

# 西獨에서의 凍結濃縮과 英國의 波浪發電

小林 登 史 夫

## 1. 머리 말

筆者는 1975年 6月부터 1976年 8月 初旬까지 滿 14個月間 西獨 알렉산더 폰볼트財團 招請으로 칼 스프에시에 있는 聯邦食品研究所에서 研究生活을 할 수가 있었다. 폰볼트財團은 18~19世紀에, 주로 南美地域에서 博物學 調査에 活躍한 同名의 獨逸人學者 이름을 딴 것인데 西獨의 對外的인 學術交流에서 中心的인 位置에 있다. 主要事業은 研究者의 交流이며, 年間 約 400名 程度를 世界 各國으로부터 西獨으로 招請하고 있다. 이밖에도 獨逸製品的 研究機器類 購入에도 補助金같은 것을 내고 있는것 같으나 우리나라의 경우에는 補助金을 받았다는 예는 별로 없는것 같다.

## 2. 凍結濃縮法の 基礎的인 問題點

앞에서 말한 聯邦食品貯藏研究所에서 筆者가 손을 대고 있었던 것은 凍結濃縮法の 극히 基礎的인 問題點들을 이것 저것 훑고 있었다. 잘 알려진 바와 같이 水分을 多量 含有한 溶液濃縮에 있어서 蒸發法과 凍結法을 單純한 에너지使用量으로 比較하면 約 1/6~1/7 程度 後者が 有利한 셈이다.

이 數字는 多段効用爐과 같은 熱의 回收를 無視한 原理的인 數字이지만 冷熱의 回收는 凍結에서도 可能하기 때문에 技術開發의 方向으로서는 凍結法에도 커다란 파라이디스의 存在가 認定된다.

그리고 해마다 農入量의 增加가 豫想되는 LNG의 氣化熱 利用과 아울러서 冷熱에너지가 지금까지 보다 훨씬 低廉해 질 수 있다고 생각되고 있음에도 不拘하고 現狀態에서는 大量의 冷熱을 利用할 만한 製造業으로

서 特別히 明確한 것은 없다.

凍結濃縮法은 逸浸透壓法 등에 比할 때 近年에 開發되기 始作한 새로운 方法이라고 할 수 있으나 實驗室에서 大規模으로 裝置化할 때에는 몇가지의 問題點이 있다. 예를 들면 海水의 淡水化와 같은 大型 프로젝트라도 그 中心的인 存在에 대해서는 별로 얻은 것이 없다. 筆者의 具體的인 目的으로서는 물론 食品이기 때문에 一見 對象이 다른 것으로 보이지만 各種 溶質을 包含한 溶液으로 부터의 氷結晶의 生成이라는 點에서는 同一한 것이다. 예를 들면 牛乳나 果汁과 같은 液狀食品은 一般的으로 固形分을 불과 數% 程度 밖에는 包含하지 않고 있으며, 그의 長距離輸送이나 長期貯藏에 있어서 90餘%라는 大部分의 部分은 水分을 含有하고 있는 것이 된다. 이것을 商業메이스로 濃縮하는 경우, 現狀態로는 蒸發法에 依存하고 있으나, 그때 食品의 價値를 決定하는 때에 重要한 香氣成分類나 耐熱性이 弱한 비타민類 등이 喪失된다.

이와 같은 製品的 質問題를 생각할 때 處理量의 規模로 보더라도 食品關係에서 大規模의인 凍結濃縮이 具體化될 可能性은 크다고 생각된다. 이것은 前述한 海水 淡水化의 경우에는 質問題보다도 量의 問題, 具體的으로는 眞水 1톤의 價格만이 表面으로 나타나서 다른 方法과의 比較가 되고 있는 것 같다.

그렇다면 凍結濃縮法이 널리 使用되지 못하고 있는 最大의 理由는 어떻게 말한다면 凍結操作에 따르는 溶質의 分類效率이 나쁘다는 것과 熱의 傳達方法이나 速度에 限界가 있어서 大容量 處理에는 다른 方法에 比할 때 設備費가 重複되기 쉽다는 것 등을 생각할 수 있다. 前者에서는 얼음의 結晶中에 各種 溶質이 含有되어서 이른바 砂糖水에서 샷트를 만드는 것과 같은 것이며, 샷트를 녹이면 다시 본래의 砂糖水로 되돌

아가서, 分離効率が 期待하는 만큼 높지 못하다는 것과 그 結晶 自體에 둘러싸일 뿐만 아니라 結晶의 表面에 附着되어서 高速遠心洗淨 등을 利用하더라도 남아있는 것의 比率인 것이다.

이 問題의 解決로는 純粹하고 커다란 結晶을 빨리 만들면 된다. 後者인 熱傳達方法의 問題點은 얼음의 경우에는 다른 有機溶媒에 比해서 潛熱이 크다는 것이 原因이 되어 熱交換面으로 얼음이 析出되어 스케일 効果에 의해서 熱의 交換速度가 急激히 劣化되어 裝置의 能力을 低下시켜 버린다. 이 問題에 대해서는 예를 들면 비등점이 零下 數度°C와 같은 물과 分離가 容易한 液化가스를 直接 뽑아서 固定된 熱交換面을 갖지 못하도록 하는 研究가 되어 있다.

그러나 液狀食品의 處理에는 溶質과의 어떠한 反應이나 處理後의 殘留物 등의 問題로 別로 바람직한 方法이라고는 할 수가 없다.

### 3. 칼 스트루에에서의 얼음結晶 成長 過程의 測定

이러한 背景을 가진 凍結濃縮法이지만 前述한 西獨聯邦 食品貯藏研究所는 그 이를 그대로 食品의 低溫處理關係에서는 오랜 歷史와 着實한 成果를 올리고 있다. 이 研究所가 第2次大戰後에 올린 커다란 業績의 한가지가 凍結乾燥法의 商業化인데 계속해서 凍結濃縮에 관해서도 다음과 같은 아이디어로 一聯의 成果를 올리고 있었다.

그것은 各種 液狀食品을 氷結시킨 後에 約  $-50^{\circ}\text{C}$ 의 霧氣로 微粉碎하고 即時 節分한다. 그러면 粒子의 大小와 溶質의 濃度間에 密接한 關聯이 되어서 一般의 으로는 微少粒子 區分側의 溶質濃度가 작아진다. 詳細하게는 溶液의 性質, 그 凍結方法이나 速度, 그리고 粉碎方法이나 節分の 粒子區分에 의해서 各各 多様な 差異가 다지만 10% 程度의 모델糖溶液에서 큰 편에서는 30wt% 程度의 粒子區分에 原液의 約 2배 가까운 濃度의 溶質이 貯藏되므로 今後에도 改良의 餘地가 있다고 생각된다.

그러면 이 研究所에서 筆者가 1年동안 해온 일은 氷結晶의 成長過程을 細密하게 檢討하고 있었는데 하나는 氷結晶의 成長速度를 分析하는 豫備準備로서 析出 前面의 溫度推定을 한 일이고 다른 하나는 糖이나 鹽 등의 單純한 溶質을 包含하는 均相溶液內의 얼음의 成長過程에서의 晶癖(結晶의 析出方法이나 버릇) 등을 觀

測하였다.

특히 後者에서는 第2節에서도 說明하였으나 氷結晶 成長時에 溶質의 結晶內에서 形成되는 機構과 같은 것을 明確하게 하는 것이 目的이었다는 것과 從來 칼 스트루에에서 해오던 粉碎節分에 의한 濃縮法의 基礎로서도 溶液이 어떠한 過程으로 얼어 들어 가는가를 알고 싶었던 것이다.

두께 1mm의 銅板에 直徑 8mm의 둥근 구멍을 뚫고 이 銅板을 顯微鏡用 슬라이드 글라스에 密着시키고, 구멍 속에 各種溶液을 貯藏한 狀態로 銅板의 溫度를 徐徐히 冷却시켜 준다. 이 溶液을 顯微鏡으로 觀察하고 있으면 各各의 溶液이 가진 氷結點으로부터 얼마간 더 내린 溫度까지 銅板의 溫度가 내려간 곳에서 溶液의 氷結이 始作된다. 몇가지 예를 들면 純水를 극히 緩慢한 條件으로 얼렸을 경우인데 둥근窓 속의 溶液이 周邊部로부터 冷却되어서 過冷却이 되어 氷結이 始作되었을 때에는 靜止되어 있는 물의 中心附近까지 이미 過冷却( $0^{\circ}\text{C}$  以下)이 되어 있으며, 거의 瞬間적으로 液相 全體에 바늘모양의 析出이 생겨 있었다. 이 針狀의 얼음과 얼음 사이에는 아직도 液相部分이 남아 있으며, 그 周邊部에 幅이 約  $200\mu$  程度의 同心圓形部分이 氷結晶의 C軸方向 成長을 볼 수가 있었다. 이 부분에서는 모두 同周層으로 되어 있어서 液體部分은 存在하지 않는다고 보여 졌다.

한편 같은 純水를 극히 急速한 條件으로 冷却시켰을 경우에는 앞서와 마찬가지로 氷結晶이 始作된 後 約 1.5秒 사이였는데 똑같은 8mm의 直徑을 가진 靜止液體의 大部分이 아직도 氷結晶 溫度보다 높은 상태에 있기 때문에 둥근窓의 周邊部에서 急激한 溫度의 勾配가 存在하며, 氷結晶의 成長은 傳熱律速에 가까운 狀態로 되어 있다고 생각된다. 이 경우에도 同心圓形으로 氷結晶의 c軸方向의 成長이 認定되며, 그 先端에 針狀으로 된 a軸이, 수염처럼 줄지어 있다.

기타의 溶液, 예를 들면 糖이나 鹽類에서는 針狀의 a軸結晶에서 急速한 成長이 認定되는데 달라진 것으로는 제라틴溶液의 경우로서 緩慢冷却일 때 急速히 成長하는 氷結晶이 나뭇잎 같은 平板形으로 되어 있다.

本稿의 一部分에서 說明한 凍結濃縮의 分離効率을 내리는 氷結晶에의 溶質取入 現象은 針狀이거나 나뭇잎 모양이거나 急速히 成長된 氷結晶은 그 成長速度로 보아 水成分이 극히 많은 것이라고 생각되지만 그 結晶과 結晶 사이에 안겨진 高濃度의 溶質을 包含한 溶液이 마치 새장 속의 새와 같이 갇혀진 채로 周邊部

全體가凍結되어 버리기 위해서 巨視的으로는 濃縮을 전혀 認定할 수 없게 된다.

이와 같이 氷結過程에는 氷結晶의 結晶軸이나 晶癖에 의해서 複雜하고 不均質한 基礎現象이 많이 포함되어 있기 때문에 이것을 길이 追求할수록 알 수 없게 되는 事例가 있다.

이밖에도 一般的으로 液狀食品에는 植物性 纖維(果汁類)나 脂肪球(牛乳) 등 分散層을 가진 것이 普通이므로 前述한 바와 같은 均相의 모델溶液이란 困難도가 더욱 1次元 높아지며, 이어서 다음 다음으로 어려운 問題가 나올 것이라고 생각된다.

#### 4. 에딘버러大學에서의 波浪發電

이 데에마는 筆者의 專門과는 좀 동떨어졌지만 昨午의 크리스마스 休暇旅行時, 個人的인 關係로 實驗設備을 見學할 機會가 있었으므로 여기서 簡單히 紹介하기로 한다.

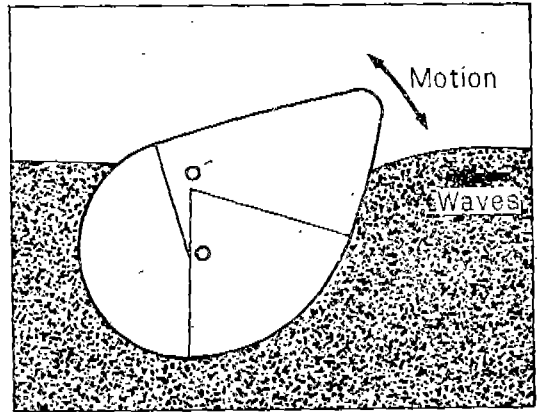
英國 에딘버러大學에 Mr. S.H. Salter라는 분은 그림 1과 같은 솔터 캠이라고 하는 波浪에너지의 吸收器를 考案하여 北유럽, 특히 北海에 面한 國家에서 注意를 받고 있었다. 英國의 스코틀랜드地方은 冬期에는 바람이 불하다는 것은 有名な 곳이므로 同時에 風力에너지를 變換시킨 것으로 거친 波濤도 극히 強力한 利用對象이 되는 것 같다.

그림 1의 솔터 캠은 一名「오리」라고도 불리고 있으며, 重心에서 약간 벗어난 곳에 回轉軸이 있다. Salter氏의 實驗室에서는 크리스마스 休暇中임에도 不拘하고 몇 사람의 젊은 研究員과 함께 精力的인 活動을 계속하고 있었다. 얼핏 보아 幅이 約 40cm, 길이 15m 程度의 斷面이 透明한 水槽의 一端에서 正弦波를 만들고 他端에는 캠을 設置하여 그곳에서 어떤 모양으로 表面波의 에너지가 吸收되는가에 대한 模型實驗이 반복되고 있었다.

모델이기 때문에 캠의 크기도 約 20cm 程度의 조그만 것이었으나 微細한 設計(重心이나 前面의 曲率, 水面으로부터의 軸의 깊이 등)가 다른 몇 종류인가의 캠에 幅넓은 振幅과 波長의 물결에 부딪쳐서 에너지의 吸收量을 測定하고, 보다 吸收率이 좋은 캠의 設計資料를 만들고 있는 것 등이었다.

當然히 캠의 크기나 微細한 構造의 相違에 의해서 吸收效率이 最高가 되는 波長이 있어서 그 最適値의 幅을 여하러 넓게 얻을 수 있느냐가 改良의 포인트였

었다. 그리고 過去 數年間に 걸쳐서 스코틀랜드 西北部の 海岸 數個所에 波浪觀測所를 두고, 1年中 어느 時期에 어떠한 물결이 밀려 오는가를 調査하고 있는 것 같았으며, 그 結果를 分析해서 實用裝置의 設計에 臨



[그림 1] 솔터 캠의 단면도(0가 回轉軸, 0'가 波濤前面에 對한 圓弧의 中心)

하는 것 같다. 前述한 水槽에서의 모델 實驗에서는 캠 自體의 吸收效率 最適値는 100%에 가깝고, 어느 1個의 파도가 캠에 吸收된 瞬間 캠의 뒤에는 吸收되지 않은 波濤가 있다는 것을 생각하지 않고, 또 前面의 反射波도 생각하지 않은채 이 일만을 Salter氏는 自慢하고 있었다.

英國 電源開發公社가 資金의 援助를 하고 있으므로 몇몇은 캠의 높이가 5m 되는 것까지 스케일 업 할 計劃이며, 推定에 의하면 이것으로 1m당 80Kw의 發電을 할 수 있다고 하는데 스코틀랜드 西北部の 冬期波濤는 強力한 것이었다.

그러나 颱風같은 極端의 強力한 波濤가 올 때에는 캠의 破損도 考慮해야 하므로 水中에 適當히 避難을 위하여 沈下시키는 方法도 考慮中인 것 같다. 어떻게든 本格的인 具體化까지에는 아직도 몇가지의 技術的인 問題點이 있는 것 같으나 筆者가 見聞한 限 다른 風力, 地下熱, 太陽에너지發電 등 중에서 가장 有力한 具體化에 가까운 位置에 있는 것 같다.

年間 平均에너지의 吸收效率을 캠 自體에 대하여(發電效率 除外) 60%로 본다고 하고 있으나 筆者의 느낌으로는 天然의인 現象을 對象으로 한 경우, 끊임없는 一定한 發電量을 維持하는 것이 가장 重要한 問題點이라고 생각된다. 즉, 電力需要에는 季節의 變動과 日의 變動이 큰 것이며, 電力만은 다른 에너지源과 달라서 그대로의 形態로서는 貯藏이 不可能한 것이므로

一定한 供給量 維持에 대한 信賴度에 코스트가 든다는 것도 不得已한 일이다. 따라서 本法의 商業裝置의 運轉에 관하여 이 信賴度에 重點을 둔다면 夏節의 乾물 缺에 대해서도 効果가 있는 小型의 것으로부터 颶風 속에서도 順調롭게 發電을 할 수 있는 特製強力한 것 까지 여러가지로 準備할 必要가 있을 것이다.

## 5. 結 論

凍結濃度와 波浪發電 등 상당히 동떨어진 問題에 대하여 記述한 뒤에 하나의 話題의 으로 여기서 한가지 「異常氣象」에 대하여 記述하겠다. 今年 봄부터 筆者가 居住하고 있던 南獨에서도 극히 異常한 氣候가 계속되고 있었다. 먼저 3月末부터 7月初旬頃까지 實質的으로 비는 한번도 내리지 않고 더구나 6月 中旬부터 7月初에는 連日 33~35°C에 가까운 猛暑였다.

35°C라고 하더라도 濕度가 40% 程度로 낮으므로 집 안에서는 體感上 그런데로 견디겠으나 햇빛 속을 나가면 한꺼번에 汗이 쏟아진다. 차츰 記錄을 更新해 가다가 7月 10일이 지나서야 겨우 極部的으로 저녁노을을 볼 수 있게 된 때에 나의 周邊에서 氣象記錄이 잡히기 시작하면서부터(200餘年來) 가장 最惡의 狀態였다는 이야기가 나오기 시작하였다. 밭은 말라 붙었고 옥수수수는 1m 程度 자라다가 끝나고, 樹木이나 잔디도 햇볕이 잘 드는 곳에서는 大部分 茶色으로 시들어 버렸다.

南獨의 年間 平均 降雨量이 大體的으로 700mm라고 하는데 歸國해 보니가 1,500mm의 降雨量을 보여 獨逸의 2年分이 내렸다는 것이 된다. 그래서 地球 全體로는 物質 兩面으로 收支가 맞았다고 할 수 있을 것인가…….

## 토 (막) 소 식

### ◎ 85년까지 石油供給 충분 ◎

워싱턴 美國 國際貿易委員會(I. T. C)는 石油에 관한 報告를 發表하여 1985년까지 世界의 石油供給量은 充分하며 전반적인 物價上昇 Tempo를 上廻하고 있는 石油價格이 上昇할 公算도 거의 없다는 豫測을 밝히고 있다.

이 種類의 報告書는 74年 通常法으로서 I. T. C에 부여한 調査限界에 根基를 둔 최초의 것으로서 世界의 石油需要는 85년까지 供給能力을 대폭으로 上廻할 것이라고 警告한 美中央情報局 (C. I. A)의 報告書와 좋은 대조를 이루고 있다.

### ◎ 長期的인 將來性있는 에너지는 太陽뿐 ◎

美國 民間研究所가 發表

워싱턴에 있는 民間의 非營利 研究團體의 윌도우 웃티 研究所의 헤이즈 研究員에 의하면 140枚에 달하는 報告書를 發表하여 그 中 過去 2年間의 研究開發에 의하여 석탄이나 原子力은 長期的인 將來性은 없고 지구에너지 必要量을 充足시키기 위해서는 한가지 희망으로서 太陽에너지를 남기고 있다고 밝혔다. —끝—