



기술보고서 농축유단백:제조와 응용

기고:

하스무크 파텔(사우스다코타 주립대학교 조교수)

소냐 파텔(유제품원료가공연구소 응용기술 전문가)

감수:

산타누 아가르왈 박사(유제품연구소 제품 연구 및 원료기술팀장)

농축유단백(MPC)과 분리유단백(MPI)은 우유에 자연적으로 존재하는 고품질 단백질이다. 단백질이 풍부한 이들 분유는 전 세계 식음료 업계에 훌륭한 기능성과 영양을 갖춘 다기능 식품 원료를 제공한다. 낙농자조금제도를 통해 미국 낙농가의 주도로 설립된 미국유제품수출협회(USDE)는 이러한 유제품 원료의 제조와 응용과 관련된 과학적 현황을 조명하고자 본 보고서의 작성을 추진했다. 본 보고서는 일반적 특성, 최근 연구 개요, 실용적 정보 등을 제공함으로써 식품 제조업자들이 제조공식의 MPC를 선정, 보관, 최적화하는 것을 지원할 것이다. 이 보고서에 포함된 내용의 색인은 12페이지에 나와 있다.

농축유단백(MPC)이란?

농축유단백(MPC)이란 우유와 동일하거나 비슷한 비율로 카제인과 유청단백을 함유한 완전단백질이다. 이 단백질은 천연 상태로 존재한다. 즉, 가공 중에 열부하가 최소한으로 유지된다고 가정할 때, 카제인은 우유에 존재하는 초기 카제인 미셀과 매우 흡사한 형태로 존재하며 유청단백은 대체로 비변성 단백질 형태를 갖는다.¹ 탈지분유나 전지분유와 비교할 때, MPC는 단백질 함량이 높은 반면 유당 함량은 낮다. 따라서 MPC는 최종 응용 제품의 영양, 감각, 기능적 성질을 향상시키는 농축 단백질 공급원을 제공한다.

새로운 원료의 개발은 신기술을 필요로 할 때가 많다. 분리기술은 식품 제조공식의 다른 표준 분유를 통해서도 이뤄낼 수 없는 특정 기능과 영양적 필요를 충족하는 단백질 원료를 전달함으로써 우유의 가치를 높이는 토대를 제공한다.² 일반적으로 MPC는 여과공정(정밀여과, 한외여과, 정용여과)을 통해 제조(막) 분리기술로 유당과 가용성 무기물의 대부분을 제거하고 유단백은 유지된 후에 분무 건조 단계를 거친다.

MPC의 유형과 성분

현재 미국에는 MPC의 규격 동일성이 존재하지 않으며, 미국을 비롯한 세계 많은 국가에는 MPC에 대한 성분 규격(예: 단백질 함량에 대한 최소 또는 최대 기준)도 존재하지 않는다. 2014년, 미국유제품연구소(ADP)와 미국유제품수출협회(USDE)는 조제분유를 제외한 다수 응용 식품의 기능적 또는 영양적 목적을 위한 식품 원료로 사용하기 위해 MPC와 분리유단백(MPI)에 대하여 '일반적으로 안전하다고 인정하는 물질(GRAS)' 분류를 신청했다.

일반적으로, MPC와 무지방분유(NFDM)는 비슷한 제품이지만, MPC 단백질은 유당과 가용성 무기물을 제거하여 농축한 것이라는 점에 결정적인 차이가 있다. MPC는 단백질 함량이 42~85% 사이에 속하도록 제조된다. 가장 일반적인 MPC 제품은 MPC42, MPC70, MPC80, MPC85, MPI(중량 기준으로 보통 단백질 함량이 90% 이상)다. MPC는 탈지유로 만들어지는 것이 일반적이기 때문에 지방 함량이 3% 미만이다. 단백질 농축도별 MPC와 MPI의 성분은 그림에서 확인할 수 있다. NFDM에 비해 MPC는 단백질 함량이 풍부한 반면 유당의 비율은 낮다는 점을 분명히 확인할 수 있으며, 회분과 지방, 수분 함량은 단백질 함량이 변화해도 대체로 일정한 수준을 유지한다.

보통 MPC의 단백질 함량이 증가하면 유당 함량이 감소한다. 예컨대 NFDM은 34~36%의 단백질과 52%의 유당을 함유하지만, MPC42는 단백질 42%와 유당 46%를, MPC80은 단백질 80%와 유당 5~6%를 함유한다. 단백질 함량이 훨씬 더 높은 MPC도 존재할 수 있다.

이는 일반적으로 MPI로 알려져 있으며 단백질 함량이 90% 이상(일반적으로 중량 기준으로 단백질 함량 90~91%)이고, 미셀 농축 카제인은 단백질 함량이 93~94%에 이른다.

MPC 제조와 공정 흐름도

그림2는 MPC 생산에 대한 일반적인 공정을 보여준다. 탈지유는 일반적으로 MPC 생산의 기본 원료로 사용된다. 탈지유의 첫 번째 처리는 열처리(예: 70~75°C에서 10~20초)이다. 열처리는 바람직하지 않은 미생물과 효소를 비활성화시킨다. 그리고 나서 탈지유는 한외여과(UF)를 통해 농축된다. UF 단계에서 카제인과 유청단백질, 미셀 소금과 잔여 지방은 농축물로 남지만 유당과 가용성 소금 및 비단백 질소는 투과액과 함께 제거된다.^{4,5,6}

MPC85 같은 고단백 MPC의 경우, UF만으로는 농축물에서 요구되는 단백질 대(對) 고형물 비율을 달성할 수 없으며, 추가적인 유당과 가용성 무기질의 제거를 위해 정용여과(DF)를 거치는 것이 일반적이다.^{7,8} 달성 가능한 최대 단백질 함량은 잔여 지방의 존재와 미셀 인산칼슘의 유지에 의해 제한을 받는다.⁹ 바람직한 단백질 대 고형물 비율을 달성하면 UF 농축물을 증발 및 분무 건조시킨다.

탈지유에 비해 UF 농축물의 단백질 대 고형물 비율이 현저히 높기 때문에, 증발을 통해 MPC의 고체 함유량이 탈지유 고형분의 고체 함유량과 비슷해지는 것은 불가능하다. 분무 건조기에 투입하는 물질은, 탈지유의 경우에는 고체 함유량이 약 50%이지만 MPC70의 경우에는 30% 정도이다. 이 수치는 MPC의 단백질 함량이 높아질수록 낮아진다.

MPC 생산과 세계 무역자료

생산되고 있는 다양한 유단백 원료 가운데 MPC는 비교적 최근에 등장하여 급속히 인기를 끌고 있다. 현재 제품 개발자들은 맛이나 기능성 같은 여러 가지 효능을 위해 MPC를 다양한 신제품에 사용하면서 고단백, 저유당 제품을 만들고 있다.

그림1: NFDM 및 단백질 함량별 MPC의 성분³

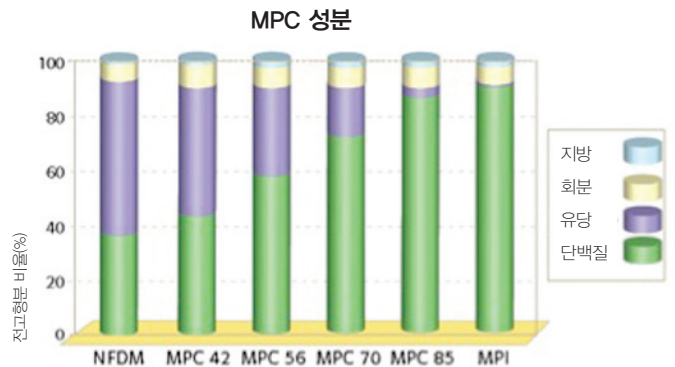


그림2: 농축유단백(MPC) 제조의 공정 흐름도

MPC 생산과 세계 무역자료

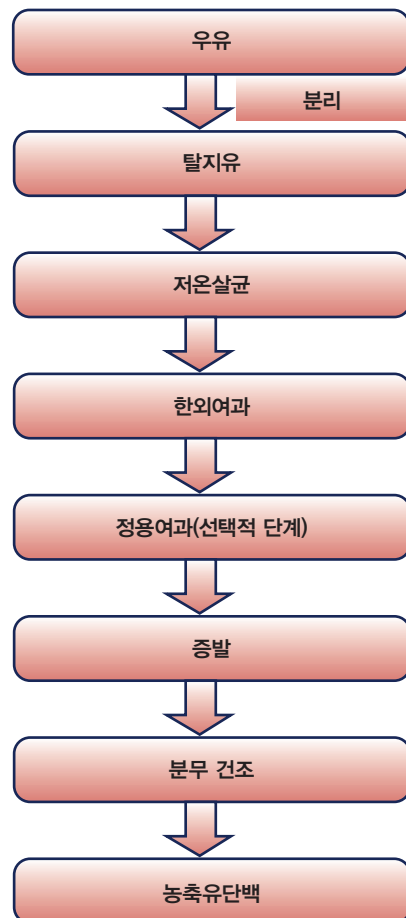


그림3은 MPC 수출시장에서의 국가별 비중을 나타낸다. MPC 수요는 최근 상당히 증가했으며, 지난 10년간 원료로서의 MPC와 MPC를 사용하여 만들어진 소비재에 대한 세계 시장의 규모도 성장세를 보였다. 그 결과 2000년도에 40,000메트릭톤이던 전 세계 MPC 생산량은 2012년 약 270,000메트릭톤으로 증가했다.¹⁰⁾

최근 미국의 원료 가공업자들은 갈수록 전문화되고 있어, 국내 MPC 생산량이 지난 8년간 2배 이상 성장했음에도 불구하고 미국은 급증하는 수요로 인해 계속해서 상당한 양의 MPC를 수입하고 있다. 예를 들어, 2006년에는 미국의 MPC 생산량이 매우 적어서 국내 수요의 거의 80~90%(약 76,600메트릭 톤)를 수입해야 했으나 2013년에는 미국의 생산량이 약 45,900메트릭톤에 이르렀고, MPC 수입량은 55,000메트릭 톤이었다(그림4 참조).

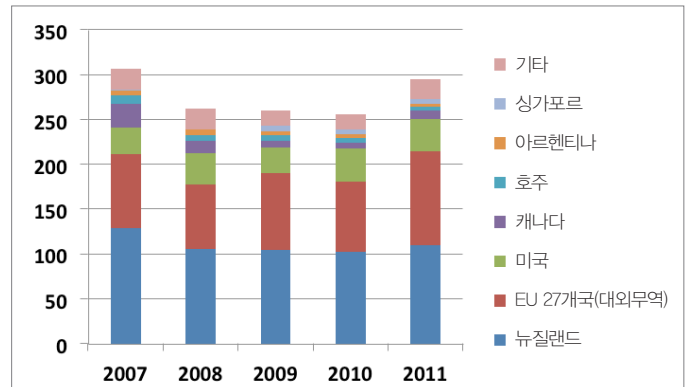
MPC 생산과 수요가 증가한 주된 원인은 MPC를 원료로 사용한 제품들이 많이 출시되고 있기 때문이다. 그림5는 MPC를 원료로 사용하여 신제품을 출시한 상위 15개 식품군을 나타내고 있다.

전반적으로 MPC의 성장은 주로 다음의 세 가지 사용 경향에 따른 결과이다.

- 1) NFDM/탈지분유(SMP)의 대용품(저단백 MPC42와 함께)
- 2) 치즈와 요거트 제조(보통은 MPC42를 사용하나 허용될 경우에는 MPC70도 사용)
- 3) 영양식이 제조공식, 고단백 영양 및 임상 제조공식, 제조분유와 단백질 바에 고단백 MPC(80, 85, 90 이상) 사용

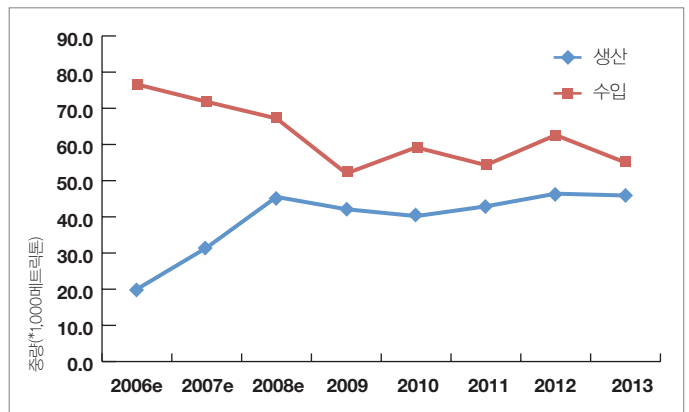
또한 일부 국가에서는 '코덱스' 제품의 생산을 위한 분유의 단백질 표준화에 우유 투과액을 사용할 수 있다. 따라서 MPC는 세계 식음료 제조업자에게 매우 중요한 원료이다.

그림3: MPC 및 관련 제품의 주요 수출국(1,000메트릭톤)¹¹⁾



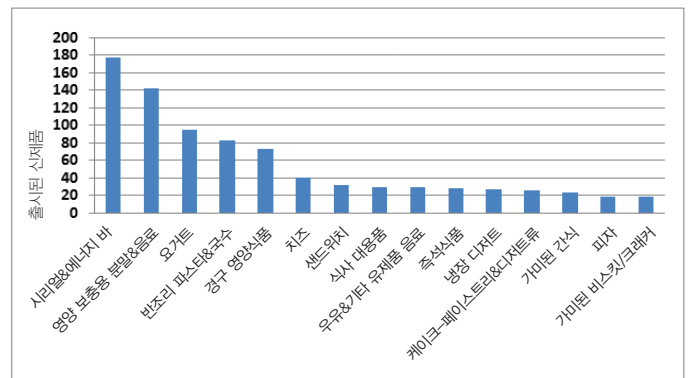
출처: GTIS Global Trade Atlas, HTS 0404.90 and 3502.20,에 따라 분류된 무역 포함.

그림4: 미국의 MPC 생산과 수입(2006~2013년, 1,000메트릭톤)



출처: 미국유제품수출협의회

그림5: MPC를 원료로 사용하여 출시된 제품의 수(상위 15개 식품군)



출처: Innova 2011

MPC를 사용한 응용 제품과 그 이점

단백질 함량에 따라 MPC 응용 제품의 형태는 다양해질 수 있다. 일반적으로 저단백 MPC(단백질 함량 42~50%)는 치즈, 요거트, 수프 응용 제품에 사용되며, 고단백 MPC(단백질 함량 70% 이상)는 음료, 의약품 식품, 장(腸) 관련 식품, 단백질 바 응용식품 등에 사용된다. MPC를 응용한 치즈 제품에는 체빵용 치즈, 리코타치즈, 페타치즈, 히스패닉치즈, 가공 치즈, 가공 치즈 스프레드 제품 및 기타 생치즈 등의 비규격 치즈가 있다. 그러나 미 연방 기준에 따른 동일 규격을 지닌 치즈에는 MPC가 원료로 포함되지 않는다(예: 체다치즈). MPC를 사용한 기타 일반 응용 제품으로는 디저트, 제빵 제품, 토핑, 저지방 스프레드, 유제품 기반의 건조 믹스, 유제품 기반의 음료, 요거트용 식감 향상제 등이 있다.¹²

엄선된 응용 제품의 경우에는 단백질이나 무지유고형분(MSNF)이 동일하다고 할 때, MPC가 전지분유(WMP)와 탈지분유(SMP)의 대용품으로 사용될 수 있다. 무유당 발효유도 MPC를 사용해 생산한다.¹³ 그동안 주요 식품업체와 대학, 연구기관은 가공 치즈, 크림치즈, 자연 치즈, 아이스크림, 음료 등 다양한 제품에 대한 MPC 응용에 많은 특허를 신청해왔다. 그림6은 MPC에 대한 세계적 수요를 주도하는 다양한 응용 제품을 간략히 제시한다.

MPC를 활용할 기회가 많은 것은 다음과 같은 이유 때문이다.

- 분유 기능 최적화
- 유리한 관세 분류
- 유연한 성분표시 규정
- 제품 품질, 유통기한, 카제인 비율 조절에 초점

영양 및 기능적 이점

MPC는 고유한 효능이나 기능적 특성을 지니고 있기 때문에 제품 개발자들이 제조공식에 MPC를 사용하게 된다. 대표적인 이점은 다음과 같다.

- **영양:** 참신한 신제품을 원하는 세계 식품시장의 수요 덕분에 신제품 개발이 빠른 속도로 이루어지고 있다. MPC는 영양 및 기능적 특성을 바탕으로 그러한 신제품에 사용된다. MPC는 양질의 단백질원이며 100g당 열량은 약 360kcal이다. 또한 MPC는 칼슘, 마그네슘, 인 같은 주요 무기질을 제공하여 추가적인 영양 강화의 필요성을 줄여줄 수 있다. MPC는 이제 많은 단백질 강화 식품에 널리 사용되지만, 그 중에서도 식사 대용품, 영양 음료와 영양 바에 주로 사용된다. 고단백 MPC는 영양적 특성 때문에 소아 및 노인 영양 제품, 의약품 영양 제품(장 관련 식품), 체중 조절 제품, 분말 식이보충제, 스포츠 영양 제품에 사용된다. 이러한 응용 제품에는 MPC와 유청단백 성분이 단독으로 사용되거나 다른 단백질과 함께 사용되는 것이 일반적이다.
- **고단백/저유당 제품:** 고단백, 저유당 식품에 대한 수요는 최근 빠르게 증가하고 있다. 단백질 함량이 높은 MPC는 갈변을 유발할 수 있는 많은 양의 유당을 첨가하지 않고도 깔끔한 우유맛을 내서 식품의 단백질 함량을 높이는 데 사용될 수 있다. 따라서 고단백 MPC는 저유당, 고단백 제품(치즈소스와 UHT 음료 등)에 사용되고 있다.

그림6: 농축유단백(MPC) 응용 제품

농축유단백 응용 제품

- 디저트, 제빵 제품, 토핑, 저지방 스프레드, 유제품 기반의 건조 믹스
- 수프, 소스, 샐러드 드레싱 등의 액상 제품
- 노인용 영양 제품
- 아이스크림
- 이유기 분유, 성장기용 분유
- 저유당 제품과 음료
- 의약품 및 임상용 영양 제품
- 가공치즈, 크림치즈, 생치즈
- 단백질/영양 바 응용 제품
- 다양한 식품 제조법에서 SMP와 NFDM의 대용품으로 사용
- 스포츠 음료 및 영양 음료, 식사 대용 음료
- 치즈우유와 치즈우유 활용 제품의 단백질 함량 표준화
- 요거트/발효 유제품
- 체중 조절 식품료

MPC는 유당 함량을 높이지 않으면서 아이스크림의 단백질 함량을 증가시키는 데에도 사용될 수 있다.¹⁴

- **우수한 기능적 특성:** MPC는 기능성이 뛰어난 성분이다. 식음료 제조공식에 MPC를 포함시키면 수분 결합, 점성, 겔화, 거품/휘핑, 유화, 열안정성 등 다양한 이점을 누릴 수 있다. 뿐만 아니라 제조공식에 포함된 MPC는 불투명성과 기분 좋은 우유맛을 제공한다. MPC의 뛰어난 기능성을 고려할 때 식품업계의 많은 음료와 요거트 응용 제품에도 적합할 것으로 보인다(표1 참조).
- **카제인, 카제인염, 분유의 대용품:** 전통적으로 많은 제품들이 카제인과 카제인염, 분유를 사용해왔는데, MPC는 이들 성분을 대체하는 데 사용될 수 있다. 현재 MPC는 치즈 대용품, 가공 치즈, 크림치즈, 아이스크림, 냉동 디저트, 요거트/발효유제품, 식사 대용 음료, 영양음료, 즉석음료(RTD)와 분말음료 등 다양한 제품의 제조에 널리 사용되고 있다.
- **단백질 함량 조절 및 우유의 표준화:** MPC는 기능성을 위해 유단백의 고유 구조가 필요한 응용 제품에 사용될 수 있다(예: 치즈우유의 표준화, 요거트와 아이스크림 믹스의 단백질 강화). UF 공정 중에 미셀 인산칼슘이 카제인 미셀에 대량 남게 되면서 MPC는 생물학적으로 이용할 수 있는 피포성 칼슘을 자연적 형태로 다양 함유하기 때문에 유아 및 임상 영양 목적의 용도에서 더 큰 인기를 얻는다.

표1. 농축유단백(MPC)의 주요 기능적 특성과 최종 제품에서의 응용¹⁵

No.	기능성	응용
1	수분 결합, 농밀화, 점성	수프와 소스, 식육 제품, 제빵 제품, 제과, 초콜릿, 요거트, 치즈
2	유화	수프와 소스, 아이스크림, 제과, 식육 제품, 커피 크림 대용품
3	거품과 휘핑	아이스크림, 디저트, 휘핑, 토핑
4	겔화	치즈, 요거트, 제빵 제품, 제과
5	열안정성	환원우유, 수프와 소스, 장용 및 임상 영양 제품
6	색/맛 개선	초콜릿, 제과

MPC에 대한 과학적 연구 개요

일부 연구 보고서는 MPC의 가용성을 다루고 있으며 요거트, 아이스크림, 치즈 등 다양한 제품에서 MPC를 성공적으로 응용한 사례를 기술한다. 다음에서는 이러한 연구 보고서의 내용을 간략히 살펴본다.

불용성 기체에 관한 연구

일반적으로, MPC는 냉장 온도와 주위 온도 사이의 범위(2~21°C)에서 습도가 비교적 낮은 환경에서 보관하면 6~8개월간 양호한 가용성을 유지한다. 그러나 고단백 MPC의 문제점 가운데 한 가지^{16, 17}는 특히 주위 온도 이상의 온도^{18, 19, 20, 21}에서 수분 함량과 수분 활동도가 높을 때 보관하면 가용성이 낮아진다는 점이다.²² MPC의 기능성이 드러나기 위해서는 완전히 용해되어야 하기 때문에 MPC의 제조업자나 최종사용자는 가용성을 핵심적인 성질로 간주한다. 보관 중 MPC의 가용성이 감소하는 기제를 이해하기 위해 다수의 연구가 실시되었고, MPC의 불용성 기제를 설명하는 문헌에서 다양한 이론이 보고되었다.

불용성의 기제

고단백 MPC의 가용성 저하는 분말입자 표면에서 단백질간의 상호작용이 과도하게 일어나는 것과 결부되어 왔다.^{20,23} 용해되지 않는 단백질 물질은 주로 카제인으로 구성(대부분 알파-카제인과 베타-카제인)되어 있고, 유청단백질 함량은 없거나 미량에 그치는 것으로 알려져 왔다.^{20,23} 이 물질은 약한 비공유(소수성) 단백질간 결합으로 구성되어 있으며, 카파-카제인과 베타 락토글로불린, α_2 -카제인으로 구성된 이황화결합 단백질 덩어리를 포함한다.

일부 연구를 살펴보면, 단백질 배재개량 및 물과 단백질 간의 상호작용은 단백질의 불안정성을 유도하고 결국 MPC의 가용성에 영향을 미치는 두 가지 중요한 요인으로 여겨진다.²⁴ 다양한 수분활성도(0.0~0.85)와 기온(25°C와 45°C) 조건에서 최대 12주간 MPC를 보관한 결과, MPC의 가용성은 시간이 경과함에 따라 급속히 감소했다. 이 과정은 수분활성도와 보관 온도를 증가시키면 더 가속화된다. FTIR 분광계를 통해 단백질 2차 구조의 경미한 변화를 확인할 수 있는데, 이는 단백질 분자가 약간 펴지는 것을 의미하며 단백질 분자가 펴지면서 단백질간의 상호작용이 시작되어 결국 가용성에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.²⁴

연구진은 보관이 장기화되어도 전체 단백질의 약 20%, 즉 MPC의 유청단백에 해당하는 양은 가용성을 유지하는 것을 발견했다.²⁰ 이들은 질량분석기를 사용하여 보관시간이 길어짐에 따라 카제인이 락토실화(化)되었음을 보여주었다. 또한 MPC85의 불용성은 분말 표면에서 단백질의 교차결합이 일어났기 때문일 수도 있다고 추측했다.²⁰ 또 다른 연구는 제품의 무기질 부분에서 칼슘의 비율이 증가하면 MPC의 가용성이 감소한다는 사실을 발견했다.⁵ 비슷한 연구 결과에 따르면 유청단백질과 비미셀 소금(예: 나트륨과 칼륨)은 MPC85가 복원되면 가용성 수용상에 쉽게 녹았다.²⁵ 반면 카제인을 비롯하여 카제인 미셀과 관련된 소금(예: 칼슘, 마그네슘, 인)은 천천히 용해되는데, 이는 이러한 무기질이 단백질의 가용성을 방해하기 때문인 것으로 보인다. 원료 가공업자들은 특정한 식음료 응용 제품에 사용하기 위해 원료의 무기질 함량을 조절하고 고객의 요구에 맞게 변경할 수 있는 기법을 고려하는 것이 좋을 것이다.

또 다른 일련의 연구²⁶에서 연구진은 보관으로 인해 MPC의 가용성이 상실되는 것은 재수화 동역학 때문이지 보관 중의 불용성 물질 형성 때문이 아니라는 결론을 내렸다.²⁷ 이들은 MPC85 분말의 재수화 과정이 두 가지 중첩된 단계에서 발생한다고 보고했다. 뭉쳐진 입자가 최초의 분말 입자로 분열되는 단계와, 이와 동시에 그러한 분말 입자의 미셀 물질이 주변의 수용상으로 분출되는 단계이다. 후자의 단계는 MPC85의 용해 속도를 제한하는 것으로 보였으며, 용액의 온도를 높였을 때 진행속도가 가속화되었다. 반면 분말 입자에 대한 물의 침투는 속도 제한 요인이 아니었는데, 이는 물보다 큰 분자(유청단백과 유당)가 신선한 MPC와 보관된 MPC 모두로부터 분말 구조 밖으로 자유롭게 분출되었기 때문이다.²⁸

이후 연구에서는 재수화된 MPC 분말 입자의 미세구조를 주사전자현미경(SEM)을 사용해 조사하였다.²⁸ 연구진은 카제인 미셀 간의 다양한 상호작용 형태(예: 연결, 직접 접촉)의 조합으로 인해 개별 미셀이 물의 침투와 비교적 화합물의 가용화를 방지하지 않으면서 주변의 수용상으로 확산되는 것을 저지하는 겔과 유사한 다공성 구조가 발생한다는 사실을 발견했다. 분말이 보관되는 동안 미셀 간에, 그리고 미셀 내부에서 상호작용이 증가하여 미셀이 압축되고 촘촘하게 뭉쳐진 카제인 미셀의 단층 겹질이 형성되는데, 이 둘의 조합으로 인해 보관된 MPC 분말의 용해가 느려지는 것으로 보인다. 분말 입자, 특히 입자 표면에서 카제인 미셀이 잘 방출되지 않기 때문에 MPC의 복원 이후에도 속이 빈 겹질을 닮은 구조가 남아 있을 수 있다(즉, 구성 성분은 내부에서 나와 확산되지만 원래 입자의 빈 겹질은 남음).^{28,29}

MPC의 가용성 개선에 관한 연구

여러 연구진은 고단백 염화나트륨(NaCl)과 염화칼륨(KCl) 같은 1g 염을 첨가하여 MPC와 미셀 카제인의 가용성을 증가시킬 수 있다고 보고한다. 습기를 흡수하는 NaCl의 특성을 통해 미셀 카제인의 복원력 증가를 설명할 수 있다. 뿐만 아니라 이러한 무기질로 인한 재수화 개선은 변형된 단백질간 상호작용²⁵이나 카제인 미셀 구조의 변형과 연관된 것으로 생각된다.²⁹

또 다른 연구진 역시 대조군에 비해 1가 염으로 처리한 MPC85 시료의 경우 가용성을 상당히 증가시킬 수 있다(60% 이상)고 보고했다.³⁰ 칼슘을 부분적으로 나트륨으로 대체한 경우에도 MPC85의 가용성 증가와 비슷한 결과가 보고된 바 있다.³¹ 이들 연구에서 더 나아가 또 다른 연구는 대조군에 비해 나트륨과 칼륨으로 처리한 MPC80 시료에서도 가용성의 상당한 증가(100%)를 발견했다.³² 나트륨과 칼륨으로 처리한 MPC의 가용성은 2°C에서 1년간 보관한 이후에도 90% 이상 유지되었다. 이와 같이 장기간의 보관 이후에도 가용성이 개선되는 것은 카제인 미셀 간의 정전기 반발력이 증가했기 때문인 것으로 보인다.²³ 이러한 획기적인 가용성 증가는 카제인 미셀에서 칼슘과 인이 방출되었기 때문이라는 설명도 있다.^{32,33} 정전력 외에 소수력 역시 고단백 분유의 가용성에 중요한 역할을 한다.^{20,23,34} 나트륨이나 칼륨 같은 1가 염으로 처리한 MPC80의 가용성 증가는 단백질의 소수성을 변형시키고³³ 이황화물의 결합 형성을 감소시킬 가능성이 높다. 이러한 변화로 단백질 간 상호작용이 변형되어 단백질 덩어리 형성을 제한하고 가용성 증가에 기여할 수 있다.³⁴

요거트와 아이스크림에 MPC를 대체 원료로 사용하는 것에 관한 연구

NFDM/SMP 등에서 나오는 기존의 탈지유 원료에 대한 대안으로 MPC를 효율적으로 사용할 수 있다는 사실이 연구를 통해 증명되었으며, MPC는 보통 단백질 함량을 높이고 식감을 향상시키며 유청 분리를 최소화하고 요거트의 안정성을 증대하기 위해 첨가된다. NFDM을 MPC로 대체하더라도 요거트의 바람직한 구조적 특성에는 부정적인 영향을 미치지 않는다.^{35,36} 현지 규정을 통해 기준과 라벨 표시 요건을 확인하길 바란다.

아이스크림 믹스의 경우, 기존의 탈지유 원료를 비슷한 단백질 기준(4%)에 따라 MPC560이나 MPC80으로 대체해도 아이스크림 믹스의 바람직한 물리적 특성을 해치지 않는 것으로 나타났는데,³⁷ 이는 규정이 허락하는 한도 내에서 MPC가 저유당 아이스크림 생산에 적합한 원료임을 나타낸다.

치즈우유의 표준화에 MPC를 사용하는 것에 관한 연구

MPC는 피자치즈, 일부 멕시코 스타일 치즈 및 페타치즈 같은 연질 생치즈 종류 등 비규격 동일성의 치즈 제조를 위한 우유 표준화에 사용되어 왔다. 연구진은 모차렐라치즈^{38,39}, 페타치즈^{38,40}, 체다치즈^{38,41}의 제조에 MPC를 사용하는 것에 대해서도 연구해왔다. MPC로 표준화한 치즈우유나 한외여과(UF)한 우유는 치즈 가공업자들에게 연중 일정한 치즈를 생산할 수 있는 기회를 제공한다.⁴¹

연구진은 탈지유나 상용 MPC를 전유에 첨가했을 때 멕시코 스타일 와하카 치즈의 구성과 수율, 기능성에 미치는 영향을 조사한 결과, 탈지분유를 첨가한 경우에는 실제 건조물과 수분 조절된 치즈 수율이 상당히 감소했으나 MPC를 첨가했을 때는 증가했음을 발견했다.⁴² 또 다른 연구에서는 MPC를 사용한 치즈우유의 표준화로 치즈의 수율이 13.8%에서 16.7%로 증가했음을 확인했는데, 이는 MPC를 사용한 치즈의 우유 총고 형분과 단백질의 높은 회복력 및 소폭 증가한 치즈 수분량에 따른 결과다.³⁹ 또한 우유의 단백질 함량을 증가시키면 지방 대 단백질 비율이 감소하며 크림 분리의 필요성이 없어진다고 보고된 바 있다. 단백질 함량의 증가는 카제인 매트릭스가 더 많은 지방을 보유할 수 있는 능력도 향상시키며 지방 대 단백질 비율이 최적화될 때 체다치즈의 지방 회복 또한 증가시킨다.⁴³



MPC를 사용한 산이나 레넷 유도 겔의 유동학적 특성에 관한 연구

레넷 유도 겔의 겔화 시간은 MPC 유형(MPC70과 MPC85)이나 수화 처리에 영향을 받지 않는 것으로 보고되었다.⁴⁴ 다른 연구진은 단백질 농도가 56%, 70%, 90%인 MPC를 함유한 레넷 겔의 유동학적 특성을 환원탈지유에 비교하여 조사했다.⁴⁵ 이들은 MPC 확산의 겔화 시간은 상당히 짧으며 보관계수는 단백질 농도가 동일한 환원탈지유에 비해 높다는 것을 발견했다. 이 연구는 αs-카제인 대 베타-카제인의 비율이 서로 다른 MPC의 유동학적 특성도 함께 평가했는데, 그 결과 두 카제인의 비율은 레넷 유도 겔의 소규모 및 대규모 변형의 유동학적 특성을 결정하는 데 중요한 매개변수로 작용한다는 결론을 도출했다.⁴⁶

또 다른 연구에서는 환원 MPC와 탈지유의 레닛 겔화 거동을 관찰하여⁴⁷ 환원 MPC는 약 2mm의 염화칼슘이 보충되지 않는 한 응고되지 않는다고 보고했다.⁴⁷ 이 연구와 함께 다른 연구들도 고단백 MPC(예: MPC80)는 염화칼슘이 첨가되어야 바람직한 응고 특성을 보인다는 사실을 나타냈는데,^{44,45,47} 이는 이온평형이 MPC의 기능성에 영향을 미치는 주된 요인이라는 점을 의미한다. 이는 MPC의 생산에 적용되는 UF와 DF 단계 중 가용성 칼슘이 대량 제거된다는 점과 관련되어 있다. 그러나 충분한 칼슘을 첨가하면 레닛 응고 동역학과 환원 MPC의 겔 강도를 탈지원유의 수준과 비슷하게 회복시킬 수 있다.

MPC의 보관 역시 MPC 용액으로 만들어지는 산이나 레닛 겔의 강도에 영향을 미칠 수 있다. 레닛 유도 탈지유/MPC85 겔의 최종 탄성계수(최종 G*)와 항복응력은 20°C 이상의 보관온도에서 MPC85의 보관시간에 따라 기하급수적으로 감소하며, 보관온도가 증가할수록 그 영향은 더 커진다. 레닛 투입의 초기 단계(카파카제인 분열)는 MPC85의 보관 방식에 의해 영향을 받지 않으므로 그 효과는 레닛 투입의 2차 단계(레닛 처리된 카제인 미셀의 집적/응고)와 연관되어 있다.⁴⁸ MPC로 만든 환원 우유를 열처리하면 레닛 유도 겔의 보관계수(G)의 증가 속도가 느려지고 겔화 시간이 감소하며 겔을 분열시키는 데 필요한 항복력이 감소했다. (열처리로 인한) 유청단백 변성의 정도는 항복력과 겔의 G값의 감소와 연관되어 있다.⁴⁹ 효소 응고 중의 단백질 분해와 유단백 집적 역시 응고가 일어나는 산성도와 관계 없이 MPC 용액을 예열할 때 단백질에 발생하는 변화에 달려 있다.⁵⁰



수중유적형 에멀전을 안정화시키는 MPC의 역할에 관한 연구

다수의 보고서 결과에 따르면 MPC는 수프, 소스, 가공육, 유제품 음료, 샐러드 드레싱, 비네그레트 드레싱, 제빵류 등의 응용제품에서 수중유적형 에멀전을 안정화시키고 에멀전 특성(기름과 물의 접점)과 휘핑 특성(공기와 물의 접점) 모두를 향상시키는 데 사용될 수 있다.

단백질이 안정화된 에멀전의 상거동은 덩어리 크기에 영향을 받는다. MPC85와 NFDM에서 발견되는 대형 카제인 덩어리로 만들어진 에멀전은 카제인 나트륨으로 만들어진 에멀전보다 크리밍에 더 안정적이었다. 이는 MPC와 SMP의 단백질 덩어리가 감손 응집을 유발하기에는 너무 크기 때문이거나, 높은 수준의 감손 응집을 유발해서 점성이 높은 에멀전을 만들어내서 크리밍을 감소시키기 때문이다.⁵¹ 이를 발견한 연구진은 더 나아가 덩어리진 단백질이 해리 완충제에서 확산되면 유화 능력이 증대된다고 보고했다.⁵²

가공 조건이 MPC로 안정화된 수중유적형 에멀전의 유동학적 특성과 물리화학적 특성에 미치는 영향을 조사한 연구진은 에멀전 안정성과 점조계수 지수간에 상당한 상관관계가 있음을 발견했다.⁵³ 에멀전 전도율은 가공 조건에 영향을 받지 않았다. 추후 연구에서 연구진은 단백질 농도가 증가하면 MPC로 안정화된 에멀전의 에멀전 안정성이 감소한다고 보고했다. 또한 가열된 에멀전은 유사 가소성 성격을 띠며, 결과적으로 예열온도를 높이면 최종 에멀전의 전단박하 거동이 더 뚜렷해지고 에멀전의 점성이 높아지는 반면, 가열되지 않은 에멀전은 점소성이 있는 유체처럼 거동하고 단백질 함량이 높아지면 전단박하 거동이 점조화 거동으로 변화한다고 보고했다.⁵⁴ 연속상(MPC 용액)이나 분산상 기름을 예열했을 때 에멀전의 유동 특성과 안정성에 영향을 미쳤다.⁵⁵

보다 최근 연구에서는 다양한 칼슘 함량 조건에서 MPC를 사용해 안정화된 에멀전의 특성을 비교한 결과, 칼슘 함량이 적은 MPC로 구성된 에멀전의 질이 더 좋으며 총 표면 단백질 농도는 더 낮은 것을 발견했다.⁵⁶ 또한 카제인의 집적 상태가 MPC의 유화 특성과 흡수 특성을 좌우하는 것으로 보고되었다. 칼슘 함량이 낮고 MPC로 안정화된 에멀전의 경우, 저단백 농도에서 에멀전 방울의 크기가 증가함에 따라 에멀전의 안정성은 감소했다. 단백질 농도가 최대치 이상으로 증가할 때도 에멀전 안정성은 감소했는데, 이는 저칼슘 MPC의 단백질 상태가 에멀전의 감소 응집을 유발할 수 있음을 의미한다.⁵⁶

비마젤 카제인이 일부 존재하면 유화가 더 잘 일어나고, 저칼슘 MPC로 안정화된 에멀전의 2차 열처리 중 분산상과 연속상 모두에서 유청단백 집적에 보호적 안정화 효과를 부여한다는 점도 보고되었다.⁵⁷ 또한 모형 에멀전의 열안정성, 크리밍 거동, 유동 거동은 유화제 유형 및 연속상의 단백질 유형 모두의 영향을 받는다고 보고되었다.⁵⁸ 연구진은 더 나아가 사전 및 사후 열처리가 MPC로 안정화된 수중유적형 에멀전의 물리화학적, 미세구조적, 유동학적 특성에 미치는 영향을 발견했고, 예열된 MPC로 안정화된 에멀전은 가열되지 않은 MPC로 안정화된 에멀전보다 방울 간의 상호작용이 적었다고 보고했다. 이는 유청단백의 변형 때문으로, 그 결과 열 유도된 방울 간 상호작용과 방울과 단백질 간의 상호작용이 감소하게 되었다.⁵⁷

MPC의 분석 및 시험 방법

MPC의 용해 특성이 상대적으로 취약하기 때문에 기존의 시험 방법은 MPC의 기능을 특성화하는 데 비효과적이다. 현재까지 MPC의 기능을 규명하기 위해 다양한 기법이 사용되어 왔다. 이러한 시험의 대부분은 오프라인에서 이루어지고 상당한 시료를 준비해야 하기 때문에 예측의 재현 가능성에 영향을 미친다. 현재 MPC의 가용성 측정에 사용되는 기법의 상당수는 실험자의 정확성에 좌우되며, 실험자의 정확성에 따라 시험 결과는 크게 달라질 수 있다.

MPC의 가용성 연구를 위한 다른 시험 방법을 개발하려는 노력도 이루어져 왔다. 연구진은 최근 집속 빔 반사율 측정(FBRM)을 통해 MPC 분말의 용해과정을 관찰하여 MPC 가용성을 특징 짓는 새로운 방법을 보고했다.²¹ FBRM을 사용하면 다양한 현탁액 농도에 걸쳐 시간의 흐름에 따라 현탁액의 원위치 변화를 관찰할 수 있으며, 이는 MPC의 가용성을 직접적으로 반영한다. 현탁액의 감소율이 높아질수록 가용성이 좋아짐을 의미한다. 연구진은 이 접근법을 적용하면 기존의 가용성 시험에 비해 특정 유제품 분말의 용해 거동을 보다 확실하게 예측할 수 있다고 보고했다.²¹

고단백 MPC를 사용한 제조법에 대한 조언

- 유단백의 재수화 향상을 위해 약 30~40분간 약간 높은 환원온도(최적온도: 32~60°C)에서 MPC를 환원시키면 MPC의 가용성을 향상시킬 수 있다.^{59,60,25,21}
- 전단을 적용하는 것도 MPC의 환원을 개선하는 데 도움이 된다.⁶⁰ 3중 분쇄기나 와류 믹서 같은 고속 믹싱을 사용하면 환원의 속도와 효율을 높일 수 있다.
- 제조 시 산성도 조절이 필요할 경우에는 MPC가 완전히 수화될 때까지 산성도 조절을 피해야 한다.
- MPC가 용액에 들어간 후에는 교반 속도를 줄여서 거품을 내지 않아야 하며, 또는 교반을 간헐적으로 실시해야 한다. MPC의 가공을 더 진행시켜 최종 제품으로 만드는 과정에서 거품이 문제가 될 수 있으므로, MPC 용액을 준비할 때는 과도한 거품을 방지하기 위해 되도록 거품 방지제를 사용하는 것이 좋다.
- MPC 용액을 균질화시키는 것이 바람직하다(특히 고단백 용액의 경우, 또는 초고온살균(UHT)과 레토르트 공정 이전).

MPC는 현재 다양한 단백질 강화 식품에 널리 사용되고 있지만, 주로 식사 대용품, 영양 음료, 영양 바에 많이 사용된다. 고단백 MPC는 식음료 제조 시 상당량의 유당을 첨가하지 않고도 단백질 강화와 함께 깔끔한 우유맛을 선사한다. MPC는 칼슘이나 마그네슘, 인 같은 주요 무기질을 제조공식에 포함시키기 때문에 이들 무기질이 추가적으로 필요하지 않다. 또한 MPC는 다기능 원료이며 수분결합, 겔화, 거품, 유화, 열안정성 같은 이점을 제공한다. 현재 유제품연구소, 국립유제품연구센터, 미국유제품수출협의회는 MPC 관련 과학을 발전시키기 위한 가공기술, 기본 조건, 응용 제품에 대한 지식과 역량을 향상시키는 데 노력을 집중하고 있다.

유제품 원료 연구에 대한 자세한 정보가 필요하시거나 유제품 원료를 사용한 신제품 또는 제품 개선에 대한 도움을 받으려면 미국유제품수출협의회 한국사무소(Tel: 02-516-6893 / Email: usdeckorea@intnet.co.kr)로 연락하십시오.



미국유제품수출협의회(USDEC)는 비영리 독립 회원제기구로서 미국 낙농 생산자, 자영업 가공업자와 협동조합, 원료 공급자, 수출업자의 국제무역 이해를 대변한다. 주요 채원은 데어리 매니지먼트(Dairy Management Inc.)를 통한 낙농 자조금 프로그램이며, USDEC의 사명은 미국의 세계 경쟁력을 높이고 관련업계를 보조하여 미국의 유제품 원료 세계 판매량과 유제품 수출량을 증대하는 것이다. USDEC는 이를 위해 미국 유제품에 대한 세계 수요를 증대하고 시장진입장벽을 해소하며 업계의 무역정책 목표를 발전시키는 시장개발 프로그램을 실시한다. USDEC의 직원들은 미국 전역은 물론 멕시코, 남미, 아시아, 중동 지역에 배치되어 있다.

- ¹Martin GJO, Williams RPW, Dunstan DE. Effect of manufacture and reconstitution of milk protein concentrate powder on the size and rennet gelation behaviour of casein micelles. *Int Dairy J.* 2010;20:128-131.
- ²Huffman L, Harper WJ. Maximizing the value of milk through separation technologies. *J Dairy Sci.* 1999;82(10):2238-2244.
- ³Smith K. Dried dairy ingredients. Understanding Dairy Markets website. 2008. Available at: http://future.aae.wisc.edu/publications/dried_dairy_ingredients.pdf. Accessed December 17, 2013.
- ⁴Green ML, Scott JK, Anderson M, Griffin MCA, Glover FA. Chemical characterization of milk concentrated by ultrafiltration. *J Dairy Res.* 1984;51(2):267-78.
- ⁵Babella G. Scientific and practical results with use of ultrafiltration in Hungary. *Bull Int Dairy Fed.* 1989;244:7-25.
- ⁶Bastian ED, Collinge SK, Ernstrom CA. Ultrafiltration: partitioning of milk constituents into permeate and retentate. *J Dairy Sci.* 1991;74(8):2423-2434.
- ⁷Getler J, Nielsen A, Sprogo J. Drying technology: functional process for MPC. *Dairy Ind Intl.* 1997;62(3):25-27.
- ⁸Singh H. Interactions of milk proteins during the manufacture of milk powders. *Lait.* 2007;87:413-23.
- ⁹Kelly PM. Milk protein concentrate. In: Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH. *Encyclopedia of Dairy Science*, 2nd Edition. Amsterdam: Elsevier;2011:848-854.
- ¹⁰USDEC Sourcebooks. 2011. Data presented at American Dairy Science Association conference. 2012.
- ¹¹U.S. Dairy Export Council. 2012.
- ¹²Garde S. Dairy solutions to application challenges. *Prepared Foods.* 2008;177(10):77-78, 81-82, 85-86, 88.
- ¹³Szigeti J, Krasz A, Varga L. A novel technology for production of lactose-free fermented milks. *Milchwissenschaft.* 2006;61(2):177-180.
- ¹⁴Patel MR, Baer RJ, Acharya MR. Increasing the protein content of ice cream. *J Dairy Sci.* 2006;89(5):1400-1406.
- ¹⁵Huppertz T, Patel H. Advances in milk protein ingredients. In: Ghosh D, Das S, Bagchi D, Smarta RB, ed. *Innovation in Healthy and Functional Foods*. Boca Raton, Fla: CRC;2012:363-386.
- ¹⁶McKenna AB. Effect of processing and storage on the reconstitution properties of whole milk and ultrafiltered skim milk powders. Palmerston North, New Zealand: Ph.D. Dissertation, Massey University; 2000.
- ¹⁷De Castro-Morel M, Harper WJ. Basic functionality of commercial milk protein concentrates. *Milchwissenschaft.* 2002;57:367-370.
- ¹⁸Mistry VV, Pulgar JB. Physical and storage properties of high milk protein powder. *Int Dairy J.* 1996;6(2):195-203.
- ¹⁹Mistry VV. Manufacture and application of high protein milk powder. *Lait.* 2002;82(4):515-522.
- ²⁰Anema SG, Pinder DN, Hunter RJ, Hemar Y. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). *Food Hydrocolloid.* 2006;20:386-393.
- ²¹Fang Y, Selomulya C, Chen XD. Characterization of milk protein concentrate solubility using focused beam reflectance measurement. *Dairy Sci Technol.* 2010;90(2-3):253-270.
- ²²Baldwin AJ, Truong GNT. Development of insolubility in dehydration of dairy milk powders. *Food Bioprod Process.* 2007;85(3):202-208.
- ²³Havea P. Protein interactions in milk protein concentrate powders. *Int Dairy J.* 2006;16(5):415-422.
- ²⁴Haque E, Bhandari BR, Gidley MJ, Deeth HC, Moller SM, Whittaker AK. Protein conformational modifications and kinetics of water-protein interactions in milk protein concentrate powder upon aging: effect on solubility. *J Agr Food Chem.* 2010;58(13):7748-7755.
- ²⁵Mimouni A, Deeth HC, Whittaker AK, Gidley MJ, Bhandari BR. Rehydration of high-protein-containing dairy powder: slow- and fast-dissolving components and storage effects. *Dairy Sci Technol.* 2010;90(2-3):335-344.
- ²⁶Mimouni A, Deeth HC, Whittaker AK, Gidley MJ, Bhandari BR. Investigation of the microstructure of milk protein concentrate powders during rehydration: alterations during storage. *J Dairy Sci.* 2010;93(2):463-472.
- ²⁷Mimouni A, Deeth HC, Whittaker AK, Gidley MJ, Bhandari BR. Rehydration process of milk protein concentrate powder monitored by static light scattering. *Food Hydrocolloid.* 2009;23(7):1958-1965.
- ²⁸Schuck P, Briard V, Mejean S, Piot M, Famelart MH, Maubois JL. Dehydration by desorption and by spray drying of dairy proteins: influence of the mineral environment. *Dry Technol.* 1999;17(7-8):1347-1357.
- ²⁹Baldwin AJ. Insolubility of milk powder products — a mini review. *Dairy Sci. Technol.* 2010;90:169-179.
- ³⁰Carr AJ, Bhaskar GV, Ram S. Monovalent salt enhances solubility of milk protein concentrate. U.S. Patent 0208955.
- ³¹Bhaskar GV, Singh H, Blazey ND. Milk protein concentrate products and process. International Patent Specification WO01/41578.
- ³²Sikand V, Tong PS, Vink S, Walker J. Effect of powder source and processing conditions on the solubility of milk protein concentrates 80. *Milchwissenschaft.* 2012;67(3):300-303.
- ³³Sikand V, Tong PS, Walker J. Effect of adding salt during the diafiltration step of milk protein concentrate powder manufacture on mineral and soluble protein composition. *Dairy Sci Technol.* 2013;93(4):401-413.
- ³⁴Mao X, Tong PS, Gualco S, Vink S. Effect of NaCl addition during diafiltration on the solubility, hydrophobicity, and disulfide bonds of 80% milk protein concentrate powder. *J Dairy Sci.* 2012;95(7):3481-3488.
- ³⁵Mistry VV, Hassan HN. Manufacture of nonfat yogurt from a high milk protein powder. *J Dairy Sci.* 1992;75(4):947-957.
- ³⁶Guzmán-González M, Morais F, Ramos M, Amigo L. Influence of skimmed milk concentrate replacement by dry dairy products in a low fat set-type yoghurt model system. I: use of whey protein concentrates, milk protein concentrates and skimmed milk powder. *J Sci Food Agr.* 1999;79(8):1117-1122.
- ³⁷Alvarez VB, Wolters CL, Vodovotz Y, Ji T. Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *J Dairy Sci.* 2005;88(3):862-871.
- ³⁸Harvey J. Protein fortification of cheese milk using milk protein concentrate: yield improvement and product quality. *Aust J Dairy Technol.* 2006;61(2):183-185.
- ³⁹Francolino S, Locci F, Ghiglietti R, Iezzi R, Mucchetti G. Use of milk protein concentrate to standardize milk composition in Italian citric mozzarella cheese making. *Lebensm-Wiss Technol.* 2010;43:310-314.
- ⁴⁰Kuo CJ, Harper WJ. Effect of hydration time of milk protein concentrate on cast Feta cheese texture. *Milchwissenschaft.* 2003;58:283-286.
- ⁴¹Rehman SU, Farkye NY, Considine T, Schaffner A, Drake MA. Effects of standardization of whole milk with dry milk protein concentrate on the yield and ripening of reduced-fat cheddar cheese. *J Dairy Sci.* 2003;86(5):1608-1615.
- ⁴²Caro I, Soto S, Franco MJ, Meza-Nieto M, Alfaro-Rodríguez RH, Mateo J. Composition, yield, and functionality of reduced-fat Oaxaca cheese: effects of using skim milk or a dry milk protein concentrate. *J Dairy Sci.* 2011;94(2):580-588.
- ⁴³Guinee TP, O'Kennedy BT, Kelly PM. Effect of milk protein standardization using different methods on the composition and yields of Cheddar cheese. *J Dairy Sci.* 2006;89(2):468-482.
- ⁴⁴Kuo CJ, Harper WJ. Rennet gel properties of milk protein concentrates. *Milchwissenschaft.* 2003;58:181-184.
- ⁴⁵Ferrer MA, Hill AR, Corredig M. Rheological properties of rennet gels containing milk protein concentrates. *J Dairy Sci.* 2008;91(3):959-969.
- ⁴⁶O'Mahony JA, McSweeney PLH, Lucey JA. Rheological properties of rennet-induced skim milk gels made from milk protein concentrate solutions with different ratios of κ -I-casein. *Milchwissenschaft.* 2009;64(2): 135-138.
- ⁴⁷Martin GJO, Williams RPW, Dunstan DE. Effect of manufacture and reconstitution of milk protein concentrate powder on the size and rennet gelation behaviour of casein micelles. *Int Dairy J.* 2010;20(2):128-131.
- ⁴⁸Hunter RJ, Hemar Y, Pinder DN, Anema SG. Effect of storage time and temperature of milk protein concentrate (MPC85) on the renneting properties of skim milk fortified with MPC85. *Food Chem.* 2011;125(3):944-952.
- ⁴⁹Pomprasirt V, Singh H, Lucey JA. Effect of heat treatment on the rennet coagulation properties of recombined high total solids milk made from milk protein concentrate powder. *Int J Dairy Technol.* 1998;51(3):65-71.
- ⁵⁰Zbikowska A, Szerszunowicz I. Effect of heating milk protein concentrate on enzymatic coagulation phase. *Pol J Food Nutr Sci.* 2002;52(11):23-28.
- ⁵¹Euston SR, Hirst RL. Comparison of the concentration-dependent emulsifying properties of protein products containing aggregated and non-aggregated milk protein. *Int Dairy J.* 1999;9(10):693-701.
- ⁵²Euston SR, Hirst RL. The emulsifying properties of commercial milk protein products in simple oil-in-water emulsions and in a model food system. *J Food Sci.* 2000;65(6):934-940.
- ⁵³Dybowska BE. The effects of processing conditions on the rheology and physicochemical properties of milk protein-stabilized O/W emulsions. *Milchwissenschaft.* 2001;56(2):63-66.
- ⁵⁴Dybowska BE. Influence of protein concentration and heating conditions on milk protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Milchwissenschaft.* 2007;62(2):139-142.
- ⁵⁵Dybowska BE. Properties of milk protein concentrate stabilized oil-in-water emulsions. *J Food Eng.* 2008;88(4):507-513.
- ⁵⁶Ye A. Functional properties of milk protein concentrates: emulsifying properties, adsorption and stability of emulsions. *Int Dairy J.* 2011;21(1):14-20.
- ⁵⁷Liang Y, Patel H, Matia-Merino L, Ye A, Golding M. Effect of pre- and post-heat treatments on the physicochemical, microstructural and rheological properties of milk protein concentrate-stabilised oil-in-water emulsions. *Int Dairy J.* 2013;32(2):184-191.
- ⁵⁸Liang Y, Patel H, Matia-Merino L, Ye A, Golding M. Structure and stability of heat-treated concentrated dairy-protein-stabilised oil-in-water emulsions: a stability map characterization approach. *Food Hydrocolloid.* 2013;33(2):297-308.
- ⁵⁹Schuck P, Piot M, Méjean S, Fauquant J, Brulé C, Maubois JL. Dehydration of an ultra-clean milk and micellar casein enriched milks. *Lait.* 1994;74:47-63.

색인

내용	Page No.
농축유단백(MPC)이란?	1
MPC의 유형과 성분	1
MPC 제조와 공정 흐름도	2
MPC 생산과 세계 무역 자료	2
MPC를 사용한 응용 제품과 그 이점	4
영양 및 기능적 이점	4
MPC에 대한 과학적 연구 개요	5
불용성 기제에 관한 연구	5
불용성의 기제	6
MPC의 가용성 개선에 관한 연구	6
요거트와 아이스크림에 MPC를 대체 원료로 사용하는 것에 관한 연구	7
치즈우유의 표준화에 MPC를 사용하는 것에 관한 연구	7
MPC를 사용한 산이나 레닛 유도 겔의 유동학적 특성에 관한 연구	7
수중유적형 에멀전을 안정화시키는 MPC의 역할에 관한 연구	8
MPC의 분석 및 시험 방법	9
고단백 MPC를 사용한 제조법에 대한 조언	9