

## 감마선 조사가 췌 전분의 이화학적 특성에 미치는 영향

금 헤레나 · 장규섭 · 정현교 · 양재승\* · 장영일\*\*

충남대학교 식품공학과

\*한국원자력연구소 조사식품의 검지기 기술 개발실

\*\* (주)밀다원

### Effects of Gamma Irradiation on Physicochemical Properties of Arrowroot Starch

Herena Kuhm, Kyu-Seob Chang, Hyun-Kyo Jeoung, Jae-Seung Yang\* and Young Il Jang\*\*

Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

\*Detection of Irradiated Food Lab., Korea Atomic Energy Research Institute

\*\*Mildawon Corporation

#### Abstract

The effects of gamma irradiation on arrowroot starch were studied by considering the physicochemical properties such as amylose contents, solubility, swelling power, scanning electron microscope, and X-ray diffractogram. The arrowroot starch was irradiated by gamma-irradiation with 0, 5, 10, 20 and 30 kGy level. Amylose contents and solubilities increased but swelling power decreased with increase of irradiation dose. SEM showed that polygon type of particle happened to be spherical type with increase of irradiation dose. X-ray diffractometry indicated that the gamma irradiated arrowroot starch belongs to type C, and the relative crystallinity increased slightly with increase of irradiation dose. Isotherm curve for the gamma irradiated arrowroot starch showed the sigmoidal type. In the range of relative humidity between 10~70%, the sorption amount increased with increase of irradiation dose while desorption amount did not change significantly. The hysteresis decreased.

Key words: arrowroot starch, gamma irradiation, physicochemical properties

## 서 론

췌(*Pueraria thunbergiana* B.)은 식물분류학상으로 콩과에 속하는 다년생 덩굴식물로서 동부아시아, 남아메리카, 멕시코 및 미국의 일부에서 야생하는 등 온대 및 열대 지방에 광범위하게 분포되어 있으며 (Suzuki, 1982), 특히 우리나라에서는 전지역적으로 산야에 분포되어 있다(김관, 1984). 식품산업의 다양화와 국제화시대를 맞아 산야 등에 집약적인 분포상태로 방치되어 있는 천연의 전분 자원의 하나인 췌를 이용한 고부가가치제품을 생산하기 위해서

는 신제품개발, 효율적 제조공정, 위생적 제품생산, 안전한 저장기술 등이 확보되어야 하는데, 이러한 기술개발의 전제조건으로 췌 전분의 이화학적 성질과 물성에 대한 연구가 선행되어야 하고 식품가공 및 저장을 위한 효율적인 방법이 전제되어야 한다. 식품가공 및 저장을 위한 기술로는 가열처리, 냉장 및 냉동, 보존제 및 훈증제 등의 화학약품 처리 등이 이용되고 있으나, 특히 화학약품 처리는 처리효과, 처리비용, 안전성, 환경공해 등 많은 문제점이 지적되면서 세계적으로 사용이 점차 제한을 받고 있다. 방사선을 이용한 식품조사는 잔류성분이 없는 물리적 처리 기법이며, 식품의 품온상승이 약 2.4°C/10 kGy로 거의 없어 영양 성분의 파괴나 관능적 품질변화 등을 최소화 할 수 있고, 냉동상태나 완포장 후에도 처리를 할 수 있어 2차 오염방지

Corresponding author: Herena Kuhm, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Gung-Dong, Yusong-Gu, Daejeon 305-764, Korea  
Phone: 042-821-7876, Fax: 042-822-2153

가 가능하다. 그러나 밀, 쌀, 옥수수 등 곡류나 육류에 대한 감마선 조사처리에 대한 저장성과 미생물 관계의 실험연구는 많이 보고되고 있는 반면, 전분에 대한 방사선 조사 연구는 미비한 상태이며, 특히 칩 전분의 감마선 조사에 대한 이화학적 특성 변화 연구보고는 미비한 상태이다. 본 연구에서는 감마선 조사가 칩 전분의 이화학적 특성에 미치는 영향을 조사하고자 5~30 kGy 범위로 감마선을 조사한 후 조사선량에 따른 amylose 함량, 용해도, 팽윤도 등에 대해 측정결과를 얻었으며, SEM(scanning electron microscope)을 이용하여 입자형태를 분석하였다. 또한 X-ray diffractometry에 의한 결정도를 해석하였으며, DVS(dynamic vapour sorption) is-otherm 분석을 이용하여 hysteresis에 대한 특성을 살펴보았다.

### 재료 및 방법

#### 재료 및 전처리

칩 뿌리를 물로 세척하여 흙과 모래를 제거하고 10 mm 두께로 잘게 썰은 다음, 증류수를 가하여 Waring Blender로 10분간 파쇄하였다. 원료의 2배량의 0.2% NaOH 용액에 실온에서 24시간 침지한 다음 정치법으로 침지시켜 Biuret 반응이 나타나지 않을 때까지 수세하였다. 회수된 전분은 실온에서 24시간 풍건하여 100 mesh로 쳐서 시료로 사용하였다.

시료의 감마선 조사를 위하여 시료를 선별 정선한 후 선원 100,000 Ci, Co-60 감마선 조사시설(한국원자력연구소 소재)를 이용하여 실온에서 1시간 당 5 kGy의 선량률로서 5~30 kGy의 총흡수선량을 얻도록 하였다.

#### Amylose 함량

칩 전분의 amylose 함량은 요오드 비색법으로 다음과 같이 측정하였다. 칩 전분 30 mg을 삼각 플라스크에 취하고 95% ethanol 1 ml, 증류수 10 ml, 10% NaOH 용액 2 ml를 가하여 95°C에서 5분 가열하여 호화, 냉각한 후 0.2% KI-I2 용액 10 ml를 가하여 전량이 50 ml가 되도록 증류수를 가한 뒤 10분간 발색시켜 625 nm에서 spectrophotometer (model U-110, Hitachi, Japan)로 흡광도를 측정하여 정하였다.

#### 용해도 및 팽윤력

용해도와 팽윤력은 Leach 등의 방법(1959)을 일부 변경하여 측정하였다. 전분시료 500 mg을 300

ml 비이커에 취하고 증류수 70 ml를 가하여 잘 분산시킨 후 50°C에서부터 90°C까지 온도를 증가시키면서 각 온도에서 30분간 저어 준 다음 같은 온도의 증류수를 가해 총 용액이 100 ml가 되게 하여 1000 rpm 속도로 30분간 원심분리 하였다. 상등액은 미리 무게를 측정된 증발접시에 옮겨 증발시키고 120°C oven에서 완전히 건조시켜 고형분의 무게(A) 및 원심분리 후 침전물의 무게(B)를 측정하고 다음 계산식에 의하여 용해도 및 팽윤력을 계산하였다.

#### 입자의 형태

감마선 조사선량을 달리한 칩 전분입자의 모양과 표면상태를 전자 현미경(Model ISI-SX 40, scanning electron microscope Akiseki, Japan)을 사용하여 2000배 이상의 배율로 관찰하였다.

#### X-ray 회절도

칩 전분 입자의 결정성을 알아보기 위하여 X-ray diffractometer (Rigaku Co. Japan)을 사용하여 Table 1과 같은 조건으로 회절시켰다. 상대적인 결정화도는 Nara 등(1978)의 방법에 따라 아래식으로부터 계산하였으며 이때  $2\theta=17^\circ$  peak height로부터 구하였다.

#### 등온흡습곡선

등온흡습곡선은 DVS-1(dynamic vapour sorption, surface measurement system, LTD, England)으로 측정하였다. 25°C 항온 조건에서 시료 10 mg을 계량하여 microbalance cup에 담아 완전히 건조시킨 후 시료의 초기질량을 측정하였다. 상대습도를 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100%의 11단계로 상승시키면서 질량변화를 측정하여 흡습곡선을 구하였고, 다시 상대습도를 하강시키면서 질량 변화에 따른 탈습곡선을 구하였다. 이때 각 상대습

Table 1. Experimental condition for X-ray diffractometer

Target	Cu-K $\alpha$
Filter	Ni
Voltage	30 kV
Current	15 mA
Time constant	0.2 sec
Chart speed	2 cm/min
Scanning speed	4°/min
Angle 2 $\theta$	10~40°

도의 단계이동은 시간당질량변화 속도가 0.02 이하인 시점( $dm/dt=0.02$ )에서 수행하도록 설정하였다.

## 결과 및 고찰

### Amylose 및 amylopectin 함량

췌 전분의 감마선 조사에 의한 amylose 및 amylopectin 함량변화는 Table 2와 같다.

Table 2에서와 같이 감마선 조사선량이 증가할수록 amylose 함량이 약간씩 증가하고, 상대적으로 amylopectin 함량은 감소하는 것으로 나타난다.

Roushdi 등(1983)은 옥수수 전분에 2 kGy의 감마선을 조사했을 때 amylose 함량이 증가한다고 보고하였고, Sabularse 등(1992)은 현미에 감마선 조사선량이 증가할수록 amylose 함량이 증가하였다고 보고하여 본 실험결과와 일치하였다.

또한 Rayas 등(1988)은 녹두전분으로부터 만들어지는 전분의 amylose와 amylopectin은 2.5~20 kGy 감마선 조사에 영향을 받는다고 보고하였다.

일부 전분의 amylose 함량은 품종간 및 연구자간에 차이가 있으며 이러한 차이는 품종, 재배환경, 시비수준 및 수확시기 측정방법 등의 차이에 기인하는 것으로 보고되고 있다(Hahn 등, 1977).

### 용해도 및 팽윤력

전분입자의 흡수성 및 구조의 치밀도를 관찰하기 위하여 물에 전분을 분산시켜 가열 후 원심분리하여 60~90°C에서 용해도 및 팽윤력을 측정된 결과는 Table 3, 4와 같다.

**Table 2. Amylose and amylopectin contents of arrowroot starch by gamma irradiation**

Composition	Irradiation dose (kGy)				
	0	5	10	20	30
Amylose	22.02	22.33	23.12	24.43	25.91
Amylopectin	77.98	77.67	76.68	75.57	74.09

**Table 3. Solubility of arrowroot starch by gamma irradiation**

(unit: %)

Temperature (°C)	Irradiation dose (kGy)				
	0	5	10	20	30
60	0.53	0.70	0.90	1.18	1.70
70	1.17	3.32	3.46	3.49	3.54
80	2.31	4.57	4.68	4.92	5.12
90	3.23	5.63	5.82	6.21	6.23

**Table 4. Swelling power of arrowroot starch by gamma irradiation**

Temperature (°C)	Irradiation dose (kGy)				
	0	5	10	20	30
60	3.02	2.15	2.14	2.12	2.10
70	6.53	6.21	6.02	5.94	5.82
80	8.12	8.04	7.94	7.84	7.75
90	9.58	9.34	9.21	9.02	8.94

전분의 용해도는 온도가 증가할수록 amylose와 amylopectin fractions의 수소결합에 의해 증가한다(Tessler 등, 1972). Table 3에서 용해도를 살펴보면 온도가 증가하고 감마선 조사선량이 증가할수록 증가하였다. 감마선 비조사 췌 전분의 용해도가 감마선 조사처리 췌 전분에 비해 작게 증가한 이유는 입자들간의 배열이 균일하고 강한 결합력 때문인 것으로 추측된다.

Sabularse 등(1991)은 3 kGy 감마선 조사된 현미의 soluble starch의 용해도 증가는 전분사슬의 depolymerization에 의해서라고 보고하였고, Roushdi 등(1983)은 전분의 용해도 증가는 amylose와 amylopectin 구조의 변형(modification)과 분해(degradation)에 의해서라고 보고하였다. Abdallah 등(1974)은 용해도는 조사하는 동안 free radical의 형성으로 인해 2차 가교 반응으로 증가한다고 보고하였으며, 본 실험결과와도 일치성을 보였다.

Table 4에서 팽윤력은 온도가 증가함에 따라 증가하지만, 감마선 조사선량이 증가할수록 감소하는 경향이였다. Sabularse 등(1991)은 감마선 조사된 brown rice의 팽윤력 감소는 조사로 인해 전분의 분해(degradation)와 rice grain의 세포벽 구성성분이 약해짐에 의한 것으로 보고하였다.

MacArthur 등(1984)은 감마선 조사에 의해 전분 분자의 절단(breakdown)과 depolymerization으로 인해 더 작은 fragments와 저분자량 fraction으로 되어 물에 용해되므로 겔 형성과 팽윤하는 동안 물과 결합할 수 있는 능력이 저하한다고 보고하였다. 또한 팽윤력은 온도에 따라 증가하지만 췌 전분에 감마선 조사시 전분의 depolymerization이 팽윤력 감소를 가져온다고 보고하여 본 실험결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

### 입자의 형태

췌 전분을 0~30 kGy의 감마선 조사를 한 후 scanning electron microscope으로 전분입자를 관찰

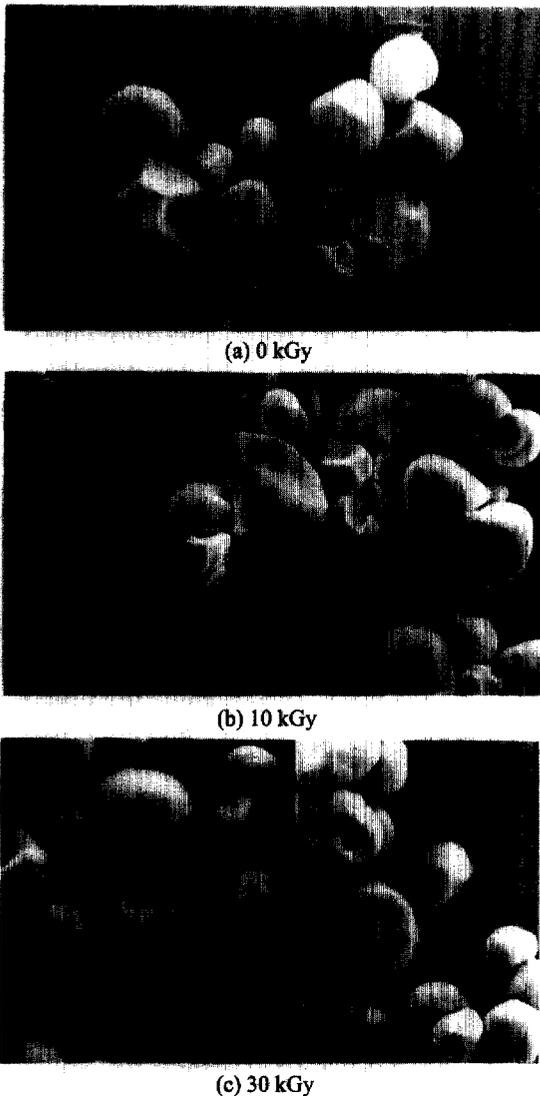


Fig. 1. Scanning electron microphotographs of arrowroot starch by gamma irradiation (magnification: 2000).

한 결과는 Fig. 1와 같이 구형과 다각형 등의 여러 형태로 존재하며 그 크기도 다양하였다.

전분입자는 8~25  $\mu\text{m}$ 의 크기를 나타내었는데, Suzuki 등(1981)은 칩 전분 입자크기는 평균 15  $\mu\text{m}$ 라고 보고하였고, Ciacco 등(1977)은 3.9~15.6  $\mu\text{m}$ 라고 보고하였으며, 김관 등(1984)은 1200 입자중 65% 이상의 입자가 6~10  $\mu\text{m}$  범위라고 보고하였다.

감마선 조사선량이 증가함에 따라 Fig. 1에서 전분입자의 형태는 다각형구조에서 둥근 형태로 변화하고 손상되었음을 관찰할 수 있었다.

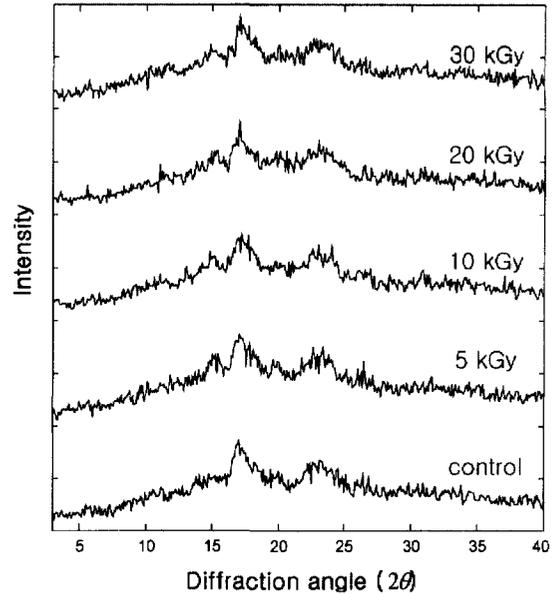


Fig. 2. X-ray diffractograms of arrowroot starch by gamma irradiation.

### X-ray 회절도

감마선 조사 칩 전분의 결정구조, 결정화도, 결정 입자의 크기를 알아보기 위하여 분말법에 의한 X-ray 회절양상은 Fig. 2와 같다.

전분입자는 결정성의 부분과 비결정성의 부분이 있는 바 이는 결정자의 크기에 좌우되는데 Honokisaku (1974)는 이 x-ray회절도 피크의 폭이 좁고 예리할수록 결정자의 크기는 크다고 하였다. 전분의 결정구조는 품종간의 차이 또는 생육조건에 따라 다르게 나타나므로 전분을 구별하는데 이용된다.

칩 전분은  $2\theta=17.02^\circ$ 에서 강한 peak를  $22.52^\circ$ 에서 비교적 강한 peak를 보이며,  $5.32^\circ$ ,  $11.4^\circ$ ,  $14.82^\circ$ 에서 peak를 보여 C형에 속하는 것으로 판단되었으며 Hizukuri(1979)는 칩 전분이 전형적인 C형이라고 보고한 것과 일치하였다. C형 전분은 생육온도에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있으며, 고온에서 생육시 A형 쪽의 특성이 강하게 나타나는 것으로 보고되었다.

감마선 조사선량에 따른 relative crystallinity는  $2\theta=17^\circ\text{C}$ 에서 peak height로 계산하였는데 감마선 조사선량 5, 10, 20, 30 kGy에 따른 값은 각각 101, 101, 104, 110%로 나타나 감마선 조사선량이 증가할수록 relative crystallinity는 증가하였다. 이것은 감마선 조사에 의해 물리적 손상을 받는 전분의

fragments들에 의한 증가 때문으로 생각된다.

MacArthur 등(1984)은 밀에 감마선조사를 실시한 밀전분 특성에 관한 보고에서 1 kGy, 3 kGy 감마선 조사시 X-ray회절도의 relative crystallinity는 104.5와 112.4%로 증가하였다고 보고하여 본 실험 결과와 비슷한 경향이였다.

전분의 X선 회절양상은 2θ가 30~90°인 부분에서는 강도가 거의 나타나지 않는것은 전분의 비결정

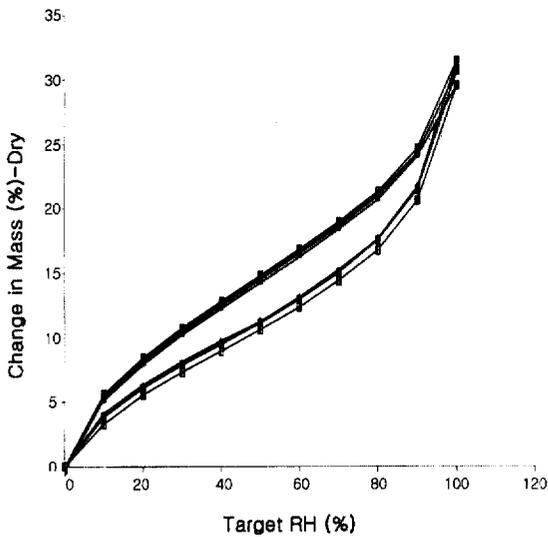


Fig. 3. Sorption isotherm curves of gamma irradiated arrowroot starches by dynamic vapour sorption.

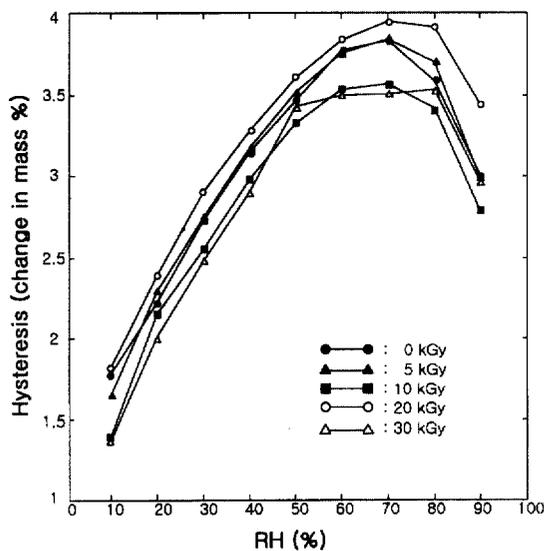


Fig. 4. Change of hysteresis isotherm curve of gamma irradiated arrowroot starch with different RH by dynamic vapour sorption.

구조에 의한 것으로 생각된다.

등온흡수곡선

감마선 조사한 칩 전분을 DVS Isotherm(dynamic vapour sorption, surface measurement system, England) 분석방법에 의해 등온 흡·탈습, hysteresis을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다.

식품을 저장하는 과정에서 가장 중요한 것은 식품 그 자체의 수분함량과 저장온도와 습도로서 Fig. 3은 흡습성?탈습성과 수분과의 결합상태를 알아보기 위한 곡선으로 감마선 비조사 칩 전분과 감마선 조사 칩 전분 모두 전형적인 Sigmoid 형태를 나타내었다.

Hysteresis는 Fig. 4와 같다.

상대습도 10~60%구간에서는 감마선 조사선량이 증가할수록 hysteresis value는 적게 나타났고, 상대 습도 70~90%구간에서는 비조사 칩 전분과 큰 차이가 없는 것으로 나타나, 감마선 조사 칩 전분이 조직을 형성하고 있는 분자 조직체 내에 수분의 가역적(reversible)흡수가 더 용이함을 나타내고, 전분등의 고분자 중합체제가 감마선 조사에 의해 저분자화되어 형성된 저분자 입자들이 수화의 이용 표면을 증가시켜주는 것으로 생각되며 차후의 연구를 통하여 이의 확인이 필요할것이다.

Rao 등(1985)은 4 종류 두류의 감마선 조사에 의한 조리특성 연구에서 10 kGy 조사된 시료는 25°C에서 16시간 침지 후 비조사 시료에 비해 15~27% 정도의 수분흡수 능력이 증가되었다고 보고하였고, 김(1992)은 감마선 조사가 검정콩의 수분흡수특성에 미치는 영향에서 2.5~20 kGy로 조사한 검정콩의 수분흡수 양상은 조사선량의 증가로 수분평형에 도달하는 시간이 감소되었다고 보고하여 감마선 조사처리 전분의 hysteresis value가 적게 나타난 결과와 비슷한 경향을 보였다.

요 약

감마선 조사(5, 10, 20, 30 kGy)가 칩 전분에 미치는 영향을 해석하기 위해 여러 가지 이화학적 성질을 알아보았다. 감마선 조사 칩 전분은 조사선량이 증가함에 따라 아밀로오스 함량, 용해도가 증가하였고, 팽윤력은 감소하였다. 감마선 조사 칩 전분을 SEM으로 관찰한 결과 입자형태는 감마선 조사 선량이 증가할수록 다각형 모양에서 둥근 형태로

변화하고 손상되는 것을 관찰할 수 있었다. 분말법에 의한 X-선 회절양상은 C형에 속하며, 상대적인 결정화도는 감마선 조사선량이 증가할수록 약간씩 증가하는 것이 관찰되었다. 감마선 조사 칩 전분의 등온흡수곡선을 측정된 결과 모두 sigmoid 형태였으며 상대습도 10~70% 구간에서는 감마선 조사선량이 증가할수록 흡습량이 증가하였고, 탈습성은 거의 변화가 없었으며 Hysteresis 현상은 감소하였다. 이로 미루어 볼 때 전분의 고분자 중합체체가 감마선 조사에 의해 저분자화되어 형성된 저분자 입자들이 수화의 이용 표면적을 증가 시켜주는 것으로 생각되며 차후의 연구를 통하여 이의 확인이 필요할 것이다.

## 문 헌

- Suzuki, A., Hizukuri, S. and Takeda, Y. Physicochemical studies of kuzu starch, *Cereal Chem.* **58**: 286 (1981)
- 김관. 칩 전분의 이화학적 및 리올리지 특성, 충남대학교 대학원 박사학위논문 (1984)
- Leach, H. W., McCowen, L. D. and Schoch, T. J. Acetylation of starch, *Cereal Chem.* **36**: 84 (1959)
- Roushdi, M., Harras, A., El-Meligi, A. and Bassim, M. Effect of high doses of gamma-rays on corn grains, Part II, Influence on some physical and chemical properties of starch and its fractions, *Stärke*, **35**: 15 (1983)
- Rayas, P., Rupnow, J. H. and Wheling, R. Abstr. No. 143, Paper presented at the 196th ACS National Meeting Los Angeles, CA, Sept. 25-30 (1988)
- Hahn, D. M., Jones, F. T., Akhaban, I. and Rockland, L. B. Light and scanning electron microscope studies on dry beans: Intracellular gelatinization of starch in cotyledons of large lima beans(*Phaseolus lunatus*), *J. Food Sci.* **42**: 1208-1212 (1977)
- Tessler, M. M. Starch ester manufacturing method, 일본특허청, pp.47-347 (1972)
- Sabularse, V. C., Liuzzo, J. A., Rao, R. M., and Grodner, R. M. Cooking quality of brown rice as influenced by gamma irradiation, variety and storage, *J. of Food Sci.* **56**: 35 (1991)
- Abdallah, M. A., Foda, Y. H. and Elsaadany, R. Effect of gamma rays on starch extracted from irradiated wheat flour, **26**: 89, *Staerke* (1974)
- MacArthur, L. A. and D'apponia, B. L. Gamma radiation of wheat. II. Effects of low-dosage radiations on starch properties, *Cereal Chem.* **61**(15): 1984
- Ciacco, F. and D'Appolonia, B. L. Characterization of starches from various tubers and their use in bread baking, *Cereal Chem.* **54**: 1096 (1977)
- Honokisaku, S. Structure and physical characteristics of starch, *Starch Science* **21**: 61-69 (1974)
- Hizukuri, S. The effect of environment temperature of plants on the physicochemical properties of the starches, *J. Jap. Soc. Starch Sci.* **17**(1): 73 (1979)
- Rao, V. S. and Vakil, U. K. Effects of gamma-radiation on cooking quality and sensory attributes of four legumes, *J. Food Sci.* **50**: 372, (1985)
- 김종균. 감마선 조사가 검정콩의 수분흡수 특성에 미치는 영향, 대한가정학회지, **30**: 15 (1992)