 도중에 일정 압력이 되면 증자기 内部의 air를 排出키 위하여 air vent를 시키면서 이 廢熱을 이용하여 다음 증자기의 豫熱 및 급수저장조의 급수에 열 등에 사용하고 있으며 蒸煮가 끝나면 蒸煮醪를 糖化槽에 移送하면서 糖化槽에서 Vent되는 廢熱로 大蒸煮機의 豫熱, 醱酵槽 및 酒母槽의 殺菌에 利用되고 있다. 여기서 檢討해야 할 점은 本蒸煮機에서의 蒸煮壓力이다. 같은 전분질 원료를 使用하여 3mm 정도로 분쇄 후 蒸煮機에서의 壓力條件을 2.0kg/cm²로 하는 工場과 1.4kg/cm²로 하여 40~50分 Holding하는 工場이 있다. 가능한 적은 壓力으로 加壓昇溫 시키는 것이 증기 사용량의 감소로 증기 절감이 된다.

이는 工場에 따라서 蒸煮條件에 따른 醪의 糖化率 및 熟成醪의 殘糖, 收率 등에 의해 工場 나름대로 고려되고 있으나, 가능 한도 내에서 하향 조절하는 것이 바람직하다.

3) 濃仕込

같은 전분질을 原料로한 熟成醪의 試溜度數를 보면 8.0~9.8% 정도이다. 試溜度數에 차이가 있는 것은 산오염에 의한 것외에는 投入原料量의 차이 또는 醱酵熟成醪量의 차이이다. 원료 투입량은 원료의 포장수로 投入하면서, 증자기에서 사전에 空尺으로 測定하고 투입완료 후의 空尺으로 投入原料量을 확인하고 있으나 오차가 발생되기도 하고 증자시에 증기의 건도, 사입수의 온도, air vent 정도 등에 따라 다르게 된다. 工場에 따라서는 이를 잘 조절하여 濃仕込를 計劃적으로 하고 있거나 檢定量을 맞추기 위해 濃仕込를 해야 할 때가 있다. 하루의 酒精生産量이 一定하여야 하기 때문에 농사입을 하였을 때 하루에 처리하는 醪量은 減少되나 原料投入量은 같기 때문에 仕込水만이 적어진다. 여기서 검토해야 할 것은 전분질 1kg을 1℃ 올리는데 필요로 하는 熱量 즉 比熱은 0.59Kcal이고 물의 比熱은 1Kcal/kg℃이다. 따라서 같은 量의 原料投入으로도 熟成醪量이 많아 試溜度數가 낮게 되는 것은 醪中の 水分量이 많다는 것이다. 하루 100D/M(20,000ℓ)를 生産하는 工場의 경우 蒸溜比率 97%일 때 시류도수 8%와 9%때의 醪量중 水分의 차를 보면,

$$8\% \text{ 때 } 醪量 = \frac{20,000 \times 0.95}{0.08 \times 0.97} = 244,845 (\ell)$$

$$9\% \text{ 때 } 醪量 = \frac{20,000 \times 0.95}{0.09 \times 0.97} = 216,740 (\ell)$$

$$醪中仕込水量差 = 244,845 - 216,740 \approx 27,205 (\ell)$$

이다. 따라서 Alc도수 9%로 仕込時 100D/M當 27,205kg의 仕込水를 더 증자하게 됨으로 65℃의 사입수를 123℃까지 올리는데 필요

한 열량이 과소비 된다. 이를 보일러效率 83%, 수송손실 5%인 공장의 경우에 적용하여 보면

$$B-C \text{ 유과소비량} = \frac{27,205 \text{ (kg/d)} \times 1 \text{ (Kcal/kg}^\circ\text{C)} \times (123 - 65^\circ\text{C}) \times 340 \text{ d/年}}{9,750 \text{ (Kcal/kg)} \times 0.95}$$

$$= 73,455 \text{ (} \ell \text{/年)}$$

$$\text{손실연료비} = 73,455 \text{ (} \ell \text{/年)} \times 165 \text{ (원/} \ell \text{)} = 12,120,000 \text{ (원/年)}$$

으로 연료의 낭비가 됨을 알 수가 있다.

실제적으로는 증자기에서 air vent시키는 증기량도 比例적으로 감소되며 부대효과로는 당화기 냉각수량감소, pump동력비 절감등도 기대된다. 또한 蒸溜工程에서도 증기소비량이 감소된다. 즉 Alc시류도수가 높을수록 Boiling point가 낮아져 蒸發감열이 적어지며 속성요의 處理量도 적어짐으로(가동시간 단축) 그만큼 소비량이 적어지게 된다. 현재 평균 8%의 시류도수의 醪를 9%로 濃仕込하여 증류한다면 증류탑에서의 증기 절감량은 다음과 같다.

$$\text{Liquid } 8.0V\% = 6.4W\% \text{ (Vapor } 50.3V\% = 42.8W\%)$$

$$\text{Liquid } 9.0V\% = 7.2W\%$$

이며 시간당 醪處理量 9,567 kg/h를 하고 증류기 2 Set를 가진 공장의 예를 들면

$$\text{알콜증가량} = 9,567 \text{ (kg/h)} \times (0.072 - 0.064) = 76.5 \text{ (kg/h)}$$

즉 9%로 증류함으로써 시간당 76.5kg의 알콜을 증가 생산할 수 있으며 증류시간이 단축되며 역으로 속성요의 공급시간이 줄어들게 된다.

$$\text{속성요의 처리감소량} = 9,567 \text{ (kg/h)} \times \frac{(0.072 - 0.064)}{0.072} = 1,063 \text{ (kg/h)}$$

$$\text{승온열량} = 1,063 \text{ (kg/h)} \times 1,013 \text{ (Kcal/kg}^\circ\text{C)} \times (106 - 88) \times 2 = 38,765 \text{ (Kcal/h)}$$

$$\text{燃料환산량} = 38,765 \text{ (Kcal/h)} \times 24 \text{ (h/a)} \times 340 \text{ (d/年)} \div (9,750 \times 0.95 \times 0.83 \times 0.95) = 43,311 \text{ (} \ell \text{/年)}$$

$$\text{절감금액} = 43,311 \text{ (} \ell \text{/年)} \times 165 \text{ (원/} \ell \text{)} = 7,146,000 \text{ (원/年)}$$

이 된다. 하루의 生産性 증가, 조업시간 단축 효과와 냉각수 및 전력절감의 부대효과가 있으나 발효조에서의 만량이 줄어든다. 만탱크로 농사임을 하면 사입순호가 달라지는 것을 맞추기 위해 공사입으로 순호가 넘어가는 때가 있다. 그러나 발효조의 속성요량을 적게하면 仕込順號도 달라지지 않을 것임으로 이의 계획적인 실시를 공장 나름대로 검토해 볼만하다. 보통 주정공장에서의 시류도수가 8%~9.5%가 되는 경우가 많으므로 농사입으로 하면서 시류도수를 均一하게 한다면 알콜농도 변화에 따른 B.P 變化로 인한 所要증발 열량의 차이로 塔의 運轉條件 變化가 없어지고 安定性 있는 操業을 할 수 있게되며 品質管理에도 효과가 기대 될 것이다.

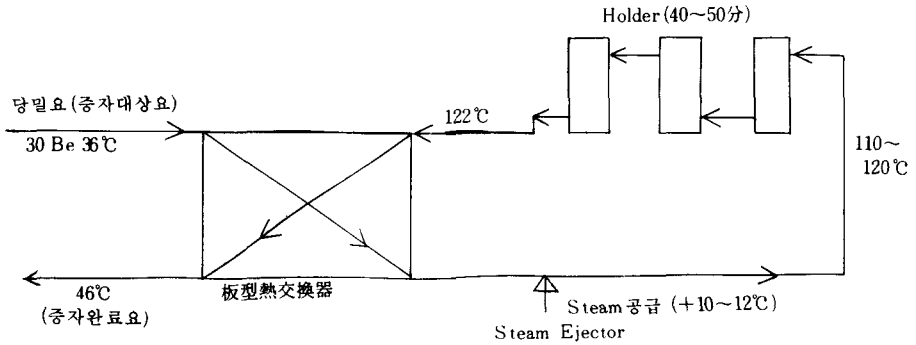
그러나 濃仕込이 지나쳐 醪流下調節器에서 加水해야 할 정도라면 증류 공정에서의 증기절감을 할 수 없게 된다.

4) 連續蒸餾

現在 蒸餾工程은 모두 回分式으로 하고 있기 때문에 증기의 소비량이 많다.

최근 10여년전부터 糖密을 原料로 하여 조미료를 生産하는 공장에서는 板型熱交換器와 Steam Ejector를 使用, 連續蒸餾을 하여 糖密의 連續加壓加熱殺菌과 함께 냉각공정도 같은 熱交換器內에서 同時에 실시하고 있다. 즉 Steam Ejector로 醪를 加熱하며 이의 冷却을 加熱하려는 醪와 熱交換시켜 냉각함으로써 冷却시켜야 할 높은 온도의 醪의 保有熱을 板型熱交換器를 통하여 가열하여야 할 醪의 昇溫에 利用하는 System으로 그 흐름도는 다음(그림-5)와 같다.

따라서 122℃로 加熱된 醪를 冷却하여 열을



〈그림 - 5〉 연속증자흐름도

얻어 승온이된 100~110℃의 醪를 10~12℃ 정도만 승온이 되도록 Steam Ejector로 加熱하면 된다. Batch式 蒸煮를 連續式 蒸煮方法으로 실시하는 對象原料는 澱分質의 粘度가 적고 短纖維이며 微粉碎가 가능한 原料가 對象이 될 수 있다. 따라서 裸麥과 塔피오카칠 原料에 대한 연속증자의 可能性이 크다고 할 수 있다.

열교환하여 온도가 올라간 100~110℃의 요를 10~20℃만 승온시켜줄 Steam만 소요됨으로 많은 Steam 절약 즉 燃料절감을 이룰 수가 있다. 이를 계산해 보면 증자에 소비되는 Steam 소요열량의 약 50%이상의 절감이 기대된다.

하루 200D/M (40,000 ℓ) 를 생산하는 공장에서 시류도수 8.5%, 製成比率 83.5%일 때를 시산하여 보면,

$$\text{증자요량} = \frac{40,000 \times 0.95}{0.085 \times 0.835} = 535,400 (\ell / d)$$

증자원료량 (전분가 65%일 때)

$$= \frac{40,000 \times 0.95}{0.65 \times 0.715 \times 0.835} = 97,921 (\text{kg} / d)$$

$$\begin{aligned} \text{증자요증 사입수량} &= 535,400 - 97,921 \\ &= 437,478 (\text{kg} / d) \end{aligned}$$

① Batch 증자에 필요한 승온열량 (급수 65℃ 122℃까지 승온)

$$\begin{aligned} \text{물의 승온열량} &= 437,478 (\text{kg} / d) \times 1 (\text{Kcal} / \text{kg} \cdot \text{C}^\circ) \times (122 - 65) \\ &= 24,936,246 (\text{Kcal} / d) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{원료의 승온열량} &= 97,921 (\text{kg} / d) \times 0.59 (\text{Kcal} / \text{kg} \cdot \text{C}^\circ) \times (122 - 65) = 3,293,083 (\text{Kcal} / d) \\ \text{계} &= 24,936,246 + 3,293,083 = 28,229,329 (\text{Kcal} / d) \end{aligned}$$

단, 증자기 air vent와 당화조에서의 Flash 증기는 제외

② 연속증자시의 승온열량

$$\begin{aligned} \text{물의 승온열량} &= 437,478 \times 1 \times (122 - 100) = 9,624,516 (\text{Kcal} / d) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{원료의 승온열량} &= 97,921 \times 0.59 \times (122 - 100) \\ &= 1,271,014 (\text{Kcal} / d) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{계} &= 9,624,516 + 1,271,014 = 10,895,590 (\text{Kcal} / d) \end{aligned}$$

$$\text{③ 절감효과} = \frac{\text{①} - \text{②}}{\text{①}} \times 100 = 61.4 (\%)$$

④ 燃料환산량

$$\begin{aligned} &= \frac{17,333,739 (\text{Kcal} / d) \times 340 (\text{d} / \text{年})}{9,750 (\text{Kcal} / \text{kg}) \times 0.95 (\text{kg} / \ell) \times 0.835} \\ &= 766,500 (\ell / \text{年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{⑤ 절감금액} &= 766,500 (\ell / \text{年}) \times 165 (\text{원} / \ell) = \\ &= 126,472,500 (\text{원} / \text{年}) \end{aligned}$$

따라서 pilot test를 하여 가능성을 검토할 만하다고 본다.

라. 蒸溜工程에서의 에너지管理

蒸溜工程에서 消費되는 蒸氣는 통상 全工場에서 사용하는 증기의 約 70~75%를 使用하

고 있으며 蒸溜에서의 증기질감 방안은 다음과 같다.

① 경험에 의한 수동목적 운전을 컴퓨터를 이용한 전자동제어 운전 System으로 대체

② Over head Vapor의 잠열회수, 타탑의 가열원으로 利用

③ 廢醪液 熱交換器의 增設 또는 傳熱面積增大로 廢熱回收하여 Feed醪液의 豫熱溫度上昇

④ 증류기를 신설 설치시 2 Set이상은 1Set로 통합 설치

⑤ 粗酒精塔의 活用(醪 및 初溜塔 以後는 기존 조주정 정제탑으로 이용)

⑥ 段數增大 또는 塔經增大로 低환류비 증류탑으로 함.

⑦ reflux Ratio의 감소

⑧ reflux液의 過剩 冷却防止

⑨ 醪豫熱器, 醪豫熱塔内の 모래 등 제거로 熱交換效果 增大

⑩ 醪塔의 Tray을 열교환이 잘되도록 하여 熱交換 效率를 높이고 塔內 Over Flow 管과 Cap 높이 간의 간격의 적정화 및 균일화

⑪ 塔頂溫度와 壓力으로 운전관리

⑫ 運轉管理를 위한 標準作業書 作成 실시

⑬ 환류비와 환류액의 온도 조정

⑭ 粕取機 및 추출탑에서의 加水量 減少 및 적정화

⑮ 再蒸溜防止

⑯ 過冷却防止

⑰ Heat pump 設置로 低壓蒸氣發生 利用

⑱ 初溜·精製 脫水塔의 脫水保有熱의 回收 利用

⑲ 製品의 保有熱 回收하여 他 裝入液의 豫熱實施

⑳ 冷却水熱의 利用(보일러, 사입급수 등)

㉑ 保温, 斷熱 強化

㉒ 用水의 溫度 및 水質에 따라 선별제사용

㉓ Leak 防止

등을 들 수 있다.

1) 設備統合

酒精工場에서는 보통 증류기 2 Set 이상을 運轉하여 檢定量을 생산하고 있다. 이들 蒸溜機를 老朽로 인하여 新塔으로 代替하여야 할 때에는 1 Set로 하는 것이 바람직하다. 이때의 이점은 다음과 같다.

① 용이한 운전관리 : Running cost의 저감

② reflux Ratio의 감소

③ 자동제어 System 적용의 용이

④ 塔頂 Vapor의 잠열회수 이용처의 투자비 감소

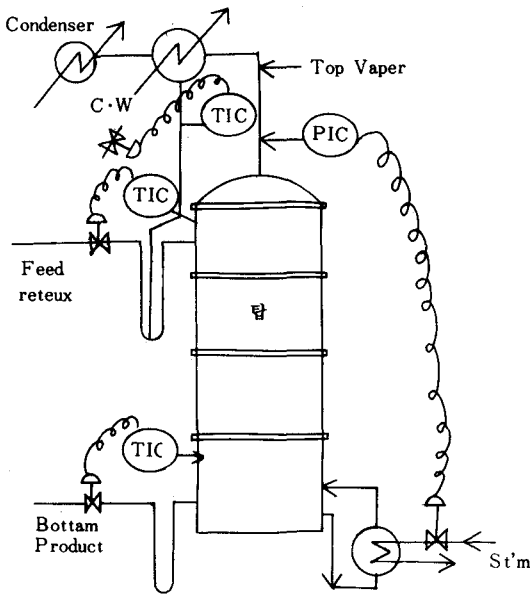
⑤ 放熱操失의 減少

⑥ 증류공정 에너지원단위의 개선 등이다.

가장 큰 利點은 1 Set로 塔의 容量이 커짐으로 Heat pump를 設置하여 지금까지 塔의 Top Vapor의 잠열을 콘덴서로 냉각하던 것을 Heat pump로 회수하여 低壓蒸氣를 生産하여 塔의 補充蒸氣源으로 利用하게 되고 투자비도 적어짐으로 큰 에너지절감을 할 수 있다.

2) 自動制御시스템 導入

우리나라 化學工場 등에서의 塔은 대부분 自動制御 System으로 運轉되고 있으며 근래에는 컴퓨터를 이 System에 利用하고 있으나 수 10년의 경력을 가진 酒精工場에서는 아직도 경험에 의한 手動運轉을 하고 있다. 蒸溜는 여러 成分이 混合된 液中에서 목적한 酒精을 순수한 成分으로 비등점 차이에 의하여 分離 및 濃縮 하되 不純物의 除去를 위하여 반복증류를 하게 된다. 때문에 각 塔內의 各段의 成分에 따른 적절한 壓力과 溫度管理가 대단히 重要하며 Feed, Reflux, Top Vapor 등의 組成, 溫度의 조정, 液量의 조정 등 管理項目이 많으며 이들을 정확히 管理하여 運轉됨으로서 적은 에너지로도 생산할 수 있게 된다. 에너지節約을 위해 塔內의 溫度, 壓力, 환류량과 溫度 및 分縮溫度 管理만이라도 우선 自動制御로 調節하여 運轉되는 것이 바람직하다. 그 예는 <그림 - 6>과 같다.



(그림 - 6) 自動制御 方法例

3) 還流比下向調整

환류량과 환류온도는 品質 및 에너지節減과 큰 關係가 있어 환류량을 줄이도록 하고 溫度는 成分에 따른 分縮溫度에 조절하는 것이 有利하다. 還流量的 減少方法은 塔內에서 氣體와 液體의 熱交換이 充分히 잘되도록 Tray을 改善하거나 段數의 增設, 塔徑의 增大 등을 고려되어야 하나 가장 쉬운 方法은 段數增設과 Tray 改善이다. Tray를 水平으로 유지하도록 하고 청소도 용이하게 하여 氣液의 接觸面積을 增加시켜 열교환을 높이도록 한다. 還流液의 溫度는 還流管에 T. I. C를 設置하여 콘덴서의 冷却水量을 自動調節하여 過冷却이 되지 않도록 調節되어야 하며 콘덴서의 동체온도를 육감으로 감지하여 냉각수량을 조절하는 方法은 가능한 피하도록 한다.

4) 廢熱回收利用

蒸溜塔에서의 廢熱은 塔頂氣體의 潛熱·脱水液의 保有熱, 醜廢液의 保有熱 및 冷却水의 保有熱 등이 있다.

가) 塔頂氣體의 潛熱回收 利用

塔頂에서의 主成分을 콘덴서에서 分縮하여 還流 또는 他塔에 Feed하고 있다.

이 塔頂氣體는 熱量이 많고 溫度도 높아 이 에너지를 콘덴서로 냉각하기 전에 Heat pump를 設置하여 潛熱을 회수, 低壓蒸氣를 發生시켜 Reboiler의 補充熱源으로 使用하는 것이 바람직하다.

Heat pump는 低熱을 高熱 또는 蒸氣로 승온시켜 에너지의 上昇效果를 부여하는 것으로 蒸溜공장에서는 吸收式 Heat pump가 適用된다. 단지 현재로서는 Heat pump의 設置費가 高價이고 熱回收率이 48~49%로 낮은 것이 缺點이다.

'85년에 診斷을 실시한 B공장의 100D/M생산용량의 蒸溜機를 熱精算한 結果, 各塔의 塔頂氣體의 潛熱은 <표-12>와 같다. 이 <표-12>에서와 같이 初溜塔의 塔頂潛熱이 열량이 많으며 溫度도 높은 편이다.

Heat pump를 設置하여 低壓蒸氣(1~2.5 kg/cm²)를 發生시키는 方法은 <그림-7>과 같으며 이 Heat pump를 設置하였을 때의 效果를 검토하여 보면

- 塔頂氣體의 潛熱量=673,780(Kcal/h)

回收可能熱量: Heat pump의 熱回收率=48%

=673,780(Kcal/h)×0.48

=323,410(Kcal/h)

蒸氣發生可能量

$$= \frac{\text{回收可能熱量} \times \text{年稼動時間}}{\text{蒸氣潛熱} + (\text{포화수엔탈피} - \text{공급수의엔탈피})}$$

$$= \frac{323,410(\text{Kcal/h}) \times (24\text{h/d} \times 340\text{d/年})}{52,626(\text{Kcal/kg}) + (119.9 - 95)(\text{Kcal/kg})}$$

=4,241(ton/年)

燃料節減量(B-C유) ... 수송손실 5%, 보일러 효율 83%

$$\frac{323,410(\text{Kcal/h}) \times 24(\text{h/d}) \times 340(\text{d/年})}{9,750(\text{Kcal/kg}) \times 0.95(\text{kg/ℓ}) \times 0.95 \times 0.83}$$

=361,000(ℓ/年)

節減金額=361,000(ℓ/年)×165(원/ℓ)
=59,565,000(원/年)

〈표-12〉 塔頂氣體의 潛熱

塔名	潛熱(Kcal/kg)	溫度(°C)	備考
醪豫熱塔	163,780	92	
初溜塔	673,780	82	醪豫熱
第一抽出塔	360,650	85	製品塔 Reboiler
第二抽出塔	107,630	78	
精製塔	529,330	78	
製品塔	193,150	78	
不良酒精塔	127,300	78	
計	2,155,620	81.5	

予想投資費=約 2 億圓

投資回收 期間=3.5(年)

만일 2 Set 이상의 증류기를 가동하는 공장에서 1 Set로 統合改善하였을 때는 효과가 증가하고 投資回收期間도 단축되며 보통 추정공

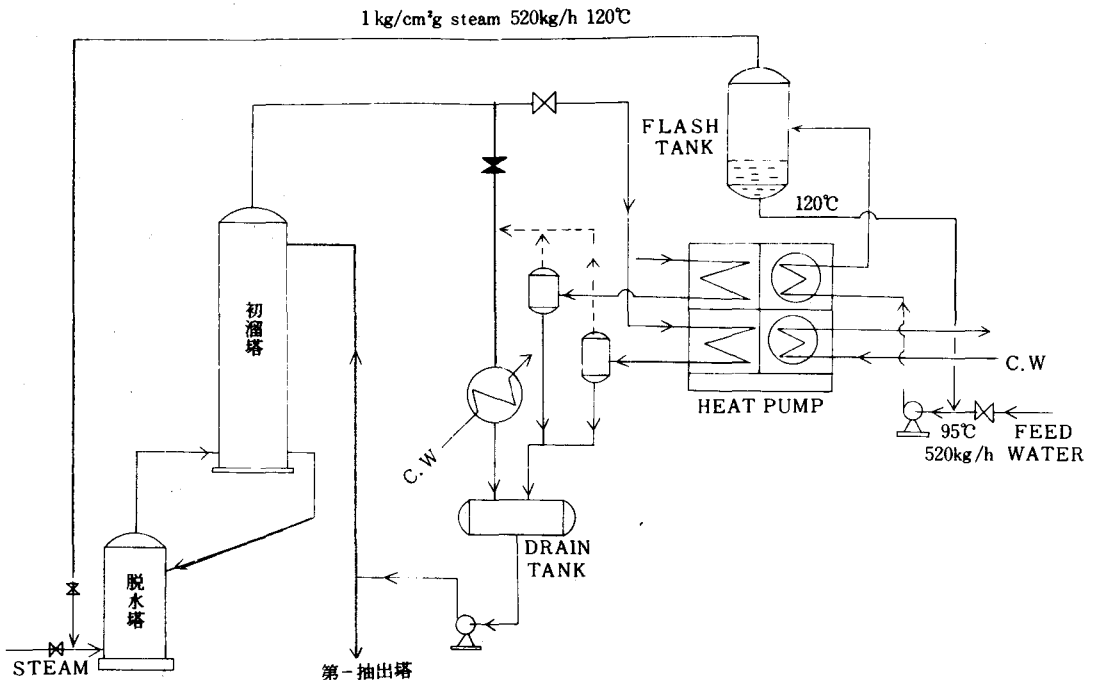
장에서 사용된 B-C 유 환산 총 사용량의 5~8%는 절감된다.

나) 蒸溜廢液의 廢熱回收 利用

蒸溜系의 醪塔에 Feed되는 熟成醪는 初溜第 1 콘덴서, 즉 預열기와 요탑의 廢液熱交換器를 통하여 예열된 후 醪豫熱塔에 供給되고 있으나 이들 交換器의 内部에 모래 등이 쌓이게 되어 시간이 지날수록 熱交換效率가 低下되고 있다. 熱交換器들을 청소한 직후에는 30°C 전후의 숙성요를 85°C 정도까지 예열이 가능하나 열교환효율이 낮아질 때는 60°C도 승은시키지 못하게 된다.

하루 100 D/M (20,000 l)를 생산하고 試溜 8.5%, 蒸溜比率 97%를 기준으로 하여 85°C와 60°C로 昇溫시켰을 때의 回收熱量을 比較해 보면,

$$\begin{aligned} \text{熟成醪量} &= \frac{20,000 (l/d) \times 0.95}{0.085 \times 0.97} \\ &\approx 230,440 (l/d) \end{aligned}$$



〈그림-7〉 Heat pump 設置圖

$$\begin{aligned} \text{未回收熱量} &= 230,440 (l/d) \times 1,003 (kg/l) \\ &\times 0.933 (Kcal/kg^{\circ}C) \times (85-60)^{\circ}C \\ &\times 340 (d/\text{年}) \approx 1,833 \times 10^6 (Kcal/\text{年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{燃料換算量} &= \frac{1,833 \times 10^6}{9,750 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.83} \\ &\approx 250,974 (l/\text{年}) \end{aligned}$$

年中 60°C로만 豫熱되는 것이 아님으로 60~85°C의 中間值를 적용시키면

$$\begin{aligned} \text{節減金額} &= 250,974 / 2 (l/\text{年}) \times 165 (\text{원}/l) \\ &\approx 20,700,000 (\text{원}/\text{年}) \end{aligned}$$

이 된다. 따라서 廢液熱交換器를 1set 增設하여 交代 運轉하면서 청소를 자주하여 예열 온도를 평균 73°C 정도로 유지한다고 하여도 충분히 경제성이 있다고 본다.

또한 요예열기 및 요예열탑 내의 모래도 정기적으로 청소하여 열교환 효율을 올려주는 것도 잊어서는 안된다.

5) 製品塔 Side Boiler의 改善

製品塔에서의 蒸氣節減을 위하여 第1抽出塔의 塔頂氣體의 潛熱을 Reboiler의 熱源으로 利用하고 있으나 回收熱量이 적은 공장이 있어, 自體檢討가 要求된다.

潛熱을 充分히 回收치 못하고 있는 原因을 보면,

① Side Reboiler의 傳熱面積이 적다.

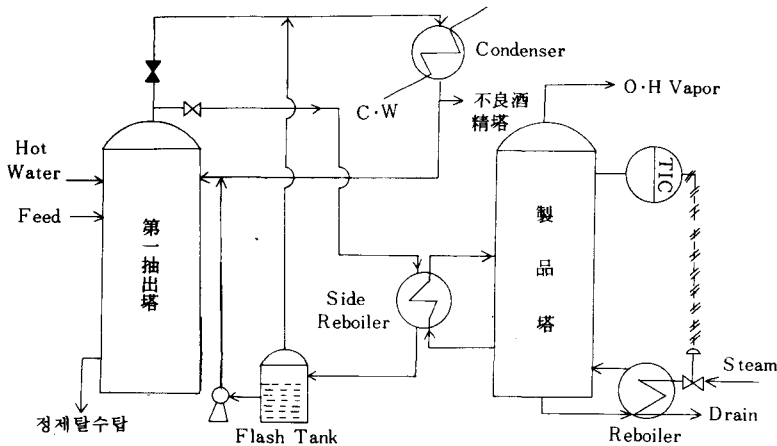
② Flash Tank의 Flash Vapor의 排出管이 없다.

③ Side Reboiler의 設置位置가 잘못되었다.

熱精算을 하여보면 第1抽出塔의 塔頂 Vapor의 潛熱은 286 Kcal/kg이고 蒸氣의 潛熱은 526.26 Kcal/kg이기 때문에 蒸氣를 熱源으로 한 Reboiler의 傳熱面積은 적어도 2배이상 이 되어야함을 알 수 있으나 이를 고려 못하고 있는 공장이 있어 改善되어야 할 것이다. 熱의 傳達은 溫度差에 比例하여 塔頂氣體의 溫度는 대략 85°C로 운전관리 되고 製品塔 下部의 液溫은 83°C로 운전되고 있는 공장에서는 온도차가 2°C이고, 蒸氣溫度는 119°C에 塔하부액 온이 83°C로 온도차가 36°C이기 때문에 塔頂보다 蒸氣 Reboiler에서 熱의 傳達이 우선적으로 행하여 진다.

塔頂氣體의 潛熱은 回收利用하기 위해서는 Side Reboiler의 溫度差를 크게 하여야 하며 塔內의 溫度가 낮은 中央段의 液을 加熱하는 것이 바람직하며, 증기의 使用量을 Valve로 줄이는 것이 좋을 것이다.

Side Reboiler의 設置方法을 나타내면 다음 <그림-8>과 같다.



<그림-8> Side Reboiler 設置 改善圖