

# 유당(Lactose) 및 그 유도체들의 특성과 이용

전남대학교 자연과학대학  
식품영양학과 조교수

홍 윤 호

## 1. 유당의 제조

최근의 통계자료에 의하면 전세계의 유당총생산량은 년평균 약 400만톤에 달하는데 그중에서 약 20만톤이 선진국을 중심으로 하여 상업적으로 제조, 이용되고 있으며 나머지는 가축사료, 비료 또는 폐수로 처분된다고 한다.

유당은 우유에 존재하는 유일한 탄수화물로써 우유의 고형분중 그 함량이 가장 높아 약 7%를 차지한다.

제조공정상으로 보면 유당은 치즈제조시 부산물이라고 할 수 있는 유청(Whey)에서 분리되며 유청의 4-5%가 된다.

유청은 우선 증류기에서 농축되고 과포화된 다음 조유당이 결정화된다. 이 결정화는 3단계 과정을 거치는데 (1) 다용도농축기를 이용하여 유청을 50~70%의 고형분이 함유되도록 농축시킨다. (2) 결정화는 자동적으로 유발시키거나 작은 유당결정입자를 산포하여 수행한다. (3) 상층액으로부터 유당결정의 분리는 원심분리에 의해 수행한다. 유청과 우유단백질의 잔유물을 제거하기 위해 조유당은 수차례 물로 세척되고 건조된 다음 분말화하여 입자의 크기에 따라 등급이 매겨진다. 이렇게 하여 제조된 유당은 약 99%의 순도를 지니며 잔여단백질은 약 0.3%에 불과하다. 유당의 생산성과 순도는 유청에 함유된 단백질과 무기질의 양이 적을수록 높아진다. 공업적으로 생산되는 유당은 거의 다 알

파-유당( $\alpha$ -Lactose)인데, 필요에 따라 베타-유당( $\beta$ -Lactose)을 제조하려면 결정화온도를 95°C 이상으로 유지시켜야 한다. 베타-유당은 또한 알파-유당을 염기성메탄올(Alkaline methanol)로 처리하므로써 제조될 수 있다. 알파-유당은 수화물로 결정화되는데 고형 베타-유당은 결정체에 수분을 함유하지 않는다. 유당용액이 급격히 건조되면 알파-유당이 단일수화물을 형성할 수 있는 충분한 시간이 없게 된다. 연구결과에 의하면 분무식건조나 원통형식건조 방법으로 제조된 유제품들의 유당은 알파-유당, 알파-유당수화물 그리고 베타-유당등의 혼합물로 되어 있다고 밝혀 졌다. 비흡습성인 유당은 건조되기 전에 결정형태로 되어 농축물이 알파-유당수화물결정체를 형성하도록 시간을 충분히 부여하여 제조된다. 선택적으로 제품의 표면을 일부만 적시거나 또는 알파-유당의 결정화 때 입자들을 부분적으로 건조시켜 인스턴트(Instant)화 하는 방법도 있다.

## 2. 유당의 이화학적 특성들

유당은 2당류로써 단당류인 디-글루코스(포도당, D-Glucose)와 디-갈락토스(D-Galactose)가 결합되어 이루어진 결정형태로 존재한다. 유당은 알파와 베타 이성체의 형태로 존재하는데 포도당잔기중의 수산기의 위치에 따라 명칭이 달라진다. 이 두가지 유당은 용해성

에서 큰 차이를 나타내는데 15°C에서 알파-유당은 100g당 약 7g이 용해되고 베타-유당은 약 50g이 용해된다. 참고로 몇가지 당류들의 온도별 용해도를 보면 표 1과 같다.

표 1. 각종 당류의 용해도

당 류	온도별 용해도 (g/100g 용액)		
	10°C	30°C	50°C
자당	66	69	73
유당	13	20	30
디-갈락토스	28	36	47
디-포도당	40	54	70
디-과당	-	82	87

유당이 물에 녹을 때에는 약 63%의 베타-유당이 함유되는 평형상태의 용액을 생성하기 위해 변광회전현상(Mutarotation)이 일어난다. 따라서 평형상태의 유당용액의 결정화에는 알파 형태가 먼저 침전되고 그다음 약간의 베타-유당이 알파-유당으로 바뀌어져서 침전과 결정화가 진행된다. 그러므로 결정화과정이 계속될 경우 주로 알파-유당단일수화물 결정체가 생성된다. 이 때의 결정화속도와 생산성은 두개의 평형상태-즉, 용해성 베타-유당이 용해성 알파-유당으로 전환되는 속도와 용해성 알파-유당이 알파-유당수화물결정체로 전환되는 속도-들을 의미한다. 변광회전현상 또는 결정화과정속도는 환경조건들에 의해 영향을 받는다. 알파-유당수화물이나 베타-유당 모두 흡습성이 아니다. 그러나 무수 알파-유당은 강한 흡습성이어서 공기중의 습기를 흡수하여 무수물보다 더 큰 체적을 차지한다. 이런 성질들은 많은 분말형 유제품들이 주위의 수분을 흡수하여 딱딱한 과자형태로 되거나 부피가 커지고 무게가 증가되는 결과를 초래한다.

유당의 수산기들이 다른 탄수화물에서와 같이 중요한 반응을 하여 여러가지 중간물질들이 생성되는데 그중 선택적인 에스테르화와 아세탈화반응이 대표적이다. 선택적인 에스테르화반응은 염화벤조일(Benzoyl Chloride)을 20%가

성소다용액과 함께 첨가하면 야기되는데 많은 중간생성물을 거쳐 디-갈락토스와 3-오르토-메틸-디-글루코스(3-O-methyl-D-Glucose)가 생성된다. 또한 반응조건에 따라 (1) 단일에폭사이드형성 (2) 에폭사이드의 아지드분해 (3) 아지드당의 아세트분해 (4) 아지드기능이 아미노기로 환원 (5) 디-오르토-아세트화등의 반응을 거쳐 엔-아세틸락토사민(N-acetylactosamine)이 형성된다.

선택적인 아세탈화반응은 유당에 벤질베타-락토시드와 아세톤등이 산의 촉매하에 작용하여 아세탈화합물들이 형성된다.

유당은 산화제의 강도와 조건들에 따라 광범위한 산화작용들을 받는데 이 반응들은 포도당의 일부분의 환원그룹의 단순한 산화로부터 이산화탄소와 물을 생성하는 완전한 전환까지를 포함한다.

락툴로스(Lactulose)는 유당으로부터 알도스(Aldose)가 케토스(Ketose)로 전환되는 분자의 정렬에 의해 형성되는 것으로 추정된다. 유당이 환원되면 락티톨(Lactitol)이 생성된다. 유당에서 락토비오닌산(Lactobionic acid)으로 전환되는 것은 가장 중요한 산화반응이라고 간주된다. 락토실요소(Lactosyl urea)는 유당과 비단백질질소성분의 하나인 요소가 결합되어 생성된다.

유당은 단맛을 갖고 있는데 상대적인 당도는 표 2에 제시된 바와 같다.

유당의 당도는 과당, 포도당, 자당 및 갈락토스들의 당도보다 낮다. 그러므로 유당은 용해도가 낮은 이유와 함께 감미료로써는 수요가 적은 편이라 하겠다.

표 2. 당류들의 상대적 당도

당 류	당 도
자당	100
유당	16
디-갈락토스	32
디-포도당	74
디-과당	173

일반적으로 상대당도는 농도에 따라 변화되는데 유당은 농도가 높을 때 자당과 비교하면 상대농도가 더 높게 상승된다. 예컨대 25%의 유당용액의 감미도는 10%의 자당용액의 감미도와 동일하다. 그러나 유당의 당도는 포도당과 갈락토스에 비교해서 농도에 적게 영향을 받는다. 한편 베타-유당이 알파-유당보다 당도가 더 높으나 저농도에서는 평형상태의 혼합물보다 당도가 훨씬 높지는 않다고 알려져 있다.

유당의 이런 당도는 다른 식품에 첨가하는 탄수화물로서 단 맛에 큰 영향을 주지 않고 질감과 안정화를 개선시켜주는 장점이 된다. 또한 가수분해된 유당의 당도가 보통의 유당보다 훨씬 높아지며 이것은 식품산업에 자당을 대체할 수 있는 가능성을 보여주는 것이다.

### 3. 유당의 영양생리학적 특성들

유당은 인류의 식품공급에 있어서 동물성식품에서는 유일하게 존재하는 대표적인 당질이다. 장내에서 유당은 베타-갈락토시다제( $\beta$ -Galactosidase) 또는 락타제(Lactase)로 불리우는 효소에 의해서 단당류인 포도당과 갈락토스로 가수분해되어 흡수된다. 그러나 백인들을 제외한 세계각지의 많은 유색인들중에는 이 분해효소가 결핍되거나 부족하여 소화장애를 일으키고 팽만감과 불편감을 주며 경우에 따라서는 설사도 유발시키는데 이런 증상은 유당불내증(Lactose Intolerance)으로 잘 알려져 있다. 베일레스(Bayless)와 그의 공동연구자들에 의하면 세계성인의 약 70%가 유당불내성이라고 한다. 유당불내증은 유전적인 원인으로도 발생하며 분해효소의 결핍정도, 섭취한 유당의 화학적 형태 및 양 그리고 섭취빈도등에 의해서 개인에 따른 차이가 다소 있다. 그러므로 이 증상은 유당이 가수분해된 형태로든지 발효된 유제품의 형태로 섭취되거나 정상우유를 소량씩 나누어서 여러차례 급여될 경우(1일 약 300 ml정도), 예방 또는 치료가 가능하게 된다. 유당불내증으로 고생하는 사람들에게 유당이 분해된

단당류를 급여하면 이 포도당과 갈락토스를 아주 신속히 흡수한다. 그러나 갈락토스를 너무 많이 섭취하게 되면 혈장내 높은 갈락토스함량을 초래하며 백내장(Cataracts)을 일으키기도 한다. 어린이들에게 있어서 유전적으로 갈락토스를 분해하는 효소가 결핍되어 포도당-1-인산염(Glucose-1-Phosphate)이 뇌세포에 축적되고 더이상 대사작용이 일어나지 못해 황달, 간경화, 백내장, 성장지연 및 신경장애를 유발시키는 경우도 있다.

연구에 의하면 발효유제품들과 가우더, 에담, 체다치즈등은 발효 또는 숙성과정에서 유당의 함량이 감소되므로 유당불내증환자들에게 안전하게 급여할 수 있다고 한다.

유당은 장내세균활동의 적절한 유지에는 물론이고 비피더스인자(Bifidus factor)로써 작용한다. 즉, 비피더스세균은 유당을 발효시켜 젖산 및 초산으로 전환하여 장관내를 산성화시켜 주므로써 인체에 해로운 병원성미생물들의 활동을 억제하여 장내전염을 막고 면역성을 부여해준다. 또한 유당은 장관내에서 비교적 서서히 소화흡수되어 완화작용을 하므로 식이요법에 많이 응용된다.

그외에 유당은 칼슘과 단백질의 흡수를 촉진시켜 어린이들의 골격형성과 성장에 기여하며, 혈액중의 칼슘, 인과 마그네슘의 함량비를 적절히 조절하는 역할도 수행한다.

### 4. 유당의 가수분해

우유와 유청에 함유된 유당을 가수분해시키면 유제품산업과 다른 식품업에 중요한 식품소재를 얻게 된다. 유당의 가수분해시에는 다양한 물리, 화학적 변화들을 동반하는데 예를 들면 유당의 함량감소, 유당의 결정화방지, 당질의 용해성 증가, 당도의 상승 그리고 발효되기 쉬운 당분으로의 전환등을 포함한다. 유당의 가수분해생성물들은 변화된 물리적 및 기능적 특성을 바탕으로 한 우유와 유청제품들의 생산은 물론이고 유당불내성환자들에게 줄 수 있는 저유당

유제품을 제조하는데 쓰인다.

유당의 1-4 결합을 가수분해하여 포도당과 갈락토스를 생성하게 하는 반응은 산성조건에서 열처리를 하거나 효소의 작용에 의해서 이루어진다. 자당에 구연산을 첨가하여 전환시키는 일반적인 방법은 유당에 적용시킬 수 없다. 그래서 유당의 경우에는 강한 무기산의 존재하에 높은 온도로 처리하는 것이 필요한데 이런 격렬한 조건하에서는 탈색과 악취가 발생되어 최종산물에 문제점을 남긴다. 이 단점들을 보완하기 위해 양이온교환수지를 사용하는데 이온의 제거와 PH를 감소시키는 효과가 있다. 그러나 이 방법에는 불필요한 색을 제거하기 위하여 활성탄을 통과시키는 단계가 필요하다. 산에 의한 가수분해는 우유 또는 유청을 한외여과한 투과액(Permeates)과 같은 단백질을 제거한 것들을 처리하는데 이용된다.

효소에 의한 유당의 가수분해에 관해서는 지난 10여년간 많은 연구에 의해 상당한 발전이 이루어졌다. 그래서 많은 고정화된 유당분해효소들이 판매되고 있으며 조작조건들의 범위도 제시되어 있다. 이런 효소체계는 여과액, 유청 또는 탈지유청을 가수분해하는데 쓰인다. 유당의 가수분해에 사용되는 효소들은 주로 효모, 진균류 또는 배실러스(Bacillus) 속종의 미생물들로부터 추출하여 얻는데 적정PH는 6-8이고 적당한 온도의 범위는 35~65°C로 미생물의 종류에 따라 다르다. 상업적으로 유당의 가수분해 가능성과 수요가 증대되므로써 이 효소의 사용기술 또한 발달해 왔는데 다음 세가지방법들이 주종을 이룬다.

- (1) 단일사용 유당분해효소체계
- (2) 막(Membrane)을 이용한 효소의 재생체계
- (3) 고정화효소체계

이 방법들은 사용목적과 규모에 따른 편리성과 경제성등 장단점들이 있는데 단일사용 효소법은 상업적으로 유청과 투과액등의 가수분해로 당밀류(Syrups)를 제조하는데 또는 가내에서 아이스크림이나 요쿠르트를 만드는 경우에 적합하다.

효소의 재생법은 시험단계에 있으며 상업적인 규모로는 아직 개발되고 있지 않다. 대규모로 유당분해를 시켜 당밀류를 생산하는 유가공업계에서는 고정화 효소법이 가격면이나 조작성의 편의성에서 다른 방법들 보다 큰 잠재력을 갖고 있다고 보겠다.

효소에 의한 유당의 가수분해시에 소당류들(Oligosaccharides)이 형성되는데 현재까지 연구결과 10개 정도가 밝혀졌다.

소당류의 형성에는 갈락토스가 포도당보다 더 많이 함유되며, 이들의 독성과 중요성은 아직 알려지지 않고 있다. 효소는 높은 트랜스글리코화 활성을 갖고 있으며 베타-1-6 갈락토스결합을 형성하는 특성을 나타낸다.

## 5. 유당과 그 유도체들의 이용

유당은 여러가지 제과류들의 질적인 특성들, 특히 맛, 질감, 성상, 저장성 및 토스트성질등을 향상시켜준다. 비스킷용 반죽에 탈지유에서 분리한 유당을 첨가하면 그 과자는 부피가 커지며 내부의 부드러운 부분이 밝은 색으로 되고 향미도 훨씬 좋아진다. 제과나 제빵시 유당의 첨가로 외부표면에 보기 좋은 갈색이 형성되는데 이는 유당의 알데히드기와 단백질의 아미노기가 마야르반응(Mailard reaction)으로 인한 카라멜화가 일어나기 때문이다. 이런 비효소적 갈색변화 반응이 바람직한 식품, 즉 감자튀김 같은 것에 유당을 첨가하면 안성맞춤이다. 학자들의 연구에 의하면 당분이 많이 필요하지 않은 케익이나 과자류에 15~20%의 자당을 유당으로 대체시키면 좋은 맛을 내는 제품을 만들 수 있다고 한다. 당과류의 제조에 유당을 사용하면 구조와 견고성을 좋게 할 수 있고 고무와 같은 성질을 감소시킬 수 있다. 유당은 분말식품들을 희석시키는데 이용된다. 분말스프 또는 균일하게 용해되어야 하는 식품들에 분말유당이 적절히 첨가되면 좋다. 유당은 에너지 급원으로 뿐만 아니라 성장기 어린이들의 뇌세포합성에 필수적인 갈락토스의 좋은 급원으로서 육아 및 소아들의 조

제분유 또는 이유식등에 이용된다. 모유에는 유당이 우유보다 약 1.5배 많이 함유되어 있기 때문에 조제분유에는 유당을 첨가하여 약 7% 선으로 조절하여 급여한다.

유당은 향미를 잘 흡수하는 성질, 특히 무수알파-유당이 버터향기의 전달체인 디아세틸(Diacetyl) 같은 특정한 화합물들을 흡입하는 능력을 갖고 있어서 향미은반체로써 식품에 첨가된다. 유당은 맥주효모에 의해서 발효되지 않으므로 맥주를 제조할 때 미각적인 품질향상을 위해 쓰이기도 한다. 육가공업에서도 유당이 당분의 대체품으로 발효 또는 숙성이 요구되는 육제품에 1~2% 첨가되면 적당하다.

유당을 가수분해하여 얻은 당밀들을 아이스크림의 제조에 첨가하면 동결시간은 약간 지연되나 동결점 점도 및 PH는 낮아지고 다소 짭짤한 맛과 카라멜향기를 보인다. 가수분해된 당밀을 요구르트와 과일이 함유된 크바르그의 제조에도 첨가되는데 저장기간을 연장시키고 신맛이 감소되며 보존제의 첨가가 필요하지 않게 된다고 한다.

락타제를 첨가하여 유당의 함량을 감소시킨 발효버터밀크와 치즈도 외국의 여러나라에서 생산되고 있다.

유당이 가수분해된 유청농축물을 제빵에 사용하였던 시험에서 빵의 내외부에 적절한 성상을 나타내었고 부피도 적당히 증가되어 제품의 특성에 향상을 보였다. 또한 제빵시 반죽에 락타제를 직접 첨가하여도 높은 부피증가율과 빵내부의 신축성을 좋게 하였다.

과일과 통조림에 가수분해된 유당투과액을 첨가시킨 경우 어두운 색을 나타내었으나 견고성은 증가되었다고 한다.

가수분해된 유청과 유당당밀들은 카라멜제조에 있어서 보습제(Humectants)로 쓰이는데 설탕의 결정화와 수축을 적게하는 장점이 있다.

유당을 원료로 하여 발효 과정을 거쳐 생산되는 제품 및 부산물들은 다양하다. 유당이 가수분해된 유청투과액은 건본스내 형태의 락토후르트(Lactofruit) 라는음료로도 제조되고 있다.

유당 또는 약 4.5%의 유당이 함유된 가수분해된 유청투과액은 알코올발효의 기질로 작용하여 알코올함량이 0.5~1.0%로 낮은 음료 맥주와 유사한 음료(Molken bier), 포도주와 유사한 음료(Molken wein) 그리고 알코올함량이 아주 높은 음료등이 유럽여러나라에서 개발되고 있다. 이 음료들의 평균 유산균함량은 약 0.5% 된다. 카베리식 제조공정(Carbery process) 법을 이용한 연구에 의하면 유청투과액 300ℓ로부터 약 11ℓ의 알코올을 생산해 냈다고 하는데 이때 유당의 주정으로의 전환률은 약 86%로 보고되었다.

유당을 발효시켜 젖산과 젖산염을 제조하는데 락토바실러스(Lactobacillus bulgaricus) 균속을 접종시켜 배양하면 1ℓ당 건조단세포단백질 약 5g을 생산할 수 있다. 문(Moon)과 그의 공동연구자들은 유청투과액을 72시간동안 발효시켜 단세포단백질 생물질(Bimass) 그리고 기름을 원료 1ℓ당 각각 4.0-15.6g, 19.6-28.6g 그리고 2.2-3.2g을 생산하였으며 기름에는 50%의 올레인산, 30%의 팔미틴산, 15%의 스테아린산 그리고 8%의 리놀렌산이 함유되어 있었다고 한다. 유당의 발효 제품으로는 이밖에 구연산, 부탄올(Butanol)과 다당류(Polysaccharides) 등을 들 수 있다. 유당을 가수분해한 것을 원료로 하거나 첨가물로써 이용되는 식품들로는 위에 열거된 것들을 포함하여 레저트 푸딩, 과자류, 캔디바, 사탕과자등 무수히 많다. 이밖에 유당은 약품제조에 이용되고 있는데 정제형태의 약품에 많이 쓰인다. 유당의 물리적인 특성들은 정제의 용해속도, 강도와 다른 특징들에 영향을 주거나 조절할 수 있는 장점들을 갖고 있기 때문이다.

유당의 화학적인 유도체인 락툴로스는 유당의 이성체의 하나로서 유아들의 영양과 질병치료에 응용되고 있다. 유아식에 락툴로스가 함유되면, 모유를 급여 받은 아이들에게 있어서와 유사하게 장관내에서 비피도박테리아(Bifidobacterium bifidum)의 성장을 촉진시켜 장내의 병원성세균들을 억제한다고 밝혀졌다. 또한

락툴로스는 동맥체계의 뇌질환과 만성적인 변비치료 및 콜레스테롤-담석증의 예방등에 이용되어 의학계의 각광을 받고 있다. 락툴로스의 장내에서의 완화효과는 결장의 PH를 낮게하는 작용때문인 것으로 알려져 있다.

락툴로스의 감미도는 유당보다 더 높으며 농도가 15%까지는 자당의 약 반정도로 농도가 높아질수록 그 차이가 감소된다. 락툴로스당밀의 수분활성도는 같은 농도의 자당당밀에서 보다 상당히 낮다. 그러므로 락툴로스는 중간수분식품들(Intermediate moisture foods)에 효과적인 보습제로 사용될 수 있다. 그리고 쥐와 토끼의 실험에서 당밀의 66% 함유한 락툴로스를 급여했을 경우 독성이나 부작용은 없었다고 한다.

락티톨은 유당의 소르비톨(Sorbitol)로 간주

되는데 영양가 없는 감미료로써 앞으로의 개발 전망이 밝다고 본다. 또한 락티톨은 계면활성제(Surfactant)로 이용되며 당뇨병환자들을 위한 제빵 및 제과류에 응용가능성이 제시되었다.

락토비오닌산은 최근에 식품산미료(Acidulant)와 킬레이트제(Chelating agent)로써 관심이 커지고 있다.

락토실요소는 반추동물들의 사료에 적합하다. 반추동물들은 비단백태질소질을 이용하여 체내 단백질을 합성하는데 요소 그자체는 이상적이지 않고 요소와 유당이 결합될 경우에 더 효율적이다. 비단백태질소질의 공급원은 정상적이며 안전한 맛을 보유하고 독성이 없어야 하는데, 락토실요소는 이런 필요조건에 잘 부합되므로 많이 이용되고 있다.

자료

國民 1 人 1 日 當 供給 食品 量

단위 : g

年 度	畜 産 物				魚 貝 類
	肉 類*	卵 類	牛 乳 類	小 計	
1970	23g	9g	5g	47g	40g
1973	25	9	9	43	64
1975	25	11	12	48	68
1976	26	11	15	52	66
1977	29	13	19	61	67
1978	32	13	24	69	61
1979	38	15	27	80	62
1980	38	16	29	83	61
1981	32	15	39	86	71
1982	35	15	41	91	72
1983	42	16	50	108	77
1984	45	16	59	120	74