

牛乳·乳製品의 多樣化 및 牛乳研究의 進歩와 그 應用

東京大學校教授
山内邦男

緒 言

이번에 大韓民國 서울에서 열리는 國際乳加工 심포지움에 講師로 招聘되어 講演의 機會를 배풀어 주신데 對하여 큰 榮光으로 생각하며, 아울러 感謝를 드립니다.

演者は 이 講演에서 두가지 題마를 가지고 말씀드리고자 합니다.

먼저, 牛乳·乳製品의 多樣化에 있어서 最近의 傾向을, 日本의 實情에 비추어 소개하겠습니다. 그러나 演者は 業界의 實情에 關한 充分한 情報을 갖고있지 못하며, 또 商品學의 專門家도 아니기 때문에, 이 題마에 대해서는 그 概要만을 말씀드리겠습니다. 乳業은 人類의 健康增進을 위해서, 또한 우리들의 食生活을 즐겁고 豐盛하게 한다는 點에서 重要한 産業입니다. 牛乳·乳製品의 多樣化를 意義있는 것으로 하기 위해서는, 그것을 밑받침하는 學問的基礎와 그것을 實現하기 위한 高度의 技術이 必要합니다. 大學의 研究者는 비록 大學의 應用科學部門에 從事하고 있더라도, 應用을 밑받침하는 基礎研究를 遂行해야 한다고 演者は 생각하고 있습니다. 勿論 應用科學인 以上, 明確한 目的意識은 갖고 있어야 하지만, 바로 도움이 될만한 研究를 하기에는 大學은 設備의 制約도 많아서 적당치 못합니다. 오히려 工場 등의 生産現場에서 提起된 實際問題를 大學에 feed back 시켜, 그것을 學問的으로 깊이 考察하는 것이 重要할 것입니다.

위에 말씀드린 觀點에서, 第2의 題마로는, 演者の 專門인 酪農化學 또는 酪農生化學이라고 불

리는 分野中에서 特히 乳蛋白質에 關한 研究의 最近의 進歩에 대해서, 演者들이 遂行해온 基礎研究를 包含하여 말씀드리고자 합니다. 乳蛋白質은 牛乳·乳製品의 重要한 成分이기 때문에이 題마인 牛乳·乳製品의 多樣化와도 결코 關係가 없다고 할 수 없습니다.

I. 牛乳·乳製品의 多樣化

1) 多樣化의 背景

牛乳·乳製品이 多樣化되어온 背景으로서 牛乳·乳製品에 대한 消費者의 needs의 多樣化를 먼저 생각할 수 있겠습니다. 日本人에 대해서 말씀드리자면, 最近의 營養素攝取量은 平均的으로는 거의 均衡을 이루고 있습니다. 그러나 個別的으로는 營養過剩이나 不足 또는 偏食이 있으므로, 각각의 needs에 맞는 多様な 乳製品이 供給되는 것은 原則的으로 바람직한 일입니다. 그 前提로서, 消費者 個人이 올바른 營養學의 知識을 갖추는 것이 必要하며, 그것을 可能케 하는 올바른 情報의 提供이 必須입니다. 한편 우리들은 營養學上의 名分만으로, 食品을 選擇하고 있는 것은 아닙니다. 個人의 嗜好의 多樣性도 尊重되지 않으면 안됩니다. 嗜好性에는 個人의 營養學의 判斷도 關係가 없는 것은 아니지만, 感覺的인 것이 크게 關與하고 있습니다. 이 때 嗜好性에 의한 選擇이 營養學的 價值判斷과 조화되는것에 바람직합니다. 이와 같은 健康志向에 있어서의 needs의 多樣化에 따른 食品選擇의 個性化 傾向은 核家族化에 典型的으로 나타나고 있는 社會狀況의

變化和 크게 關係하고 있는듯 합니다. 한편 酪農·乳業의 立場에서 보면, 牛乳·乳製品의 消費가 停滯되어 있는 狀況을 打開하고, 그 消費促進을 꾀한다고 하는 動機가 多樣化의 底邊에 깔려있는지도 모릅니다.

2) 多樣化를 뒷받침하는 技術

牛乳·乳製品의 多樣化를 可能케 한 것은, 乳業과 그 關連産業에 있어서의 最近의 技術的 進歩라 하겠습니다. 卽, UHT 處理, 膜處理技術, 微生物의 培養技術, 微生物로부터의 工業的 酵素生產技術, 酵素의 固定化技術, 酵素를 利用한 素材의 製造技術, 食品의 特性을 變化시키는 技術, 容器와 包裝에 關聯된 技術들을 들 수 있습니다. 膜處理技術에는 限外濾過(Ultrafiltration ; UF), 逆浸透(Reverse osmosis; RO), 이온交換膜電氣透析(Electro dialysis ; ED)의 3가지가 있습니다. 膜處理는 相(phase) 變化를 遂半하지 않기 때문에 에너지節約化가 可能하며 特히 乳加工業에 適合한 技術이라고 생각합니다. 다음에 日本에 있어서의 牛乳類(飲用乳)와 乳製品의 多樣化에 대한 간단히 實情을 말씀드리겠습니다.

3) 飲用乳

日本에는 약 30 年前, 牛乳의 連續殺菌法으로서 UHT 法이 導入되었습니다. 120°C~130°C, 2~3 秒 加熱하지만 無菌充填을 하지않기 때문에 이것은 殺菌乳라고 할 수 있습니다. 한편 UHT 處理(135~145°C, 2~3 秒)後 無菌充填한 牛乳, 卽 long life milk도 약 63 千톤(飲用乳 全體의 약 1.5%) 生産되고 있지만, long lifemilk의 常溫流通은 아직 認定되지 않고 있습니다. long-life milk에 대해서는 UHT 處理에 의한 營養價의 損失, 特히 Ca의 吸收性이 低下될 念慮가 있다는 意見이 一部에 있지만 이러한 事實은 文獻的 調査를 해보더라도 있을 수 없다고 생각됩니다. 한편 變異原性物質이 生成된다는 事實도 찾아볼 수 없습니다.

몸을 돌보기 위해서 脂肪攝取를 피하고 싶은 사람에게는 Low Fat Milk가 있습니다. 乳脂肪分을 1.0~1.5%로 하고, 無脂固形分은 8.5~10.0%쯤이 되도록 調整하고 있습니다. 反對로

濃厚한 風味를 즐기는 消費者를 對象으로 乳脂肪分을 3.5~4.2%, 無脂固形分을 8.5~9%쯤이 되도록 만든 濃厚型의 飲用乳도 있습니다. 日本의 法規로는 이것들은「加工乳」에 該當합니다. 乳糖不耐病의 사람에게 適合한 乳糖分解乳도 市販되고 있습니다. 乳糖의 分解에는 酵母 *Kluyveromyces lactis*의 lactase가 利用되고 있으며 乳糖分解率 75%와 85%의 製品이 市販되고 있습니다. *Bifidus* 菌을 利用한 飲用乳도 市場에 나와 있습니다. *Bifidus* 菌은 乳酸菌計數用培地에서 增殖할 수 없으므로, 乳酸菌飲料로서 規格以上の 乳酸菌數가 檢出되도록 *acidophilus* 菌을 併用하고 있습니다. *Bifidus milk*는 乳酸菌飲料로서 市販되고 있지만, 酸味는 전혀 느낄 수 없고 飲用乳에 準하는 것으로서 化學成分的으로는 低脂肪乳에 屬하는 것이 많습니다.

4) 크림, 아이스크림 및 버터

크림類에는 Whip 用과 커피용이 있습니다. 두가지가 모두 乳脂肪의 製品은 적고, 脂肪의 거의 切半은 植物性脂肪으로 置換시킨 것이 많습니다. 커피용은 커피 1 回分을 小型의 종이 또는 프라스틱容器(約 10ml)에 담은 UHT 滅菌製品도 있습니다. 粉末狀으로 만든 크림도 市販되고 있습니다.

日本에서는 아이스크림類로서 아이스크림, 아이스밀크, 락토아이스 등이 있으며 成分規格上으로는 주로 乳脂肪分含量으로 區別됩니다. 乳脂肪分은 아이스크림이 8%이상, 아이스밀크가 3%이상으로 락토아이스는 乳脂肪을 含有하지 않아도 되며, 植物性脂肪을 使用하고 있습니다. 아이스크림과 氷菓의 1人當 消費量을 歐美와 比較하면 日本은 氷菓의 比率이 훨씬 높습니다. 이러한 原因의 하나는 日本의 여름이 高溫多濕하다는데 基因하는 것으로 생각됩니다. 그러나 아이스크림은 營養價가 높을 뿐만 아니라, fashion 性이 있는 食品이기 때문에 그 多樣化에 따라서 消費도 점점 늘어나고 있습니다. 甘味는 低減化 趨勢에 있습니다.

버터의 消費는 1965 年頃부터 伸長이 주춤하여 거의 均行線을 긋고 있습니다. 한편 margarin은 1968 년에 soft type의 植物性 margarin이 登

場한 뒤부터急速히늘었습니다. margarin의消費伸長은 植物性脂肪選好, 風味의 向上, 價格이 싸다는 것과 함께 빵에 바르기 쉽다는 것도 크게寄與하고 있는 듯 합니다. margarin에對抗하기 위하여 soft type의 버터를 만드는 技術이 開發되어 이러한 製品이 市販되고 있습니다.

5) 발효유, 치즈 및 Whey 제품

日本의 요구르트는 戰後 pudding 狀의 固形加糖脫脂요구르트로부터 出發했지만 現在는 流動性이 있는 soft 요구르트(果肉이 들어있는 것이 type에 屬함), drink 요구르트(마시는 요구르트) 全乳 또는 low fat의 甘味를 加하지 않은 plain 요구르트, bifidus 요구르트, frozen 요구르트 등, 매우 多樣化되었습니다. 消費도 늘고 있으며 그 背景에는 消費者의 健康志向, de-ssert의 習慣化, 嗜好의 soft化 등을 생각할 수 있습니다.

日本의 치즈는 여전히 process 치즈가 主流를 이루고 있으나 natural 치즈의 愛好者가 增加하여 여러 種類의 natural 치즈가 輸入되고, 있습니다. 量的으로는 많지 않지만 國產도 나오고 있습니다. 卽, Gouda type, Cheddar type, Camembert type과 Blue, Cream 등, soft 型의 熟成하지 않은 치즈 등입니다. 이 중에서 Gouda type과 Cheddar type은 주로 process 用으로 生産되고 있지만 一部는 natural 치즈로서도 市場에 내놓고 있습니다.

日本에서는 아직 natural 치즈의 生産量이 많지 않기 때문에 whey의 生産도 많지 않습니다. 國產치즈에서 얻어지는 whey는 電氣透析으로 脫鹽시켜 乾燥하고 調製粉乳의 材料로서 使用되고 있습니다. 그러나 粉末 whey나 whey 蛋白質濃縮物의 利用에 대한 開發研究도 活發하여 whey 飲料도 市場에서 볼 수 있게 되었습니다.

6) 育兒用 乳製品

育兒用 粉乳는 日本에서도 調製粉乳라고 불리며 從前의 母乳代替品(以下 一般調製粉乳라 함) 以外에 Follow up milk가 市販되게 되었습니다. Follow up milk는 一般調製粉乳에 比하여 高蛋白質로서 mineral(Ca, Fe)이나 비타민

類가 많이 들어 있습니다. 生後 9個月부터 使用하도록 권장하고 있습니다. 또 未熟兒用 調製粉乳와 特殊治療用밀크도 開發되어 販賣되기에 이르렀습니다. 一般調製粉乳에 있어서는 이미 蛋白質의 아미노酸組成 및 脂質의 脂肪酸組成의 母乳化, 添加糖質로서 使用되는 雪糖의 乳糖으로의 變更, mineral 含量의 低減化 등 改良이 거듭되어 왔습니다. 最近의 一般調製粉乳의 또다른 特徵으로서 Bifidus 菌 增殖因子로서 lactulose나 galactosyl lactose의 添加 비타민K 含量의 增加, taurine의 強化 등을 들 수 있습니다.

II. 乳에 關한 研究의 進歩와 그 應用

乳의 成分 特히 蛋白質成分의 研究는 새로운 分析手段의 開發과 함께 最近 約20年 사이에 눈부시게 進歩하였습니다. 牛乳蛋白質에 대해서는 그 成分의 化學的 研究는 거의 바닥이 드러나 生合成의 領域이나 蛋白質의 機能에 關連된 應用分野로 研究의 範圍가 넓어져가고 있습니다.

1) Casein

牛乳 Casein의 主成分은 αS_1 -, β - 및 K-casein으로서, 그 밖에 αS_0 -, αS_2 -, αS_3 -, αS_4 -, αS_5 -, γ -casein 등도 存在합니다. αS_0 -는 αS_1 -과 同一한 polypeptide지만 磷이 1個 덩으로 붙어 있습니다. αS_2 - ~ αS_5 - 사이의 差異는 磷含量의 差異에 의한 것으로서, αS_2 - 群 casein이라고 總稱되고 있습니다. α -casein은 牛乳中の 主要한 protease인 plasmin에 의해서 β -casein이 限定分解되어 生成된다는 說을 演者 등이 1970년에 처음으로 發表하였습니다. 위에 말씀드린 각 casein成分中에서 K-casein 以外에는 모두가 Ca 이온의 存在下에서 凝固하는 蛋白質입니다. 이들 각 casein의 一次構造는 1970年代以來 모두가 밝혀졌기 때문에 casein의 應用的問題도 分子 level에서 研究할 수 있게 되었습니다. chymosin(송아지의 第4에 存在하는 protease로서 前에는 rennin이라고 하였음)에 의한 牛乳의 凝固는 치즈의 製造에 있어서 첫번째 工程이며 演者가 casein 研究에 關與

하게 된 것도 이 現象에 關한 化學的研究로 부터 出發하였읍니다. 牛乳中의 casein micelle 이라고 불리우는 平均 直徑 120~130 μ m의 colloid 粒子的 chymosin 에 의한 變化는 3個의 相으로 나누어 집니다. 卽, casein micelle 中에서 保護 colloid의 役割을 하고 있는 K-casein (1956年 Waugh 등이 發見)이 chymosin에 의하여 p-ara K-casein 과 macropeptide 로 分解(1次相) 되고 그 結果 일어나는 micelle 間의 重合·凝固(2次相), 그리고 凝固物(curd) 中에서 일어나는 α S₁-, β -casein 등의 chymosin에 의한 分解(3次相; 1次相에 比하여 反應速度는 훨씬 늦음)가 있습니다. 低溫(10℃以下)에서는 1次相의 變化는 일어나지만 凝固(2次相)는 일어나지 않습니다. 이 現象은 치즈의 連續製造法에 利用되고 있습니다. casein micelle의 構造와 2次相의 變化에 關한 colloid 化學的 研究가 現在 유럽의 酪農化學者들에 의하여 精力의 으로 이루어지고 있습니다.

凝固와 直接 關係가 없는 3次相의 變化는 以前에는 그다지 注目되지 않았읍니다. 演者 등은 chymosin 作用에 의해서 α S₁-casein의 N末端側 23 殘基를 잃어버린 α S₁-I peptide를 精製하여, 이것이 本來의 α S₁-casein과 달리 Ca⁺⁺으로 凝固되지 않게 된다는 것을 發見하였읍니다. 또한 α S₁- 또는 β -casein에 대한 chymosin, pepsin, papain, plasmin 등의 限定分解作用을 利用하여, α S₁-, β -casein의 乳化性和 脂肪球表面에 대한 吸着性 등에 關한 解析이 進行되고 있습니다. sodium caseinate는 安定한 emulsion을 만들 수 있는 뛰어난 天然의 乳化劑이기는 하지만 그 限定分解 peptide에도 興味있는 性質을 나타내는 것이 있다는 것을 알았읍니다.

chymosin이나 pepsin에 의해서 牛乳가 比較的 단단한 curd를 만드는 性質은 離乳前의 송아지에게는 重要한 性質이지만 사람의 乳兒에게는 適合하지 못합니다. 人乳는 casein 含量이 낮고 또 casein의 性質도 다르기 때문에 牛乳와 같은 단단한 curd는 생기지 않습니다. 또한 人乳는 whey(乳清) 蛋白質과 casein의 比가 牛乳보다 크기때문에 人乳의 아미노酸組成은 牛乳와 다릅니다. 예를 들면 人乳는 Cys/Met 比가 牛

乳보다 높고 乳兒의 아미노酸 要求性에 가까운 아미노酸組成을 나타내고 있습니다. 人乳의 casein을 β -casein과 같은 成分과 K-casein과 같은 成分으로 構成되어 있다고 생각되어 왔지만 K-casein에 대해서는 本態가 밝혀져 있지 않았읍니다. 演者 등은 이것을 單離·同定하였읍니다. 이것은 糖含量이 몹시 높은 蛋白質로서 그 構造, 營養學的意義 등에 대해서는 現在 研究를 繼續하고 있습니다.

casein의 生合成에 關해서는 千葉英雄 教授 등(京大)에 의한 一連의 研究가 있습니다. 特別히 遺傳子再組合에 의한 大腸菌 clone에서 Rat의 casein 成分을 包含하는 chimera 蛋白質의 生産을 確認한 報告, 牛 α S₁-casein cDNA의 cloning에 關한 報告 등은 興味깊은 것들입니다. chymosin에 대해서는 別府輝彦教授 등(東大)에 의하여 마찬가지로 大腸菌을 使用하여 pro-chymosin(chymosin의 前驅體)의 合成이 達成되어 있습니다.

2) 乳의 素系의 利用

乳에 存在하는 酵素中에서 興味깊은 것은 一連의 酸化還元酵素입니다. 新鮮한 牛乳가 弱하지만 抗菌作用을 갖고 있는 것은 옛부터 알려져 있었으며 그 物質群은 同定되지 않은채 lactenin이라고 命名되어 있습니다. 그 中에서 比較的 抗力이 강한 lactenin 2는 peroxidase로 同定되었습니다. Reiter와 그 밖의 研究者에 의해서 이 抗菌作用의 發見에는 SCN⁻(乳中에 微量存在)과 H₂O₂(catalase 陰性菌이 牛乳中에 侵入되면 生産됨, glucose와 glucoseoxidase 添加에 의하여 生産시킬 수도 있음)가 必要하며 抗菌作用은 SCN⁻의 酸化에 의해서 생기는 OSCN⁻에 의한 것임도 밝혀졌습니다. 이 系는 lactoperoxidase(LP)-system이라고 하며 搾乳後 生乳의 品質 低下防止에 利用하기 위한 研究도 遂行되고 있습니다. LP-system은 송아지의 消化管內에 있어서 in vivo에서도 機能을 나타낸다고 알려져 있습니다. 그 밖에 乳에 들어있는 xanthin oxidase, SH oxidase, superoxide dismutase 등에 대해서도 日本國內 및 外國의 研究者에 의해서 活潑히 研究되고 있습니다.

3) 乳와 免疫學

牛의 初乳는 IgG₁을 많이 含有하고 있습니다. 出産後의 송아지는 初乳를 먹고 그 中の IgG₁을 吸收함으로써 免疫性을 獲得합니다. 그러나 IgG₁은 腸管内部에 있어서도 病原菌의 防禦에 寄與할 수 있는 可能性이 있습니다. 사람의 乳兒는 胎兒때 부터 胎盤을 통하여 母親으로부터 移行된 抗體를 갖고 태어나지만 初乳를 給與하는 것은 역시 重要합니다. 人乳中에는 分泌型 IgA가 많으며 이것이 乳兒의 腸管粘膜上的 mucin 層에 附着하여 腸管에 있어서 感染防禦나 알레르기 防止에 도움을 줍니다.

小兒의 1~3%에서 볼 수 있는 알레르기의 原

因物質인 牛의 β -lactoglobulin (β -Lg; 人乳에는 없음)과 α -lactalbumin (α -La; 人乳에도 있으나, 牛의 것과 同一치 않음)의 抗原構造에 대해서 演者의 研究室에서 化學修飾, 酵素에 의한 限定分解 등을 利用하여 解析을 進行시키고 있습니다. 지금까지 그 抗原構造는 兩者가 모두 S-S 給合으로 維持되는 各各의 conformation에 크게 依存하고 있다는 것을 알았습니다. 抗原決定基는 β -Lg에서 적어도 4個, α -Lg에서 적어도 3個가 있다는 結果를 얻었습니다.

乳 및 乳製品에 關한 免疫學的研究는 人類의 健康에 있어서 重要的 意義가 있다고 생각합니다.