

## 이온선택성 전극법을 이용한 조제분유종의 염소 및 요오드 이온함량 분석방법 연구

고진혁 · 곽병만 · 안장혁\* · 전태홍  
남양유업 중앙연구소

### Development of a Method for Detecting Iodide and Chloride Ions in Infant Formula using an Ion Selectivity Electrode

Jin-Hyok Ko, Byung-Man Kwak, Jang-Hyuk Ahn\*, and Tae-Hong Jeon

Research and Development Center, Namyang Dairy Products Corporation, Gongju 314-914, Korea

#### Abstract

This study was carried out to develop an accurate and rapid analysis method to measure the contents of iodide and chloride in infant formula using an ion selectivity electrode. The infant formula SRM 1846 (Standard Reference Material 1846, NIST, USA) was used as a CRM (Certified reference material). Samples were dissolved in water with 3% acetic acid and filtered through filter paper and adjusted to pH 7.0 with 0.1 N NaOH. At pH 7.0, the iodide content of the CRM was  $1.04 \pm 0.03$  mg/kg compared to the specification of  $1.11 \pm 0.1$  mg/kg of CRM, and the recovery was  $93.7 \pm 2.7\%$ . The chloride content was  $5114.3 \pm 240$  mg/kg compared to the specification of  $4,920 \pm 300$  mg/kg of CRM, and the recovery was  $103.9 \pm 4.9\%$ . Ion selectivity electrodes could be successfully used to determine the concentration of iodide and chloride ions in infant formula by a simple and rapid pretreatment of sample matrixes.

**Key words :** iodide, chloride, ion selectivity electrode (ISE), infant formula

#### 서 론

조제분유는 영유아의 성장에 필요한 영양소를 인위적으로 첨가하여 모유의 성분에 가깝게 제조한 식품으로서 (Korean Foods Industry Association, 2007) 탄수화물, 단백질, 지방, 유리아미노산, 유리지방산, 무기질 등의 각종 영양성분들이 포함되어 있다(Paik and Han, 1976). 그 중에서도 특히 요오드는 갑상선 호르몬의 필수 구성성분으로서, 결핍시에는 갑상선 비대와 갑상선증(goitre)을 일으키며, 과잉섭취시에는 갑상선중독증(thyrotoxicosis)을 야기시킬 수 있다(Bhagat *et al.*, 2007; Delange, 1995; Konno *et al.*, 1994; Laurberg, 1994; Maberly, 1994; Muet *et al.*, 1987; Pennington, 1990). 그리고 염소는 위의 염산의 구성성분으로서 소화작용에 중요한 역할을 하며, 과잉섭취 시 체액의 양과 조성에 영향을 주게 된다(김 등, 1998). 한

국인 영양섭취기준에서는 영유아의 요오드 및 염소의 총 분섭취량과 권장섭취량을 설정하고 있으며, 이를 통해 요오드와 염소의 결핍 및 과잉이 발생되지 않도록 관리하고 있다(The Korea Nutrition Society, 2005).

요오드와 염소는 분유속에 존재하는 다른 나트륨, 칼륨, 칼슘과 같은 양이온 형태의 다량무기질과는 달리 우유 및 수용액 상태에서 음이온의 형태로 존재하는 특징을 가지며, 요오드는 iodide의 형태, 염소는 chloride의 형태로 존재한다(Dellavalle *et al.*, 1984; Bhagat *et al.*, 2007). 분유속의 요오드와 염소의 함량을 정확하게 측정하는 것은 영유아의 건강을 위해 매우 중요한 일이다. 이러한 음이온의 분석 방법에는 분광광도법(Lopez-Cueto *et al.*, 1992; Tomiyasu *et al.*, 2004), gas chromatography(Mitsuhashi and Kaneda, 1990), ion chromatography(Dionex, 1998), high performance liquid chromatography(Schwehr and Santschi, 2003), inductively coupled plasma mass spectrometry(Larsen and Ludwigsen, 1997), isotope dilution resonance ionization mass spectrometry(Fassett and Murphy, 1990), 중성자 방사화 분석법(Rao and Chatt, 1993), 비색법(Bruhn and

\*Corresponding author : Jang-Hyuk Ahn, Research and Development Center, Namyang Dairy Products Corporation, Gongju 314-914, Korea. Tel: 82-41-856-0381, Fax: 82-41-857-7933, E-mail: ppori5470@hotmail.com

Franke, 1985; Pennington *et al.*, 1986) 등이 있다.

대부분의 요오드와 염소 분석방법은 고가의 장비가 필요하며, 분석시 장시간이 요구될 뿐만 아니라, 시험자의 숙련된 기술이 요구된다. 이에 비해 이온 선택성 전극을 이용한 방법(ion selectivity electrode, ISE)은 용액내에 존재하는 유리 이온의 활성도를 측정하는 방식으로, 요오드의 경우는 iodide, 염소는 chloride 형태의 농도를 특정 전극을 이용하여 직접 측정하는 방식이다(Loginova and Bazilyanskaya, 1995). 이 방법은 측정이 간단하며, 분석시간이 오래 걸리지 않는다. 특히 별도의 시료 전처리과정 없이 수용액상태의 시료를 곧바로 측정할 수 있다는 장점이 있다(Miles, 1978). 그러나, 전극은 iodide, chloride와 같이 이온의 형태만을 감지하기 때문에 이온 이외의 형태로 존재하는 시료에는 적합하지 않으며, 측정 전극의 간섭물질이 많이 존재하면 측정값에 오류가 발생할 수 있는 단점이 있다.

특히 조제분유중의 탄수화물, 단백질, 지방, 유리 아미노산, 유리 지방산 및 각종 무기질 등의 영양성분은 이온 측정시 간섭물질로 작용되어 정확한 측정을 방해할 뿐 아니라, 전극 표면을 오염시켜 전극의 성능을 떨어뜨린다. 그러므로 전극을 이용하여 이온의 농도를 정확하게 측정하기 위해서는 무엇보다 측정대상이온의 활성도를 방해하는 간섭물질들을 제거해야 한다(Sanchez-Pedreno *et al.*, 1995). 그리고 수용액중의 이온은 pH에 따라 활성도 차이를 나타내기 때문에 정확한 측정을 위하여 적절한 pH조건이 고려되어야 한다(Kim and Park, 1995).

이에 본 연구는 이온 전극(Ion selectivity electrode, ISE)을 이용하여 조제분유 중의 요오드 및 염소 함량을 분석함에 있어서, 간섭물질의 효과적인 제거 방법과 pH에 따른 측정값의 변화를 파악하고 적절히 보정해줌으로써 간단하고 신속하게 염소와 요오드의 함량을 정확히 측정할 수 있는 시료처리 방법을 개발하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료 및 측정기구

본 실험에서는 실험결과를 검증하기 위해 인증표준물질(CRM: Certified Reference Material)인 Infant formula SRM 1846(Standard Reference Material 1846, NIST, USA)을 사용하였으며, CRM 중의 요오드의 함량은  $1.11 \pm 0.1$  mg/kg, 염소의 함량은  $4,920 \pm 300$  mg/kg이다. 정량분석을 위해 사용된 표준물질은 요오드의 경우는 AccuIon™ Reference Standard Iodide(AccuStandard, USA)가 사용되었으며, 염소의 경우는 NaCl(Orion, USA)을 사용하였다.

모든 실험에 사용된 초순수는 EASY pure system(Barnstead, USA)에 의해  $18.0$  M $\Omega$  수준으로 정제된 물을 사용하였다. 시료 전처리시 단백질변성을 위해 아세트산

(Junsei, Japan)으로 3% 용액을 제조하여 사용하였으며, 전처리된 시료의 여과에는 filter paper(No.541, Whatman, UK)를 사용하였다.

전처리가 완료된 여과액의 pH를 7.0으로 보정하기 위해 NaOH(Junsei, Japan)로 0.1 N NaOH를 제조하여 사용하였다.

전처리가 완료된 시험용액 음이온 측정에는 이온선택성 전극을 사용하였다. 요오드의 경우 Orion Iodide Electrode(96-53 ionplus, Orion, USA), 염소의 경우 Orion Chloride Electrode(96-17 ionplus, Orion, USA)를 각각 사용하였다.

두 측정전극을 제어해주는 측정장비로는 ISE Meter(Model 720Aplus, Orion, USA)를 사용하였고, 측정시 시료 및 표준물질의 이온강도를 조절하여 정확한 측정값을 제공해주기 위한 이온강도 조절액으로는 Ion Strength Nitrate(Orion, USA)를 사용하였다.

### 시료 전처리

Infant formula(SRM 1846, NIST, USA) 3 g을 정확히 계량하여 초순수 10 mL에 녹인후 3% 아세트산 2 mL을 가하여 잘 혼합하고, 초순수로 최종부피가 30 mL이 되도록 하였다. 이를 10분간 잘 혼합하고, 다시 10분간 초음파처리를 하여 시료가 잘 용해되도록 하였다. 그 후 시료속의 간섭물질을 제거하기 위해 filter paper(No.541, Whatman, UK)로 여과하였다.

요오드 및 염소 이온의 경우 pH에 의한 이온의 활성도 차이를 최소화하기 위하여 추출용액 20 mL당 0.1 N NaOH 5 mL을 혼합하여 산성화된 추출용액의 pH를 7.0으로 보정하였다.

### 표준용액의 조제

요오드의 경우 표준물질인 AccuIon™ Reference Standard Iodide 1000 mg/L을 사용하여 100 mL중의 I<sup>-</sup> 농도가 10  $\mu$ g과 100  $\mu$ g이 되도록 제조하였으며, 염소의 경우 표준물질인 NaCl 1000 mg/L을 사용하여 100 mL 중에 Cl<sup>-</sup>의 농도가 10 mg과 100 mg이 되도록 제조하였다. 표준용액의 조제에는 18.0 M $\Omega$  수준으로 정제된 초순수를 사용하였다.

### 전극을 이용한 측정

이온선택성 전극을 이용하여 측정할 때 시험용액의 온도는 25°C를 유지하였고, 일정한 속도로 교반하면서 측정하였다. 우선 표준물질을 이용하여 전극의 측정값을 보정하였다. 요오드의 경우는 표준물질의 농도가 100  $\mu$ g과 1000  $\mu$ g/L이 되도록 제조하여 저농도 순으로 값을 측정하였다. Slope가 -50에서 -60 mV 사이로 측정되면 전극의 상태 및 표준물질의 제조가 적합한 것으로 판단되어 실험을 진행하였다. 이온의 활성도를 일정수준까지 높여주기 위해 표준물질 및 추출된 모든 시료를 측정시는 측정전에

100 mL당 2 mL의(50:1 V/V) ISA를 첨가하였다. 시료의 측정이 끝나고 다음 시료를 측정할 때는 초순수를 이용하여 전극을 씻어주고 완전히 건조한 후 사용하였다.

염소의 경우는 표준물질의 농도가 100 mg/L과 1000 mg/L이 되도록 제조하여 저농도로부터 고농도의 순으로 측정하였다. 다른 모든 기기조건과 방법은 요오드의 측정방법과 동일하게 실험하였다.

## 결과 및 고찰

### 식품공전법에 의한 이온 함량 분석

Table 1은 식품공전(Korea Food and Drug Administration, 2007)을 통해 조제분유 속의 요오드와 염소의 함량을 측정한 결과를 나타낸 도표이다. 실험방법은 infant formula(CRM) 3 g을 초순수 10 mL에 녹인 후 3% 아세트산 2 mL을 가하여 잘 혼합하고, 초순수로 최종 30 mL이 되도록 하였다. Filter paper(No.541)를 이용하여 여과한 이온 전극을 이용하여 농도를 측정하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 염소의 경우 3회의 반복 실험결과 회수율이 각각 99.6%, 100.9%와 101.1%로 나타나 재현성이 높게 나타났다. 그러나 요오드의 경우 회수율이 각각 118.9%, 99.1%과 82.0%로 나타나 재현성이 다소 떨어졌다.

### 요오드 분석시 재현성 향상을 위한 전처리 방법

#### 중성에서 전처리

이온의 경우 전극을 이용하여 측정시 pH에 따라 활성도에 많은 영향을 받는다(Kim and Park, 1995). 식품공전에 규정된 시험법으로 처리한 시료는 아세트산의 첨가로 pH가 낮아지며, 이것은 요오드 이온 분석시 재현성이 떨어지는 원인이 될 수 있다. 요오드 이온의 pH에 따른 영향을 파악하기 위해 동일한 농도의 요오드 이온에 pH를 변화시켜 측정한 결과값을 Fig. 1로 나타내었다. pH 6.9에서는 58.3 ppb를 나타내었으며, pH 4.4에서는 55.9 ppb, pH 3.3에서는 54.0 ppb, pH 2.7에서는 47.8 ppb로 측정되어졌다. Fig. 1에서 나타난 것과 같이 요오드 이온은 pH가 낮아짐에 따라 활성도가 낮아지는 특징을 나타냈다.

Table 1. Recovery rates test of iodide, chloride by method of Food Standards Codex

Ion type	Content (mg/kg)	Recovery Test (%)	Standard content (mg/kg)
Iodide	1.32	118.9	1.11±0.1
	1.10	99.1	
	0.91	82.0	
Chloride	4900	99.6	4920±300
	4966	100.9	
	4972	101.1	

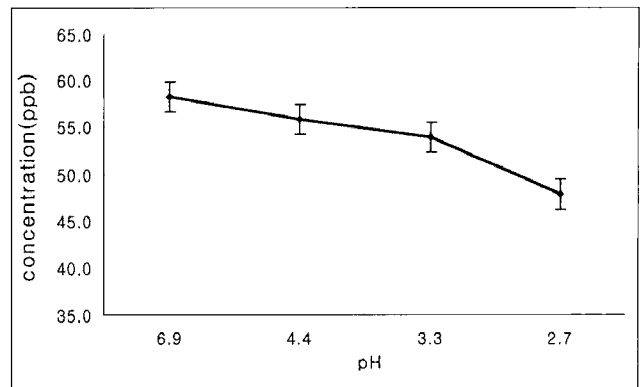


Fig. 1. Concentration of iodide measured in various pHs by ion selectivity electrode.

pH에 대한 영향을 줄여 재현성을 높이기 위해 시료를 처리할 때 아세트산을 첨가하지 않고 실험을 수행하였다. Table 2는 아세트산을 첨가하지 않고 물로만 처리한 시료와, 식품공전에 규정된 시험법으로 처리한 시료의 측정값을 비교한 도표이다. 실험결과 도표에서 보는 바와 같이 아세트산을 넣지 않은 중성의 시료는 아세트산을 넣은 시료보다 오히려 회수율이 134.2%로 더 높게 나타났다. 그리고 측정시 측정값의 재현성과 안정성이 떨어져 정확한 측정이 어려웠다. 아세트산을 첨가하지 않은 시료는 pH에 따른 이온의 활성도 차이는 제거할 수 있었으나, 조제분유중의 간섭물질이 효과적으로 제거되지 못하여 오히려 전극의 측정을 방해하였다. 단백질은 pH에 따라 침전율이 달라지기 때문에 시료중의 단백질을 제거하기 위해서는 pH를 낮추어 단백질을 변성시킨 후 여과를 실시해야 하는데(Konstance and Strange, 1991; Rhee *et al.*, 1973), 물에만 녹인 시료의 경우 단백질 변성에 영향을 주지 못해 여과시 간섭물질이 적절히 제거되지 못하였다. 그러므로 간섭물질을 제거하기 전에 pH를 중성으로 맞추는 것은 간섭물질의 제거를 방해하여 재현성을 더욱 떨어뜨리는 결과로 나타났다.

### 여과 방법에 따른 결과

Table 3은 식품공전법의 여과 방법으로 간섭물질을 제거한 것과 그 외의 여과 방법으로 간섭물질을 제거한 것을 비교한 도표이다. 이 실험은 효과적인 여과 방법으로 요오드 분석결과의 재현성을 높이기 위해 수행되어졌다. Filter paper보다 좀 더 효과적인 방법으로 제시한 것은 원

Table 2. Result of recovery test under different conditions

Method	pH	Content (mg/kg)	Recovery Test (%)	Standard content (mg/kg)
Only dissolved in water	7.0	1.49	134.2	1.11±0.1
Dissolved in water with 2mL of 3% acetic acid	4.5	1.10	99.1	

**Table 3. Recovery rates test of iodide measured in various filtering methods by ion selectivity electrode**

Filtering method	content (mg/kg)	Recovery Test (%)	Standard content (mg/kg)
Filter paper <sup>1)</sup>	1.10±0.3	99.1±27.0	
Only centrifuge <sup>2)</sup>	0.91±0.2	82.0±18.0	
Filtered by NY filter <sup>3)</sup> after centrifuge	0.51±0.1	46.0±9.01	1.11±0.1
Filtered by MCX cartridge <sup>4)</sup> after centrifuge	0.32±0.2	28.8±18.0	

<sup>1)</sup>The filter paper used is Whatman No.541.

<sup>2)</sup>Centrifuged at speed of 13,000 rpm for 10 minutes

<sup>3)</sup>The NY filter used is Minisart NY25 (Sartorius, Germany).

<sup>4)</sup>The MCX cartridge used is MCX 6 cc (Waters OASIS, Ireland).

심분리, 원심분리후 NY필터(Minisart NY25, Sartorius, Germany)를 이용한 필터링, MCX 카트리지(MCX 6 cc, Waters OASIS, Ireland)를 사용한 여과이다. 각각의 방법으로 실험한 결과 회수율은 각각 82.0±18.0, 46.0±9.01와 28.8±18.0%로 나타났으며, 오히려 식품공전에 규정된 시험법보다 회수율이 떨어졌다. 이는 다량의 요오드 이온이 전처리의 방법차이에 의해 손실됨을 나타내었으며, 조제분유속의 간섭물질을 제거할 수 있는 방법으로는 3% 아세트산 2 mL을 첨가후 단순한 여과에 의해 처리하는 것이 가장 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다.

#### 최종 추출 용액의 pH 보정

Table 4는 pH에 대한 요오드 이온의 활성도 영향을 받지 않도록 하기 위해 여과가 완료된 시험용액 20 mL에 0.1 N NaOH를 5 mL 투입하여 pH를 7.0으로 보정한 후 전극을 이용하여 요오드 회수율을 측정된 결과이다. 10회의 측정을 반복한 결과 요오드이온의 회수율은 평균 93.7%로 나타났으며, 재현성면에서도 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

#### pH를 보정한 분석법과 IC를 이용한 분석법과의 비교

Table 5는 식품공전에 규정된 시험법대로를 이용하여 전처리를 실시한 후 pH를 보정해준 측정법과 ion chromatography(IC) 방법(Dionex, 1998)을 이용한 측정법을 비교한 도표이다. 표에서 나타난 것과 같이 요오드의 경우 pH를 보정하여 측정된 방법은 CRM의 요오드 기준함량과 비교한

**Table 4. Recovery rates test of samples adjusted in pH 7.0 after samples dissolved at acidity**

Ion type	Content (mg/kg)	Recovery Test (%)	Standard content (mg/kg)
Iodide	1.04	93.7	1.11±0.1 <sup>1)</sup>
	1.05	94.6	
	1.03	92.8	
	1.04	93.7	
	1.02	91.9	
	1.03	92.8	
	1.05	94.6	
	1.07	96.4	
	1.04	93.7	
	1.03	92.8	

<sup>1)</sup>Certified concentration of Infant Formula SRM 1846 (Certified Reference Material)

결과 회수율이 93.7±2.7%로 pH를 보정하기 전에 비해 높은 재현성을 나타내었으며, IC방법에 의한 회수율과도 유사한 결과를 나타내었다. 이를 통해 기존의 식품공전을 보완하여 안정적인 분석방법으로 사용할 수 있었으며, 특히 IC와 같은 고가의 분석장비가 없어도 이온분석기를 통해 신속하게 분석이 가능하였다. 요오드에 비해 pH의 영향을 적게받는 염소도 동일한 방법으로 측정된 결과 회수율이 103.9±4.9%로 나타났으며, IC방법에 의한 실험결과와 비교해서 유사한 결과를 나타냈다. 이를 통해 pH를 보정한 보완된 시료 전처리 방법은 조제분유중의 요오드와 염소의 분석시 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다.

#### 요 약

조제분유중의 요오드 및 염소를 신속하고 정확하게 분석하기 위해 이온선택성 전극을 이용한 분석을 실시하였다. 전극을 이용한 측정시 영향을 주는 간섭물질을 제거하기 위해 시료를 용해한 후 3% 아세트산 2 mL를 투입하고, 정제는 filter paper(No.541, Whatman, UK)를 이용하여 여과하는 방법을 선택하였다. 요오드 및 염소이온이 pH에 의해 영향을 받는 것을 확인할 수 있었으며, 0.1 N NaOH를 사용하여 pH를 7.0으로 보정하여 농도를 측정함으로써 요오드와 염소의 회수율 각각 93.7±2.7%와 103.9±4.9%의 결과를 얻을 수 있었다. 간단하고 신속한 간섭물질 제거와 정제를 통해 조제분유중의 요오드 및 염소

**Table 5. Recovery rates test of iodide, chloride by method of Food Standards Codex and ion chromatography method**

Ion type	Food Standards Codex		IC method		Standard content (mg/kg)
	Content (mg/kg)	Recovery Test (%)	Content (mg/kg)	Recovery Test (%)	
Iodide	1.04±0.03	93.7±2.7	1.09±0.01	98.2±0.9	1.11±0.1
Chloride	5114.3±240	103.9±4.9	5023.7±211	102.1±4.3	4920±300

이온의 농도를 이온전극으로 신속하고 정확하게 측정할 수 있었다.

### 참고문헌

- Bhagat, P. R., Pandey, A. K., Acharya, R., Nair, A. G. C., Rajurkara, N. S., and Reddy, A. V. R. (2007) Selective preconcentration and determination of iodine species in milk samples using polymer inclusion sorbent. *Talanta*. **71**, 1226-1232.
- Bruhn, J. C. and Franke, A. A. (1985) Iodine in cows milk produced in the USA in 1980-1981. *J. Food Prot.* **48**, 397-399, 402.
- Delange, F. (1995) Correction of iodine deficiency : benefits and possible side effects. *Eur. J. Endocrinol.* **132**, 542-543.
- Dellavalle, M. E., Barbano, D. M. M., Newell, R. F., Harland, B. F., and Vanderveen, J.E. (1984) Selected minerals in foods surveys, 1974 to 1981/82. *J. Am. Diet Assoc.* **84**, 771-780.
- Dionex. (1998) The determination of iodide in milk products. application note 37.
- Fassett, J. D. and Murphy, T. J. (1990) Determination of iodine in oyster tissue by isotope dilution laser resonance ionization mass spectrometry. *Anal. Chem.* **62**, 386-389.
- Kim, E. J. and Park, J. R. (1995) The effect of protein extraction pH on the components of sesame protein concentrates. *Korean J. Food Sci. Technol.* **4**, 613-618.
- Konno, N., Makita, H., Yuri, K., and Iizuka, N. (1994) Association between dietary iodine intake and prevalence of subclinical hypothyroidism in the coastal regions of Japan. *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* **78**, 393-337.
- Konstance, R. P. and Strange, E. D. (1991) Solubility and viscous properties of casein and caseinates. *J. Food Sci.* **56**, 556-559.
- Korea Food and Drug Administration (2007) Food Standards Codex. Korean Foods Industry Association, Seoul, Korea. p. 306, pp. 969-971.
- Larsen, E. H. and Ludwigsen, M. B. (1997) Determination of iodine in food-related certified reference materials using wet ashing and detection by inductively coupled plasma mass spectrometry. *J. Anal. At. Spectrom.* **12**, 435-439.
- Laurberg, P. (1994) Iodine Intake - What Are We Aiming At?. *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* **79**, 17.
- Loginova, L. P. and Bazilyanskaya, V. D. (1995) Iodide buffer systems for the calibration of iodide-selective electrodes. *Anal. Chem. Acta* **307**, 37-41
- Lopez-Cueto, G., Santiago, J. M., and Grane, N. (1992) Catalytic determination of iodide by continuous addition of catalyst to a reference solution with photometric probe monitoring. *Talanta* **39**, 349-354.
- Maberly, G. F. (1994) Iodine deficiency disorders : Contemporary scientific issues. *J. Nutr.* **124**, 1473S-1478S.
- Miles, P. (1978) Determination of iodide in nutritional beverage products using an ion selective electrode. *J. AOAC Int.* **61**, 1366-1369.
- Mitsuhashi, T. and Kaneda, Y. (1990) Gas chromatographic determination of total iodine in foods. *J. AOAC Int.* **73**, 790-792.
- Mu, L., Chengyi, Q., and Qidong, Q. (1987) Endemic goitre in central china caused by excessive iodine intake. *Lancet.* **330**, 257-259.
- Paik, J. J. and Han, I. K. (1976) Studies on the nutritional effects of locally produced dried formula milk and fermented milk-1. Comparative studies on the nutrients content of dried formula milk and fermented milk. *Korean J. Nutr.* **9**, 84-91.
- Pennington, J. A. (1990) A review of iodine toxicity reports. *J Am Dite Assoc.* **90**, 1571-1581.
- Pennington, J. A. T., and Young, B. E. and Wilson, D. B. (1986) Mineral content of foods and total diets: the selected minerals in foods survey, 1982 to 1984. *J. Am. Diet. Assoc.* **86**, 876-891
- Rao, R. R. and Chatt, A. (1993) Determination of nanogram amounts of iodine in foods by radiochemical neutron activation analysis. *The Analyst : Int. J. Anal. Bioanal. Sci.* **118**, 1247.
- Rhee, K. C., Cater, C. M., and Mattil, K. F. (1973) Effect of processing pH on the properties of peanut protein isolates and oil. *Cereal Chem.* **50**, 395-404
- Sanchez-Pedreno, C., Ortuno, J. A., and Lopez, M. d. C. (1995) Derivative dynamic response of ion-selective electrodes. Application to the precipitate-based iodide-selective electrode in the presence of interfering ions. *Anal. Chem. Acta* **315**, 63-67.
- Schwehr, K. A. and Santschi, P. H. (2003) Sensitive determination of iodine species, including organo-iodine, for freshwater and seawater samples using high performance liquid chromatography and spectrophotometric detection. *Anal. Chem. Acta* **482**, 59-71.
- The Korea Nutrition Society (2005) Dietary reference intakes for Koreans. 도서출판 국진기획, pp. 83-91.
- Tomiyasu, T., Nonaka, M., and Uchikado, M. (2004) Kinetic determination of total iodine in urine and foodstuffs using a mixed acid as a pretreatment. Agent analytical sciences. *Int. J. Jpn. Soc. Anal. Chem.* **20**, 391-394.
- 김현욱, 권일경, 박승용, 박종래, 안종건, 윤영호, 이수원. (1998) 낙농화학. 선진문화사. 서울, pp. 234-241.

(2008. 4. 14 접수/2008. 7. 30 수정/2008. 8. 2 채택)