



食品冷凍의 問題點

梁 隆

〈延世大 教授〉

우리나라는 현재 80年代에 국민 1인당1,000 \$소득을 목표로 꾸준한 성장을 지속시키고 있다.

국민소득이 높아지면 당연히 국민의 食生活 pattern도 달라지게 마련이며 動物性蛋白質의 구성비율의 증가와 채소나 과일 등의 원예식품의 섭취비율이 현저하게 증가하게 된다는 것도 쉽게 예상할 수가 있다(표 1 참고).

그런데 이와 같은 동물성식품이나 원예식품은 그 성질상 品質低下를 일으키기 쉬운 식품이므로 冷凍冷藏이 그 保存 및 貯藏方法으로 가장 좋다는 것은 두 말할 필요가 없다고 본다. 따라서 食品의 冷凍冷藏은 미래에는 食品工業에서 다루는 重要한 문제의 하나가 될 것

표 1. 국민 1인당 소득과 동물성 단백질 섭취량의 변화¹⁾

| 내용 | 년도 | 1962 | 1965 | 1968 | 1972 | 1976 | 1981 |
|------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 동물성 단백질 구성 | 12.5% | 14.6 | 16.8 | 20.4 | ? | ? | |
| 국민 소득 | 75\$ | 94 | 141 | 255 | 488* | 983* | |

* 예상치

이며 冷凍食品과 凍結乾燥食品은 食品工業의 主要製品의 하나가 될 것임에도 틀림이 없다. 이미 先進諸國, 예를 들어 미국에서는 Frozen prepared foods, convenient Food, TV foods

라고 불리어 지는 각종의 調理冷凍食品과 冷凍食品이 발전 보급되고 있다.

TV food(Television food)이라고 까지 불리어지는 이러한 類의 調理冷凍食品이나 冷凍食品이 국민소득의 증가와 더불어 우리사회에도 大量 생산되리라는 전망은 쉽게 내릴수 있을 것이다.

이러한 觀點에서 食品의 冷凍에 따르는 問題點에 대하여 고찰하여 보는 것은 意義있는 일이라고 본다.

1. 食品의 冷凍冷藏

食品의 冷凍은 低溫에 의하여 食品에 오염된 세균의 발육이나 식품속의 효소의 기능을 억제하여 食品成分의 변화를 최대한으로 막아 식품을 신선한 때의 품질 그대로 유지시킨 채 消費者에게 공급하는데 그 意義가 있는 것이다.

넓은 意味에 있어서는 食品의 冷凍이라고 하면 冷藏과 凍結을 포함시키나 일반적으로 食品의 冷凍은 食品의 凍結을 意味하게 되며 -15°C 이하에서 凍結貯藏시키는 것이 보통이다.

食品의 冷凍에 관련된 問題點으로써는 여러 가지를 지적할 수가 있다.

食品의 凍結이 식품에 오염된 미생물의 成長에 미치는 영향에 대하여서는 참고문헌을 참고하기 바람²⁾, 冷凍食品工場의 基本設計에 있어서의 문제점이나 과일·채소류의 水溫貯藏技術에 대하여서도 참고문헌만을 소개하기로 한다^{3,4)}.

또한 食品의 冷凍에는 冷凍食品의 流通過程이 중요한 문제점으로 등장하게 마련인데 T. T.T.나 Cold Chain 등 食品의 低溫輸送에 관련된 技術的인 문제점에 대하여서도 참고문헌만을 소개하기로 한다⁵⁾.

冷凍食品은 반드시 解凍過程을 거치게 되어 있다. 그런데 冷凍食品을 解凍(defrosting 혹은 thawing)시켰을 때의 復元性(Reversibility) 즉 凍結시키기 前의 상태로 復元되느냐 안되느냐가 문제가 되는데 일반적으로 食品을 凍結貯藏시킨 뒤에는 食品의 品質이 凍結시키기 前의 品質과 일치되지 않고 變質되어 있다는

것이 알려져 있다.

다시 말하면 食品의 凍結貯藏中에 品質低下가 일어났으며 그 원인에 대하여서는 아직도 不明의 점이 많다는 데 커다란 問題點이 있다.

筆者는 주로 이러한 문제점에 대하여 言及하여 보고자 한다.

2. 凍結에 의한 品質低下

冷凍食品에 있어서의 品質의 變化는 크게 두가지의 類型으로 나눌 수가 있다. 즉 解凍시켰을 때 비로소 발견되는 品質의 變化和 乾燥 Rusting, freezer dun. 變色등과 같이 凍結貯藏中에도 그 징후를 찾아낼 수 있는 變化가 있다. 이러한 變化는 食品의 종류에 따라 차이가 있게 마련이며 要約하면 표 2와 같다. 표 2에서 보는 바와 같이 食品의 冷凍에 따르는 品質의 變化는 多樣하다고 아니할 수 없다. 이러한 品質低下의 원인에 대하여서는 많은 學者들이 여러 測面에서 檢討考察하고 있는데

表 2. 凍結貯藏에 의한 品質變化⁶⁾

| 變 化 | 원인에 의한 구분 | | | | 대 상 식 품 |
|-----------------|-----------------------------|----------------------|----------|---------|------------------|
| | 物 理 的 | 化 學 的 | 酵 素 的 | 微 生 物 的 | |
| 乾燥 및 減量 | ice의 昇華 | — | — | — | 水分함량이 높은 食品 |
| Rusting | — | 脂肪의 酸化 | 효소 작용 있음 | 관계 있음 | 多脂肪 食品 |
| freeze burn | ice의 昇華 | protein 변성 脂肪의 酸化 | 효소 작용 있음 | — | 水分함량이 높은 食品 |
| 變 色 | ice의 昇華 | 色素의 酸化分解 色素의 形成 | 효소 작용 있음 | 관계 있음 | 食肉, 魚肉 과실, 채소 |
| 단백질 형성 | 結合水의 분리 | 단백질 고차구조의 變化 | — | — | 동물성 식품 |
| colloid의 파괴 | ice crystal의 形成 및 成長 | — | — | — | 동물성 식품 등 |
| flavom의 감소 및 이동 | flavom 성분의 휘발 및 흡수 | flavom 성분의 분해 | — | — | 調理食品 butter 등 |
| 전분질의 不溶化 | α -starch의 β 化 | — | — | — | 전분질 식품 |
| drip의 발생 | 結合水의 분리 | 단백질의 凍結變性 | — | — | meat 과실·채소 |

이러한 문제점 하나하나를 일일이 열거하고 검토하는 것은 지면관계상 생략하기로 하고 生體高分子 특히 단백질에 관련된 문제점을 考察하여 보기로 한다.

食品의 冷凍에 따르는 문제점에 대한 分析이나 그 解析을 위한 연구가 이외로 부진한 것은 食品의 冷凍에 의하여 食品이 받는 영향이 식품의 종류에 따라 다르다는 점에도 그 원인을 찾을 수가 있다.

生物에 대한 組織學的 내지는 化學的 研究가 왕성하게 진행되고 있는데 비하면 食品의 冷蔵冷凍方法은 거의 다름없는 一律的인 方法으로, 개선이 뒤따르지 못하고 있으며, 동물이나 식품의 細胞構造가 종류에 따라 다르다는 사실과 한종류의 生物體에서도 各各의 組織이 각각 독특한 構造와 機能 및 化學的 性質을 나타내며 그것은 또한 成長의 단계에 따라 다르다는 사실이 무시되고서는 엄밀한 의미에서의 문제점의 해결은 상당히 힘들다고 말하지 않을 수 없다.

일반적으로 冷凍에 의한 食品의 品質低下에 그 作用因子로써 溫度低下와 어름의 結晶化를 지적하게 되는데 溫度低下는 食品속에서의 化學的 내지는 物理的 反應速度나 微生物의 生育에 대하여 抑制因子로써 作用하고 있으며 凍結貯藏의 利點은 이와 같은 溫度低下가 나타내는 效果로 해석하는 것이 보통이다. 그러나 溫度低下現象이 食品의 保存性增大라는 效果의인 측면만을 나타내는 것은 아니고 단백질변성인자라는 불리한면도 아울러 갖고 있다는 사실을 看過해서는 안된다.

冷凍에 의한 食品의 品質低下에 강력한 作用因子가 되는 것은 두말할 필요없이 어름의 結晶化로 凍結, 解凍 및 凍結貯藏中에 나타내는 品質低下는 水結晶의 形成과 그 후의 作用에 起因하고 있다⁷⁾.

3. 凍結에 의한 변화

위에서 凍結에 의한 品質低下를 概括적으로 言及하였거니와 여기서는 보다 研究者의인 觀點에서 接近하여 보고자 한다.

(1) 構造上的 변화

食品의 凍結에 따르는 構造上的 變化를 현미경으로 관찰하는 研究方法은 plank에 의하여 확립되었다⁸⁾. 이러한 形態學的 一連의 연구결과, 植物性食品에서의 解凍後의 軟化는 中心層에 연한 細胞의 分離가 그 원인의 하나가 된다는 사실이 확인되었다. 동시에 原形質에 있어서의 相의 分離현상 및 塊形化, 細胞質이나 核에 있어서의 顆粒이나 氣腔의 生成 등도 관찰되었다.

최근에는 전자현미경의 사용으로 化學物質을 포함한 細胞의 微細構造의 變化까지 관찰할 수 있게도 되었다. 관찰에 의하면, 예를 들어 근육섬유에의 -40°C 의 공기를 3cm/sec의 流速으로 流通시켜 凍結시킨 다음 20°C 의 공기중에서 解凍시킨 경우 커다란 物理的 損傷이나 膜의 破裂은 볼수 없었는데도 膜組織은 분명히 變化하고 있음을 알수 있었다. 즉, mitochondria의 3層膜의 平行配列이 消失되어 收縮이 일어나고 있었고 結節에 凝固點이 生成되고 있었다.

많은 研究結果는 凍結이 生物細胞의 膜透過性에 현저한 變化를 일으킨다는 점을 지적하고 있다⁹⁾. 특히 膜組織의 lipoprotein이 凍結에 대하여 가장 不安定하다는 사실은 기억해 두어야 할 점이다.

(2) 化學的 내지는 生化學的 變化

凍結하면 水結晶의 形成에 따라 食品에 特有的 emulsion system에서 局部的인 擴散이나 濃縮現象이 일어나게 된다. 解凍過程에서

이러한 변화가 可逆的으로 進行되느냐 어떠한가 문제가 되는데 食品과 같은 복잡한 system에서는 完全한 可逆性은 不可能하다는 것이 알려져 있다. 이러한 不可逆性의 원인은 解凍에 의하여 녹은 水分이 원래의 成分에 再結하지 않는다는 점도 중요하겠으나 水分이 氷結析出함에 따라 나타난 溶解物質의 濃縮에 의하여서도 組織構造나 酵素등의 여러溶存成分이 크게 영향을 받는 결과로 해석되어야 할 것이다.

sol 상태의 無機物 colloid는 凍結시키면 colloid粒子的 會合이 일어나고 sol의 不可逆的인 凝固가 일어나는데 단백질이나 特定の 효소를 凍結시켰을 때에도 無機物 colloid의 경우와 비슷한 會合이나 稅重合이 일어날 수 있다고 한다(cryolyse). 우유를 凍結시켰을 때에도 乳脂肪 emulsion의 붕괴와 milk protein의 침진이 일어나며 이 반응에는 脂肪球膜의 lipoprotein이 관여하고 있다는 사실이 알려져 있다¹⁰⁾. 이와같은 colloid 상태의 변화는 Instant요리나 sauce, 스프 및 Jelly 식품이나 fruits pie의 표면등에서도 관찰된다. 이러한 절분질 식품을 凍結貯藏하면 解凍後 이들 식품의 표면은 주름이 잡힌 不均一한 상태로 되는데 이것은 老化現象의 하나로 해석될 수도 있으나 老化만으로는 설명할 수 없는 다른 원인이 있는 것으로 추정되고 있으며 그것이 무엇인지는 아직도 분명치 않다¹¹⁾.

食品의 冷凍에 따른 品質低下의 가장 본질적인 원인으로는 단백질의 변성(denaturation)을 들 수가 있다.

단백질은 熱變性物質로서의 特性을 가지고 있는데 學者들은 이러한 단백질의 特性을 고려하여 凍結에 의한 變性を 특히 凍結變性(freezing denaturation)이라고 부르고 있다.

단백질이 凍結變性を 일으키면 단백질이 본

래 가지고 있는 食品蛋白質로서의 functional property 및 生性學的 functional property를 消失하게 됨은 두 말할 필요가 없다. 따라서 단백질의 동결변성은 食品의 冷凍에서는 중요한 연구과제가 된다.

단백질을 많이 함유하고 있는 동물성 식품, 예를 들어 고기를 凍結貯藏한 뒤에 解凍시키면 液汁이 流出되며(drip) 肉質은 多孔性이 되어 마치 물에 적신 sponge와 같이 누르면 液汁이 滲出한다.

이러한 drip의 발생은 營養成分 및 flavour 成分의 流失을 가져오므로 중요한 品質低下의 하나가 되며 凍結에 의한 가장 흔한 品質低下의 하나이기도 하다.

그 원인으로서는 먼저 機械的 損傷說(mechanical damage theory)를 들 수가 있다. 大形의 氷結晶이 細胞의 外側에 形成되면 氷結膨張에 의하여 細胞間 結合이 이완되고 細胞는 變形된다는 것이다. 이러한 細胞間의 분리 및 細胞의 變形이 일어나면 解凍後에도 水分은 원래의 위치에 再結合되지 않고 流出되어 버린다는 주장이다.

이러한 주장에 대하여 다른 見解를 표시한 것이 細胞破壞說(cell rupture theory)과 氣體膨張說(gas expansion theory) 등이다.

그러나 drip의 원인으로서는 단백질의 변성을 들어 설명하는 것이 가장 무난하다고 본다.

蛋白質膠質溶液을 凍結貯藏한 다음 解凍시키면 液은 분리되어 凍結前과 같은 均質한 膠質狀態로 還元되지 않는다.

즉 不可逆的인 변화가 凍結貯藏中에 일어날 것으로 단백질의 凍結變性は 低溫일수록 일어나기 쉽다는 것은 그림 1에서 보는 바와 같다.

凍結에 의한 단백질의 不可逆的 functional

property의 消失의 原因에 對하여서는 다음과 같은 여러 주장이 있다.

먼저 脫水損傷說(dehydration damage theory)을 들 수가 있다.

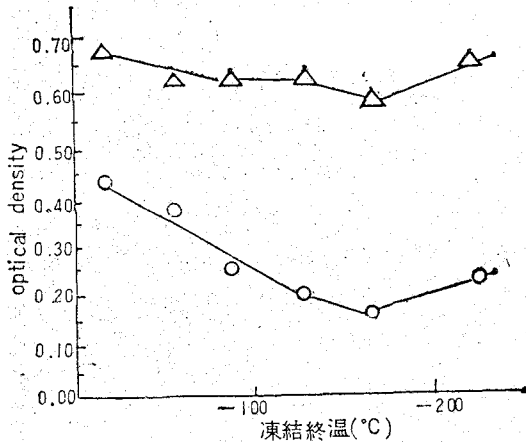


그림 1. 凍結終溫과 단백질의 변성
 △ - 14°C에 24시간 저장
 ○ - 14°C에 7일간 저장

細胞膜內外에 氷結晶이 形成되고 成長하게 되면 용액중의 용질농도는 증가하므로 細胞膜內外에 滲透壓의 차이가 생긴다. 이 때문에 細胞膜內外에 수분의 이동이 있게 되고 이동된 수분은 氷結晶에 附着氷結되며 氷結晶은 더욱 成長하게 된다. 그 결과 liquid phase에서는 無機 및 有機鹽類의 농도가 증가하고 침전되기 쉬운 鹽類(인산염, 탄산염 또는 구연산염 등)는 침전되기 시작하며 pH의 변화와 더불어 단백질의 pH 완충능력이 변화함을 물론 단백질분자도 鹽析(salting out) 된다는 것이다.

다른 見解로는 단백질의 변성이 結合水의 氷結析出과 關聯되었다는 주장과 단백질 분자의 分散密度가 변화하기 때문이라는 주장을 들 수가 있다.

結合水의 氷結析出에 의한 단백질의 변성은 plank의 freezing phase論부터 시작한다. 氷結晶의 形成順序는 自由水—半結合水—結合水의 順으로 이루어 지는데 단백질에 結合된 結合

水가 氷結析出하게 되면 단백질은 脫水形이 되고 凝集 또는 沈澱된다는 것이다. 그러나 그림 2에서 보는 바와 같이 結合水의 氷結析出이 일어나지 않는 $-1^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$ 에서 단백질변성이 컸었다는 연구결과는 이러한 주장에 모순된다. 따라서 結合水의 氷結析出만으로는 설명될 수 없는 복잡한 현상이라고 아니할 수 없다.

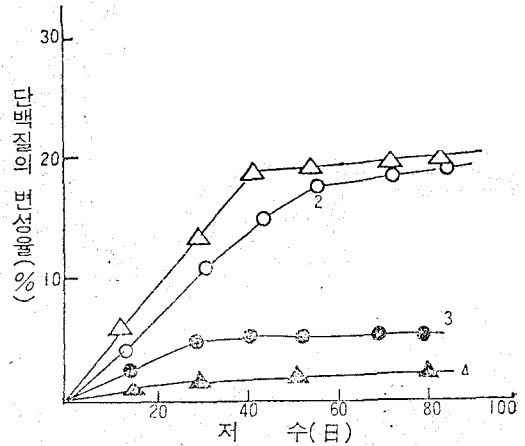


그림 2. 牛肉液汁의 단백질변성과 온도
 1: -3°C 2: -1.5°C 3: -10°C 4: -20°C

단백질분자의 分散密度의 변화가 變性的 原因이 된다는 주장은 다음과 같이 설명하고 있다.

단백질분자는 20여종의 amino acid가 peptide 結合을 하고 있는데 단백질의 기능과 關聯이 깊은 것은 $-\text{SH}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$ 등의 side chain이다. 이들 functional residue는 chain의 다른 殘基와 결합되어 있거나 물분자와 결합하고 있는데 結合水가 氷結析出되어 氷結晶이 形成되면 peptide chain은 한쪽으로 밀리게 되고 근접한 殘基사이에서 새로운 結合이 형성되므로써 응집침전이 일어나게 된다는 것이다. 다시 말하면 단백질분자의 分散密度가 氷結晶의 形成과 그 상태에 따라 달라지고 새로운 結合의 形成이 변성의 原因이 된다는 것이다.

이상의 주장은 어디까지나 假說에 지나지

않는 것으로 단백질의 denaturation mechanism에 대하여서는 보다 근본적인 이론의 전개와 증명이 필요하다고 생각된다.

먼저 단백질의 변성을 추적할 수 있는 확실한 실험방법의 확립이 필요하다고 본다. 최근 Love와 McRey는 Cell fragility method를 고안하여 fish protein의 변성을 추적하는 방법으로 권장하고 있다(그림 1 참조). 이 방법 외에도 生物活性를 갖고 있는 단백질인 경우에는 生物活性의 變化를 추적하므로써 동결변성에 대한 知見을 얻을 수도 있다.

그러나 식품개개의 단백질의 변성을 추적하는데에는 식품개개에 특유한 연구방법을 고안해 내는 것이 해결에 접근하는 유력한 방법이 될 수도 있는데 바로 이러한 점이 동결변성기작의 해명이 부진한 원인이 되기도 하는 것이다.

4. 맺는 말

이상 식품의 병동에 기인하는 品質低下를 개관하고 특히 단백질의 凍結變性에 대한 문제점 몇가지를 제시하였다.

식품의 冷凍이 식품의 保藏方法으로써는 유력한 方法임을 생각하면 冷凍에 의한 단백질의 변성에 관한 한 그 원인의 해명이 빠르면 빠를 수록 좋다고 아니할 수 없다. 왜냐하면 단백질은 식품의 物性(Rheological property)에 결정적인자으로써 작용하는 성분이며 凍結變性の mechanism의 解明은 비단 食品化學의 例面에서 뿐만 아니라 生化學的 例面에서도 대단히 중요한 연구과제가 되기도 하기 때문

이다.

최근에는 단백질의 高次構造의 붕괴, 즉 denaturation mechanism에 있어서의 단백질의 疎水結合(hydrophobic bond)의 중요성이 논의되고 있는데^{12,13)}, 이와 같이 순수단백질 화학적인 규명이 식품의 冷凍에 따르는 品質低下의 원인규명에도 직접 관련되어 있다는 점을 고려하면 生化學者, 食品化學者, 物理學者 및 化學工學者의 共同作業이 食品冷凍에 있어서의 문제점의 해결에 큰 진전을 가져올 수도 있다는 점을 기대하게도 된다.

參 考 文 獻

- 1) 金東熙, 食品工業 25號, 18 (1975).
FAO 韓國協會 食品수급표 (1971).
- 2) 野口榮三郎, 食品工業, Vol. 17, No. 20, 20 (1974).
- 3) 稻生稔, 中島鎮夫, 食品工業, Vol. 17, No. 20 29(1974).
- 4) 山根昭美, 食品工業, Vol. 17, No. 20, 46 (1974).
- 5) 光琳書院, 食品工業, Vol. 16, No. 10, 20~80 (1973).
- 6) 加藤舜郎, 石渡憲治, 食品冷凍法, 恒星社厚生閣 1968, p. 45.
- 7) W. Partmann, Die Fleischwirtschaft, 48, 10, 1317(1968).
- 8) R. Plank, Z. Allg. physiol., 17, 221(1918)
- 9) M.J. Kushmerick and R.E. Davies, Biochim Biophys. Acta, 153, 279(1968).
- 10) D. Fennoma and D. Powrle, Advances in Food Res. 13, 220(1964).
- 11) F. Schierfaum and M. Richter, Nahrung, 8, 487(1964).
- 12) J. Levitt, Cryobiology, 3, 243(1966).
- 13) O.P. Chilso, L.A. Costello and N.O. Kapan, Federat. Proc., 24, Hz, S. 55(1965).

일찍서든 방역에 질병없는 우리가족