

국내 시판 중인 일부 탄산수의 치아 침식 가능성 평가

김상겸^{1,2}, 박석우^{1,2}, 강시목^{1,2}, 권호근^{1,2}, 김백일^{1,2,3}

¹연세대학교 치과대학 예방치과학교실, ²BK21 플러스 통합구강생명과학 사업단, ³구강과학연구소

Assessment of the erosive potential of carbonated waters

Sang-Kyeom Kim^{1,2}, Seok-Woo Park^{1,2}, Si-Mook Kang^{1,2}, Ho-Keun Kwon^{1,2}, Baek-Il Kim^{1,2,3}

¹Department of Preventive Dentistry & Public Oral Health, ²BK 21 PLUS Project, ³Oral Science Research Institute, Yonsei University College of Dentistry, Seoul, Korea

Received: October 1, 2015
Revised: November 4, 2015
Accepted: November 9, 2015

Corresponding Author: Baek-Il Kim
Department of Preventive Dentistry & Public Oral Health, Yonsei University, College of Dentistry, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722, Korea
Tel: +82-2-2228-3070
Fax: +82-2-392-2926
E-mail: drkbi@yuhs.ac

Objectives: The aims of this study were to determine the erosive potential of several carbonated waters and to confirm the availability of a simple ISO protocol for screening the erosive potential of drinks.

Methods: A total of six carbonated waters were tested. Three products (Lemon-Sparkling water, Seagram, and Trevi) were domestic, and the other three (Perrier, San Pellegrino, and Rosbacher) were imported. Two kinds of carbonated drinks (Coca-Cola and Sprite) were used as controls. The erosive potential of each drink was assessed by measuring the initial pH (pH_i), the final pH after degassing of carbon dioxide (pH_f), and the titratable acidity to pH 5.5 (TA_{5.5}) and 7.0 (TA_{7.0}). The pH changes (ΔpH) caused by the addition of drinks to screening solutions were calculated according to the ISO protocol for evaluating the erosive potential of oral rinses.

Results: The overall erosive potential of the carbonated waters was lower than that of the control drinks. The pH_i and pH_f of the carbonated waters ranged from 3.94 to 5.84 and from 5.07 to 7.88, respectively. The Lemon-Sparkling water showed the highest erosive potential among the carbonated waters, having the lowest pH (3.94) and the highest TA_{5.5} (1.67 ml). The ΔpH of all tested drinks ranged from -1.00 to 0.23. Also, the tendency of erosive potential measured by ΔpH was similar to that measured by TA_{5.5}.

Conclusions: The carbonated waters tested in this study had a lower erosive potential than did the carbonated drinks. However, the erosive potential of domestic products was higher than that of imported products. The results of the ISO screening test could reflect the influence of the acid content as well as the pH of drinks. Therefore, this protocol could also be conveniently applied to evaluate the erosive potential of various drinks.

Key Words: Carbonated water, Erosive potential, Screening test, Tooth erosion

서론

치아의 침식은 미생물의 영향과 관련 없이 화학적인 요인으로 인하여 발생하는 법랑질 표면 경조직의 비가역적인 손상을 의미한다¹⁾. 침식에 있어 산성 음료와 같은 식이적 요소가 주요한 영향을 미친다는 사실은 이미 많은 선행연구들을 통해 증명되어왔다²⁻⁷⁾. 이와 함께 메타분석 결과를 통해서도 산성 음료 섭취와 관련된 식

이 습관이 치아 침식 발병의 가능성을 높일 수 있음이 확인되었다⁸⁾.

탄산수의 침식능을 평가한 연구는 일부 유럽 국가에서 수행된 바 있으며 제품의 종류에 따라 다양한 결과를 보였다. 광물질을 포함한 탄산수 제품들의 침식능을 평가한 결과에서는 pH 값이 5.05-6.30의 범위를 보였으며 치아 경조직에 대한 용해도는 거의 없는 것으로 보고되었다⁹⁾. 그러나 이후로 출시된 탄산수 제품들 중 일부는 pH가 2.74-3.34의 범위를 보이는 경우도 있었으며 비

교적 높은 침식 가능성이 있음을 보고한 연구 결과도 발표된 바 있다¹⁰⁾.

국내의 경우 식품의약품안전처의 통계조사 결과에 따르면, 2009년 이후로 국내 제조 탄산수 제품들의 생산량 및 매출액이 지속적으로 증가하고 있는 경향을 보이고 있다. 또한, 2014년 국내 탄산수의 매출액은 전년도 대비 100.63% 증가하여 약 112억 원에 달하였다¹¹⁾. 그러나 현재까지 국내에서 제조되어 시판 중인 탄산수 제품들의 치아 침식 가능성은 밝혀진 바가 없는 실정이다.

음료의 치아 침식 가능성을 평가하는데 있어서는 pH와 완충능 및 적정산도 등이 주요한 요인으로 여겨지고 있다^{4,6,12,13)}. 그러나, 실험환경이나 음료에 대한 치아의 노출 시간, 사용된 음료의 양 등에 따라서 pH나 적정산도와 침식능 간의 상관성은 다양한 양상을 보이고 있다¹⁴⁻¹⁶⁾. 또한, Schmuck¹⁷⁾의 보고에 따르면 pH와 적정산도의 경우 칼슘 킬레이트 반응과 같은 화학적 상호작용을 충분히 반영하지는 못하는 한계점이 있다. 또한, 미세방사선촬영(Microradiography)이나 경도측정, 표면형상측정(Profilometry)과 같이 직접적인 평가법들은 보편적인 활용이 어렵고 비용의 부담이 크다는 단점을 제기하였다.

한편, 미국치과의사협회(ADA, American Dental Association Foundation)와 국제표준화기구(ISO, International Organization for Standardization)에서는 기존의 치아 침식능 평가법의 단점을 보완하고자 특정 용액을 활용하여 치아의 침식 가능성을 간편하게 평가할 수 있는 실험 방식을 고안하였다. 이 평가법은 갈슘과 인산을 첨가하여 제조된 가상의 수산화인회석 용액에 대상 제품을 주입하여 pH가 감소하는 정도를 비교하는 방식으로 수행된다. 이를 통해 대상 제품의 침식능을 기준 완충용액과 비교할 수 있으며, 제품간의 침식능 순위를 설정할 수 있다. 시판 중인 일부 구강양치액들의 침식능을 조사한 결과, 제품과 기준용액들의 침식능 순위가 적정산도 값의 순위 및 미세방사선촬영(Microradiography)을 통해 관찰된 실제 침식 깊이의 순위와 일치한다는 연구 결과도 보고된 바 있다¹⁷⁾.

이러한 배경을 바탕으로 본 연구에서는 국내에서 시판 중인 해외 및 국내 탄산수 일부 제품들의 치아 침식 가능성을 대표적인 일

부 탄산음료와 비교하여 평가해 보고자 하였다. 이와 함께, 여러 음료의 상대적인 침식 가능성 평가에 있어 국제표준화기구에서 제시한 가상의 수산화인회석 용액을 이용하는 평가법의 활용 가능 여부를 확인해 보고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 시험음료의 선정 및 보관

본 실험에서는 국내 시판 중인 10여 종의 탄산수 제품들 중 국내의 3개 대형마트 및 편의점에서 공통적으로 판매되고 있는 해외 수입 제품 3종(페리에, 산펠레그리노, 로스바허)과 국내 생산 제품 2종(트레비, 씨그램), 편의점 자체 기획상품으로 출시된 제품 1종(레몬탄산수), 총 6종의 제품을 선정하였다. 이와 함께 침식 요인의 비교를 위한 대조군으로써 대표적인 탄산음료인 코카콜라와 스프라이트를 선정하였다(Table 1). 과일 향이 함유된 탄산수들의 경우, 제품 간 비교를 위하여 모두 레몬향이 함유된 제품을 선택하였다. 음료의 원료 성분은 식품위생법에 따라 제품 표지에 기입된 사항을 참고하여 기록하였다. 구입한 음료는 4°C에서 냉장보관 하였으며 구입 1일 이내에 실험에 사용되었다. 또한, 모든 실험에서는 각각의 반복 수행 시 공기 중에 노출되지 않은 새로운 제품을 개봉하여 사용하였다.

2. 음료의 침식 가능성 평가

2.1. 음료의 pH 측정

음료의 pH 측정에는 pH meter (Orion 4 star; Thermo Orion, Beverly, CA, USA)를 사용하였다. 측정에 앞서 pH meter의 전극은 pH 4.01, 7.00, 10.01의 표준 완충용액을 통해 보정한 후 사용되었다. 개봉한 직후 100 ml 음료의 초기 pH (pH_i)를 측정하였고, 탄산가스가 제거된 후의 pH를 측정하기 위하여 음료를 교반하여 하루 밤 동안 냉장 보관한 후의 pH (pH_f) 또한 측정하였다. 모든 과정은 각각 총 3회 수행되었고, pH의 평균 값을 최종적으로 산출하였다.

Table 1. Control drinks (Carbonated drinks) and experimental drinks (carbonated waters) used in this study

| Brand name | Flavour | Manufacturer | Ingredients |
|------------------------------------|-------------|-----------------------------|---|
| Sprite* | Lime, Lemon | Coca-Cola Korea | Purified water, Carbonate dioxide, White sugar, Synthetic favoring substance, Citric acid, Trisodium citrate, Propylene glycol |
| Coca-cola* | - | Coca-Cola Korea | Purified water, Carbonate dioxide, High fructose corn syrup, White sugar, caramel, Coloring matter, Phosphoric acid, Natural favoring substance, Caffeine |
| Lemon-Sparkling water [†] | Lemon | CU, Namyang F&B | Purified water, Carbonate dioxide, Natural lemon flavoring |
| Trevi [†] | Lemon | Lotte Chilsung | Purified water, Carbonate dioxide, Natural lemon flavoring |
| Seagram [†] | Lemon | Coca-Cola Korea | Purified water, Carbonate dioxide, Natural lemon flavoring |
| Perrier [†] | Lemon | Nestle Waters supply sud | Purified water, Carbonate dioxide, Natural lemon flavoring |
| San pellegrino [†] | - | Nestle Waters supply sud | Water, Carbonate dioxide |
| Rosbacher [†] | Lemon | Hassia Waters international | Purified water, Carbonate dioxide, Natural lemon flavoring |

*Control drinks.

[†]Experimental drinks.

2.2. 음료의 완충능 및 적정산도 평가

새로 개봉한 음료 100 ml를 교반하며 일정한 값으로 유지될 때의 pH_i 를 측정 후, 1 M의 NaOH 용액을 0.5 ml씩 첨가하여 pH가 7.0으로 증가될 때까지 주입된 용액의 양을 측정하였으며 NaOH 용액이 첨가된 각 시점의 pH를 측정하여 기록하였다. 이는 동일한 방식으로 3회 반복 측정하였으며 이후 평균값을 산출하여 제시하였다. 또한 NaOH 용액 첨가 시 음료가 각각 pH 5.5, pH 7.0에 도달했을 때의 NaOH 용액의 양을 기록하여 각각의 적정산도($TA_{5.5}$, $TA_{7.0}$)를 산출하였다.

2.3. 인산칼슘 용액을 활용한 치아 침식성 평가

본 실험은 국제표준화기구에서 규정하여 활용하는 구강양치액의 치아 경조직 침식 가능성 평가법¹⁸⁾을 적용하여 수행하였다. 먼저, 1 mol/l의 염화칼슘 저장액 500 g ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 273.51 g, NaN_3 0.01 g)와 인산칼륨저장액 500 ml (KH_2PO_4 136.09 g, NaN_3 0.01 g)를 제조하였다. 이후 각 실험을 시행할 때마다 250 ml의 증류수에 0.633 ml의 염화칼슘 저장액과 0.380 ml의 인산칼륨저장액을 혼합하고 pH를 5.05 (± 0.05)로 조절한 뒤 250 ml 증류수를 추가하여 총 500 ml의 불포화인산칼슘용액을 제조하였다. 새로 제조된 인산칼슘 용액 25 ml를 교반하며 초기 pH를 측정하고, 교반 중인 용액에 0.25 ml의 대상 음료를 주입한 이후 pH의 변화를 관찰하였다. 주입된 음료로 인해 용액의 pH가 최소값으로 감소된 경우의 pH를 기록하였다. 이는 총 4회 반복 측정하였으며 각각의 초기 pH와 음료 주입 이후의 pH를 기록하고, 이후 각 음료로 인한 인산칼슘 용액의 평균 pH 변화량을 ΔpH 로 환산하였다.

연구 성적

1. 음료의 pH 측정 결과

실험에 사용된 음료 중 대조군으로 사용된 코카콜라와 스프라이트의 pH_i 는 각각 2.51, 3.17이었으며 탄산가스 제거 후에는 각각 2.30, 2.94로 감소하였다. 반면, 탄산수 제품들의 pH는 개봉 직후에 3.94-5.84의 분포를 보였으나 탄산가스 제거 후에는 5.07-

7.88로 증가하는 경향을 보였다. pH_i 측정 결과, 가장 낮은 pH를 보인 제품은 레몬탄산수였고(pH 3.94), 가장 높은 pH 값을 보인 제품은 로스바허였다(pH 5.84). pH 4.00-5.00의 범위 내에 포함되는 제품들은 씨그렘과 트레비였으며, pH 5.00-6.00 내에 포함되는 제품들은 산펠레그리노, 페리에, 로스바허가 있었다. pH_f 의 측정 결과에서는 레몬탄산수가 가장 낮은 pH를 보였고(pH 5.07), 산펠레그리노가 가장 높은 pH를 보였다(pH 7.88). pH 6.00-7.00의 범위에 속하는 제품들은 씨그렘, 트레비, 페리에였으며, pH 7.00-8.00의 범위에는 로스바허, 산펠레그리노가 포함되었다(Table 2).

2. 음료의 완충능 및 적정산도 평가 결과

음료의 적정산도를 평가하기 위하여 NaOH의 첨가량에 따른 pH 값을 기록하여 도표로 나타낸 결과, 초기 pH 값의 차이에 따라 3 ml의 NaOH가 주입될 때까지의 제품들의 pH의 변화량은 다양한 분포를 보였으나, 모든 제품들의 pH가 증가하는 양상은 대체로 유사한 경향을 보였다. 한편, 대상 음료의 $TA_{5.5}$ 는 0-3.83 ml의 분포를 보였으며 스프라이트, 코카콜라, 레몬탄산수, 트레비, 씨그렘, 페리에, 산펠레그리노, 로스바허 순으로 높았다. $TA_{7.0}$ 은 7.50-12.17 ml의 분포를 보였으며 스프라이트, 코카콜라, 로스바허, 씨그렘, 트레비, 페리에, 산펠레그리노, 레몬탄산수 순으로 높았다(Table 3).

3. 인산칼슘용액을 활용한 치아 침식성 평가 결과

인산칼슘 용액의 pH는 대상 음료를 주입한 뒤 약 1분 이내에 최저값을 나타내었다. 음료 주입 전 인산칼슘 용액의 초기 pH와 주입 후 감소된 최저 pH 값의 차이를 ΔpH 값으로 환산하였다. ΔpH 의 절대값은 대조군인 스프라이트와 코카콜라에 이어 레몬탄산수, 트레비, 씨그렘, 산펠레그리노, 페리에 순으로 높게 나타났다. 이와 반면, 로스바허는 인산칼슘 용액에 주입함과 동시에 pH가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 1). 또한, 산출된 ΔpH 값의 음료별 순위는 각 음료들의 $TA_{5.5}$ 순위와 일치하였다(Table 4).

Table 2. The pH values of control beverages and experimental carbonated waters used in this study

| Drinks | pH_i | | pH_f | |
|-----------------------|--------|------|--------|------|
| | Mean | SD | Mean | SD |
| Sprite | 3.17 | 0.03 | 2.94 | 0.10 |
| Coca-cola | 2.51 | 0.12 | 2.30 | 0.04 |
| Lemon-Sparkling water | 3.94 | 0.10 | 5.07 | 0.12 |
| Trevi | 4.53 | 0.09 | 6.82 | 0.05 |
| Seagram | 4.18 | 0.03 | 6.03 | 0.08 |
| Perrier | 5.26 | 0.05 | 6.90 | 0.05 |
| San pellegrino | 5.17 | 0.02 | 7.88 | 0.06 |
| Rosbacher | 5.84 | 0.10 | 7.73 | 0.08 |

pH_i : the initial pH value measured immediately after opening drinks; pH_f : the final pH value measured after CO_2 degassing. Each test was conducted in triplicate with new drinks.

Table 3. The amount (ml) of 1 M NaOH required to raise the pH of each drink to 5.5 and 7.0

| Drinks | $TA_{5.5}$ | | $TA_{7.0}$ | |
|-----------------------|------------|------|------------|------|
| | Mean | SD | Mean | SD |
| Sprite | 3.83 | 0.24 | 12.17 | 0.47 |
| Coca-cola | 2.50 | 0.00 | 10.17 | 0.47 |
| Lemon-Sparkling water | 1.67 | 0.24 | 7.50 | 0.41 |
| Trevi | 1.50 | 0.00 | 8.50 | 0.82 |
| Seagram | 1.50 | 0.00 | 9.17 | 1.25 |
| Perrier | 0.67 | 0.24 | 8.50 | 0.71 |
| San pellegrino | 0.33 | 0.24 | 7.83 | 0.47 |
| Rosbacher | 0.00 | 0.00 | 9.33 | 0.85 |

$TA_{5.5}$: titratable acidity to pH 5.5; $TA_{7.0}$: titratable acidity to pH 7.0. Each test was conducted in triplicate with new drinks.

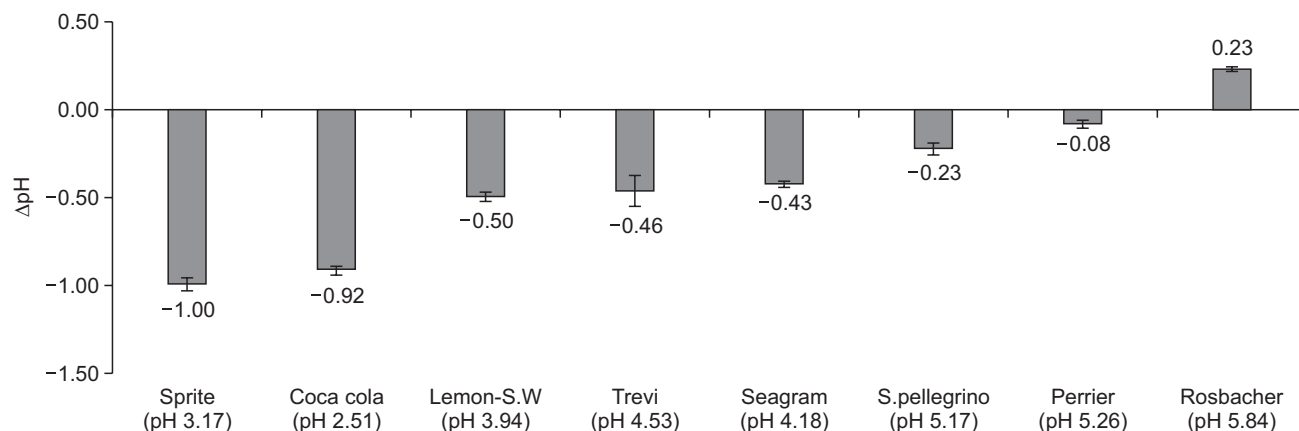


Fig. 1. The results of screening test for erosive capacity of drinks with Ca-PO₄ solution. pH, the value after subtraction of initial pH of Ca-PO₄ solution from pH of Ca-PO₄ solution after addition of drinks. Lemon-S.W: Lemon-Sparkling water; S.pellegrino: San pellegrino. Each test was conducted in quadruplicate with new drinks.

Table 4. The rating of erosive potential of drinks in screening test with Ca-PO₄ solution and titratable acidity to pH 5.5

| Drinks (pH) | ΔpH | TA _{5.5} |
|------------------------------|--------------|-------------------|
| Sprite (3.17) | -1.00 (0.04) | 3.83 (0.24) |
| Coca-cola (2.51) | -0.92 (0.02) | 2.50 (0.00) |
| Lemon-Sparkling water (3.94) | -0.50 (0.03) | 1.67 (0.24) |
| Trevi (4.53) | -0.46 (0.09) | 1.50 (0.00) |
| Seagram (4.18) | -0.43 (0.01) | 1.50 (0.00) |
| San pellegrino (5.17) | -0.23 (0.03) | 0.67 (0.24) |
| Perrier (5.26) | -0.08 (0.02) | 0.33 (0.24) |
| Rosbacher (5.84) | 0.23 (0.02) | 0.00 (0.00) |

Mean values (standard deviations) of erosive potential from 8 tested drinks. TA_{5.5}: titratable acidity to pH 5.5; ΔpH: the value after subtraction of initial pH of Ca-PO₄ solution from pH of Ca-PO₄ solution after addition of drinks.

고 안

본 연구의 목적은 국내에서 시판 중인 일부 탄산수 제품들의 침식 가능성을 평가하고자 하는 것이었다. 또한, 이를 위하여 pH 및 적정산도 측정과 함께 국제표준화기구에서 규정하고 있는 인산칼슘을 활용한 침식 가능성 평가법을 활용하여 탄산수의 치아 침식 가능성을 평가하고자 하였다. 그 결과, 본 연구에 선정된 모든 탄산수들은 콜라와 사이다에 비해서 상대적으로 낮은 치아 침식 능력을 가진 것을 확인할 수 있었다. 그러나 탄산수 제품들 간에서도 치아 침식에 대한 가능성은 다양한 경향을 나타내었다.

코카콜라와 사이다는 pH_i 및 pH_f 측정 시 모두 2.30-3.17 사이의 낮은 pH를 보였다. 이는 음료 내에 구연산이나 인산 등이 포함되어 있기 때문이라고 할 수 있다¹⁹. 반면, 본 연구에 선정된 모든 탄산수 제품들은 탄산 가스가 제거된 뒤 pH가 상승하는 양상을 보였으며 절대적인 변화량 또한 대조군인 탄산음료에 비하여 크게 나타났다. 그러나, 탄산수 제품들 간에서도 pH 값은 다양한 분포를 보였으며 국내 제품에 속하는 레몬탄산수(pH 3.94)와 씨그램

(pH 4.18)과 같이 pH 4.5 이하의 낮은 산도를 보이는 경우도 있었다. 이에 따라 ‘탄산수’라는 동일한 명칭으로 출시되는 제품들 간에서도 각각의 제조 방식이나 원료의 구성 성분이 다를 것으로 예상되었다. 탄산이 제거된 후의 제품들 간 pH의 차이는 과일 향을 첨가하기 위해 함유된 성분이나 원료에 포함되어있는 무기질 등이 원인이 될 수 있다. 그러므로 탄산수 제품들 간에서도 화학적인 특성과 실제 치아의 침식 가능성에는 차이가 있을 수 있다. Barbour와 Lussi²⁰의 선행연구에서는 pH 값이 범랑질과 함께 상아질의 용해에 중대한 영향을 줄 수 있으며, 다양한 용액들의 침식능을 상대적으로 평가할 수 있는 결정적 요인임을 제시하였다. 또한 Kim 등⁶의 연구 결과에서도 음료의 pH 값은 치아의 침식에 있어 큰 영향을 주는 주요한 요인 중 하나였으며, pH가 낮은 음료에 치아 범랑질이 노출된 경우 단시간에 빠른 용해가 일어날 수 있음을 보고하였다. 그러므로 레몬탄산수(pH 3.94), 씨그램(pH 4.18), 트레비(pH 4.53)와 같은 일부 제품들의 경우에는, 빈번한 섭취 시 치아 침식의 가능성이 있을 것으로 사료된다.

완충능은 음료 내에 포함된 산의 종류나 함량의 영향을 받는 요소이며¹², 이를 수치로 표현할 수 있는 가장 보편적인 수단이 적정산도라 할 수 있다²⁰. Shellis 등²¹의 연구 결과에서는 산의 종류에 따른 영향을 비교적 적게 받으면서도 실제적으로 적용이 가능한 대체적 예측 인자로서 pH 5.5까지의 적정산도(TA_{5.5})가 제시되기도 하였다. 본 연구에서 음료의 적정산도를 측정된 결과, 탄산음료와 탄산수 간, 탄산수 제품들 간에 TA_{5.5}는 다양한 분포를 보였다. 특히, 수입제품에 해당되는 일부 제품들(페리에, 산펠레그리노, 로스바허)은 0-0.67 ml의 값에 비하여 일부 국내 제조 제품들(레몬탄산수, 씨그램, 트레비)은 1.5-1.67 ml로 비교적 높은 TA_{5.5} 값을 보였다.

또한, 각 음료들의 TA_{5.5}의 측정결과는 국제표준화기구평가법을 통해 산출한 ΔpH 값들과 유사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 인산칼슘 용액 평가의 결과 또한 음료의 치아 침식 가능성에 대한 유의미한 예측인자가 될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 활용한 인산칼슘 용액의 제조방식 및 실험 과정은 미국치과의사협회와 국제표준화기구에서 협력하여 개발되었다. 치아의 침식에 대한 평가에서 실제 치아를 사용해야 하는 통상적인 평가방법에 비하여, 보편적이면서도 비교적 정확한 특정 용액의 치아 침식능 평가를 할 수 있도록 가상의 수산화인회석을 재현한 용액의 조성을 고안해낸 것이다. 이 평가법은 현재 국제표준화기구에서 구강양치액의 치아에 대한 침식능을 평가하여, 제품의 시판 가능 여부를 판별하는 국제기준으로 활용하고 있다(ISO TC106 SC7 N232)¹⁸⁾.

이 국제 표준 규정에서는 구강양치액의 침식능 평가 시, 상대적 평가를 위하여 3가지 방식으로 제조되는 구연산 완충 표준 용액들을 활용한다. 첫 번째 용액은 1% 구연산 용액에 수산화나트륨 용액을 첨가하여 pH를 3.91로 조절한 용액(기준용액 A)이며, 이 용액은 오렌지 주스의 대체 용액으로써 활용된다. 두 번째는 0.3% 구연산 용액에 수산화나트륨 용액을 첨가하여 pH를 3.91로 조절한 용액(기준용액 B)이다. 이 용액은 비교적 낮은 적정산도를 띠는 기준 완충용액이며, 세 번째 용액은 pH를 조절하지 않은 1%의 구연산 용액(기준용액 C)이다(pH 2.41). 이 용액은 비교적 높은 적정산도와 낮은 pH를 띠는 기준 완충용액이다. 본 연구의 결과에서는 제시되어 있지 않으나, 기준용액 A, B, C의 Δ pH를 측정된 결과 각각 -0.91, -0.81, -1.48의 값을 나타내었다. 기준용액 A와 B의 경우, pH가 같아도 산의 농도에 따라 다른 Δ pH 값을 보였으며, 기준용액 A와 C의 경우와 같이 농도가 동일하나 pH가 다른 경우에도 Δ pH 값의 차이를 보였다. 따라서 본 평가법의 결과는 대상 용액의 pH나 산의 함량에 의한 치아 침식 가능성을 모두 반영할 수 있는 결과임을 확인할 수 있다. 본 연구에서 국제표준화기구 침식능 평가법을 수행한 결과, 일부 수입제품들(페리에, 산펠레그리노, 로스바허)의 Δ pH 값의 범위(-0.50- -0.43)와 일부 국내 제조 제품들(레몬탄산수, 씨그램, 트레비)의 Δ pH 값의 범위(-0.23-0.23) 또한 차이가 있었다. 따라서, 국제표준화기구 기준의 침식능 평가에서도 탄산음료와 탄산수 간, 탄산수 제품들 간의 침식 가능성 비교가 가능함을 확인할 수 있었다. 이러한 평가법을 적용하여 추후 다른 산성음료들의 침식능 평가 또한 객관적이면서도 손쉽게 수행하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

한편, 탄산수의 치아 침식 가능성에 영향을 줄 수 있는 주요한 요소 중 하나로써 탄산가스가 포함될 수 있다. 탄산은 음료에 이산화탄소를 주입 함으로써 형성되며, 이는 음료의 pH를 낮추며 완충능에도 영향을 줄 수 있는 원인이 되기 때문이다¹²⁾. 그러므로 본 연구에서는 탄산수의 치아 침식 가능성을 평가하는데 있어 모든 제품을 새로 개봉하여 탄산가스가 포함되어 있는 상태에서 실험에 사용하였다. 따라서 본 연구에서 수행된 인산칼슘 용액 평가법은 탄산가스로 인하여 기존의 평가법과는 다소 다른 방식으로 수행되었다. 본래 인산칼슘 용액에 탄산가스가 포함되지 않은 대상 용액을 주입하게 되면, pH 값이 감소한 뒤 일정한 값으로 유지가 된다. 하지만, 본 실험에서는 대부분의 탄산수들은 인산칼슘 용액에 주입했을 때, pH 값이 감소한 후 1분 내외의 시간에 다시 서서히 상승하는 경향을 보였다. 그러므로 본 연구에서는 음료를 주입한 뒤

pH 값이 최저로 감소된 시점의 값을 측정하는 방식으로 모든 대상 음료의 침식 가능성을 평가하였다. 반면에 로스바허의 경우, 음료의 주입과 동시에 인산칼슘 용액의 pH가 지속적으로 상승하는 경향을 보였으므로 음료 주입 직후 상승된 pH 값을 기록하였다. 결과적으로, 탄산수의 침식 가능성은 탄산가스가 포함되어있는 짧은 시간 내에서 나타나는 제품 pH_i 값, 인산칼슘 용액의 Δ pH 값과 함께 TA_{5,5}에도 영향을 주었을 것으로 사료된다.

반면, 탄산수의 원료인 물에 포함된 무기질은 치아 침식의 위험성을 유의하게 낮출 수 있는 요인이라 할 수 있다⁹⁾. 본 연구에서 나타난 탄산수 제품들의 다양한 침식능 양상 또한 제품 내 무기질의 함유 여부나 종류와 관련이 있을 것으로 사료된다. 대부분의 탄산수 제품들은 공통적으로 물에 탄산가스를 주입하는 방식으로 제조되지만 제조 원료인 물의 종류에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 자연적으로 유래된 천연 광천수를 원료로 탄산가스를 첨가하여 제조하는 방식이고, 두 번째는 정제수를 원료로 제조하는 방식이다. 하지만 국내에서는 탄산수 제품에 대한 성분 표기 규정이 식수 관련 규정이 아닌 식품공전규정에 따르고 있어 물 자체의 수원지나 무기질 성분 함량이 아닌 영양성분을 기재하게 되어 있다. 또한, 실제 무기질을 포함한 광천수로 제조된 제품들 또한 원료가 정제수로 표기가 된 상태로 판매되고 있는 실정이다. 그러므로 제조사 자체에서 물의 수원지나 무기질 함량을 기입하지 않은 경우, 소비자들이 파악할 수 있는 제품의 원료에 대한 정보가 제한적일 수밖에 없다. 본 연구 결과에서 나타난 일부 수입 탄산수 제품들과 국내에서 제조되는 일부 제품들의 침식 가능성의 차이는 결국 제품의 원료나 첨가물의 성분 및 함량의 차이로 인한 것이라 할 수 있다. 이러한 문제에 대하여, 산성음료의 제조 방식을 개선함으로써 치아 침식을 예방하고자 하는 목적으로 많은 선행연구들이 수행되었다. Grenby²²⁾는 제품의 유통기한은 유지하며 침식 가능성을 줄일 수 있는 방법으로 칼슘의 첨가를 권고하였다. 칼슘함량이 음료의 침식능을 예측할 수 있는 주요한 요소임은 이미 선행연구들을 통해 보고된 바가 있다⁶⁾. 이와 함께 음료 내에 칼슘이나 인을 첨가했을 경우 침식능을 줄일 수 있음을 보인 여러 연구들 또한 보고된 바 있다^{9,23-25)}. 또한, Min 등^{26,27)}의 *in vitro* 및 *in situ* 연구에서는 치아 침식능이 있는 스포츠 음료에 나노 입자 크기의 수산화인회석을 첨가할 경우, 음료의 침식능이 현저히 감소하는 효과를 확인한 바 있다. 한편, 광천수를 원료로 하여 무기질이 포함되어있는 일부 탄산수 제품들의 경우 칼슘 이온으로 인한 침식 방지 효과가 오히려 감소되는 경우도 있었다⁹⁾. 그러나 정제수를 원료로 제조되는 일부 탄산수 제품들의 경우에는 칼슘이나 인 등의 무기질 성분을 첨가함으로써 음료의 치아 침식의 가능성을 낮출 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 치아를 활용하지 않고 침식능을 예측할 수 있는 방법들을 통하여 탄산수의 침식 가능성을 평가하였으므로 실제 치아의 침식 정도에 따른 직접적인 결과는 제시하지 못하는 한계점이 있었다. 그러나 본 연구에서 활용된 세 가지 평가법 모두 선행연구를 통해 실제 치아의 침식 가능성을 반영할 수 있는 평가 수단으로써 증명되어 이미 활용되고 있는 방법들이다. 또한, 국제표준화

기구 평가법은 개발 시 평가의 결과가 pH나 완충능, 칼슘 킬레이트 반응을 반영할 수 있도록 고안되었다²⁸⁾. 이는 실제 치아를 활용하는 침식능 평가법에 비하여 시간, 경제적 비용에 있어 효율적이라 할 수 있으며 비교적 활용이 쉬운 재료나 도구로도 평가 수행이 가능하다는 점에서 보다 의미가 있을 것이다.

산성 음료로 인한 치아 침식의 발생을 예방하기 위해서는 소비자들의 제품 선택과 제조사의 제품 개발의 기준에 있어 구강건강의 유지 및 관리가 주요한 요소가 되어야 할 것이다. 국제표준화기구 평가법에서는 구강 양치액의 평가 결과값인 Δ pH가 -1보다 낮은 경우 시판 불가 판정을 받게 된다. 하지만, 음료의 침식 가능성 평가에 있어서는 아직 침식 위험성에 대한 판정 기준이 없으므로 정확한 위험도를 제시하는 것에 제한이 있었다. 그러므로 추후에는 음료의 침식 가능성 평가에 있어 음료의 섭취 습관에 근거한 새로운 판정 기준을 정립함으로써 음료의 치아 침식 위험성을 직관적으로 제시할 수 있어야 할 것이다. 특히, 탄산수와 같이 '건강한 음료'라는 이미지로 판매되는 제품들의 경우에도 치아 경조직에 대한 유해의 가능성은 항상 고려해야 할 필요가 있다. 그러므로 인산칼슘 용액 평가법과 같이 보편적으로 수행 가능한 평가 방식의 활용이 필요할 것이며, 이를 통하여 새롭게 출시되는 다양한 음료들의 치아 침식 가능성에 대한 보다 신속하고 효율적인 평가가 가능해질 수 있을 것으로 사료된다.

결론

국내 시판 중인 일부 탄산수 제품들과 탄산음료의 침식 가능성을 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 선정된 모든 탄산수는 탄산음료에 비하여 높은 pH를 보였다. 이와 함께 탄산수 제품들 간에서도 pH는 다양한 분포를 보였다(pH 3.94-5.84). 또한, 탄산수의 경우는 탄산가스가 음료의 pH를 감소시키는 요인 중 하나인 것이 확인되었다.

2. 탄산수의 완충능 및 적정산도는 탄산음료에 비해 낮았다. 한편, $TA_{5.5}$ 는 탄산수 제품들 간에서도 차이를 보였으며(0-1.67 ml), $TA_{7.0}$ 에서도 제품 간 다양성이 나타났다(7.50-9.33 ml).

3. 탄산수의 침식 가능성 평가에 국제표준화기구에서 구강양치액의 침식능 평가를 위해 규정한 평가법을 적용하여 수행한 결과, 탄산수 제품별로 다양한 침식능을 보였다(Δ pH -0.50-0.23). 이 중 가장 높은 침식 가능성을 보인 제품은 레몬탄산수였으며, 로스바하는 가장 낮은 침식 가능성을 보였다. 또한, 평가에 따른 대상 음료들의 상대적 침식 가능성은 $TA_{5.5}$ 와 유사한 경향을 보였다.

본 연구의 결과를 통하여 실험에 선정된 모든 탄산수 제품들은 탄산음료에 비하여 치아 침식의 가능성이 낮다는 것이 확인되었다. 그러나 시중에서 '탄산수'라는 동일한 제품명으로 판매 중인 제품들 간에서도 치아 침식 가능성은 다양한 경향을 보였으며, 국내에서 제조된 일부 제품들의 치아 침식 가능성이 비교적 높은 경향을 보였다. 또한, 음료의 침식능 평가에 있어 국제표준화기구에서 규정하고 있는 인산칼슘 용액을 활용한 침식능 평가법을 적용하는 것이 가능함을 확인할 수 있었다.

References

- Eccles JD. Dental erosion of nonindustrial origin. a clinical survey and classification. *J Prosthet Dent* 1979;42:649-653.
- Nunn JH. Prevalence of dental erosion and the implications for oral health. *Eur J Oral Sci* 1996;104:156-161.
- Jensdottir T, Arnadottir IB, Thorsdottir I, Bardow A, Gudmundsson K, Theodors A, et al. Relationship between dental erosion, soft drink consumption, and gastroesophageal reflux among Icelanders. *Clin Oral Investig* 2004;8:91-96.
- Jensdottir T, Bardow A, Holbrook P. Properties and modification of soft drinks in relation to their erosive potential in vitro. *J Dent* 2005;33:569-575.
- Zero DT. Etiology of dental erosion-extrinsic factors. *Euro J Oral Sci* 1996;104:162-177.
- Kim BR, Min JH, Kwon HK, Kim BI. Analysis of the erosive effects of children's beverages using a pH-cycling model. *J Korean Acad Oral Health* 2013;37:141-146.
- Ehlen LA, Marshall TA, Qian F, Wefel JS, Warren JJ. Acidic beverages increase the risk of in vitro tooth erosion. *Nutr Res* 2008;28:299-303.
- Salas MM, Nascimento GG, Vargas-Ferreira F, Tarquinio SB, Huysmans MC, Demarco FF. Diet influenced tooth erosion prevalence in children and adolescents: Results of a meta-analysis and meta-regression. *J Dent* 2015;43:865-875.
- Parry J, Shaw L, Arnaud MJ, Smith AJ. Investigation of mineral waters and soft drinks in relation to dental erosion. *J Oral Rehabil* 2001;28:766-772.
- Brown CJ, Smith G, Shaw L, Parry J, Smith AJ. The erosive potential of flavoured sparkling water drinks. *Int J Paediatr Dent* 2007;17:86-91.
- Ministry of Food and Drug Safety. 2014 Production of food and food additives. Cheongju:Ministry of Food and Drug Safety;2014:125.
- Edwards M, Creanor SL, Foye RH, Gilmour WH. Buffering capacities of soft drinks: the potential influence on dental erosion. *J Oral Rehabil* 1999;26:923-927.
- Lussi A, Jaggi T, Schärer S. The influence of different factors on in vitro enamel erosion. *Caries Res* 1993;27:387-393.
- Lussi A, Megert B, Shellis RP, Wang X. Analysis of the erosive effect of different dietary substances and medications. *Br J Nutr* 2012;107:252-262.
- Hara AT, Zero DT. Analysis of the erosive potential of calcium-containing acidic beverages. *Eur J Oral Sci* 2008;116:60-65.
- Jensdottir T, Holbrook P, Nauntofte B, Buchwald C, Bardow A. Immediate erosive potential of cola drinks and orange juices. *J Dent Res* 2006;85:226-230.
- Schmuck B. Evaluation of three assessment methods: screening for dental erosive capacity. IADR;2008.
- International Organization for Standardization. ISO 28888: 2013 Dentistry-screening method for erosion potential of oral rinses on dental hard tissues. Geneva:International Organization for Standardization;2013:1-5.
- Creanor S, Ferguson J, Foye R. Comparison of the cariogenic potential of caloric and noncaloric carbonated drinks. *J Dent Res* 1995;73:873-873.
- Barbour ME, Lussi A. Erosion in relation to nutrition and the environment. *Monogr Oral Sci* 2014;25:143-154.
- Shellis RP, Barbour ME, Jesani A, Lussi A. Effects of buffering properties and undissociated acid concentration on dissolution of dental enamel in relation to pH and acid type. *Caries Res* 2013;47:601-611.
- Grenby TH. Lessening dental erosive potential by product modification. *Eur J Oral Sci* 1996;104:221-228.

23. West NX, Hughes JA, Parker DM, Moohan M, Addy M. Development of low erosive carbonated fruit drinks 2. evaluation of an experimental carbonated blackcurrant drink compared to a conventional carbonated drink. *J Dent* 2003;31:361-365.
24. Hughes JA, West NX, Parker DM, Newcombe RG, Addy M. Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink in vitro and in situ. 1. Comparison with orange juice. *J Dent* 1999;27:285-289.
25. Larsen MJ, Nyvad B. Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 1999;33:81-87.
26. Min JH, Kwon HK, Kim BI. The addition of nano-sized hydroxyapatite to a sports drink to inhibit dental erosion—in vitro study using bovine enamel. *J Dent* 2011;39:629-635.
27. Min JH, Kwon HK, Kim BI. Prevention of dental erosion of a sports drink by nano-sized hydroxyapatite in situ study. *Int J Paediatr Dent* 2015;25:61-69.
28. American Dental Association Foundation. ISO collaborative protocol: Evaluation of simplified method to estimate relative erosive potential of oral rinses. Chicago: American Dental Association Foundation;2007:1-4.