

폴리덱스트로스와 당알코올: 그 특성과 식품에의 이용

Polydextrose and sugar alcohols: their properties and uses in foods

한정숙^{1*} · 김고은¹ · 박지원¹ · 박종진¹

Jung-Sook Han^{1*}, Go-Eun Kim¹, Ji-Won Park¹, Chong-Jin Park¹

¹(주) 삼양사 식품연구소

¹Food R&D Center Samyang Corp.

Abstract

Carbohydrates play an important role in not only providing the body with calories but also giving taste and texture in foods. Recently, there is a growing interest in low-calorie carbohydrate materials due to obesity and the resulting diseases caused by excessive intake of calories. Polydextrose and sugar alcohols have calories of 2.0 kcal/g and 2.4 kcal/g, respectively. In addition to being a low-calorie material, polydextrose can be widely used as a dietary fiber source, thereby reducing calories and supplementing fiber. Sugar alcohols have sweetness comparable to a table sugar but they are not calculated as a sugar, so it can meet the government's sugar reduction policy. Also, polydextrose and sugar alcohols are not easily decomposed by heat and acid, and

thus can be used without being affected by food manufacturing processes.

Key words: Polydextrose, sugar alcohol, sugar reduction, low-calorie, dietary fiber

서론

탄수화물은 단백질, 지방과 함께 생물체 내에서 주요 에너지원으로 이용된다. 그러나 경제발전예 따른 서구적 식습관과 운동부족 등의 생활습관 변화로 인하여 비만인구는 지속적으로 증가하고 있으며, 탄수화물 소재 중 저열량 소재에 대한 필요성이 제기되고 있다. OECD 비만통계에 따르면 한국의 남자 아동·청소년 비만율은 26%로 OECD 평균 25.6% 이상으로 관리가 시급한 상황이다(정부,

*Corresponding author: Jung-Sook Han
Samyang Corp. 295 Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 13488, Korea
Tel: +82-2-2157-9725
Fax: +82-2-2157-9069
E-mail: jungsook.han@samyang.com
Received November 1, 2019; revised December 2, 2019; accepted December 2, 2019

표 1. 영양소 함량 강조표시 세부기준(식품의약품 안전처, 2018)

영양성분	강조표시	표시조건
열량	저	식품 100 g 당 40 kcal 미만 또는 식품 100 mL 당 20 kcal 미만일 때
	무	식품 100 mL 당 4 kcal 미만일 때
지방	저	식품 100 g 당 3 g 미만 또는 식품 100 mL 당 1.5 g 미만일 때
	무	식품 100 g 당 또는 식품 100 mL 당 0.5 g 미만일 때

2018). 아동·청소년기의 비만은 이후 성인 비만으로 이어질 가능성이 높기 때문에 열량 섭취 관리가 필요하다.

일반적인 탄수화물은 그램당 4 kcal의 열량을 제공하는데, 일부 탄수화물은 이보다 적은 열량을 제공함으로써 저열량 소재로 다양한 식품에 사용된다. 저열량 탄수화물 소재로는 각종 식이섬유, 당알코올, 올리고당, 알룰로스 등이 속하며, 소재에 따라 각기 다른 열량을 가지게 된다. 예를 들어 난소화성 말토덱스트린, 폴리덱스트로스와 같은 수용성 식이섬유는 2 kcal/g의 열량을 가지며, 당알코올은 나라별, 당알코올 종류별 기준 열량이 다르다. 우리나라에서는 에리스리톨을 제외하고는 2.4 kcal/g으로 동일한 열량을 적용하고 있다.

폴리덱스트로스와 당알코올과 같은 저열량 탄수화물 소재를 사용함으로써 음료, 제과 등 각종 제품에서 전체 식품의 열량을 감소시킬 수 있다. 식품의약품 안전처에서는 이러한 식품에 “저열량”, “제로칼로리” 표시를 할 수 있도록 영양표시 가이드라인을 제시하였다(표 1, 식품의약품 안전처, 2018).

폴리덱스트로스와 당알코올은 식품 내에서 저열량 소재로 사용될 뿐만 아니라, 고유의 물성과 기능성을 식품에 부여할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 폴리덱스트로스와 당알코올의 정의, 구조, 생리학적 특성, 이화학적 특성, 생산방법에 대하여 기술하고자 한다.

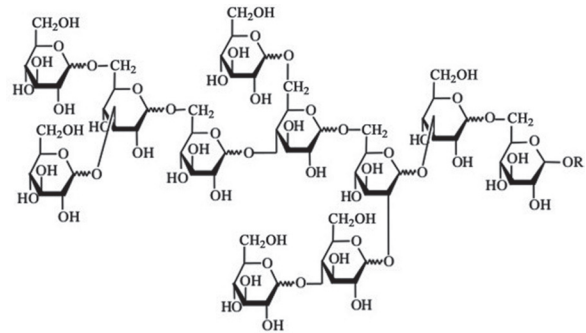


그림 1. 폴리덱스트로스의 구조(출처: Flood 등, 2014)

본론

1. 폴리덱스트로스

가) 정의 및 구조

폴리덱스트로스는 포도당이 무작위적으로 결합하여 만들어진 폴리머이다. 알파 1→6 결합이 대체적으로 많으나 알파 또는 베타 1→2, 1→3, 1→4 결합 또한 존재한다(그림 1, Flood 등, 2014).

폴리덱스트로스는 식품에서 설탕이나 전분을, 지방을 대체하여 칼로리를 감소시키고 식이섬유 함량을 높이는 등의 다양한 목적으로 사용된다. 또한 안정제, 부형제, 보습제 등으로도 1960년대 이후부터 식품 첨가물로써 다양하게 사용되고 있다(Calorie Conton & Council, 2019).

폴리덱스트로스는 산업적으로 포도당을 기본 원료로 하여 소량의 솔비톨과 구연산과 같은 산촉매를 반응시켜 제조한다. 세 원료를 혼합하여 고온 진공 조건에서 반응함으로써 무작위적인 결합들이 형성되도록 하는 것이다(Carmo 등, 2016).

나) 이화학적 특성

폴리덱스트로스는 액상과 분말 형태의 제품이 있으며, 제조시 고온에서 축중합 반응을 통한 고분자화의 과정을 거치므로 일부 갈변이 일어나 미백색



표 2. 폴리덱스트로스의 이화학적 특성

특성	액상	분말
성상	미백색의 액체	미백색의 분말
상대 감미도	10	
당류 함량(g/100 g)	11 이하	15 이하
점도	동일 D.E. 제품에 비하여 낮음(그림 2 참조)	
열안정성	135℃까지 30분간 가열하여도 분해가 일어나지 않음	
산안정성	pH 3-7 구간에서 80℃로 1시간 가열하여도 분해가 일어나지 않음	
어는점 내림(℃)	-0.29	
냉해동 안정성	30 Bx 용액으로 냉해동 6회 반복시에도 백탁이 일어나지 않음	

의 성상을 갖게 된다.

설탕의 감미를 100으로 보았을 때, 폴리덱스트로스의 감미는 10 정도로 거의 감미를 느끼지 못할 정도이다. 폴리덱스트로스를 단순히 설탕 대체의 감미료로 사용하기에는 적합하지 않음을 알 수 있다. 기존 당류를 감소시키고 폴리덱스트로스를 사용하려면 감미를 올릴 수 있는 고감미도 감미료를 병행하여 사용할 필요가 있다. 당류 함량은 100 g 당 분말의 경우 15 g 이하로 식품 내의 당류 함량을 줄이고자 할 때 유용하게 사용할 수 있다.

폴리덱스트로스는 포도당 당량(Dextrose Equivalent, D.E.)이 12 정도로 매우 낮으나, 그림 1에서 보듯이 고도로 분지된 형태를 가지기 때문에 같은 D.E.를 가진 말토덱스트린에 비하여 점도가 낮으며

물에 잘 녹는 특성을 가지게 된다. 그림 2에서 유사한 D.E.를 가지는 당류들과 점도를 비교하였다.

열과 산에 매우 강한 특성을 가지고 있으므로 레토르트 식품, 탄산 음료, 유제품 등에 분해의 우려 없이 사용할 수 있다.

어는점 내림은 -0.29°C 로 설탕의 -0.62°C , 액상 과당 -1.14°C , 포도당 -1.17°C 에 비하여 상대적으로 매우 낮은 것을 알 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 아이스크림 제조시 폴리덱스트로스를 첨가하면 어는점이 설탕 사용보다 높아지기 때문에 실온에서 천천히 녹는 효과를 줄 수 있다.

다) 소화 흡수

폴리덱스트로스는 고도로 복잡한 결합구조로 인

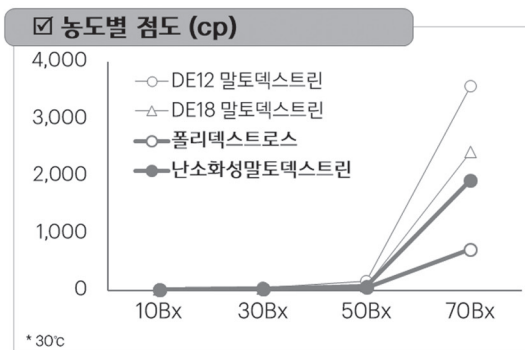
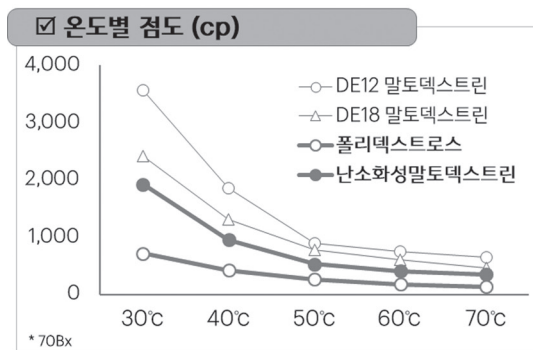


그림 2. 폴리덱스트로스의 온도별, 농도별 점도

표 3. 건강기능식품 공전 등재 식이섬유(식품의약품 안전처, 2016)

제품명	기능성	섭취량(g)
구아검/구아검가수분해물	혈중 콜레스테롤 개선	9.9-27
	식후 혈당상승 억제	9.9-27
	배변활동 원활	9.9-27
	장내 유익균 증식	4.6-27
글루코만난	혈중 콜레스테롤 개선 배변활동 원활	2.7-17
귀리식이섬유	혈중 콜레스테롤 개선	3
	식후 혈당상승 억제	0.8
난소화성말토덱스트린	식후 혈당상승 억제	11.9-30
	혈중 중성지질 개선	12.7-30
	배변활동 원활	2.5-30
대두식이섬유	혈중 콜레스테롤 개선	20-60
	배변활동 원활	20-60
	식후 혈당상승 억제	10-60
목이버섯식이섬유	배변활동 원활	12
밀식이섬유	식후 혈당상승 억제	6-36
	배변활동 원활	36
보리식이섬유	배변활동 원활	20-25
아라비아검	배변활동 원활	20
옥수수겨식이섬유	혈중 콜레스테롤 개선	10
	식후 혈당상승 억제	
이눌린/치커리추출물	혈중 콜레스테롤 개선	7.2-20
	식후 혈당상승 억제	7.2-20
	배변활동 원활	6.4-20
차전자피식이섬유	혈중 콜레스테롤 개선	5.5
	배변활동 원활	3.9
폴리덱스트로스	배변활동 원활	4.5-12
호로과종자식이섬유	식후 혈당상승 억제	12-50
분말한천	배변활동 원활	1.6-4.0

하여 장내 소화 효소에 의해 분해가 일어나지 않으며 대장 내에서 일부 발효되고 약 60% 정도는 대변으로 배출되기 때문에 대부분의 나라에서는 폴리덱스트로스의 열량은 1 kcal/g으로 인정된다(Holscher 등, 2015). 즉 대장 내에서 대장 미생물에 의해 발효되어 생성된 단쇄 지방산에 의해 생성되는 일부의 에너지만이 흡수될 뿐이다(Hooda 등, 2012). 그러

나 우리나라에서는 난소화성 말토덱스트린과 함께 일률적으로 2 kcal/g으로 통일되어 있다.

폴리덱스트로스는 장내에서 가스 발생을 잘 일으키지 않기 때문에 FAO/WHO Expert Committee on Food Additives와 European Commission Scientific Committee for Food 에서 90 g/day 또는 1회 섭취량 50 g으로 섭취하더라도 복부 팽창, 거북함, 설사의 위험없이 안전



표 4. 장운동에 대한 폴리덱스트로스의 효과(Carmo 등, 2016)

숙주	투여량	시험 대상 및 효과
사람	10 g/day	혈액투석 환자 장통과 시간 감소(90%) 장운동 횟수 증가(150%)
사람	8 g/day	변비로 고통 받는 사람 장통과 시간 단축(22%)
사람	8 g/day	건강한 사람 복부 불편 감소(22%) 부드러운 변 형성 경향(19%)
사람	3.6 g/day	변비로 고통 받는 사람 장통과 시간 감소(35%)
사람 (아동)	폴리덱스트로스와 갈락토올리고당, 각 0.5 g	건강한 아동 배변 횟수 증가하는 경향 유도

하게 섭취가 가능하다고 결론지었다(Flood 등, 2004).

라) 생리적 기능성

폴리덱스트로스는 건강기능성식품 공전에 등재되어 있는 식이섬유 15종 중의 하나이다(표 3, 식품의약품 안전처, 2016). 식약처 고시 제 2011-68 호에 따르면 원재료 및 제조방법으로는 ‘구연산과 같은 유기산을 사용하여 글루코스와 솔비톨로부터

합성하여 평균 중합도가 12 정도가 되도록 제조하여 함’으로 제시되어 있다. 기능성분(또는 지표 성분)의 함량은 식이섬유를 650 mg/g 이상 함유하고 있어야 한다고 고시되어 있다. 표 3에서 보듯이 기능성으로는 ‘배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음’이며 기능성을 표시하기 위해서는 일일 섭취량은 4.5~12 g 이어야 한다. 폴리덱스트로스는 소화되지 않고 대장에 도달하여 장운동을 촉진시키므로

표 5. 폴리덱스트로스의 장내 균총에 대한 영향(Carmo 등, 2016)

숙주	투여량	시험 대상 및 효과
사람	21 g/day	건강한 성인 남성 Fecal 세균 <i>Firmicutes</i> 수 억제(12%) Fecal 세균 <i>Bacteroidetes</i> 수 증가(12%)
사람	21 g/day	건강한 성인 남성 <i>Clostridiaceae</i> (5%), <i>Veillonellaceae</i> (2%), <i>Faecalibacterium</i> (5%), <i>Phascolarctobacterium</i> (1%), <i>Dialister</i> (1%) 증가 <i>Eubacteriaceae</i> 수 감소(4%)
사람	8 g/day	건강한 성인 Butyrate producer <i>Ruminococcus intestinalis</i> 및 <i>Clostridium clusters</i> I, II, IV 수 증가 <i>Lactobacillus-Enterococcus</i> 수 감소
사람	8 g/day	건강한 성인 <i>Bifidobacterium</i> 수 증가

표 6. 시리얼에의 응용

구분	비교구	폴리덱스트로스 적용구
원재료 및 함량	곡물, 밀단백, 쇼트닝, 설탕, 과당, 정제수, 코코넛, 계란, 옥수수전분, 소금, 탄산칼슘, 꿀, 레시틴, 색소 등	곡물, 밀단백, 쇼트닝, 폴리덱스트로스 7%, 정제수, 설탕, 과당, 코코넛, 계란, 옥수수전분, 소금, 탄산칼슘, 꿀, 레시틴, 색소 등
칼로리	400 kcal/100 g	388 kcal/100 g

부드러운 변(설사 아님)으로 변화시키며, 규칙적인 배변습관을 가지게 한다(Shimada 등, 2015). 이외에도 배변량 증가, 배변횟수 증가, 장내 통과 속도 감소 등의 효과를 볼 수 있다. 배변량 증가와 배변횟수 증가를 위해서는 일 최소 8 g의 섭취가 요구된다(Jie 등, 2000).

국내에서 기능성을 표시하지 못하지만 폴리덱스트로스의 다양한 기능성들이 보고되고 있다. 폴리덱스트로스는 소화 흡수기작이 프리바이오틱스(Prebiotics)와 거의 동일하다. 장내 소화효소에 의해 소화되지 않고 대장에 이르러 대장 내 미생물에 의해 분해, 발효되어 단쇄 지방산을 생성하여 건강에 유익한 균들의 증식을 돕는 것으로 알려져 있다. 폴리덱스트로스의 장운동에 대한 효과와 장내 미생물 균총 변화에 대한 내용을 각각 표 4와 표 5에 정리하였다(Carmo 등, 2016).

이 외에도 식이섬유가 풍부하기 때문에 섭취시

급격한 혈당 상승을 일으키지 않는다. 포도당의 Glycemic index(G.I.)가 100인데 반하여, 폴리덱스트로스의 G.I.는 7이다(Foster-Powell 등, 2002). 포만감을 주기 때문에 에너지 섭취를 줄일 수 있어 체중 조절에도 도움을 줄 수 있다. 그밖에 대장 내 미생물에 의해 생성된 단쇄 지방산에 의해 장내 pH가 낮아짐에 따라 미네랄 흡수가 증가한다는 보고도 있다(Legette 등, 2012).

마) 식품 응용 예

앞서 언급한 바와 같이 폴리덱스트로스가 가지는 다양한 기능들과 이화학적 특성으로 인하여 식품에서 폭넓게 사용되고 있다. 표 6에 시리얼에 사용되는 예를 나타내었다. 시리얼 100 g 당 약 400 kcal 열량을 제공하는데 폴리덱스트로스 7% 적용시 첨가되는 당류의 약 50% 가량 낮춰짐에도 불구하고 전체적으로는 10-12 kcal/100 g의 칼로리 저감 효과 있는데, 이는 시리얼에서 열량의 대부분을 곡물과 단백질이 차지하고 있기 때문이다. 또한 폴리덱스트로스가 2 kcal/g의 열량을 가지고 있기 때문에 열량 감소 효과는 크지 않다.

그러나 폴리덱스트로스가 식이섬유로 인정되기 때문에 100 g 당 5,000 mg의 식이섬유를 함유하는 시리얼 제조가 가능하다. 또한 코팅액의 당을 폴리덱스트로스로 일부 대체하면 고분자 물질 특성을 가지게 되어 단단하면서도 바삭한 코팅이 가능하게 해준다. 삼양사 식품연구소 전문패널 20명을 대상으로 관능검사를 실시한 결과, 비교구 대비 바삭함이 증진되었으며, 전반 만족도가 증가하는 것으로 나타났다. 시

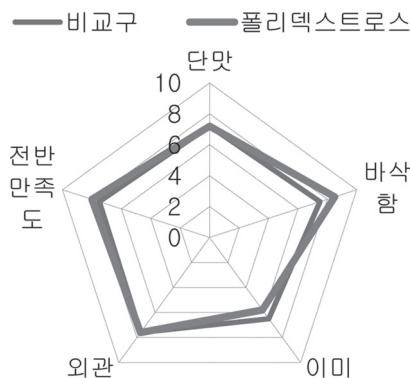


그림 3. 폴리덱스트로스 적용 시리얼의 관능평가 QDA 그래프

표 7. 어린이기호식품 음료에의 응용

구분	비교구	폴리덱스트로스 적용구
원재료 및 함량	정제수, 올리고당가공품, 설탕, 탈지분유, 젖산칼슘, 대두다당류, 비타민B1염산염, 비타민D3혼합제제, 산도조절제, 혼합제제, 효소처리스테비아 등	정제수, 당류가공품, 설탕, 폴리덱스트로스 1.6%, 탈지분유, 젖산칼슘, 대두다당류, 비타민B1염산염, 비타민D3혼합제제, 산도조절제, 혼합제제, 효소처리스테비아 등

리얼에 우유를 첨가하여 시식시에는 보다 오랜 시간 동안 바삭함을 유지하는 것을 확인하였다.

폴리덱스트로스가 가장 많이 응용되고 있는 분야는 음료이다. 식이섬유를 함유한 음료 제조시에는 난소화성 말토덱스트린과 함께 빠지지 않고 폴리덱스트로스가 적용되고 있다. 특히 최근에는 어린이 기호식품 품질인증 조건으로 식이섬유가 포함되면서 그 사용이 점차 더 확대되고 있다. 기준에 따르면 식이섬유는 1회 제공량당 2.5 g 이상 포함되어야 어린이기호식품으로 인정받을 수 있다. 다음은 어린이기호식품으로 인증이 가능한 음료 레시피이다(표 7). 폴리덱스트로스를 전체 1.6% 첨가함으로써 1회 제공량 235 mL 당 식이섬유 함량 2.5 g 이상을 만족한다.

일반 당류에 비하여 중합도가 높은 폴리덱스트로스를 사용함으로써 바디감 상승 및 효소처리스테비아의 쓴맛 일부 마스킹 효과도 있는 것으로 확인되었다.

2. 당알코올

가) 정의 및 구조

당알코올은 단당류의 알데히드기(-CHO)가 환원되어 알코올(-CH₂OH)로 변환된 구조를 갖는 환원형의 당이다. 자연계에도 존재하지만, 상업적으로는 대부분 당에 니켈 촉매 존재하에 고온 고압에서 수소를 첨가하여 제조한다. 여러 개의 -OH기를 가짐으로써 폴리올로 불리기도 한다. 당의 종류에 따라 수소 첨가되어 생성되는 당알코올 종류가 다르며 표 8에 대표적인 당알코올을 나타내었다. 에리스리톨은 포도당을 효모 발효하여 생산하고, 그 외의 당알코올 들은 원료가 되는 당에 수소를 첨가하여 생산한다.

당알코올은 식품산업에서 부형제와 감미료로 널리 사용되고 있다. 전분당 산업에서 여러가지 당알코올을 생산하는데 전분을 어떤 당으로 분해하여 수소 첨가했느냐에 따라 다양한 제품이 가능하다. 당의 어미 -오스(-ose)를 -이톨(-itol)로 바꾸어 명

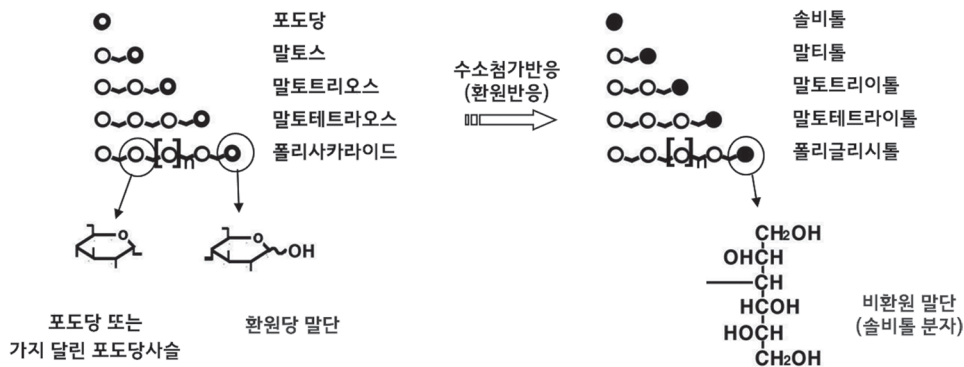


그림 4. 탄소수에 따른 당알코올 명명

표 8. 원료에 따른 당알코올 종류

원료	환원 방법	당알코올
포도당	효모 발효	에리스리톨
포도당		솔비톨
전분	수소 첨가 반응	말티톨
맥아당		폴리글리시톨
물엿		만니톨
과당		
설탕	이성화반응 후 수소 첨가 반응	이소말트
자일로스	수소 첨가 반응	자일리톨

명한다. 포도당의 환원형은 글루시톨(glucitol) 혹은 솔비톨이며, 말토스를 환원시키면 말티톨이 된다. 다당류를 환원시키면 폴리글리시톨이라고 하며, 일반적으로 물엿을 환원시킨 제품을 폴리글리시톨 시럽이라고 한다(그림 4).

당알코올 중 대표 제품의 구조를 아래 그림에 나타내었다(그림 5).

나) 이화학적 특성

당알코올의 제품 형태는 분말과 액상으로 나뉠 수

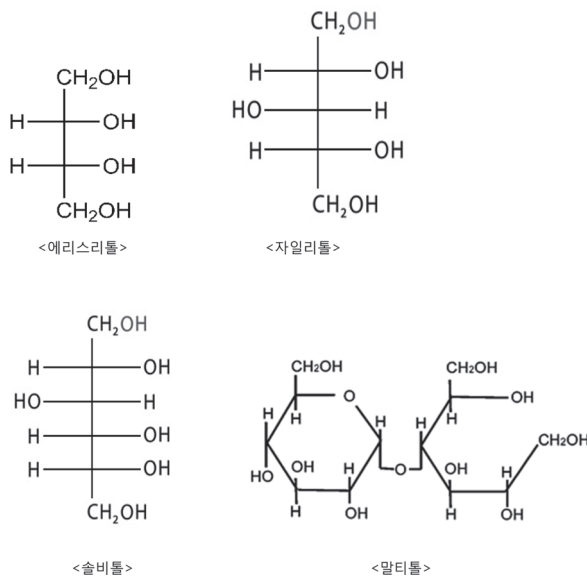


그림 5. 각종 당알코올의 구조

있다. 에리스리톨과 자일리톨은 결정형의 분말형태를 띠며, 전분당으로부터 유래된 당들은 결정형과 액상 형태로 주로 유통된다. 에리스리톨과 자일리톨과 같이 결정화를 통해 투명한 결정을 형성시키기도 하며, 솔비톨이나 말티톨은 블록법과 압출법, 분무건조법에 의해 분말로 제조한다. 블록법에 의해 제조된 결정은 투명하나, 압출법이나 분무건조법에 의한 결정 분말화의 경우 백색을 띠게 된다(표 9).

당알코올은 당류 함량이 0이며 당으로 인정되지 않는다. 그러므로 식품 내 당류 저감화를 위한 소재로서 매우 적합하다. 폴리덱스트로스와는 달리 감미 또한 일정 정도 이상 가지므로 설탕 대체 소재로도 사용이 가능하다. 점도는 원료가 되는 당의 점도와 거의 유사하다. 당알코올은 반응성이 높은 알데히드 그룹에 수소를 첨가하여 알코올기로 전환시켜

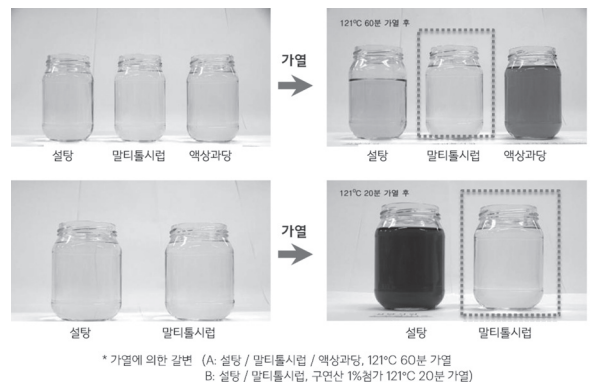


그림 6. 당알코올의 열·산에 의한 갈변 안정성



표 9. 당알코올의 이화학적 특성

특성	액상	분말
성상	투명한 액체	투명 또는 백색의 분말
당류 함량(g/100 g)	0	
점도	원료가 되는 당의 점도와 거의 유사	
열안정성	121℃에서 60분간 가열하여도 분해·갈변이 일어나지 않음	
산안정성	구연산 1% 첨가 후 121℃에서 20분간 가열하여도 분해·갈변이 일어나지 않음	

메일라드 반응을 하지 않으며, 고온, 산성 조건에서도 갈변이 잘 일어나지 않는 장점을 보유하고 있다(그림 6). 설탕, 과당에 비하여 레토르트 조건에서 장시간 가열하여도 색이 크게 변화하지 않는다.

당알코올은 그 종류에 따라서 서로 각기 다른 감미를 가진다. 표 10(Grembecka, 2018)에 당알코올 종류에 따른 감미를 정리하였다. 앞서 언급한 바와 같이 당알코올은 폴리텍스트로스와는 다르게 설탕과 거의 유사하거나 약간 낮은 감미를 가지기 때문에 설탕을 대체할 수 있는 소재로 사용이 가능하다. 특히 말티톨의 경우는 감미도 90으로 설탕과 거의 같을 뿐 아니라 감미질도 설탕과 유사하여 설탕을 대체하여 사용하기에 매우 적합한 당알코올이다. Glycemic index도 포도당 100에 비하여 에리스리톨은 0이며, 대부분의 당알코올이 매우 낮은 값을 가진다(표 10, Grembecka, 2018).

당알코올을 용해시키기 위해서는 에너지가 필요하여 주변의 열을 흡수하게 된다. 결과적으로 입안에서 당알코올을 용해시킬 때 구강 내 온도가 낮아

지는 효과를 가져오게 된다. 이러한 효과를 Cooling effect라고 하는데, 차갑게 느껴지는 정도는 용해열(Heat of solution)과 용해속도에 따라 달라지게 된다. 용해되기 위하여 더 많은 에너지를 주위로부터 뺏는 에리스리톨과 자일리톨을 입안에 넣고 녹일 때 훨씬 청량한 느낌을 가지는 이유이다(그림 7, Grembecka, 2018).

그 밖에도 당알코올 종류에 따라서 흡습성도 크게 변화하는데 솔비톨은 쉽게 흡수하는 반면 만니톨은 상대습도 98% 이상에서만 수분을 흡수한다.

다) 소화 흡수

당알코올의 소화 흡수 또한 당알코올의 종류에 따라 다르다. 일반적으로 소장에서 불완전하게 수동수송에 의해 혈관으로 일부 흡수된다. 그러므로 혈당지수가 일반적인 당보다 변화가 적다. 소장에서 흡수되지 않은 당알코올은 대장에 도달하여 대장 내 미생물에 의하여 발효되고 단쇄 지방산을 생

표 10. 당알코올에 따른 감미도 및 G.I. (Grembecka, 2018)

종류	감미도	Glycemic index
에리스리톨	70	0
자일리톨	100	12-13
솔비톨	70	9
말티톨	90	35-52
이소말트	50	2-9
폴리글리시톨	40-70	35

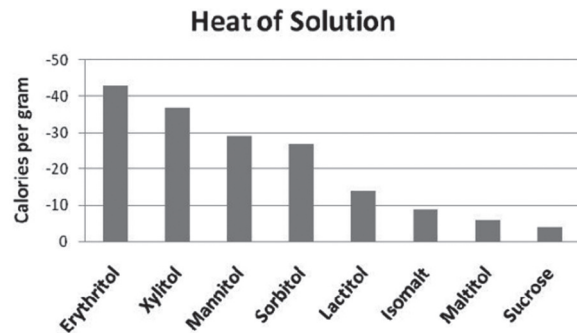


그림 7. 당알코올 종류에 따른 cooling effect(Grembecka, 2018)

표 11. 국가별 당알코올류의 칼로리(kcal/g) (Cock, 2011)

당알코올	한 국		일 본	미 국	유 럽
	식품 위생법	건강기능 식품법			
솔 비 툴	2.4	2.4	3.0	2.6	2.4
자일리톨				2.4	
만니톨				2.0	
말티톨				2.0	
폴리글리시톨				2.3	
에리스리톨	0	0	0	0.2	0
탄수화물	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

성한다. 소장 내 흡수되는 정도와 대장 내에서 발효되는 정도가 다르기 때문에 당알코올의 칼로리는 나라마다 다른 특징이 있다(표 11, Cock, 2011). 예외적으로 에리스리톨은 분자 크기가 작기 때문에 소장에서 거의 대부분 흡수된 후, 소변을 통해 변환되지 않은 상태로 24시간 이내에 배출되기 때문에 칼로리가 없으며 혈당이나 인슐린에 영향을 주지 않는다(Grembecka, 2018).

당알코올을 과도하게 섭취하게 되면 더부룩함, 설사, 복통 등을 일으킬 수 있는데 이는 소장 내에서 완전히 흡수되지 않기 때문이다. 일부 사람들은 단순히 1회 제공량으로도 그러한 증상을 겪기도 한다. 지속적으로 섭취하면 대부분의 사람들은 당알코올 내성을 어느 정도 가지게 되어 더 이상 그러한 증상을 겪지 않게 된다.

표 12. 말티톨시럽을 적용한 캔디 응용

구분	비교구	물엿 50% 대체	당류 100% 대체
원재료 및 함량	설탕 55%, 맥아물엿 45%	설탕 55%, 맥아물엿 22.5%, 말티톨시럽 22.5%	말티톨시럽 100%
칼로리	400 kcal/100 g	364 kcal/100 g	240 kcal/100 g

표 13. 폴리글리시톨시럽을 적용한 시리얼바 응용

구분	비교구	맥아물엿 100% 대체
원재료 및 함량	콘시리얼, 맥아물엿, 아몬드슬라이스, 유크림, 건조 크랜베리, 백설탕, 젤라틴 혼합제제 등	콘시리얼, 폴리글리시톨시럽, 아몬드슬라이스, 유크림, 건조크랜베리, 백설탕, 젤라틴 혼합제제 등
칼로리	417 kcal/100 g	375 kcal/100 g

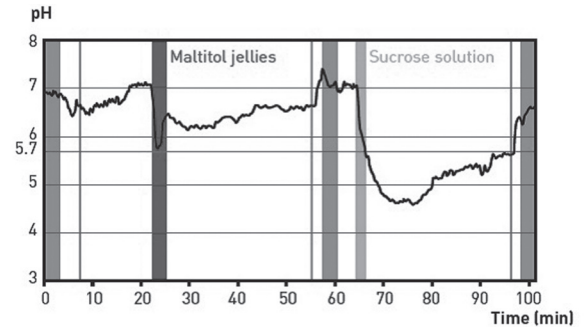


그림 8. 당알코올 섭취 후 구강내 세균에 의한 pH 변화 (출처: Toothfriendly International, 2019)

라) 생리적 기능성

당알코올은 구강 내 세균에 의해 대사되지 않기 때문에 치아 부식을 일으키지 않는 특성을 가지고 있다. 당류와 같은 탄수화물 섭취시 구강 내 세균에 의해 플라그를 형성하고 플라그가 치아에 균과 함께 부착되어, 세균이 대사 과정 중 생성하는 산에 의해 치아가 부식된다. 당알코올은 치아 부식을 일으키지 않을 뿐 아니라, 자일리톨은 치아부식을 저해하는 효과가 있다(Cock, 2012). 말티톨로 제조한 젤리를 먹고 일정 시간 후에 플라그 pH를 측정한 결과, 치아 부식을 일으키기 시작하는 pH 5.7 이하로 떨어지지 않는 것으로 나타났다. 반면 설탕 용액을 마신 경우는 바로 pH가 떨어지기 시작하여 2-3분 내 바로 pH 5.0 이하로 떨어지는 것을 확인할 수 있다(그림 8,



표 14. 말티톨시럽을 적용한 에너지 드링크 응용

구분	비교구	설탕 · 과당 100% 대체
원재료 및 함량	정제수, 액상과당, 설탕, 타우린, 무수구연산, 정제소금, 비타민 B군, 과라나추출분말, 드링크 향 등	정제수, 말티톨시럽, 타우린, 무수구연산, 정제소금, 비타민 B군, 과라나추출분말, 드링크 향, 수크랄로스 등
칼로리	120 kcal/250 mL	36 kcal/250 mL

Toothfriendly International, 2019).

마) 식품 응용 예

당알코올은 설탕과 같은 당을 그대로 대체할 수 있을 정도의 감미를 가지며 칼로리는 2.4 kcal/g으로 낮고, 당류에 포함되지 않는 장점을 가지기 때문에 식품에 널리 사용되고 있다. 캔디는 설탕과 물엿으로만 만드는 대표적인 제품으로 칼로리와 당류 함량이 높은 식품이다. 캔디 배합에서 물엿 50%를 말티톨시럽으로 변경하면 약 10%의 칼로리 저감을 기대할 수 있으며, 100% 당류를 모두 대체하면 60%의 칼로리가 저감된 캔디를 제조할 수 있다.

시리얼바는 바쁜 현대인이 가볍고 손쉽게 에너지를 섭취할 수 있는 식품으로 콘시리얼과 다양한 곡물, 과일 등을 물엿 등으로 버무려 성형하여 굳힌 것이다. 시리얼들을 뭉치기 위해 사용되는 물엿의 경우, 시간이 경과함에 따라 점점 굳어져 딱딱해지는 경향이 있다. 이를 방지하기 위해 보습성이 우수하여 잘 굳지 않는 폴리글리시톨시럽으로 물엿을 대체하여 결착제로 사용한다. 폴리글리시톨시럽을 사용하면 부드러운 물성을 가지면서도, 기존 대비 칼로리를 10% 감소시킬 수 있으며, 당류 함량을 46%까지 감소시킬 수 있다.

에너지 드링크는 성인과 학생들이 가장 즐겨 마시는 음료 중의 하나이다. 기존의 맛을 해치지 않으면서도 칼로리와 당류 함량을 저감시켜 건강한 음료로 만들 수 있다. 표 14에서 기존 액상과당과 설탕을 배제하고 말티톨시럽과 수크랄로스로 감미를 맞춰 새로운 타입의 음료를 제안한다. 칼로리의

대부분을 차지하는 액상과당과 설탕 대신 저열량 소재인 말티톨시럽을 활용함으로써 열량은 기존의 30% 수준이며, 당류 함량은 0인 건강한 에너지 드링크를 제조할 수 있다.

요약

식품에서 탄수화물은 우리 몸에 열량을 주는 역할 외에도 맛을 부여하는 중요한 기능을 한다. 그러나 열량의 과잉 섭취로 인한 비만과 그로 인한 질병들로 인하여 저열량 탄수화물 소재에 대한 관심이 높아지고 있다. 폴리덱스트로스와 당알코올은 각각 2.0 kcal/g, 2.4 kcal/g의 열량을 가지므로 식품 내의 다른 탄수화물을 대체하여 사용하면 그만큼 열량을 줄일 수 있는 소재이다. 폴리덱스트로스는 저열량 소재라는 장점 이외에도 식이섬유원으로 널리 사용될 수 있어 열량을 줄임과 동시에 식이섬유를 보충할 수 있다. 당알코올은 설탕을 대체할 수 있는 감미를 가지면서도 당류에서 제외됨으로써 정부의 당류 저감 정책에 부합할 수 있는 소재이다. 또한 폴리덱스트로스와 당알코올은 열이나 산 등에 쉽게 분해되지 않고 안정한 특성이 있어 식품제조공정에 영향을 받지 않고 사용할 수 있다.

참고문헌

- Calorie Control Council. FiBERFACTS.ORG. Available from: <https://www.fiberfacts.org/polydextrose>. Accessed Oct. 20 (2019)
 Carmo MM, Walker JCL, Novello D, Caselato VM, Sgarbieri VC, Ouwehand AC, Andreollo NA, Hiane PA, Santos EF. Polydextrose: Physiological Function, and Effects on Health. *Nutrients*. 8:

- E553 (2016)
- Cock P. Part three: Reduced-Calorie Bulk Sweeteners, pp. 322–324. In: Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology. O'Donnell K, Kearsley M (ed). John Wiley & Sons, Chichester, WS, UK (2012)
- Cock P. Part two: Reduced-Calorie Sweeteners, pp. 249–325. In: Alternative Sweeteners, Fourth Edition. O'Brien-Nabors L (ed). CRC Press, Boca Raton, FL, USA (2011)
- Flood MT, Auerbach MH, Craig SA. A review of the clinical toleration studies of polydextrose in food. *Food Chem. Toxicol.* 42: 1531–1542 (2004)
- Foster-Powell K, Holt SH, Brand-Miller JC. International table of glycemic index and glycemic load values. *Am. J. Clin. Nutr.* 76: 5–56 (2002)
- Grembecka M. Sugar alcohols. Vol. 1, pp. 265–275. In: Encyclopedia of Food Chemistry. Varelis P, Melton L, Shihidi F (ed). Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands (2018)
- Holscher HD, Coporaso JG, Hooda S, Brulc JM, Fahey GC, Jr, Swanson KS. Fiber supplementation influences phylogenetic structure and functional capacity of the human intestinal microbiome: Follow-up of a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 101: 55–64 (2015)
- Hooda S, Boler BMV, Seroo MCR, Brulc JM, Staeger MA, Boileau TW, Dowd SE, Fahey GC, Jr, Swanson K.S. 454 pyrosequencing reveals a shift in fecal microbiota of healthy adult men consuming polydextrose or soluble corn fiber. *J. Nutr.* 142: 1259–1265 (2012)
- Jie Z, Bang-Yao L, Ming-Jie X, et al. Studies on the effects of polydextrose intake on physiologic functions in Chinese people. *Am. J. Clin. Nutr.* 72: 1503–1509 (2000)
- Legette LL, Lee W, Martin BR, Story JA, Campbell JK, Weaver CM. Prebiotics enhance magnesium absorption and inulin-based fibers exert chronic effects on calcium utilization in a postmenopausal rodent model. *J. Food Sci.* 77: 88–94 (2012)
- Shimada M, Nagano N, Goto S, Ito K, Tsutsui T, Ando T, Kamioka H, Ogawa T. Effect of polydextrose intake on constipation in Japanese dialysis patients: A triple-blind, randomized, controlled trial. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 61: 345–353 (2015)
- Toothfriendly International. Toothfriendly guidelines: pH-Telemetry testing. Available from: <https://www.toothfriendly.org/images/pHTelemetryGuidelines.pdf>. Accessed Oct. 20 (2019)
- 대한민국정부. 국가비만관리 종합대책 (2018)
- 식품의약품 안전처. 건강기능성식품 기능성 원료 인정 현황 (2016)
- 식품의약품 안전처. 행정간행물 등록번호 111-1470000-002435-14 (2018)