

선형계획법을 이용한 한국 성인의 최적 식품섭취패턴 설계 (I) : 2010 ~ 2014년 국민건강영양조사 자료 분석

아사노가나¹ · 양홍석² · 이영미³ · 윤지현^{1,4†}

서울대학교 식품영양학과¹ 서울대학교 경영학과² 명지대학교 식품영양학과³ 서울대학교 생활과학연구소⁴

Designing optimized food intake patterns for Korean adults using linear programming (I): analysis of data from the 2010 ~ 2014 Korea National Health and Nutrition Examination Survey

Asano, Kana¹ · Yang, Hongsuk² · Lee, Youngmi³ · Yoon, Jihyun^{1,4†}

¹Department of Food and Nutrition, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Department of Business Administration, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

³Department of Food and Nutrition, Myongji University, Yongin, Gyeonggi 17058, Korea

⁴Research Institute of Human Ecology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study was to design optimized food intake patterns that meet the nutritional recommendations with minimal changes from the current food intake patterns among Korean adults using linear programming. **Methods:** Data of a one day 24-hour dietary recall from the 2010 ~ 2014 Korea National Health and Nutrition Survey were used to quantify the food items that Korean adults usually consumed. These food items were categorized into seven groups and 24 subgroups. The mean intakes and intake distributions of the food groups and the food subgroups were calculated for eight age (19 ~ 29, 30 ~ 49, 50 ~ 64, and over 65 years old) and gender (male and female) groups. A linear programming model was constructed to minimize the difference between the optimized and mean intakes of the food subgroups while meeting the Dietary Reference Intakes for Koreans (KDRIs) for energy and 13 nutrients, and not exceeding the typical quantities of each food subgroup consumed by the respective age and gender groups. **Results:** The optimized food intake patterns, which were a set of quantities of 24 food subgroups, were obtained mathematically for eight age and gender groups. Overall, major modifications of current diet were required to increase the intake of vegetables and milk/dairy products and decrease the *Kimchi* intake. The optimized intake of seasonings, including salt, was calculated to be 0 g for all the age and gender groups. **Conclusion:** The optimized food intake patterns designed using linear programming in this study lack feasibility because they suggest a seasoning consumption of 0 g. Modification of intake goal for sodium is needed to obtain optimized food intake patterns with improved feasibility.

KEY WORDS: linear programming, nutritional requirements, nutrition surveys, food

서 론

영양섭취기준은 국민의 건강증진 및 질병예방을 위하여 에너지 및 각 영양소의 적정 섭취량을 나타낸 것으로 개인과 집단의 식사계획 수립과 평가에 활용될 수 있다.¹ 그러나 영양섭취기준만을 충족한 식사는 무한히 구성될 수 있

으나 이러한 식사는 영양적인 조건을 충족하더라도 현실적인 식품섭취 범위를 벗어날 수도 있다.^{2,3} 식습관은 쉽게 바꾸기가 어려우므로 영양섭취기준을 만족하는 이상적인 식품섭취량이 현재 식품섭취 상태와 크게 차이가 나면 실생활에서 실현하기가 쉽지 않다.

이러한 문제를 해결할 수 있는 방법의 하나로 경영학의

Received: October 15, 2017 / Revised: November 5, 2017 / Accepted: January 17, 2018

[†] To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-2-880-8750, e-mail: hoonyoon@snu.ac.kr

© 2018 The Korean Nutrition Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

계량적 분석방법으로 알려진 선형계획법이 있다. 선형계획법은 다양한 제약조건을 충족하면서 주어진 목적함수의 값을 최대화 또는 최소화하는 의사결정변수의 값을 구하는 수리계획법의 일종으로 목적함수와 제약조건식이 모두 1차식으로 표현되는 가장 단순한 형태이다.⁴ 제외국에서는 영양학 분야에 선형계획법을 이용한 연구들이 이루어지고 있는데, 선형계획법을 이용해서 대상자의 실제 식품섭취패턴에 가깝고 영양섭취기준도 함께 충족하는 최적 식품섭취패턴을 산출한 연구,^{5,6} 선형계획법을 이용해서 산출된 식품섭취패턴을 바탕으로 식사지침을 개발한 연구들이 있다.^{7,8} 또한 기존의 식사지침에서 설정된 영양소 기준의 타당성을 검토할 때에도 선형계획법이 이용되었다.^{9,10}

일본에서도 현재 식품섭취패턴에서 크게 벗어나지 않으면서 영양섭취기준을 충족하는 식품섭취패턴이 선형계획법을 이용하여 연구된 바 있다.⁶ 산출된 최적 식품섭취패턴에서는 현재 식품섭취패턴에 비해 현미·통밀과 같은 정제되지 않는 곡류와 저지방 유제품을 보다 많이 섭취해야 하는 것으로 나타났다. 또한 조미료의 섭취량은 크게 줄여야 하는 것으로 나타나, 영양섭취기준 중 나트륨은 목표량에 맞게 섭취하기가 가장 어려운 영양소인 것으로 파악되었다. 일본 후생노동성은 이러한 방법을 일본인의 장수를 뒷받침하는 ‘건강한 식사’의 기준 설정 시 적용하였고,¹¹ 이 기준에서 일본의 전통적인 식사구성인 주식, 주찬(단백질 반찬), 부찬(채소 반찬) 각각의 에너지와 염분의 상한 기준 및 탄수화물과 단백질, 채소 섭취량의 범위가 제시되었다.¹²

이와 같이 선형계획법은 현재 섭취량을 바탕으로 이를 어느 정도 변화시키면 영양적인 조건을 충족할 수 있을지 알려주는 효율적인 방법으로 영양학 분야에서 이용되어 왔다. 그러나 한국의 영양학 분야에서는 아직 선형계획법을 이용한 연구는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구는 현재의 식품섭취패턴에서 크게 벗어나지 않으면서 영양섭취기준을 충족하는 한국 성인의 최적 식품섭취패턴을 설계하는 것을 목적으로 수행되었다. 본 논문(연구 I)에서는 2015 한국인 영양소 섭취기준에 제시된 에너지와 13개 영양소의 섭취기준을 제약조건으로 최적 식품섭취패턴을 선형계획법을 이용하여 설계한 부분을 보고하였다. 후속 논문(연구 II)에서는 제약조건 중 나트륨의 영양섭취기준 변화에 따른 최적 식품섭취패턴을 설계하였다.

연구방법

연구 자료

본 연구는 국민건강영양조사 제5기(2010~2012)와 제6기

Table 1. Age and gender distribution of study subjects

	Male (n = 11,345)	Female (n = 12,796)	Total (n = 24,141)
	n (%)		
19-29 years	1,212 (19.4)	1,367 (17.3)	2,579 (18.5)
30-49 years	3,914 (42.9)	4,413 (39.7)	8,327 (41.5)
50-64 years	3,126 (25.0)	3,663 (25.3)	6,789 (25.1)
Over 65 years	3,093 (12.6)	3,353 (17.8)	6,446 (14.9)
Total	11,345 (100.0)	12,796 (100.0)	24,141 (100.0)

Data were analyzed using complex sample module.

1, 2차년도(2013, 2014)의 식품섭취조사 자료를 이용하였다. 만 19세 이상 성인 총 25,034명 중 임신수유부(498명), 임신 및 수유여부에 대한 변수에 결측값이 있는 사람(6명)과 하루 에너지섭취량이 이상치 범위(500 kcal 미만 혹은 5,000 kcal 초과)에 해당되는 사람(389명)을 제외한 총 24,141명의 1일 24시간 회상법 원시자료를 분석하였다.

선형계획법에서 에너지 및 영양소의 제약조건으로 2015 한국인 영양소 섭취기준¹³에 제시된 값을 설정하기 때문에 분석 대상자를 한국인 영양소 섭취기준의 연령구분과 동일하게 성별(남, 여), 연령별(만 19~29세, 30~49세, 50~64세, 65세 이상) 여덟 집단으로 분류하였다. 단, 65세 이상 대상자에 대해서는 65~74세와 75세 이상을 통합하여 하나의 집단으로 분류하였다(Table 1).

분석 내용 및 방법

식품군·식품품목 분류체계 설정

2015 한국인 영양소 섭취기준¹³에서 제시된 식사구성안은 여섯 가지 식품군으로 구성된 권장식사패턴을 제시하고 있다. 이러한 식품군은 22개의 식품품목을 포함한다. 여섯 개 식품군은 곡류군, 고기·생선·달걀·콩류군, 채소류군, 과일류군, 우유·유제품류군, 유지·당류군으로 구성되고, 22개의 식품품목은 곡류, 면류, 떡류, 빵류, 찌리얼류, 감자류, 기타, 과자류, 육류, 어패류, 난류, 콩류, 견과류, 채소류, 해조류, 버섯류, 과일류, 주스류, 우유, 유제품, 유지류, 당류로 구성된다.

본 연구에서는 2015 한국인 영양소 섭취기준¹³의 식사구성안에서 이용된 식품군과 식품품목을 기초로 연구의 목적에 맞는 새로운 식품군·식품품목 분류체계를 설정하였다. 그 결과, 새로 설정한 식품군·식품품목 분류체계는 일곱 개 식품군과 24개 식품품목으로 구성되었다. 일곱 개 식품군은 곡류군, 고기·생선·달걀·콩류군, 채소·해조·버섯·곡류·서류군, 김치류군, 과일류군, 우유·유제품류군, 기타군으로 분류하였고, 24개 식품품목은 밥류, 면류, 빵류, 떡류, 육류, 어패류, 난류, 콩류, 채소류, 해조류, 버섯류, 곡류·서류, 김치, 장아찌, 과일류, 우유·유제품류,

유지류, 당류, 떡·빵·과자류, 알코올음료, 기호음료, 조미료, 견과류, 기타 곡류로 분류하였다.

이러한 본 연구의 분류체계를 식사구성안¹³의 분류체계와 비교하면 다음과 같다. 본 연구에서는 식사패턴과의 연계를 고려하여 ‘곡류군’을 주로 주식으로 섭취하는 밥류(식사구성안의 ‘곡류’에 해당), 면류, 빵류, 떡류로 분류하였다.^{14,15} 떡류에 대해서는 주로 간식이나 식사대용으로 섭취하지만¹⁶ 떡국, 떡만둣국으로 섭취하는 가래떡은 주식의 개념으로 섭취하고 있다. 따라서 떡국, 떡만둣국으로 섭취하는 가래떡은 곡류군으로 분류하였다. 견과류는 육류, 어패류, 난류, 콩류에 비해 부식으로 활용되는 경우가 많지 않고,¹⁷ 부식으로 활용이 되더라도 주재료라기보다는 다른 식재료와 혼합해서 활용될 경우가 많다. 또한 견과류를 간식으로 먹는 경우도 있기 때문에 본 연구에서는 견과류를 ‘고기·생선·달걀·콩류군’에서 제외하고 ‘기타군’에 포함시켰다. ‘채소·해조·버섯·곡류·서류군’의 곡류·서류에는 식사구성안¹³에서 ‘곡류군’의 감자류에 포함된 감자와 고구마, ‘곡류군’의 기타에 포함된 목, ‘곡류군’의 곡류에 포함된 옥수수를 포함시켰다. 식사구성안¹³에서는

‘채소류군’에 김치가 포함되어 있다. 그러나 한국인의 식사패턴 기본형태는 밥, 국 또는 찌개, 김치에 한 두 가지의 반찬이 포함된 형태를 취하고 있으므로,^{14,18} 김치류는 따로 채소류와 분류할 필요가 있다고 판단하여 식품군에 ‘김치류군’을 추가하였다.

‘과일류군’은 과일류만 포함시키고 주스류는 ‘기타군’의 기호음료로 분류하였다. 또한 ‘우유·유제품류군’은 식사구성안에서는 우유와 유제품으로 분류되었으나 본 연구에서는 일본의 선행연구^{6,11}에 따라 우유와 유제품을 분류하지 않고 우유·유제품류로 하였다. ‘기타군’으로 분류한 떡·빵·과자류에는 식사구성안에서 ‘곡류군’으로 분류된 떡국, 떡만둣국 이외로 섭취하는 가래떡과 떡(팥소, 시루떡 등), 빵류 중 빵(잼빵, 팔빵 등), 씨리얼류, 과자류를 분류하였다. 기타 곡류에는 식사구성안에서 ‘곡류군’으로 분류된 기타에 포함된 밀가루, 전분, 빵가루, 부침가루, 튀김가루, 믹스를 포함시켰다. 결론적으로 본 연구에서 설정한 식품군·식품품목 분류체계는 Table 2와 같다.

이 식품군·식품품목 분류체계에 따라 분석 대상자가 세 끼니(아침, 점심, 저녁)에서 섭취한 682개의 식품목록을

Table 2. Classification of food groups and food subgroups in the study

Food group	Food subgroup	Number of foods included	Examples of foods included
1. Grains	1-1. Rice	12	Milled rice, glutinous rice, barley, etc.
	1-2. Noodles	14	Instant noodles, noodles, buckwheat noodles, etc.
	1-3. Bread	2	Loaf bread, bread (others)
	1-4. Rice cake	1	Galettteok eaten as ‘sliced rice cake soup’ and ‘rice cake and mandu soup’
2. Meat, fish, eggs, and legumes	2-1. Meat	24	Pork, chicken, beef, etc.
	2-2. Seafood	142	Fish cake, mackerel, squid, etc.
	2-3. Eggs	3	Eggs, quail eggs, duck eggs
	2-4. Legumes	21	Tofu, soybean, soft tofu, etc.
3. Vegetables, seaweed, mushrooms, and starchy vegetables	3-1. Vegetables	130	Onion, white radish, tomato, etc.
	3-2. Seaweed	23	Sea mustard, laver, sea tangle, etc.
	3-3. Mushrooms	15	Oyster mushroom, pine mushroom, oak mushroom, etc.
	3-4. Starchy vegetables	13	Potatoes, acorn jelly, corn, etc.
4. Pickled vegetables	4-1. <i>Kimchi</i>	14	Chinese cabbage <i>Kimchi</i> , radish <i>Kimchi</i> , young radish <i>Kimchi</i> , etc.
	4-2. <i>Jangajji</i>	11	Salted radish, pickled perilla leaves, Korean pickled cucumbers, etc.
5. Fruits	5. Fruits	47	Apple, mandarin orange, watermelon, etc.
6. Milk and dairy products	6. Milk and dairy products	10	Milk, yogurt, cheese, etc.
7. Others	7-1. Fats and oils	14	Soybean oil, sesame oil, rapeseed oil, etc.
	7-2. Sugar	8	Sugar, starch syrup, honey, etc.
	7-3. Rice cake, bread, and confectionary	41	Rice cake, cereal, bread with jam, etc.
	7-4. Alcoholic beverages	16	Beer, Korean distilled spirits, Korean rice wine, etc.
	7-5. Non-alcoholic beverages	45	Coffee, cola, fruit drinks, etc.
	7-6. Seasonings including salt	50	Soy sauce, soybean paste, salt, etc.
	7-7. Nuts and seeds	18	Peanut, sesame, almond, etc.
	7-8. Other starchy products	8	Wheat flour, starch flour, bread crumb, etc.

분류하였다. 분석 대상자가 세 끼니 이외에서 섭취한 간식에 대해서는 본 연구의 최종 목적이 한 끼 식사의 기준을 개발하는 것이었기 때문에 제외하였다.

식품군·식품품목별 섭취량 계산

성 및 연령별 여덟 집단에 대해 각 식품군·식품품목에 대한 1인 1일 평균섭취량과 섭취량 범위 (10th, 90th 백분위수)를 산출하였다. 떡류의 1인 1일 평균섭취량 산출 시 떡국, 떡만두국으로 섭취한 가래떡의 1인 1일 평균섭취량을 산출하고 이를 곡류군 중 떡류의 1인 1일 평균섭취량으로 하였고, 이 이외의 가래떡에 대해서는 가래떡의 총 1인 1일 평균섭취량에서 떡국과 떡만두국으로 섭취한 가래떡의 섭취량을 제외해서 산출하였다. 식품군·식품품목별 섭취량 산출 시 복합표본분석을 실시하였고 자료 분석에는 EXCEL 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA)과 SPSS 21.0 (IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다.

식품품목별 영양성분 프로파일 산출

24개 식품품목별로 대표식품을 선정하였다. 성 및 연령별 여덟 집단에 대해서 각 식품품목의 1인 1일 평균섭취량 중 각 식품의 1인 1일 평균섭취량이 차지하는 비율(가중치)을 산출하고 그 가중치가 0.01 이상인 식품들을 식품품목별 대표식품으로 선정하였다.¹⁹ 식품품목을 구성하는 대표식품들의 1인 1일 평균섭취량의 합에 대하여 대표식품의 1인 1일 평균섭취량이 차지하는 비율을 산출하고 이를 대표식품별 가중치로 하였다.

선정된 대표식품별로 100 g 당 에너지 및 영양소(탄수화물, 단백질, 지방, 비타민 A, 비타민 C, 티아민, 리보플라빈, 나이아신, 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨, 철) 함량을 산출하였고 이에 대표식품별 가중치를 곱한 값의 합을 식품품목별 영양성분 프로파일로 하였고 여덟 집단 각각에 대해서 산출하였다. 이 영양성분 프로파일은 에너지 및 영양소에 대한 제약조건을 설정함에 있어서 식품품목별 최적섭취량에 따른 에너지 및 영양소 함량 산출에 이용되었다. 대표식품별 1인 1일 평균섭취량과 대표식품별 100 g 당 에너지 및 영양소 함량 산출 시 복합표본분석을 실시하였고 자료 분석에는 EXCEL 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA)과 SPSS 21.0 (IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다.

선형계획 모형 설정

본 연구에서 최종적으로 설정한 선형계획 모형은 Table 3과 같다.

영양섭취기준을 충족하면서 평균섭취량과의 차이가 최

소화되는 식품품목별 최적섭취량 (X_i^{opt})을 의사결정변수로 하였고, 대상 집단에서 식품품목별 최적섭취량과 산출한 평균섭취량 간의 편차의 최소화를 목적함수 (Y)로 하였다. 목적함수 Y 는 식품품목별 최적섭취량 (X_i^{opt})에서 식품품목별 실제섭취량 (X_i^{obs}), 즉 산출한 평균섭취량을 뺀 후 식품품목별 실제섭취량으로 나눈 절댓값의 합으로 정의된다. 목적함수 Y 는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$\text{Minimize } Y = \sum_{i=1}^{i=24} [(X_i^{opt} - X_i^{obs}) / X_i^{obs}]$$

i : 식품품목 1~24 (1: 밥류, 2: 면류, 3: 빵류, 4: 떡류, 5: 육류, 6: 어패류, 7: 난류, 8: 콩류, 9: 채소류, 10: 해조류, 11: 버섯류, 12: 곡류·서류, 13: 김치, 14: 장아찌, 15: 과일류, 16: 우유·유제품, 17: 유지류, 18: 당류, 19: 떡·빵·과자류, 20: 알코올음료, 21: 기호음료, 22: 조미료, 23: 견과류, 24: 기타 곡류)

이 수식에서 i 는 24개 식품품목에 해당된다. 절댓값으로 표현된 Y 는 비선형이기 때문에 선형계획법의 목적함수로 이용할 수가 없어서 목적계획법을 이용해서²⁰ 1차함수로 전환해야 한다. 이때 0 이상의 값을 가지는 새로운 의사결정변수가 생성되는데, 이 변수는 식품품목별 최적섭취량과 실제섭취량 간의 차이를 나타내는 정의 편차 (P_i)와 부의 편차 (N_i)로 표현된다. 새로운 의사결정변수 (P_i , N_i)는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{If } X_i^{opt} < X_i^{obs}, \text{ then } N_i &= (X_i^{obs} - X_i^{opt}) / X_i^{obs}, \text{ and } P_i = 0 \\ \text{If } X_i^{opt} > X_i^{obs}, \text{ then } N_i &= 0 \text{ and } P_i = (X_i^{opt} - X_i^{obs}) / X_i^{obs} \\ \text{If } X_i^{opt} &= X_i^{obs}, \text{ then } N_i = 0 \text{ and } P_i = 0 \end{aligned}$$

Y' 라고 불리는 새로운 1차 함수는 편차변수의 합으로 표현되고 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$\text{Minimize } Y' = \sum_{i=1}^{i=24} (P_i + N_i)$$

선형계획법을 이용해서 산출된 식품품목별 최적섭취량은 실제섭취량과의 편차를 최소화할 뿐 아니라 영양학적으로 이상적인 기준인 영양섭취기준을 충족할 필요가 있다. 또한 절댓값으로 표현되는 목적함수를 1차함수로 전환하는 과정에서 새로 설정된 의사결정변수인 정의 편차 (P_i)와 부의 편차 (N_i)에 대해서도 제약조건을 설정할 필요가 있다. 따라서 식품섭취량, 에너지 및 영양소, 편차변수에 관한 제약조건을 다음과 같이 설정하였다.

먼저 식품섭취량에 관한 제약조건은 식품품목별 최적섭취량이 대상 집단에서 관찰된 실제섭취량 범위 내로 정해

Table 3. The liner programming model used in the study

Decision variables		X_i^{opt}, P_i, N_i
Objective function		Minimize $Y' = \sum_{i=1}^{i=24} (P_i + N_i)$
Constraints	Food intake constraints	Food group j $P_j^{10} \leq \sum_{j=1}^{j=7} X_j^{opt} \leq P_j^{90}$
		Food subgroup i $\sum_{i=1}^{i=24} X_i^{opt} \leq P_i^{90}$
		Energy $\sum_{i=1}^{i=24} X_i^{opt} \times \frac{E_i}{100} = DRI_{s_E}$
	Energy/nutrient constraints	Carbohydrate $E_i \times \frac{55}{100} \leq \sum_{i=1}^{i=24} X_i^{opt} \times \frac{B_{ic}}{100} \times 4 \leq E_i \times \frac{65}{100}$
		Protein $E_i \times \frac{7}{100} \leq \sum_{i=1}^{i=24} X_i^{opt} \times \frac{B_{ip}}{100} \times 4 \leq E_i \times \frac{20}{100}$
		Fat $E_i \times \frac{15}{100} \leq \sum_{i=1}^{i=24} X_i^{opt} \times \frac{B_{if}}{100} \times 9 \leq E_i \times \frac{30}{100}$
		Nutrient k $\sum_{i=1}^{i=24} X_i^{opt} \times \frac{B_{ik}}{100} \leq DRI_{s_k}$
	Deviational variable constraints	Non-negative constraints $P_i \geq 0, N_i \geq 0$
		Structural constraints $P_i - N_i = (X_i^{opt} - X_i^{obs}) / X_i^{obs}$

X_i^{opt} : Optimized intake of food subgroup i
 P_i : Positive deviation of food subgroup i
 N_i : Negative deviation of food subgroup i
 j : Food group 1 ~ 7
 (1: Grains, 2: Meat, fish, eggs, and legumes, 3: Vegetables, seaweed, mushrooms, and starchy vegetables, 4: Pickled vegetables, 5: Fruits, 6: Milk and dairy products, 7: Others)
 P_j^{10} : 10th percentile of the observed distribution in the food group j
 P_j^{90} : 90th percentile of the observed distribution in the food group j
 i : Food subgroup 1 ~ 24
 (1: Rice, 2: Noodles, 3: Bread, 4: Rice cake, 5: Meat, 6: Seafood, 7: Eggs, 8: Legumes, 9: Vegetables, 10: Seaweed, 11: Mushrooms, 12: Starchy vegetables, 13: Kimchi, 14: Jangajji, 15: Fruits, 16: Milk and dairy products, 17: Fats and oils, 18: Sugar, 19: Rice cake, bread, and confectionary, 20: Alcoholic beverages, 21: Non-alcoholic beverages, 22: Seasonings including salt, 23: Nuts and seeds, 24: Other starchy products)
 P_i^{90} : 90th percentile of the observed distribution in the food subgroup i
 E_i : Amount of energy in 100 g of the food subgroup i
 B_{ic} : Amount of carbohydrate in 100 g of the food subgroup i
 B_{ip} : Amount of protein in 100 g of the food subgroup i
 B_{if} : Amount of fat in 100 g of the food subgroup i
 k : Nutrient 1 ~ 11
 (1: Protein, 2: Vitamin A, 3: Vitamin C, 4: Thiamin, 5: Riboflavin, 6: Niacin, 7: Calcium, 8: Phosphorus, 9: Sodium, 10: Potassium, 11: Iron)
 B_{ik} : Amount of the nutrient k in 100 g of the food subgroup i
 X_i^{obs} : Observed intake of food subgroup i

지도록 설정하였다. 선행연구¹⁰를 참고하여 일곱 개 식품군에 대해서는 하한 기준을 10th 백분위수로, 상한 기준을 90th 백분위수로 각각 설정하였다. 또한 24개의 식품품목에 대해서는 각 식품품목 중 섭취하지 않는 식품품목도 있기 때문에 하한 기준은 설정하지 않고 상한 기준 (90th 백분위수)만을 제약조건으로 설정하였다. 설정한 식품군과 식품품목의 제약조건을 남녀 각각 Table 4와 Table 5에 제시하였다. 빵류 혹은 떡류 (떡국, 떡만둣국으로 섭취하는 가래떡)의 상한 기준으로 설정한 90th 백분위수가 0 g으로 제시된 것은 섭취량이 적은 사람부터 정렬하였을 때 90th 백분위수에 해당하는 값이 0 g이라는 것을 의미한다. 즉,

빵류와 떡류의 섭취량 분포를 보았을 때 빵류에서는 19 ~ 29세를 제외한 남성과 50세 이상의 여성 집단, 떡류에서는 성 및 연령별 여덟 집단 모두에서 90% 이상이 전혀 섭취하지 않는 것으로 나타났다.

에너지와 영양소의 제약조건으로 성 및 연령별 여덟 집단 각각에 대해서 2015 한국인 영양소 섭취기준¹³에 제시된 에너지와 13개 영양소 (탄수화물, 단백질, 지방, 비타민 A, 비타민 C, 티아민, 리보플라빈, 나이아신, 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨, 철)의 섭취기준을 설정하였다. 에너지에 대해서는 에너지필요추정량과 동일한 값을 제약조건으로 설정하였다. 탄수화물, 단백질, 지방에 대해서는 에너지적정비

Table 4. Food intake constraints applied to the linear programming models for Korean male adults

Food group	Food subgroup	19-29 years (n = 1,212)		30-49 years (n = 3,914)		50-64 years (n = 3,126)		Over 65 years (n = 3,093)	
		10 th	90 th	10 th	90 th	10 th	90 th	10 th	90 th
Grains		112	437	137	459	157	463	154	463
	Rice	-	366	-	379	-	404	-	412
	Noodles	-	155	-	167	-	132	-	120
	Bread	-	24	-	0	-	0	-	0
	Rice cake ¹⁾	-	0	-	0	-	0	-	0
Meat, fish, eggs, and legumes		62	574	72	562	41	480	12	393
	Meat	-	435	-	341	-	244	-	187
	Seafood	-	172	-	217	-	230	-	175
	Eggs	-	100	-	99	-	65	-	53
	Legumes	-	72	-	95	-	95	-	91
Vegetables, seaweed, mushrooms, and starchy vegetables		36	472	74	536	69	607	38	561
	Vegetables	-	386	-	434	-	477	-	433
	Seaweed	-	10	-	13	-	17	-	11
	Mushrooms	-	15	-	17	-	12	-	4
	Starchy vegetables	-	94	-	106	-	116	-	115
Pickled vegetables		5	243	26	305	24	343	10	329
	Kimchi	-	227	-	295	-	328	-	325
	Jangajji	-	37	-	32	-	22	-	17
Fruits	Fruits	-	305	-	451	-	513	-	419
Milk and dairy products	Milk and dairy products	-	364	-	265	-	212	-	208
Others		49	1,300	68	1,334	52	1,103	29	702
	Fats and oils	-	25	-	21	-	15	-	10
	Sugar	-	26	-	29	-	25	-	18
	Rice cake, bread, and confectionary	-	113	-	138	-	140	-	131
	Alcoholic beverages	-	718	-	845	-	720	-	353
	Non-alcoholic beverages	-	680	-	608	-	379	-	263
	Seasonings including salt	-	89	-	97	-	87	-	71
	Nuts and seeds	-	7	-	9	-	14	-	10
	Other starchy products	-	41	-	29	-	16	-	5

Data were analyzed using complex sample module.

10th: 10th percentile of the observed distribution in the food group or food subgroup obtained by analyzing the data of a one day 24-hour dietary recall from the 2010-2014 Korea National Health and Nutrition Survey

90th: 90th percentile of the observed distribution in the food group or food subgroup obtained by analyzing the data of a one day 24-hour dietary recall from the 2010-2014 Korea National Health and Nutrition Survey

Hyphens (-) in the table mean that constraints were not set.

1) Including 'Galaetteok' eaten as 'Sliced rice cake soup' and 'Rice cake and mandu soup'

을 (탄수화물: 55 ~ 65%, 단백질: 7 ~ 20%, 지방: 15 ~ 30%)을 제약조건으로 설정하였다. 13개 영양소 중 권장섭취량이 설정된 영양소 (단백질, 비타민 A, 비타민 C, 티아민, 리보플라빈, 나이아신, 칼슘, 인, 철)에 대해서는 권장섭취량을, 충분섭취량이 설정된 영양소 (칼륨)에 대해서는 충분섭취량의 값을 하한 기준으로 설정하였다. 목표섭취량이 설정된 영양소 (나트륨)에 대해서는 목표섭취량의 값을 상한 기준으로 하였고 상한섭취량이 설정된 영양소 (비타

민 A, 비타민 C, 나이아신, 칼슘, 인, 철)에 대해서는 상한섭취량의 값을 상한 기준으로 설정하였다. 2010 한국인 영양섭취기준²¹에서는 레티놀당량 (Retinol Equivalents, RE)을 사용하였으나, 2015 한국인 영양소 섭취기준¹³에서는 레티놀활성당량 (Retinol Activity Equivalents, RAE)을 사용하였다. 그러나 본 연구에서 이용한 국민건강영양조사 자료에서는 비타민 A의 단위로 레티놀당량 (RE)을 사용하고 있기 때문에 비타민 A의 제약조건 설정에는 2010 한

Table 5. Food intake constraints applied to the linear programming models for Korean female adults

Food group	Food subgroup	19-29 years (n = 1,367)		30-49 years (n = 4,413)		50-64 years (n = 3,663)		Over 65 years (n = 3,353)	
		10 th	90 th	10 th	90 th	10 th	90 th	10 th	90 th
Grains		60	334	85	353	99	367	119	391
	Rice	-	250	-	289	-	326	-	364
	Noodles	-	124	-	120	-	107	-	58
	Bread	-	40	-	26	-	0	-	0
	Rice cake ¹⁾	-	0	-	0	-	0	-	0
Meat, fish, eggs, and legumes		39	404	36	386	20	341	2	268
	Meat	-	277	-	211	-	163	-	100
	Seafood	-	141	-	157	-	152	-	126
	Eggs	-	74	-	74	-	54	-	29
	Legumes	-	47	-	76	-	77	-	61
Vegetables, seaweed, mushrooms, and starchy vegetables		31	396	51	513	53	581	28	475
	Vegetables	-	300	-	396	-	427	-	357
	Seaweed	-	8	-	15	-	15	-	9
	Mushrooms	-	12	-	18	-	10	-	2
	Starchy vegetables	-	99	-	125	-	170	-	125
Pickled vegetables		0	155	12	231	12	252	0	248
	Kimchi	-	145	-	219	-	240	-	242
	Jangajji	-	38	-	29	-	21	-	14
Fruits	Fruits	-	361	-	510	-	653	-	398
Milk and dairy products	Milk and dairy products	-	312	-	283	-	250	-	208
Others		45	1,053	40	788	29	601	16	400
	Fats and oils	-	18	-	14	-	12	-	7
	Sugar	-	21	-	19	-	16	-	11
	Rice cake, bread, and confectionary	-	116	-	136	-	156	-	144
	Alcoholic beverages	-	338	-	270	-	56	-	0
	Non-alcoholic beverages	-	653	-	451	-	347	-	218
	Seasonings including salt	-	68	-	71	-	66	-	53
	Nuts and seeds	-	5	-	8	-	14	-	5
	Other starchy products	-	30	-	23	-	14	-	5

Data were analyzed using complex sample module.

10th: 10th percentile of the observed distribution in the food group or food subgroup obtained by analyzing the data of a one day 24-hour dietary recall from the 2010-2014 Korea National Health and Nutrition Survey

90th: 90th percentile of the observed distribution in the food group or food subgroup obtained by analyzing the data of a one day 24-hour dietary recall from the 2010-2014 Korea National Health and Nutrition Survey

Hyphens (-) in the table mean that constraints were not set.

1) Including 'Galaetteok' eaten as 'Sliced rice cake soup' and 'Rice cake and mandu soup'

국인 영양섭취기준²¹에 따랐다.

마지막으로 편차변수에 관한 제약조건으로 편차변수가 0 이상의 값을 가지도록 음수가 될 수 없음을 요구하는 비음수 조건식과 구조적 제약조건식을 설정하였다.

한국 성인의 최적 식품섭취패턴 산출

설정한 선형계획 모형의 해, 즉 24개 식품품목에 대한 최적섭취량을 여덟 집단별로 산출하였다. 이러한 해의 산

출에는 Microsoft EXCEL SOLVER 프로그램 (Frontline System Inc., NV, USA)을 이용하였다.

한국 성인의 최적 식품섭취패턴에 따른 에너지 및 영양소 함량 산출

산출된 최적 식품섭취패턴에 따른 에너지 및 영양소 함량을 식품품목별 영양성분 프로파일을 이용하여 산출하였다. 즉, 식품품목별 최적섭취량에 식품품목별 영양성분 프

로파일 (식품품목별 100 g 당 에너지 및 13개 영양소의 함량)을 곱하여 100으로 나눈 값을 합산하여 산출하였다.

결 과

한국 성인의 최적 식품섭취패턴

최적 식품섭취패턴으로 24개 식품품목별 최적섭취량이 성 및 연령별 여덟 집단 각각에 대해 산출되었다. 식품품목별 최적섭취량을 실제섭취량과 비교한 결과를 남녀 각각 Table 6과 Table 7에 제시하였다.

식품품목별 실제섭취량에 대해 살펴보면, 곡류군 중에서 밥류의 섭취량은 연령대가 높을수록 증가하는 경향이 보였으나, 면류, 빵류에서는 연령대가 높을수록 섭취량이 감소하는 경향이 남녀 모두에서 확인되었다. 육류, 난류, 우유·유제품류에 있어서는 연령대가 높을수록 섭취량이 감소하는 경향이 보였다. 어패류, 채소류, 해조류에서는 남녀 모두에서 19~29세와 65세 이상의 섭취량이 30~64

세에 비해 낮았다. 또한 남녀 각각 50~64세에서 채소류, 과일류, 김치의 섭취량이 가장 높게 나타났고, 19~29세에서 난류와 장아찌의 섭취량이 다른 연령대에 비해 가장 높았다. 특히 김치는 19~29세 여성을 제외한 모든 연령대에서 하루에 평균 100 g 안팎으로 섭취하고 있었다.

선형계획법을 이용해서 산출된 식품품목별 최적섭취량과 실제섭취량을 비교한 결과, 모든 집단에서 공통적으로 채소류, 50~64세 남성을 제외한 집단에서 우유·유제품류의 최적섭취량이 실제섭취량보다 높게 나타났다. 특히 채소류의 최적섭취량은 제약조건으로 설정한 90th 백분위수와 동일한 값으로 산출되었다. 50~64세를 제외한 모든 여성 집단에서는 채소류와 우유·유제품류 이외에 과일류의 최적섭취량도 높게 나타났다. 한편, 모든 남성 집단과 19~29세를 제외한 여성 집단에서 김치의 최적섭취량이 실제섭취량보다 낮게 나타났고 조미료에 대해서는 모든 집단에서 공통적으로 최적섭취량이 0 g으로 산출되었다. 연령대별로 살펴보면, 19~29세의 젊은 연령대에서는

Table 6. Comparison of food subgroup amounts between observed and optimized food intake patterns among Korean male adults

Food group	Food subgroup	19-29 years		30-49 years		50-64 years		Over 65 years	
		Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)
Grains	Rice	201.36	234.15	229.38	188.21	257.65	188.20	267.84	163.23
	Noodles	53.87	49.00	50.52	49.41	36.81	36.81	28.78	28.78
	Bread	10.65	10.65	7.34	0.00	4.56	0.00	2.87	0.00
	Rice cake ²⁾	2.59	0.00	2.48	0.00	3.51	0.00	2.38	0.00
Meat, fish, eggs, and legumes	Meat	164.59	183.61	135.44	135.44	91.74	93.91	68.23	172.28
	Seafood	62.81	62.81	82.24	110.26	84.69	201.16	62.25	169.86
	Eggs	36.68	36.68	34.14	34.14	22.20	22.20	13.35	18.59
	Legumes	27.33	27.33	34.26	34.26	35.09	35.09	32.29	32.29
Vegetables, seaweed, mushrooms, and starchy vegetables	Vegetables	184.92	386.16	224.74	434.43	244.03	476.64	207.86	433.06
	Seaweed	8.86	8.86	9.35	9.35	11.82	11.82	8.36	8.36
	Mushrooms	6.15	6.15	6.12	6.12	4.44	4.44	3.51	3.51
	Starchy vegetables	30.17	30.17	40.68	40.68	43.18	43.18	38.68	38.68
Pickled vegetables	Kimchi	100.36	6.77	143.58	15.94	151.25	30.19	138.78	55.38
	Jangajji	11.63	11.63	10.22	10.22	7.49	7.49	5.51	5.51
Fruits	Fruits	98.70	98.70	153.87	153.87	176.92	176.92	147.46	147.46
Milk and dairy products	Milk and dairy products	113.39	364.00	76.98	265.00	57.82	57.82	49.11	145.67
Others	Fats and oils	10.15	10.15	8.78	8.78	5.76	5.76	3.47	3.47
	Sugar	8.64	8.64	10.57	10.57	9.07	9.07	6.22	6.22
	Rice cake, bread, and confectionary	42.24	42.24	44.63	44.63	44.36	44.36	40.95	40.95
	Alcoholic beverages	181.91	181.91	250.89	250.89	232.06	232.06	109.86	109.86
	Non-alcoholic beverages	257.57	257.57	213.32	213.32	127.31	127.31	86.90	86.90
	Seasonings including salt	41.18	0.00	47.42	0.00	43.16	0.00	33.60	0.00
	Nuts and seeds	3.01	3.01	4.38	4.38	6.03	6.03	4.55	4.55
	Other starchy products	12.85	12.85	9.14	9.14	6.48	6.48	3.39	3.39

1) Data were analyzed using complex sample module. 2) Including 'Galaetteok' eaten as 'Sliced rice cake soup' and 'Rice cake and mandu soup'

Table 7. Comparison of food subgroup amounts between observed and optimized food intake patterns among Korean female adults

Food group	Food subgroup	19-29 years		30-49 years		50-64 years		Over 65 years	
		Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)
Grains	Rice	129.47	154.14	166.19	169.29	194.60	161.68	225.51	128.80
	Noodles	40.42	14.90	35.41	35.41	25.77	25.77	16.79	16.79
	Bread	12.44	12.44	8.09	8.09	5.26	0.00	1.52	0.00
	Rice cake ²⁾	3.02	0.00	2.55	0.00	2.13	0.00	1.94	0.00
Meat, fish, eggs, and legumes	Meat	110.63	192.15	81.80	83.75	56.95	56.95	39.95	100.00
	Seafood	48.71	49.65	58.86	58.86	55.27	132.27	44.00	125.71
	Eggs	26.50	26.50	25.41	25.41	17.06	17.06	8.31	8.31
	Legumes	17.60	17.60	26.41	26.41	28.26	28.26	22.98	33.57
Vegetables, seaweed, mushrooms, and starchy vegetables	Vegetables	149.45	300.32	195.64	396.28	207.91	427.03	163.13	357.02
	Seaweed	7.09	7.09	11.27	11.27	11.08	11.08	8.20	8.20
	Mushrooms	5.36	5.36	6.32	6.32	5.00	5.00	2.84	2.26
	Starchy vegetables	31.66	31.66	42.38	42.38	53.80	53.80	41.79	41.79
Pickled vegetables	Kimchi	59.60	59.60	99.73	56.30	106.13	61.74	97.44	85.80
	Jangajji	10.86	10.86	8.23	8.23	6.44	6.44	5.03	5.03
Fruits	Fruits	118.34	361.40	196.22	301.10	263.53	263.53	141.37	353.47
Milk and dairy products	Milk and dairy products	98.57	312.00	85.27	240.42	79.08	195.68	45.93	191.89
Others	Fats and oils	7.67	7.67	5.97	5.97	4.66	4.66	2.57	2.57
	Sugar	7.19	7.19	6.52	6.52	5.85	5.85	3.81	3.81
	Rice cake, bread, and confectionary	40.20	40.20	43.32	43.32	51.83	51.83	45.83	45.83
	Alcoholic beverages	92.22	92.22	76.86	76.86	38.87	38.87	11.10	0.00
	Non-alcoholic beverages	248.33	248.33	160.67	160.67	110.06	110.06	71.30	75.67
	Seasonings including salt	31.40	0.00	33.91	0.00	31.41	0.00	24.23	0.00
	Nuts and seeds	2.68	2.68	3.82	3.82	5.67	5.67	3.06	3.06
	Other starchy products	10.65	10.65	7.41	7.41	5.33	5.33	3.51	3.51

1) Data were analyzed using complex sample module. 2) Including 'Galaetteok' eaten as 'Sliced rice cake soup' and 'Rice cake and mandu soup'

남녀 모두에서 밥류의 최적섭취량이 실제섭취량에 비해 높게 나타났다. 30세 이상의 남성과 50세 이상의 여성에서는 빵류의 최적섭취량은 0 g으로 산출되었고 떡류에 대해서는 모든 연령대에서 최적섭취량이 0 g으로 산출되었다. 또한 연령대가 높을수록 고기·생선·달걀·콩류군에 해당되는 육류, 어패류 등의 식품품목의 최적섭취량이 실제섭취량보다 높게 나타났다.

한국 성인의 최적 식품섭취패턴에 따른 에너지 및 영양소 함량

현재의 식품섭취패턴에 따라 산출된 에너지 및 영양소 함량과 선형계획법을 이용해서 산출된 최적 식품섭취패턴에 따른 에너지 및 영양소 함량을 선형계획법의 제약조건으로 설정한 에너지 및 영양소의 값과 비교한 결과를 남녀 각각 Table 8과 Table 9에 제시하였다. 현재의 식품섭취패턴, 즉 식품품목별 실제섭취량에 따라 산출된 에너지 및 영양소 함량과 제약조건으로 설정한 에너지 및 영양소의

값을 비교하였을 때 제약조건을 충족하지 못했던 에너지 및 영양소의 수는 65세 이상의 남녀에서 아홉 개로 가장 많았고, 19~29세의 여성에서는 여덟 개로 나타났다. 30~49세 남녀에서는 네 개로 나타나 다른 집단에 비해 제약조건을 충족하지 못했던 에너지 및 영양소의 수가 가장 적었다.

모든 집단에서 식품품목별 실제섭취량에 따라 산출한 칼슘 및 칼륨의 함량은 제약조건으로 설정한 값보다 낮은 반면에 식품품목별 실제섭취량에 따라 산출한 나트륨의 함량은 제약조건으로 설정한 값보다 높았다. 남성에서는 19~29세를 제외한 연령대에서 식품품목별 실제섭취량에 따라 산출한 에너지는 제약조건으로 설정한 값, 즉 필요추정량보다 높게 나타난 반면, 모든 여성에서는 필요추정량보다 낮게 나타났다.

65세 이상의 남녀에서 식품품목별 실제섭취량에 따라 산출한 탄수화물의 에너지비율이 제약조건으로 설정한 상

Table 8. Comparison of nutrient contents between observed and optimized food intake patterns among Korean male adults

Energy/Nutrient	19-29 years				30-49 years				50-64 years				Over 65 years			
	Observed nutrient contents	Optimized nutrient contents	Energy/Nutrient constraints		Observed nutrient contents	Optimized nutrient contents	Energy/Nutrient constraints		Observed nutrient contents	Optimized nutrient contents	Energy/Nutrient constraints		Observed nutrient contents	Optimized nutrient contents	Energy/Nutrient constraints	
			lower limit	Upper limit			lower limit	Upper limit			lower limit	Upper limit			lower limit	Upper limit
Energy (kcal/day)	2,313	2,600	2,600		2,449	2,400	2,400		2,348	2,200	2,200		2,020	2,000	2,000	
Carbohydrate (% energy)	56	57	55	65	59	56	55	65	62	56	55	65	69	55	55	65
Protein (% energy)	15	16	7	20	15	16	7	20	14	18	7	20	13	20	7	20
Fat (% energy)	23	23	15	30	20	22	15	30	16	18	15	30	14	21	15	30
Protein (g/day)	89	101	65	-	90	95	60	-	83	100	60	-	67	100	55	-
Vitamin A (μg RE/day) ¹⁾	820	1,025	750	3,000	927	1,080	750	3,000	891	1,047	700	3,000	695	943	700	3,000
Vitamin C (mg/day)	85	106	100	2,000	106	121	100	2,000	110	127	100	2,000	93	118	100	2,000
Thiamin (mg/day)	1.9	2.1	1.2	-	2.0	2.0	1.2	-	1.9	1.8	1.2	-	1.6	1.9	1.2	-
Riboflavin (mg/day)	1.5	1.9	1.5	-	1.5	1.8	1.5	-	1.4	1.5	1.5	-	1.1	1.5	1.5	-
Niacin (mg NE/day)	20	21	16	35	21	21	16	35	19	23	16	35	16	23	16	35
Calcium (mg/day)	529	800	800	2,500	584	800	800	2,500	582	750	750	2,000	498	817	700	2,000
Phosphorus (mg/day)	1,292	1,580	700	3,500	1,386	1,538	700	3,500	1,339	1,546	700	3,500	1,141	1,536	700	3,500
Sodium (mg/day)	4,897	2,000	-	2,000	5,792	2,000	-	2,000	5,430	2,000	-	2,000	4,411	2,000	-	2,000
Potassium (mg/day)	3,007	3,500	3,500	-	3,496	3,687	3,500	-	3,464	3,677	3,500	-	2,944	3,563	3,500	-
Iron (mg/day)	17	18	10	45	19	19	10	45	19	21	10	45	27	22	9	45

Hyphens (-) in the table mean that constraints were not set.

1) The unit used for vitamin A in the Dietary Reference Intakes for Koreans (KDRIs) was changed from μg retinol equivalents (μg RE) to μg retinol activity equivalents (μg RAE) in 2015. Therefore, we used the 2010 KDRIs for vitamin A.

Table 9. Comparison of nutrient contents between observed and optimized food intake patterns among Korean female adults

Energy/Nutrient	19-29 years				30-49 years				50-64 years				Over 65 years			
	Observed nutrient contents	Optimized nutrient contents	Energy/Nutrient constraints		Observed nutrient contents	Optimized nutrient contents	Energy/Nutrient constraints		Observed nutrient contents	Optimized nutrient contents	Energy/Nutrient constraints		Observed nutrient contents	Optimized nutrient contents	Energy/Nutrient constraints	
			lower limit	Upper limit			lower limit	Upper limit			lower limit	Upper limit			lower limit	Upper limit
Energy (kcal/day)	1,680	2,100	2,100		1,742	1,900	1,900		1,753	1,800	1,800		1,543	1,600	1,600	
Carbohydrate (% energy)	59	58	55	65	64	65	55	65	70	65	55	65	75	65	55	65
Protein (% energy)	15	17	7	20	15	15	7	20	14	18	7	20	13	19	7	20
Fat (% energy)	24	24	15	30	20	20	15	30	16	18	15	30	12	18	15	30
Protein (g/day)	63	87	55	-	65	71	50	-	62	79	50	-	49	75	45	-
Vitamin A (μg RE/day) ¹⁾	634	957	650	3,000	830	1,153	650	3,000	856	1,151	600	3,000	631	1,105	600	3,000
Vitamin C (mg/day)	80	159	100	2,000	106	155	100	2,000	123	152	100	2,000	81	157	100	2,000
Thiamin (mg/day)	1.3	1.9	1.1	-	1.5	1.7	1.1	-	1.4	1.6	1.1	-	1.2	1.5	1.1	-
Riboflavin (mg/day)	1.1	1.7	1.2	-	1.2	1.5	1.2	-	1.1	1.4	1.2	-	0.8	1.3	1.2	-
Niacin (mg NE/day)	14	19	14	35	15	16	14	35	15	18	14	35	12	17	14	35
Calcium (mg/day)	404	700	700	2,500	489	700	700	2,500	498	800	800	2,000	400	800	800	2,000
Phosphorus (mg/day)	938	1,349	700	3,500	1,052	1,243	700	3,500	1,063	1,373	700	3,500	869	1,273	700	3,500
Sodium (mg/day)	3,592	2,000	-	2,000	4,233	2,000	-	2,000	4,020	2,000	-	2,000	3,256	2,000	-	2,000
Potassium (mg/day)	2,326	3,500	3,500	-	2,855	3,500	3,500	-	3,029	3,617	3,500	-	2,332	3,500	3,500	-
Iron (mg/day)	12	16	14	45	15	17	14	45	16	20	8	45	19	21	8	45

Hyphens (-) in the table mean that constraints were not set.

1) The unit used for vitamin A in the Dietary Reference Intakes for Koreans (KDRIs) was changed from μg retinol equivalents (μg RE) to μg retinol activity equivalents (μg RAE) in 2015. Therefore, we used the 2010 KDRIs for vitamin A.

한 기준인 65%를 넘은 반면, 지방의 에너지비율은 제약조건으로 설정한 하한 기준인 15%에 못 미친 것으로 파악되었다. 50~64세, 65세 이상의 남녀와 19~29세의 여성에서 식품품목별 실제섭취량에 따라 산출한 리보플라빈 함량이 제약조건으로 설정한 값보다 낮았다. 19~29세와 65세 이상의 남녀에서 식품품목별 실제섭취량에 따라 산출한 비타민 C 함량이 제약조건으로 설정한 값보다 낮았다. 또한 식품품목별 실제섭취량에 따라 산출한 철 함량의 경우 특히 19~29세의 여성만이 제약조건에서 설정한 값보다 낮게 나타났다.

고 찰

식품품목별로 실제섭취량과 선형계획법을 이용해서 산출된 최적섭취량을 비교한 결과, 모든 집단에서 공통적으로 채소류의 최적섭취량이 실제섭취량보다 높게 나타났고 그 값이 제약조건의 상한 기준과 동일한 값으로 산출되었다. 30세 이상의 성인 남녀를 연령대별로 30~49세, 50~69세의 네 집단으로 분류하고 선형계획법을 이용하여 식품품목별로 최적섭취량을 산출한 일본의 연구⁶에서는 모든 대상자에서 녹황색채소, 그 이외의 채소의 최적섭취량이 실제섭취량보다 높게 나타났다. 또한 30~49세 남녀에서는 녹황색채소, 그 이외의 채소의 최적섭취량이 제약조건의 상한 기준과 동일한 값으로 산출되었고 현재보다 훨씬 섭취량을 늘릴 필요가 있는 것으로 나타났다. 일본의 연구에서는 본 연구에서와 달리 채소군을 녹황색채소, 그 이외의 채소, 서류, 버섯류, 해조류, 종실류의 여섯 개 식품품목으로 분류했기 때문에 섭취량 자체를 비교할 수는 없으나, 본 연구에서 채소류에 해당되는 녹황색채소와 그 이외의 채소의 최적섭취량이 실제섭취량보다 높게 산출되었다는 점에서 본 연구 결과와 유사한 결과라고 볼 수 있다.

선형계획법을 이용해서 산출된 우유·유제품류의 최적섭취량은 50~64세 남성을 제외한 모든 집단에서 실제섭취량보다 높게 나타났으나 50~64세 남성에서는 최적섭취량이 실제섭취량과 동일한 약 58 g으로 산출되어 다른 집단보다 낮았다. 우유·유제품류뿐만 아니라 어패류도 칼슘의 주된 공급원 중 하나인데, 본 연구에서 분석한 어패류의 실제섭취량과 섭취범위를 살펴보았을 때 50~64세 남성에서 어패류의 실제섭취량과 제약조건의 상한 기준으로 설정한 90th 백분위수가 다른 연령대에 비해 높게 산출된 것을 확인할 수가 있다 (Table 4, Table 6). 즉, 50~64세 남성에서는 어패류의 섭취량과 섭취범위가 다른 집단에 비해 높았고 선형계획법을 이용해서 최적섭취량 산출 시 제약조건으로 설정한 상한 기준이 높으면 그만큼

최적섭취량도 높게 설정될 수 있기 때문에 50~64세 남성에서는 칼슘을 어패류로 충족시키는 식품섭취패턴이 도출되었다고 설명할 수 있다.

본 연구는 다음과 같은 일본의 선행연구^{6,11}를 토대로 수행되었다. Okubo 등⁶은 일본의 세 군데 지역에 거주하는 30~69세 성인의 식이기록 자료를 분석하여 식품품목별 평균섭취량 및 섭취량 범위를 산출하고 일본의 영양섭취 기준을 충족하면서 현재 식품섭취패턴에 가까운 최적 식품섭취패턴을 선형계획법을 이용하여 설계하였다. 일본의 후생노동성에서 발표된 보고서¹¹에서는 대표성이 있는 국민건강영양조사의 식품섭취조사 자료가 식품섭취량 산출에 이용되었고 Okubo 등⁶의 방법과 동일한 방법으로 최적 식품섭취패턴이 설계되었다. 또한 이 최적 식품섭취패턴을 토대로 개발한 한 끼의 식사기준이 국가 가이드라인으로 제시되었다¹². 따라서 본 연구에서는 Okubo 등⁶의 방법을 이용하되 후생노동성과 같이 대표성이 있는 국민건강영양조사 자료를 이용하였다. 그 결과, 최적 식품섭취패턴은 설계되었으나 조미료의 최적섭취량이 0 g으로 산출되어 본 연구에서 설계한 최적 식품섭취패턴은 현실적으로 적용하기 어렵다고 볼 수가 있다.

그러나 일본의 연구에서는 모든 대상 집단에서 조미료의 섭취량이 실제섭취량보다 크게 줄여야 하는 것으로 나타나 본 연구 결과와 같이 실생활에서 실현 불가능한 0 g으로 산출되지는 않았다. 이러한 차이는 두 국가의 나트륨 목표섭취량의 차이에서 비롯된 것으로 해석된다. 한국의 나트륨 목표섭취량은 2,000 mg/일로 일본의 경우와 비해 현저히 낮다. 일본에서는 나트륨의 목표섭취량이 18세 이상의 남성에서는 하루에 식염상당량 8 g (나트륨으로 환산 시 약 3,150 mg) 미만, 18세 이상의 여성에서는 하루에 식염상당량 7 g (나트륨으로 환산 시 약 2,756 mg) 미만으로 설정되고 있다.²² 따라서 본 연구에서 일본의 선행연구와 동일한 방법으로 영양섭취기준과 식품섭취량 범위를 제약조건으로 설정하였음에도 불구하고 조미료의 최적섭취량이 0 g으로 산출되었다고 할 수가 있다.

일본에서는 식염상당량의 기준을 설정함에 있어서 World Health Organization (WHO)에서 권장된 식염상당량 5 g/일 (나트륨 2,000 mg/일) 미만²³으로는 일본인의 실제섭취량을 고려하였을 때 실현 가능성이 낮은 것으로 판단하여 WHO에서 제시된 기준과 실제섭취량 (중앙치)의 중간치에 가까운 값이 식염상당량의 기준으로 제시하였다.²² 따라서 일본에서는 나트륨 (식염상당량)의 기준 자체가 실제섭취량을 고려한 현실적인 기준으로 설정되어 있기 때문에 본 연구와 동일하게 영양섭취기준을 제약조건으로 선형계획법을 이용하여 식품품목별 최적섭취량을 산출한 결

과 조미료의 최적섭취량이 보다 높게 산출되었다고 본다.

미국에서는 나트륨의 섭취기준에 대한 타당성을 검토할 때 선형계획법이 이용된 바 있다. 미국의 2010 식사지침에서 나트륨의 섭취기준을 51세 이상인 사람, 여러 인종 중 아프리카계 미국인의 경우, 고혈압, 당뇨병, 신장병의 질병이 있는 사람에 대해서는 1,500 mg/일 미만의 섭취를 권장하고 있는데 이 나트륨 섭취기준의 실현 가능성에 대해 나트륨의 제약조건을 서서히 낮추면서 최적 식품섭취패턴의 변화에 대해 관찰하였다. 그 결과 나트륨의 제약조건을 1,500 mg/일 미만으로 설정했을 때 식품품목별 최적섭취량이 산출되지 않았으므로 1,500 mg/일이라는 나트륨의 섭취기준은 현실적으로 실현할 수 없는 기준인 것으로 보고하였다.⁹

한국에서는 나트륨의 목표섭취량을 WHO에서 권장된 2,000 mg/일 미만으로 설정하고 있다.¹³ 실제로 권장식사패턴에서는 나트륨의 주공급원인 양념의 사용량에 대해서는 구체적인 기준이 제시되지 않았고, 식단계획 시에 김치, 장아찌류, 가공식품 등의 메뉴 선택을 줄이고, 소금, 간장, 된장, 고추장 등의 사용을 최소화하며, 국물의 섭취를 제한하는 것을 권고하고 있다.¹³ 이렇듯 한국인 영양소 섭취기준에서 제시된 나트륨의 목표섭취량은 현실적으로 실현하기 매우 어려운 기준이라고 사료된다. 향후 한국에서도 나트륨의 목표섭취량 설정 시 실제섭취량을 고려한 보다 현실적인 기준이 마련되어야 한다. 또한 이러한 기준을 설정하는 과학적인 근거로 나트륨의 제약조건 변화에 따른 최적 식품섭취패턴을 선형계획법을 이용하여 설계하고 현실성이 있는 식품섭취패턴을 제시할 필요가 있다.

본 연구에서는 선형계획법을 이용하여 영양섭취기준을 충족하면서 대상 집단의 현재 식품섭취패턴에 가까운 24개 식품품목별 최적섭취량으로 최적 식품섭취패턴을 설계하였다. 이 최적 식품섭취패턴을 토대로 식사를 계획하면 대상 집단의 현재 식품섭취패턴을 크게 바꾸지 않아도 영양섭취기준에 맞는 식사를 구성할 수 있다는 점에서 한국인 영양소 섭취기준에서 제시된 식사구성안¹³과 비교하였을 때 가치가 있다고 할 수 있다. 또한 한국인 영양소 섭취기준에서 제시된 식사구성안은 개인의 식사계획 시 이용할 수 있으나¹³ 본 연구에서 선형계획법을 이용하여 설계한 식품섭취패턴에는 영양섭취기준을 충족할 수 있는 식품품목별 중량이 제시되기 때문에 산업체에서 도시락 등을 개발할 때 효율적으로 활용할 수 있으리라 사료된다.

본 연구에서는 만 19세 이상의 한국 성인의 식품섭취량 산출에 국민건강영양조사 식품섭취조사 중 1일의 24시간 회상법 원시자료를 이용하였고 정확한 식품섭취량을 산출하기 위해서는 최소 2일 이상 조사한 24시간 회상법 원시

자료를 이용하는 것이 바람직하므로 이러한 한계점에 대해 고려해야 한다. 또한 2015 한국인 영양소 섭취기준¹³에 식이섬유의 충분섭취량이 제시되어 있으나 본 연구에서 분석에 이용한 국민건강영양조사 식품섭취조사 자료에는 식이섬유의 데이터베이스가 없으므로²⁴ 본 연구에서는 제약조건으로 식이섬유에 관한 기준을 포함하지 않았다. 식이섬유는 비만, 당뇨병, 심혈관계 질환 등의 만성질환 예방에 효과가 있는 것으로 보고되고 있어²⁵ 현대인의 식생활에서 식이섬유 섭취의 중요성이 강조되고 있다. 따라서 향후 식이섬유의 데이터베이스가 구축되면 선형계획법의 제약조건으로 식이섬유의 섭취기준을 포함시켜 식품섭취패턴을 설계할 수 있을 것이다. 그럼에도 본 연구 결과는 현재의 식품섭취패턴에서 크게 벗어나지 않으면서 영양섭취기준을 충족하는 한국 성인의 최적 식품섭취패턴을 선형계획법을 이용해서 수학적으로 산출하였고 경영학 분야에서 이용되는 선형계획법을 한국에서 처음으로 영양학 분야에 이용하였다는 점에서 의의가 있다.

요 약

본 연구는 선형계획법을 이용하여 현재의 식품섭취패턴에서 크게 벗어나지 않으면서 영양섭취기준을 충족하는 한국 성인의 최적 식품섭취패턴을 설계하였고, 주요 결과는 다음과 같다. 식품품목별 실제섭취량과 최적섭취량을 비교하였을 때 실제섭취량보다 최적섭취량이 높게 나타나 영양섭취기준을 충족하기 위해서 현재보다 섭취량을 더 늘릴 필요가 있는 식품품목으로 모든 집단에서 공통적으로 채소류, 50~64세 남성을 제외한 집단에서 우유·유제품류인 것으로 나타났다. 50~64세를 제외한 여성에서는 채소류, 우유·유제품류 이외에도 과일류도 섭취량을 더 높여야 하는 식품품목으로 나타났다. 모든 남성 집단과 19~29세를 제외한 여성 집단에서 김치의 최적섭취량이 실제섭취량보다 낮게 나타나 김치는 덜 섭취해야 하는 식품품목인 것으로 파악되었다. 또한 조미료에 대해서는 모든 집단에서 공통적으로 최적섭취량이 0 g으로 산출되었다. 이에 선형계획법을 이용해서 설계한 최적 식품섭취패턴에서 조미료의 최적섭취량이 실생활에서 실현 불가능한 0 g으로 산출되었기 때문에 설계한 최적 식품섭취패턴의 실현성을 높이기 위해서는 나트륨의 목표섭취량을 실제섭취량이 고려된 보다 현실적인 기준으로 재설정할 필요가 있다.

References

1. Institute of Medicine (US). Dietary reference intakes: applications

- in dietary assessment. Washington, D.C.: National Academy Press; 2000.
2. Briend A, Darmon N, Ferguson E, Erhardt JG. Linear programming: a mathematical tool for analyzing and optimizing children's diets during the complementary feeding period. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2003; 36(1): 12-22.
 3. Soden PM, Fletcher LR. Modifying diets to satisfy nutritional requirements using linear programming. *Br J Nutr* 1992; 68(3): 565-572.
 4. Ragsdale C. Managerial decision modeling. 6th edition. Mason (OH): South-Western; 2011.
 5. Mailliot M, Vieux F, Amiot MJ, Darmon N. Individual diet modeling translates nutrient recommendations into realistic and individual-specific food choices. *Am J Clin Nutr* 2010; 91(2): 421-430.
 6. Okubo H, Sasaki S, Murakami K, Yokoyama T, Hirota N, Notsu A, Fukui M, Date C. Designing optimal food intake patterns to achieve nutritional goals for Japanese adults through the use of linear programming optimization models. *Nutr J* 2015; 14: 57.
 7. Buttriss JL. The eatwell guide refreshed. *Nutr Bull* 2016; 41(2): 135-141.
 8. World Health Organization, Regional Office for Europe. Linear programming to build food-based dietary guidelines: Romanian food baskets. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe; 2016.
 9. Mailliot M, Drewnowski A. A conflict between nutritionally adequate diets and meeting the 2010 dietary guidelines for sodium. *Am J Prev Med* 2012; 42(2): 174-179.
 10. Mailliot M, Drewnowski A. Energy allowances for solid fats and added sugars in nutritionally adequate U.S. diets estimated at 17-33% by a linear programming model. *J Nutr* 2011; 141(2): 333-340.
 11. Ministry of Health, Labour and Welfare (JP). Report of the investigative commission about the way of 'healthy meal patterns' for supporting longevity of Japanese. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare; 2014.
 12. Ministry of Health, Labour and Welfare (JP). About popularization of 'healthy meal patterns' for supporting longevity of Japanese. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare; 2015.
 13. Ministry of Health and Welfare (KR); The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans 2015. Sejong: Ministry of Health and Welfare; 2016.
 14. Hur IY, Moon HK. A study on the menu patterns of residents in Kangbukgu (I): whole menu patterns and menu patterns by meal. *Korean J Community Nutr* 2001; 6(4): 686-702.
 15. Hur IY, Moon HK. A study on the menu patterns of residents in Kangbukgu (II): compared by the sex, age and health risk. *Korean J Community Nutr* 2001; 6(5): 809-818.
 16. Kim CH, Lee JH. The study on the consumers' perception and purchasing behavior of rice cake as a meal. *Korean J Culinary Res* 2007; 13(2): 59-68.
 17. Lee HY, Kim Y. Revision and application of the target pattern in food guidance system: administered to 2nd grade middle school students. *Korean J Community Nutr* 2014; 19(3): 274-282.
 18. Moon HK, Chung HR, Cho EY. Analysis of menu patterns from the Korean National Nutrition Survey in 1990. *Korean J Diet Cult* 1994; 9(3): 241-250.
 19. Marcoe K, Juan W, Yamini S, Carlson A, Britten P. Development of food group composites and nutrient profiles for the MyPyramid Food Guidance System. *J Nutr Educ Behav* 2006; 38(6 Suppl): S93-S107.
 20. Anderson AM, Earle MD. Diet planning in the third world by linear and goal programming. *J Oper Res Soc* 1983; 34(1): 9-16.
 21. The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans. 1st revision. Seoul: The Korean Nutrition Society; 2010.
 22. Ministry of Health, Labour and Welfare (JP). Report of the investigative commission for 'Dietary Reference Intakes for Japanese (2015)'. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare; 2015.
 23. World Health Organization. Guideline: sodium intake for adults and children. Geneva: World Health Organization; 2012.
 24. Yeon S, Oh K, Kweon S, Hyun T. Development of a dietary fiber composition table and intakes of dietary fiber in Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). *Korean J Community Nutr* 2016; 21(3): 293-300.
 25. Slavin JL. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. *J Am Diet Assoc* 2008; 108(10): 1716-1731.