

冷凍機運転日誌に基づく BCS によるエネルギー節減報告書

(HanWha 石油化学株式会社蔚山工場第 2 事業所 1500USRT 吸収式冷凍機)

韓国科学技術院 熱流導制御研究所

Thermal Flow Control Research Center

Korea Institute of Science and Technology (KIST)

Dr. Yoon Pyo Lee

2003 年 5 月 30 日

はじめに

本報告書は KIST の Dr. Yoon Pyo Lee 博士を代表者とする熱伝導研究所で取上げられた多数の研究対象の中の1つである CQM 社製 BCS の吸収式冷凍機に対する効果報告書である。

KIST は、2000 年にも BCS に注目しターボ式冷凍機の電力節減効果を韓国語及び英文で報告書を発行している。

今回の報告書は発行されたばかりであり、韓国の多産工業株式会社の好意で日本語化されたものを取りまとめたものである。

1. 対象冷凍機

LG 社製 1500USRT 吸収式冷凍機(3 台構成の内代表的な 1 台を取出し評価したもの)

2. COP (冷凍機成績係数) の算出

冷凍機の熱交換器の洗浄以降、細管内壁の汚れの形成で COP が徐々に低下してきます。しかし、吸収器や凝縮器のチューブ内面を汚れ形成 (スケール) を抑止する装置の設置にともない COP は向上します。

今回、CQM 社製 BCS をその装置として選定し、同一冷凍機で同一時期の状況を BCS 設置前及び設置後の COP を比較検討してその装置のエネルギー節減を算出することが出来ます。

BCS 設置前の 2002 年の資料 (添付表 2) から COP を算出してみると。

2002 年 4 月 30 日の冷凍機作動に伴う冷水の条件は下記の通り成っています。

$$\text{冷水入口温度} = 14.6^{\circ}\text{C}$$

$$\text{冷水出口温度} = 10.6^{\circ}\text{C}$$

即ち、冷水が冷凍機に 14.6°C で入ってきて冷却された後に 10.6°C になり出て行きます、この時の冷水循環量は 700m³/h です。

$$\text{冷水循環量} = 700\text{m}^3/\text{h} = 0.1944\text{m}^3/\text{sec}$$

$$\rho = 999.8\text{Kg}/\text{m}^3$$

$$C_P = 4.193\text{KJ}/\text{K g} \cdot \text{K}$$

冷凍機により生産される冷熱 Q_L は下記のとおりとなる。

$$Q_L = m \cdot C_P \cdot (T_i - T_o)$$

$$= 0.1944 \times 999.8 \times 4.193 \times (14.6 - 10.6)$$

$$= 3259.8\text{kw}$$

このとき冷凍機に投入された水蒸気量は 111kg/min で m 水蒸気の潜熱を全て使用すると仮定すると、1 気圧の水蒸気は 2258KJ/kg であるから時間あたり投入熱量は下記のとおりとなります。

$$\begin{aligned}
 Q_g &= \text{熱量} \times \text{時間あたり蒸気使用量} \\
 &= 2258 \text{KJ/kg} \times 111 \text{kg/min} / (1 \text{min} \times 60 \text{sec/min}) = 4177.3 \text{kw}
 \end{aligned}$$

これから Coefficient Of Performance 即ち COP は下記のとおりとなる。

$$COP = \frac{Q_l}{Q_g} = \frac{3259.8}{4177.3} = 0.78$$

これに対して、CQM 社製 BCS が設置され冷却管の汚れの無い状態の 2003 年の COP を算出してみる。

2003 年 4 月 30 日の資料 (添付表 3) から冷凍能力を算出してみると、冷水が冷凍機に 14.0°C

で入り冷凍機で冷却された後に 10.4°C になっています。

この時の冷水循環量は 700m³/h です。

$$\begin{aligned}
 \text{冷水循環量} &= 700 \text{m}^3/\text{h} = 0.1944 \text{m}^3/\text{sec} \\
 \rho &= 999.8 \text{Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

冷凍機により生産される冷熱 Q_L は下記のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 Q_L &= m \cdot C_p \cdot (T_i - T_o) \\
 &= 0.1944 \times 999.8 \times 4.193 \times (14.0 - 10.4) \\
 &= 2933.8 \text{kw}
 \end{aligned}$$

このとき冷凍機に投入された水蒸気量は 68kg/min で水蒸気の潜熱を全て使用すると仮定すると、1 気圧の水蒸気は 2258KJ/kg であるから時間あたり投入熱量は下記のとおりとなります。

$$\begin{aligned}
 Q_g &= \text{熱量} \times \text{時間あたり蒸気使用量} \\
 &= 2258 \text{KJ/kg} \times 68 \text{kg/min} / (1 \text{min} \times 60 \text{sec/min}) = 2559.1 \text{kw}
 \end{aligned}$$

これから Coefficient Of Performance 即ち COP は下記のとおりとなる。

$$COP = \frac{Q_l}{Q_g} = \frac{2933.8}{2559.1} = 1.15$$

即ち、BCS 設置前の 2002 年には COP が汚れ (スケール) の形成により 0.78 であったものが、BCS の設置に伴ない汚れの無い状況を実現できた為 COP は 1.15 に向上したことがわかります。

これを、表 1 (BCS 設置前のデータ) 表 2 (BCS 設置後のデータ) の平均値の基準で比較すると下表のように整理できます。

BCS 設置前後の平均値比較表(表 1)

	2002 年 (BCS 設置前)	2003 年 (BCS 設置後)
冷水温度差	4.2°C	5.07°C
冷水流量	700m ³ /h	831.8 m ³ /h
蒸気使用量	117.9kg/min	122.1kg/min
COP	0.78	1.07

3. 節減された熱量の算出

汚れ(スケール)形成を防止して冷凍機の COP を向上させれば同一な冷熱生成を基準にする時、どの程度のエネルギーが節約できるか算出してみましょう。

BCS 設置によって汚れ(スケール)の形成が無くなった 2003 年の冷凍機は $(Q_L)=2933.8\text{kw}$ の冷熱を生産するために $Q_g=2559.1\text{kw}$ の熱量が必要になります。反面、BCS 設置前の 2002 年には、汚れによって性能が低下し $(Q_L)_N=3259.8\text{kw}$ の冷熱を生産するために $Q_{gN}=4177.3\text{kw}$ の熱量が必要でした。したがって、汚れ(スケール)が沈着した冷凍機が汚れ(スケール)の無い冷凍機と同じ冷凍能力になる為には

$$\frac{(Q_L)}{(Q_L)_N} Q_{gN} = \frac{2933.8}{3259.8} * 4177.3 = 3759.5\text{kw}$$

の熱量が必要になります。

即ち、同一な冷熱 2933.8kw を生産するために、汚れの無い冷凍機は 2559.1kw の熱量で済むが、汚れ(スケール)のついた冷凍機では 3759.5kw のエネルギーが必要になると言う意味です。

したがって、BCS の効果として $3759.5 - 2559.1 = 1200.4\text{kw}$ の熱源が節約されると言う事です。以下に節減%を計算します。

$$\frac{3759.5 - 2559.1}{3759.5} = 0.319$$

31.9%のエネルギー（このケースでは蒸気量）が節減できると言う事です。

これを一般化した式に表すと

$$\frac{\frac{(Q_L)}{(Q_L)_N} Q_{gN} - Q_g}{\frac{(Q_L)}{(Q_L)_N} Q_{gN}}$$

分子分母を (Q_L) で割ると

$$\frac{\frac{Q_{gN}}{(Q_L)_N} - \frac{Q_g}{(Q_L)}}{\frac{Q_{gN}}{(Q_L)_N}} = \frac{\left(\frac{1}{COP}\right)_N - \left(\frac{1}{COP}\right)}{\left(\frac{1}{COP}\right)_N} \quad \text{となります。}$$

COP の逆数から節減熱量を算出することが出来ます。

添付表 2 から 2002 年 (BCS 無し) の COP 平均値を導くと

$$\overline{COP}_N = 0.78$$

添付表 3 から 2003 年 (BCS 有り) の COP 平均値を導くと

$$\overline{COP} = 1.07$$

になることが解かります。これらから投入蒸気量の節減率を算出すると

$$\frac{\left(\frac{1}{COP}\right)_N - \left(\frac{1}{COP}\right)}{\left(\frac{1}{COP}\right)_N} = \frac{\frac{1}{0.78} - \frac{1}{1.07}}{\frac{1}{0.78}} = 0.271$$

即ち、観測期間の平均エネルギー節減比率は 27.1%になると言えます。

4. 実績データ

添付表 2、添付表 3 を参照ください。

添付表 2 2002 年 E 号機実績データ (CQM BCS 設置無し)

月/日	冷却水温度			冷水温度			冷水流量 m ³ /h	蒸気消費 量 kg/h	COP
	入口	出口	温度差	入口	出口	温度差			
2002									
4/1	23.8	31.7	7.9	16.2	9.7	6.5	700	139	1.01
4/2	22.5	30.6	8.1	16.3	10.8	5.5	700	140	0.85
4/4	23.0	29.4	6.4	13.7	9.5	4.2	700	135	0.67
4/5	22.2	30.3	8.1	16.5	10.8	5.7	700	150	0.82
4/6	23.0	30.3	7.3	15.2	9.9	5.3	700	153	0.75
4/7	23.8	30.9	7.1	16.0	10.9	5.1	700	143	0.77
4/8	23.5	30.6	7.1	15.2	10.1	5.1	700	143	0.77
4/9	22.9	29.8	6.9	14.6	9.9	4.7	700	133	0.77
4/10	23.2	31.3	8.1	15.9	10.7	5.2	700	106	1.06
4/11	23.2	30.5	7.3	15.3	10.3	5.0	700	115	0.94
4/12	24.4	31.9	7.5	15.5	10.5	5.0	700	115	0.94
4/13	23.1	29.7	6.6	14.9	10.0	4.9	700	118	0.90
4/14	24.3	32.6	8.3	15.8	10.7	5.1	700	152	0.73
4/16	27.8	31.5	3.7	13.9	10.0	3.9	700	115	0.73
4/17	24.6	31.7	7.1	15.6	10.7	4.9	700	119	0.89
4/18	23.6	30.1	6.5	14.7	10.0	4.7	700	112	0.91
4/19	23.7	30.7	7.0	15.3	10.7	4.6	700	138	0.72
4/20	23.2	30.3	7.1	15.2	10.8	4.4	700	157	0.61
4/21	25.7	31.5	5.8	14.9	11.1	3.8	700	136	0.61
4/22	24.8	29.2	4.4	13.7	10.1	3.6	700	119	0.66
4/23	25.5	31.1	2.6	14.7	10.8	3.9	700	147	0.57
4/24	23.6	29.7	6.1	14.5	10.6	3.9	700	137	0.62
4/25	24.9	30.5	5.6	14.5	10.8	3.7	700	108	0.74
4/26	25.0	30.9	5.9	14.8	10.6	4.2	700	103	0.88
4/27	25.2	31.4	6.2	13.9	10.0	3.9	700	101	0.84
4/28	25.0	30.4	5.4	14.6	11.4	3.2	700	105	0.66
4/29	26.9	32.4	5.5	14.2	10.8	3.4	700	113	0.65
4/30	23.9	29.6	5.7	14.6	10.6	4.0	700	111	0.78
5/1	25.3	30.2	4.9	14.5	10.9	3.6	700	102	0.76
5/2	24.5	28.2	3.7	12.9	9.7	3.2	700	99	0.70
5/3	25.4	30.3	4.9	13.7	10.1	3.6	700	102	0.76
5/4	26.8	32.6	5.8	15.2	11.4	3.8	700	105	0.78
5/5	24.4	29.7	5.3	14.2	10.1	4.1	700	102	0.87
5/6	24.4	28.6	4.2	14.5	11.4	3.1	700	101	0.66
5/7	25.2	29.4	4.2	14.4	10.9	3.5	700	102	0.74
5/8	25.0	29.2	4.2	14.1	10.8	3.3	700	100	0.71
5/9	25.2	30.0	4.8	14.3	10.6	3.7	700	103	0.78

5/10	25.5	30.8	5.3	14.3	10.7	3.6	700	102	0.76
5/11	26.1	31.2	5.1	14.1	10.2	3.09	700	101	0.84
5/12	26.1	31.1	5.0	14.9	11.2	3.7	700	102	0.79
5/13	26.3	31.5	5.2	14.8	10.8	4.0	700	102	0.85
5/15	24.9	29.9	5	15.3	11.2	4.1	700	84	1.06
5/16	25.6	27.9	2.3	14.6	12.4	2.2	700	99	0.48
平均						4.20	700.0	117.9	0.78

添付表 3 2003 年 E 号機実績データ (CQM BCS 設置有り 2002/11 月設置)

月/日	冷却水温度			冷水温度			冷水流量 m ³ /h	蒸気消費 量 kg/h	COP
	入口	出口	温度差	入口	出口	温度差			
2003									
4/1	23.1	29.1	6.0	15.1	10.2	4.9	700	114	0.93
4/3	22.3	28.0	5.7	14.7	10.2	4.5	700	106	0.92
4/4	21.9	28.8	6.9	14.7	10.4	4.3	700	108	0.86
4/19	21.3	28.4	7.1	17.3	11.3	6.0	700	147	0.88
4/20	22.8	29.4	6.6	16.6	11.0	5.6	700	132	0.92
4/29	28.0	36.7	8.7	17.6	10.0	7.6	700	142	1.16
4/30	22.0	27.6	5.6	14.0	10.4	3.6	700	68	1.15
5/2	27.3	33.7	6.4	16.3	11.4	4.9	700	110	0.96
5/3	27.0	34.3	7.3	16.5	11.3	5.2	1032	147	1.16
5/4	21.5	27.5	6.0	16.5	11.1	5.4	1500	157	1.60
5/5	22.7	28.5	5.8	17.7	12.0	5.7	1107	144	1.36
5/6	25.5	32.1	6.6	16.2	11.2	5.0	700	149	0.73
5/7	28.4	34.4	6.0	17.1	12.2	4.9	1074	146	1.12
5/11	25.2	36.3	11.1	15.4	10.8	4.6	700	106	0.94
5/12	23.2	31.1	7.9	16.7	11.1	5.6	1142	147	1.35
5/13	28.7	36.1	7.4	16.4	10.3	6.1	900	122	1.39
5/19	23.5	30.1	6.6	16.0	10.8	5.2	1014	110	1.48
5/20	24.4	31.4	7.0	15.6	10.6	5.0	700	98	1.11
5/21	23.7	30.6	6.9	15.2	10.4	4.8	833	110	1.12
5/22	22.7	29.1	6.4	15.1	10.6	4.5	700	109	0.89
5/23	24.1	31.2	7.1	15.7	11.1	4.6	700	117	0.85
5/24	25.0	32.8	7.8	16.2	11.6	4.6	700	117	0.85
5/25	23.0	29.3	6.3	14.9	10.8	4.0	700	102	0.87
平均						5.07	831.8	122.1	1.07