

참치어선 어획물의 고품질 유지와 냉동설비의 생에너지 (I)

日 新 興 業(株)
取締役開發部長 山口 繁 *

1. 머리말

참치漁船에서 高品質의 漁獲物을 維持하기 위한 研究努力은 約 25~6年前부터 始作되어 왔었다.

凍結品の 高品質維持에는 急速凍結·低溫凍結의 必要性에서 約25年前부터 超低溫化가 始作되어 約 20年前부터 ('70年)10年前까지 ('80年)는 凍結室 -50°C , 漁艙 -55°C 로 定着되어 왔으나 80年初에서 現在까지는 凍結室의 最終室溫은 -60°C 以下까지 冷却시키는 것이 一般化되었고, 또한 最終室溫의 低溫化뿐만 아니라 魚體入庫時의 溫度上昇을 最小限으로 줄여 急速冷却에 의하여 平均室溫의 低溫化에 依한 最大氷結晶生成帶通過時間의 短縮으로 品質向上도 進歩되어 왔다.

保藏溫度의 低溫化도 進歩하여 現在는 -55°C 까지 내려오는 狀態에 있다.

또한 凍結室 및 漁艙溫度下降에만 중점을 두지 않고 高品質維持上 商品의 溫度變化에도 더욱 細心한 努力이 必要視된다.

한편 約 15年前에 일어난 “오일쇼크” 發生以來 省力化의 研究開發은 各方面에서 이루어져 冷凍設備의 省力化도 눈부시게 大幅的으로 進歩되어 왔다.

그러나 最近 冷凍設備의 省力化는 漁獲物의 低品質化와 연관된다는 誤解나 機關長, 甲板部

員의 잘못된 運轉 및 取扱으로 因하여 몇몇漁船에 低品質의 凍結製品이 發生되는 事例가 있어 漁獲物의 高品質維持와 冷凍設備의 省力化에 關하여 記述하여 보다좋은 商品製作에 도움이 되었으면 한다.

가. 참치의 品質이 損傷되지 않는 凍結法

凍結참치를 高品質로 維持하는 것은 凍結하여 長期間保管後 解凍하여도 凍結處理前과 같은 新鮮한 狀態로 完全하게 復元하는 것을 말한다.

凍結에 따르는 凍結變性を 最小限 輕減하기 위해서는 凍結을 急速하게 하여 最大氷結晶生成帶의 通過時間을 最小限度로 短縮시키는 것이 무엇보다도 重要하다고 본다.

한때는 참치의 品質을 維持하기 위하여 새로운 凍結處理方法으로서 “브라인” 浸漬方法의 研究開發이 進行되어, 많은 脚光을 받은 적도 있었으나 商品의 高級化에 비하여 이 브라인浸漬凍結方法은 商業上 큰 빛을 보지 못하고 있어, 現在 大多數 참치어선의 半數以上을 점유하고 있는 管棚式세미어 블래스트 凍結不法에 依한 高品質維持上의 注意點에 關하여 記述하고자 한다.

1) 最大氷結晶生成帶

食品을 凍結前에 氷結晶體가 가장 많이 生成되는 溫度範圍를 最大氷結晶生成帶라고 하며,

식품의 凍結點에서 -15°C 까지의 溫度區間을 取하고 있다.

참치의 경우는 $-1.5^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$ 의 範圍를 最大永結晶生成帶라고 한다.

참치의 共晶點은 -60°C 이며 凍結率은 近似的으로 다음 式에서 求해진다.

$$r = 1 - \theta_r / \theta$$

r : 凍結率 kg/kg

θ_r : 凍結點 $^{\circ}\text{C}$

θ : 品質溫度 $^{\circ}\text{C}$

참치의 凍結率은 表 1과 같으며, 참치일 경우는 表 1과 같이 最大水結晶生成帶에 있어서는 全體90%의 凍結潛熱을 뺏어야 하기 때문에 熱負荷가 매우 크며, 이로 인하여 魚體溫度가 잘 내려가지 않으며, 凍結曲線에는 그림 1과 같이 溫度平坦部가 나타난다. 卽 참치의 凍結에 있어 最大水結晶生成帶는 最大의 熱負荷가 걸려 最大의 凍害를 發生시키기 困難한 溫度區間이다.

以上과 같은 理由로 인하여 이 溫度區間을 가능한 한 短時間에 通過시키는 것이 高品質의 참치를 얻기 위한 絕對條件이다.

2) 참치의 凍結時間을 決定하는 諸條件

管棚式 “세미에어 블래스트” 에 의한 참치의 凍結에 必要로 하는 時間은 다음 式에 依하여 算出된다.

凍結時間

$$t = \frac{r_2}{24\lambda_2} D \left(D + \frac{4\lambda_2}{\alpha} \right) \frac{C_1(\theta_r - \theta_r) + f_r - (C_1 - C_2) r (\theta_r - \theta_r)}{\theta_r - \theta_r}$$

r_2 : 凍結後比重	1020 kg/m ³
α : 魚體表面熱傳達率	$6 + 4V$ kcal/m ² hr ^o C
V : 風速	m/s
λ_2 : 凍結後熱傳導率	1.27 kcal/mhr ^o C
C_1 : 凍結前比熱	0.82 kcal/kg ^o C
C_2 : 凍結後比熱	0.46 kcal/kg ^o C
f : 凍結潛熱	56.8 kcal/kg

r : 凍結率 $r = 1 - \theta_r / \theta$

θ_r : 참치初溫 $^{\circ}\text{C}$

θ : 參치終溫 $^{\circ}\text{C}$

θ_r : 凍結點 -1.5°C

θ : 平均室溫 $^{\circ}\text{C}$

D : 相當直徑

上記 凍結時間算出定式에서 알 수 있듯이 참치의 凍結時間에 關係하는 팩터 (FACTOR)는 다음과 같다.

- 魚體表面熱傳達率(魚體表面風速)
- 室溫
 - i) 魚體入庫時的 室溫
 - ii) 最終 室溫
 - iii) 室溫低下速度(平均室溫)
- 魚體의 크기
- 魚體의 初溫
- 魚體의 凍結終溫
- 凍結率

以上과 같이 凍結時間에 關係가 있는 팩터에 의하여 魚體의 初溫은 漁場의 水溫에 依하여 決定되며 凍結最終溫度 및 凍結率은 -50°C 以下가 되면 그다지 全體의 凍結時間에는 큰 영향을 미치지 않는다.

凍結時間에 크게 關係되는 팩터는 魚體의 크기, 魚體의 表面熱傳導率 및 平均室溫이 영향을 미침을 알 수 있다. (표 1)

高品質의 참치를 만들기 위한 絕對條件인 商品의 凍結時間短縮에 크게 영향을 미치는 팩터는 魚體表面熱傳導率과 平均室溫度이다. 이 重要な 2가지의 과제에 관하여 보다 자세히 설명하여 보기로 하겠다.

○ 魚體表面 熱傳導率의 向上

魚體表面熱傳導率은 $\alpha = 6 + 4V$ 公式에 의하여 算出되며 魚體表面의 風速에 의하여 決定되기 때문에 魚體表面의 風速을 빨리하여 준다는 것은 高品質의 참치를 만들어 주는데 매우 重要な 일이며 또한 效果의인 方法이라 할 수 있다.

그러나 이 시점에서 다시 생각을 하여야 할 점

表 1 凍結點 - 1.5°C, 共晶點 -60°C의 참치 凍結率

溫度 °C	凍結率 kg/kg	溫度 °C	凍結率 kg/kg	溫度 °C	凍結率 kg/kg	溫度 °C	凍結率 kg/kg
- 1.5	0.0000	-16	0.9062	-31	0.9516	-46	0.9674
- 2	0.2500	-17	0.9118	-32	0.9531	-47	0.9681
- 3	0.5000	-18	0.9167	-33	0.9545	-48	0.9687
- 4	0.6250	-19	0.9211	-34	0.9559	-49	0.9694
- 5	0.7000	-20	0.9250	-35	0.9571	-50	0.9700
- 6	0.7500	-21	0.9286	-36	0.9583	-51	0.9706
- 7	0.7857	-22	0.9318	-37	0.9595	-52	0.9712
- 8	0.8125	-23	0.9348	-38	0.9605	-53	0.9717
- 9	0.8333	-24	0.9375	-39	0.9615	-54	0.9722
-10	0.8500	-25	0.9400	-40	0.9625	-55	0.9727
-11	0.8636	-26	0.9423	-41	0.9634	-56	0.9732
-12	0.8750	-27	0.9444	-42	0.9643	-57	0.9737
-13	0.8846	-28	0.9464	-43	0.9651	-58	0.9741
-14	0.8929	-29	0.9483	-44	0.9659	-59	0.9746
-15	0.9000	-30	0.9500	-45	0.9667	-60	1.0000

은 風速이란 凍結 팬의 吹出口나 凍結室內의 風速을 말하는 것이 아니고 魚體表面의 風速을 뜻하는 것이며 高品質商品製造에 매우 중요한 항목이라고 말할 수 있다.

이 魚體表面의 平均風速을 빨리 하기 위해서는 魚體의 配列方法 및 收容量이 매우 重要함을 알 수 있다.

그림 2는 魚體表面風速과 凍結時間을 表示한 圖表로서 風速이 凍結時間을 좌우함을 알 수 있다.

魚體表面의 通風을 좋게 하기 위하여 어선에서는 魚體配列方法 등에 대한 研究를 하고 있음은 물론 이것이 왜 重要한가를 證明하고 있으며 理解하기에도 도움이 되리라 생각한다.

또한 凍結室의 魚體收容量도 대단히 중요하며 凍結室內의 管棚의 너무 많은 量을 堆積하거나 配列方法에도 限度가 있어 魚體表面風速을 매우 나쁘게 하므로 매우 細心한 注意가 요구된다.

그림 2에서와 같이 魚體表面平均風速 0.2m/s는 매우 늦다고 생각되나 魚體의 配列 및 過積載가 된 狀態에서는 이러한 表面平均風速이 되므로 冷凍業者(魚體搬入者)들은 그림 2를 참조하기를 바란다.

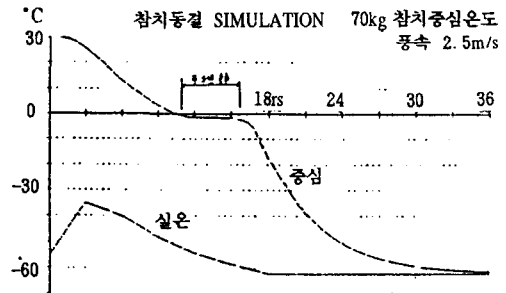


그림 1 참치 (70kg 눈다랑어)

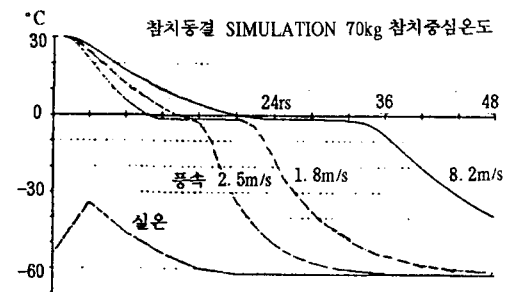


그림 2 어체표면풍속과 동결속도의 관계

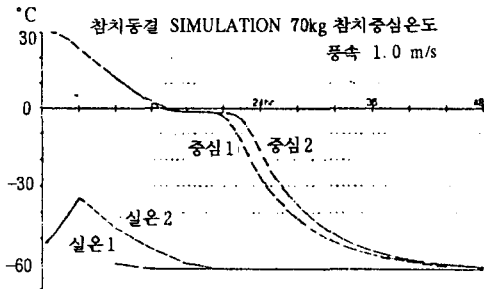


그림 3 실온의 냉각속도와 어체동결속도

○ 凍結室平均室溫의 低溫化

凍結時間을 短縮하기 위해서는 魚體表面平均風速을 높여줌과 같이 凍結室의 平均室溫을 低溫시 켜줌도 重要한 要素의 하나이다.

특히 漁獲物의 高品質維持를 위하여는 魚體中心溫度가 最大氷結晶生成帶를 通過하는 時間을 가능한 限 短縮시키는 것이 重要하다.

그림에서 보는 바와 같이 平均室溫을 如何히 低下시킬 수 있는 가를 검토할 必要가 있다.

凍結室의 平均室溫을 低下시키는 데는 魚體入庫時의 室溫上昇을 強力히 억제시킴과 魚體入庫後의 室溫을 如何히 急速으로 降下시키는 가에 좌우되며 凍結終了前의 最終室溫은 그다지 큰 意味가 없다고 본다.

入庫時의 凍結室溫度의 上昇을 強力히 억제하기 위해서는 作業室 및 準備室의 低溫化, 準備室 및 凍結室 門(DOOR)의 開閉를 가능한 한 줄이고 作業을 신속히 하는 것이 必要하다.

이는 作業者 立場에서는 매우 어려운 條件이라고 할 수 있으나 急速凍結 및 品質維持를 위해서는 매우 重要한 일이라 할 수 있다.

凍結室의 急速冷却은 冷凍機, 管棚, 쿨러(Cooler)의 效率的인 運轉方法 以外는 없으며 效率的인 運轉을 하기 위해서는 特히 膨脹弁의 機能이 負荷에 따라 最高의 效率를 發揮할 수 있는 適正한 制御가 必要하다.

○ 急速冷却과 電子膨脹弁의 役割

참치漁船의 凍結裝置는 急激한 溫度變化, 큰 負荷變化, 폭넓은 溫度變化 및 蒸發溫度 -70°C

에 가까운 冷却이라는 가혹한 運轉이다.

이와 같은 條件에서의 運轉은, 膨脹弁의 性能이 蒸發器 및 壓縮機能力을 크게 左右하는 것은 주지한 바와 같다.

從前에 참치漁船에서 使用되어 왔던 溫度式膨脹弁은 수 많은 溫度式自動膨脹弁 중에서 참치漁船의 凍結裝置에 最適한 自動膨脹弁으로서 장기간 使用되어 왔으나, 참치漁船의 凍結裝置에 있어 機械的인 自力制御型의 自動膨脹弁으로서는 限界에 도달해 있고 다음과 같은 缺點을 改良할 수가 없어 보다 새로운 自動膨脹弁의 出現을 모두 기대하고 있었던 바이다.

- -60°C 이하의 超低溫區域에서의 制御性이 좋지 않음.
- 過熱調整에 눈대중이 없고 지금까지는 감에 의하여 조정되어 왔기 때문에 取扱者의 技倆에 따라 運轉狀態가 크게 左右되어 冷却速度에 큰 差異가 있었다.
- 膨脹弁能力의 制御範圍가 $\pm 20\%$ 로 되어있으므로 凍結最小負荷를 膨脹弁의 制御範圍內에 둔다는 것은 凍結始初의 負荷가 클 때에는 能力不足狀態가 되어 冷却速度가 늦어진다.
- 過熱度調整볼트 1회轉當 壓力變化量은 約 0.5kg/cm^2 이며, 蒸發溫度에 의하여 1회轉當 過熱度變化量이 다르기 때문에 微調整이 困難한 狀態이다.

이와 같은 缺點이 있기 때문에, 自動膨脹弁이라고는 하지만 取扱者는 항상 감(感)에 의존하는 調整方法을 取해왔으며, 또한 作動狀況을 判斷할 수 있는 눈금이 없으므로 항상 過熱度를 必要以上으로 크게 하여야 하기 때문에 冷却運轉을 效率보다 安全을 위주로 하는 運轉을 해온 실정이다.

超低溫電子膨脹弁의 出現은 이 溫度式自動膨脹弁의 問題點을 解決하였으므로 이 電子膨脹弁의 長點을 記述하여 보겠다.

○ 超低溫, 廣範圍溫度에서의 制御性

超低溫 電子膨脹弁은, 獨斷的인 膨脹弁으로서

표 2 過熱度 調整機能의 比較

區分 \ 種類	溫度式自動膨脹弁	電子膨脹弁
調整方法	過熱度調整 볼트의 回轉 (눈금없음)	過熱度 設定 손잡이 (回轉(눈금 2 ~ 18))
蒸發壓力과 過熱度關係	蒸發壓力에 의하여 過熱度 / 回轉이 變化	蒸發壓力에는 無關係
過熱度調整量	느낌에 의함	數值設定
調整結果의 確認	各吸入管에 溫度計가 있을 경우 (溫度確認) 各吸入管에 溫度計가 없을 경우 (느낌에 의존)	制御狀態表示燈에 의하여 色으로 確認
過熱度設定值	不明	數值

蒸發溫度 +10~-70°C로 廣範圍한 溫度區域을 高溫에서 超低溫區域까지 變함없는 制御性을 가지고 있다. 電子膨脹弁을 採用함에 따라 LIQUID BACK의 불안에서 해방되고, 자신감을 가지고 超低溫區域까지 適正한 過熱狀態에서 運轉이 可能해지며, 이에 따라 冷凍裝置效率이 크게 上昇하고 冷却의 迅速과 安全運轉을 同時에 할 수 있게 되었다.

○ 蒸發器의 過熱도와 調整機能

過熱度調整에 關하여 從前形의 溫度式膨脹弁과 新形의 電子膨脹弁의 比較를 표 2에서 설명하여 보겠다.

蒸發機에는 각각의 特有한 最小安定過熱도가 있다. 冷凍裝置를 이 最小安定過熱도에 가깝게 運轉하는 것이 裝置의 性能을 最大限으로 發揮하는 것이며 調整過熱도를 數值로 確認할 수 있다는

것은 蒸發器의 最小安定過熱도의 調査 및 確認을 포함하여 매우 重要한 일이다.

○ 폭넓은 制御性

電子膨脹弁은 弁能力의 100~10%나 폭넓은 制御性을 가지고 있으므로 魚體搬入의 最大負荷時부터 凍結完了前의 最小負荷時까지 充分히 制御範圍內에 들어가므로 冷却全域에 걸쳐 항상 最小의 過熱度狀態에서 運轉이 可能하게 되었다.

○ 制御狀態表示燈에 의한 運轉狀況의 監視

電子膨脹弁에는 運轉制御狀態表示燈이 있어 監視室에서 제어를 보는것만으로서 運轉狀態를 正確하게 判斷할 수 있으며 調整이 必要한 경우도 同一한 制御機內에서 表示燈을 보면서 리모트 콘트롤이 가능하다. (계속)