

Selective Permeate Transport Characteristics of Iodine ion at Cell Membrane Model of Thyroid which Irradiated by High Energy X-Ray

In-Ho Ko^{1,*}, Jin-Dong Yeo²

¹Department of Radiological Technology, Cheju Halla University

²Department of Radiological Technology, Sarabol University

Received: February 25, 2021. Revised: April 21, 2021. Accepted: April 30, 2021.

ABSTRACT

The selective permeate transport characteristics of iodine ion at follicle cell membrane model in thyroid which irradiated by high energy x-ray(linac 6 MV) was investigated. The follicle cell membrane model used in this experiment was a polysulfonated copolymerized membrane of poly(4-vinylpyridine-co-acrylonitrile:VP-AN). The difference of membrane thickness [2 mole AN%(w/w)], fixed carrier concentration[VP-AN%(w/w)], OH⁻ concentration were occurred at difference of I⁻ concentration and quantity of thyroid hormone, respectively. The tensile strength in fixed carrier concentration[VP-AN% (w/w): 0-62 %] of irradiated membrane was found to be decreased about 1.2-1.8 times than non-irradiated membrane. The I⁻ selective permeate initial flux with increase of membrane thickness [2mole AN%(w/w)], fixed carrier concentration[VP-AN%(w/w)], OH⁻ concentration in irradiated membrane were found to be decreased about 2.1-4.5 times, about 2.2-2.5 times, about 2.1-2.67 times than non-irradiated membrane, respectively. As a result, the quantity of thyroid hormone was decreased at irradiated membrane than non-irradiated membrane. The decrease of thyroid hormone was occurred at hypothyroidism and hyperthyroidism, thyroid cancer, and so on. As the thyroid hormone in cell membrane model were abnormal, cell damages were appeared at cell.

Keywords: high energy x-ray, fixed carrier concentration[VP-AN%(w/w)], sulfonated copolymerized membrane(4-VP-AN)

I . INTRODUCTION

인체의 경부에서 기관의 위쪽에 위치한 갑상선은 나비의 날개가 퍼져 있는 모양의 호르몬 기관으로서 좌엽과 우엽을 연결하는 협부로 구성되어 있다. 갑상선은 소포(follicle)가 많고 그 소포세포 속에는 글로불린(globulin)로 구성된 아교질로 가득차여 있고 다량의 요오드(iodine, I)를 함유하고 있다. 뇌의 터어키안에 있는 뇌하수체의 전엽에서 분비된 갑상선자극호르몬이나 갑상선 억제호르몬에 의해서 갑상선의 소포세포를 자극하거나 억제하여 갑상선호르몬인 삼요오드티록신 T³(triiodothyronine), 사요오드티록신 T⁴(tetraiodothyronine)호르몬의 분비

가 증가되거나 감소하는 항상성 작용을 한다. 갑상선의 소포세포에서 분비된 갑상선호르몬(T³, T⁴)이 풍부한 혈관과 혈류량을 통해서 표적세포에 작용하여 단백질합성 촉진, 탄수화물의 에너지 방출속도증가, 신경계의 활성 증가 등 세포의 신진대사인 이화작용과 동화작용에 관여하며 체온을 조절하는 역할을 한다. 갑상선의 혈관으로 티록신(T⁴)호르몬이 표적기관으로 이동 한 후 각종 신진대사작용을 하는데 갑상선기능항진증 (hyperthyroidism)과 갑상선기능저하증(hypothyroidism)은 호르몬 중추기관인 뇌하수체의 이상으로 발생하거나 갑상선자체의 이상으로 발생한다. 갑상선호르몬은 요오드(iodine, I)로 구성되어 있으며 친화성도 있어서 미역, 다시마, 김 등 해조류에 함유된 요오드가 음식물의 섭취를

* Corresponding Author: In-Ho Ko

E-mail: fldrh3982@hanmail.net

Tel: +82-10-2699-3982

통해서 소화기로부터 순환기로 전달되어 갑상선의 혈관으로 이동하여 갑상선소포세포로 흡수된다. 이 과정에 이상이 생기는 경우 갑상선호르몬의 분비에 이상을 가져온다. 갑상선염이나 갑상선암은 갑상선의 기능저하를 가져와 갑상선호르몬의 분비저하를 동반하며 시상하부나 뇌하수체의 이상으로 인한 갑상선자극호르몬의 분비이상으로 인해서 갑상선호르몬의 분비이상을 초래할 수가 있다. 갑상선의 모세혈관에서 소포세포막으로 요오드가 투과 전달되는 과정은 생화학적에너지인 ATP가 이용되어 능동수송으로 전달된다. 갑상선의 소포세포막을 통과하여 소포세포내부로 유입된 요오드는 갑상선호르몬과 결합하여 T³, T⁴ 호르몬을 생성하는데 95%가 T⁴ 이지만 5%를 차지하는 T³는 신진대사작용이 T⁴ 보다 크다^[1-3].

Yoshikawa^[4,5]는 양이온성 고분자 막에서의 고정 전달자를 통한 할로젠 이온인 요오드의 선택적 투과 전달에 대한 관계식으로 아래 식을 제안하였다.

$$J = K/L \times k[C]_o[S][S'] / 1 + k[S] \quad (1)$$

여기서

J : 초기플럭스(선택적 투과 전달)

K : 복합체 생성상수(금속: OH⁻, I⁻, K⁺, 고정 전달자 : SO³²⁻)

L : 세포막 모델의 두께

[C]_o : 세포막 모델 내부의 고정이온 농도

[S] : 세포막 모델의 금속이온 농도

k : 겉보기 속도 상수

[S'] : H⁺의 농도

갑상선의 세포에 대한 방사선 장애의 실험적 연구는 현미경을 통한 조직 형태학적 연구보고가 대부분이며 갑상선의 모세혈관과 소포 세포 사이에서 발생하는 생리적 대사과정으로 혈액 속의 요오드가 갑상선의 소포 세포로 이동하여 갑상선호르몬을 생성하는 기능에 대한 방사선의 장애 연구가 미비한 실정이다.

이에 따라서 방사선이 조사된 갑상선의 세포막 모델에서 모세혈관 속의 혈액성분 중 요오드가 소포 세포로 전달되는 선택적 투과전달의 변화를 구명하기 위하여 갑상선세포막과 유사한 이온투과성막을 고분자로 제조한 후 이 생물 막에 방사선조사 전·후에 요오드의 선택적 투과전달변화가 어떻게 변화하는가를 알아보기 위하여 실험을 하였다^[6,7].

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험재료

1.1 요오드이온의 선택적 투과전달 특성에서 갑상선의 소포세포막 모델의 구성

요오드화수소에서 농도차이를 이용한 선택적 투과 전달 작용 특성을 측정할 수 있는 이온투과성 고분자막으로서 피리딘 양이온을 고정전달자로 한 poly(4-vinylpyridine-co-acrylonitrile:VP-AN)분말을 인장강도의 강화용인 polysulfone과 결합시킨 불 균질의 복합 막을 사용하였다^[8,9].

1.2 실험기기

Magnetic Stirrer, 반응기, thermometer, 분광 광도계 (Shimadzu UV-2401PC, Japan), 전도도측정기(suntex, model Sc-17A), pH meter (Union prix, model GP-55), 저울(Mettler AT201, USA), 원자흡광분석기(Nippon Jarell Ash, A.A-845), Linac 6MV X선 조사기(Clinac iX, Varian, California, USA)등을 사용했다.

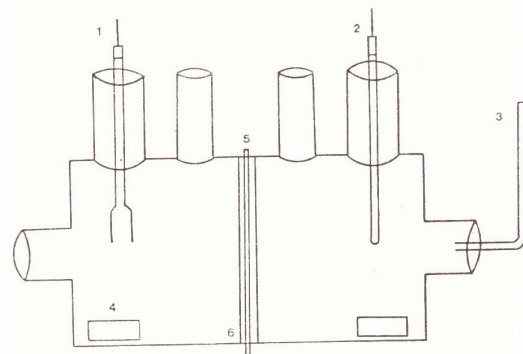


Fig. 1. Experimental apparatus for ion transport.

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. pH Meter Cell, | 2. Thermometer, |
| 3. Capillary Tube, | 4. Magnetic Bar, |
| 5. Membrane | 6. Silicone Rubber |

2. 실험 장치

본 실험에서는 방사선이 조사된 갑상선의 소포 세포막모델에서 물과 요오드화수소로 혼합된 수용액에서 할로겐 이온인 요오드 음이온의 선택적 전달 특성의 변화를 구명하기위해서 Fig.1.과 같은 실험 장치를 poly(methyl methacrylate)로 제작하였고 막의 유효면적은 4.2 cm^2 이고 셀의 한쪽 부피는 100 cm^3 이며, 셀의 바닥은 평평하며 자력교반기로 500 rpm으로 용액을 충분히 교반하여 위치변화에 따른 측정오차를 없앴다.

3. 실험 방법

3.1. 요오드이온의 선택적 투과 전달 특성 실험

본 실험에서는 갑상선의 소포세포막에서 피리딘 양이온의 고정전달자의 농도변화가 세포막의 형태학적 변화에 미치는 영향과 갑상선의 소포세포막의 두께변화와 피리딘 양이온의 고정전달자의 농도변화, OH^- 이온의 농도변화에 따른 Γ 의 병류 투과 전달에서 각각 이온의 초기플럭스변화에 미치는 영향을 알아 보기위해서 갑상선의 소포세포막모델의 온도는 $36.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 고정하고 방사선 5 Gy를 조사할 때와 안 할 때를 기준으로 고정전달자의 농도를 0, 22, 44, 62[VP-AN%(w/w)]로 변화할 때 형태학적 변화 특성으로 인장강도를 측정하였고 고정전달자의 농도를 22, 44, 62[VP-AN%(w/w)]로 변화할 때 양측 셀에 각각 동일한 농도(0.3 mol/L)의 HI와 KI, KOH를 사용하여 선택적 이온투과전달을 하는 K^+ , Γ , OH^- 의 초기플럭스를 비교하였다. 막의 두께를 2 mm~5 mm로 하여 각각 변화시키고 이온의 선택적 투과 전달을 측정하였다. 막의 극성이 큰 막에서 주로 병류 투과전달이 발생하는데 OH^- 에 의한 Γ 의 병류 투과전달을 고찰하기위해서 양측 셀에 HI와 KI을 0.3 mol/L로 고정하고 KOH를 0.25, 0.3, 0.35, 0.4 mol/L로 각각 조성하여 넣은 후, 각 이온의 투과 전달을 K^+ , Γ , OH^- 의 초기플럭스 비교하였다. 이 때 H^+ 의 농도는 pH meter를 사용하여 기록계로 기록하였고, K^+ , Γ ,은 원자흡광분석기로 각각 분석하였다.

III. RESULT

1. 요오드이온의 선택적 투과전달특성

갑상선의 소포세포막모델을 사용하여 갑상선호르몬 구성 성분인 요오드이온이 갑상선의 모세혈관을 통해서 소포세포의 내부로 선택적 투과 전달하는 과정을 알아 보기위해서 갑상선의 소포세포막모델의 온도는 $36.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 고정한 후 막의 두께를 2 mm~5 mm로하며 각각 변화시키고 에 따른 선택적 투과전달을 각각 1 mm단위로 측정한 결과 막의 두께가 증가할 수 록 요오드화수소 수용액에서 요오드이온의 선택적 투과전달은 감소하였고 양측 셀에 HI와 KI을 0.3 mol/L로 고정하고 KOH를 0.25, 0.3, 0.35, 0.4 mol/L로 농도를 증가시킨 후 각 이온의 선택적 투과 전달은 OH^- 에서 증가할수록 Γ 에서는 지수적으로 증가하였다^[10-13].

이는 막의 두께와 수산화칼륨 수용액 농도의 변화에 따라서 갑상선의 소포 세포막에 의한 요오드화수소 수용액에서 요오드이온의 선택적 투과성 전달의 변화를 줄 수 있는 에너지를 제공하였기 때문으로 생각된다.

1.1 방사선을 조사하지 않은 갑상선의 소포세포막 model의 고정온도 $36.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 요오드이온의 선택적 투과 전달특성

(1) 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도변화에 따른 막의 형태학적 변화

갑상선의 소포세포막모델에서 막의 두께변화와 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도변화에 따른 막의 형태학적 변화특성을 막의 인장강도변화로 분석을 하기 위해서 막의 두께와 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도변화가 막의 인장강도변화에 얼마나 영향을 끼치는가를 알아보았다.

Fig. 2.에서 막의 두께를 2 mm, 3 mm, 4mm, 5 mm로 하고 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도를 0 %, 22 %, 44 %, 62 %로 증가할 때 막의 인장강도는 78.2 kg/cm^2 , 42.6 kg/cm^2 , 27.5 kg/cm^2 , 16.5 kg/cm^2 로 각각 감소함을 알 수가 있었다. 갑상선의 소포세포막 모델에서 막의 두께와 고정전달자[VP

-AN%(w/w)]의 농도가 증가 할수록 막의 인장강도는 감소하였는데 이는 갑상선의 소포세포막의 형태학적 변화를 가져와 비정상적인 세포작용으로 요오드이온의 비정상적 선택적 투과특성으로 인해서 발생하는 추가적인 현상으로는 소포세포를 둘러싸고 있는 혈관, 근육, 신경, 상피세포 등의 기능저하를 가져와 갑상선호르몬의 생성량이 감소되는 원인으로 생각할 수가 있었다.

(2) 막의 두께변화에 따른 투과성 초기플럭스 변화

갑상선의 소포세포막모델[2mole AN%(w/w)]에서 막의 두께가 변화 할 때 각각 이온들의 선택적 투과특성을 분석한 결과를 Fig. 3로 나타내었다. Fig. 3에서 막의 두께를 2 mm ~ 5 mm로 증가할 때 OH⁻의 선택적 투과성 초기플럭스는 $0.91 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 0.258 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 감소하였고 I⁻의 선택적 투과성 초기플럭스는 $0.491 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 0.094 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 감소하였고 K⁺의 선택적 투과성 초기플럭스는 $0.359 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 0.094 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 감소하였다. 이는 막의 두께 변화에 따라서 K⁺, I⁻, OH⁻의 선택적 투과성 초기플럭스의 변화를 가져와서 갑상선의 소포세포막모델[2mole AN%(w/w)]에서 세포 내부와 외부의 각각의 이온들의 농도변화를 가져오게 되었다. 이에 따른 OH⁻에 대한 이온농도 감소가 I⁻이온농도감소로 연이어서 K⁺이온농도감소로 나타나서 갑상선호르몬의 생성량이 감소함을 알 수가 있었다.

(3) 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도변화에 따른 이온들의 선택적 투과 전달 특성

갑상선의 소포세포막모델에서 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도변화에 따른 각각 이온들의 선택적 투과특성을 분석한 결과를 Fig. 4로 나타내었다.

Fig. 4에서 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도를 22 %, 44 %, 62 %로 증가할 때 OH⁻의 선택적 투과성 초기플럭스는 $3.19 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 5.41 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 증가하였고 I⁻의 선택적 투과성 초기플럭스는 $2.03 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 3.8 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 증가하였고 K⁺의 선택적 투과성 초

기플럭스는 $0.84 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 0.61 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 감소하였다. 이는 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도 변화에 따라서 K⁺, I⁻, OH⁻의 선택적 투과성 초기플럭스의 변화를 가져와서 갑상선의 소포세포막모델에서 세포 내부와 외부의 각각의 이온들의 농도변화를 가져오게 되었다. 이에 따른 OH⁻에 대한 이온농도 증가가 I⁻이온농도 증가로 연이어서 K⁺이온농도감소로 나타나서 갑상선호르몬의 생성량이 증가함을 알 수가 있었다.

(4) 갑상선호르몬 구성원소인 I⁻이온의 병류성 선택적 투과 전달 특성

갑상선의 소포세포막모델에서 OH⁻이온농도 변화에 따른 요오드이온의 병류성 선택적 투과특성을 분석한 결과를 Fig. 5로 나타내었다.

Fig. 5에서 OH⁻이온농도(mole/L)를 0.25, 0.3, 0.35, 0.4로 증가할 때 I⁻의 선택적 투과성 초기플럭스는 $0.45 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 2.82 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 증가하였다. 이는 OH⁻ 이온농도(mole/L)변화에 따라서 I⁻의 선택적 투과성 초기플럭스의 변화를 가져와서 갑상선의 소포세포막모델에서 세포 내부와 외부의 각각의 이온들의 농도변화를 가져오게 되었다. 이에 따른 OH⁻에 대한 이온농도 증가가 I⁻이온농도 증가로 나타나서 갑상선호르몬의 생성량이 증가함을 알 수 있었다.

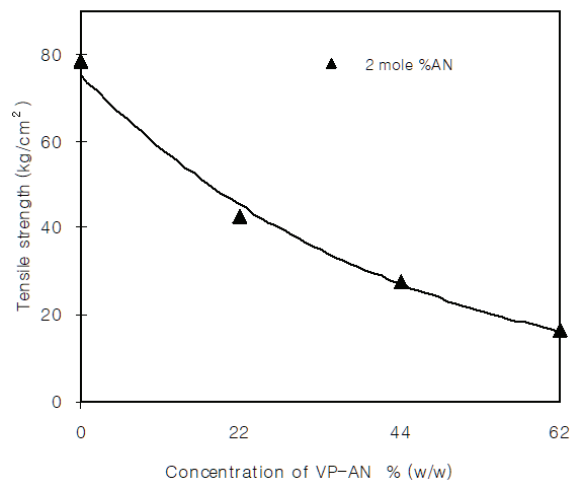


Fig. 2. Effect of tensile strength and fixed carrier concentration[VP-AN % (w/w)] by non-irradiation.

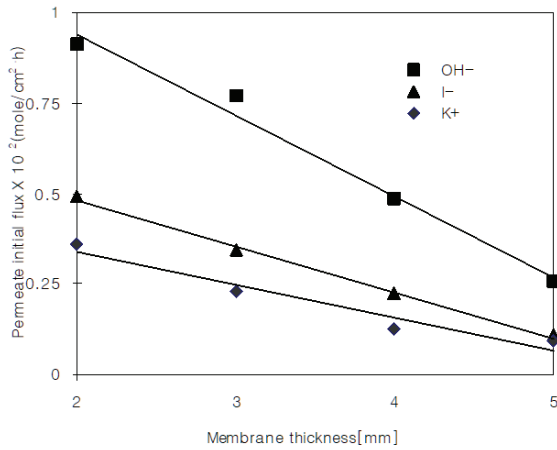


Fig. 3. Effect of membrane thickness on ion flux by non-irradiation. ([HI]_{L.O} = [KI]_{R.O} = 0.3 M, [KOH]_{R.O} = 0.3 M)

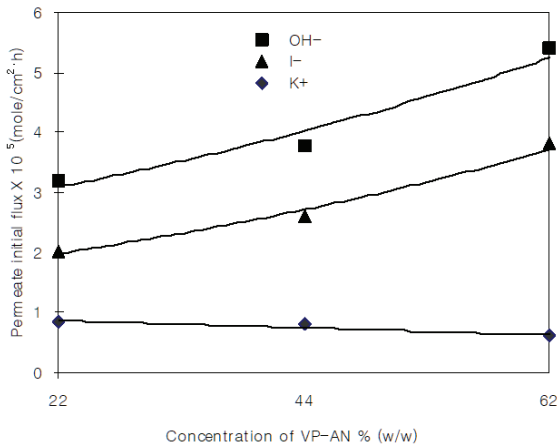


Fig. 4. Effect of fixed carrier concentration [VP-AN % (w/w)] on ion flux by non-irradiation. ([HI]_{L.O} = [KI]_{R.O} = 0.3 M, [KOH]_{R.O} = 0.3 M)

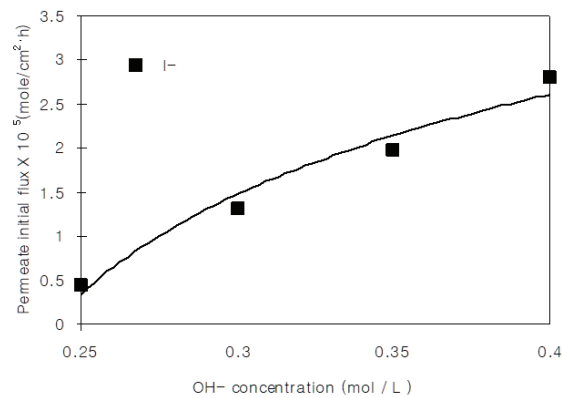


Fig. 5. Effect of OH⁻ concentration on I⁻ flux by non-irradiation. ([HI]_{L.O} = [KI]_{R.O} = 0.3 M, [KOH]_{R.O} = 0.25-0.4 M)

1.2. 5 Gy를 조사한 갑상선의 소포세포막 model의 고정온도 36.5 °C에서 요오드이온의 선택적 투과전달특성

(1) 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도변화에 따른 막의 형태학적 변화

방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막모델에서 막의 두께변화와 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도변화에 따른 막의 형태학적 변화특성을 막의 인장강도변화로 분석을 하기 위해서 막의 두께와 고정전달자[VP-AN %(w/w)]의 농도변화가 막의 인장강도변화에 얼마나 영향을 끼치는가를 알아보았다.

Fig. 6.에서 막의 두께를 2 mm, 3 mm, 4mm, 5 mm로 하고 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도를 0 %, 22 %, 44 %, 62 %로 증가할 때 막의 인장강도는 63.9 kg/cm², 27.6 kg/cm², 10.7 kg/cm², 9.1 kg/cm²로 각각 감소함을 알 수가 있었다. 방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막 모델에서 막의 두께와 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도가 증가 할수록 막의 인장강도는 방사선을 조사할 안 할 때보다 더욱 감소하였는데 이는 방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막의 형태학적 변화를 더욱 빨리 가져와 비정상적인 세포작용으로 요오드이온의 비정상적 선택적 투과 특성으로 인해서 발생하는 추가적인 현상으로는 소포세포를 둘러싸고 있는 혈관, 근육, 신경, 상피세포 등의 기능저하가 방사선 조사할 안 할 때 보다 더욱 빨리 진행되어 갑상선호르몬의 생성량이 빨리 감소 되는 원인으로 생각할 수가 있었다.

(2) 막의 두께변화에 따른 투과성 초기플럭스 변화

방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막모델[2 mole AN%(w/w)]에서 막의 두께가 변화 할 때 각각 이온들의 선택적 투과특성을 분석한 결과를 Fig. 7로 나타내었다. Fig. 7에서 막의 두께를 2mm ~ 5mm로 증가할 때 OH⁻의 선택적 투과성 초기플럭스는 $0.444 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 0.128 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 감소하였고 I⁻의 선택적 투과성 초기플럭스는 $0.231 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 0.021 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 감소하였고 K⁺의 선택적 투과성 초

기플릭스는 $0.137 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 0.021 \times 10^2 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 감소하였다. 이는 막의 두께 변화에 따라서 K^+ , I^- , OH^- 의 선택적 투과성 초기플릭스의 변화를 가져와서 방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막모델[2mole AN%(w/w)]에서 세포 내부와 외부의 각각의 이온들의 농도변화를 가져오게 되었다. 이에 따른 OH^- 에 대한 이온농도 감소가 I^- 이온농도 감소로 연이어서 K^+ 이온농도감소로 나타나서 갑상선호르몬의 생성량이 감소함을 알 수가 있었다.

(3) 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도변화에 따른 이온들의 선택적 투과 전달 특성

방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막모델에서 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도변화에 따른 각각 이온들의 선택적 투과특성을 분석한 결과를 Fig. 8로 나타내었다.

Fig. 8에서 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도를 22 %, 44 %, 62 %로 증가할 때 OH^- 의 선택적 투과성 초기플릭스는 $1.17 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 2.71 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 증가하였고 I^- 의 선택적 투과성 초기플릭스는 $0.8 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 1.76 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 증가하였고 K^+ 의 선택적 투과성 초기플릭스는 $0.46 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 0.29 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 감소하였다. 이는 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도 변화에 따라서 K^+ , I^- , OH^- 의 선택적 투과성 초기플릭스의 변화를 가져와서 방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막모델에서 세포 내부와 외부의 각각의 이온들의 농도변화를 가져오게 되었다. 이에 따른 OH^- 에 대한 이온농도 증가가 I^- 이온농도 증가로 연이어서 K^+ 이온농도감소로 나타나서 갑상선호르몬의 생성량이 증가함을 알 수가 있었다.

(4) 갑상선호르몬 구성원소인 I^- 이온의 병류성 선택적 투과 전달 특성

방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막모델에서 OH^- 이온농도 변화에 따른 요오드이온의 병류성 선택적 투과특성을 분석한 결과를 Fig. 9로 나타내었다. Fig. 9에서 OH^- 이온농도(mole/L)를 0.25, 0.3,

0.35, 0.4로 증가할 때 I^- 의 선택적 투과성 초기플릭스는 $0.169 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h} \sim 1.343 \times 10^5 \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 로 증가하였다. 이는 OH^- 이온농도(mole/L)변화에 따라서 I^- 의 선택적 투과성 초기플릭스의 변화를 가져와서 방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막모델에서 세포 내부와 외부의 각각의 이온들의 농도변화를 가져오게 되었다. 이에 따른 OH^- 에 대한 이온농도 증가가 I^- 이온농도 증가로 나타나서 갑상선호르몬의 생성량이 증가함을 알 수가 있었다.

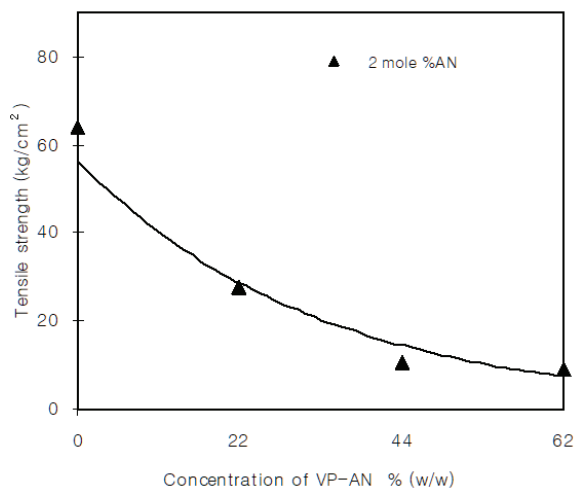


Fig. 6. Effect of tensile strength and fixed carrier concentration[VP-AN % (w/w)] by irradiation.

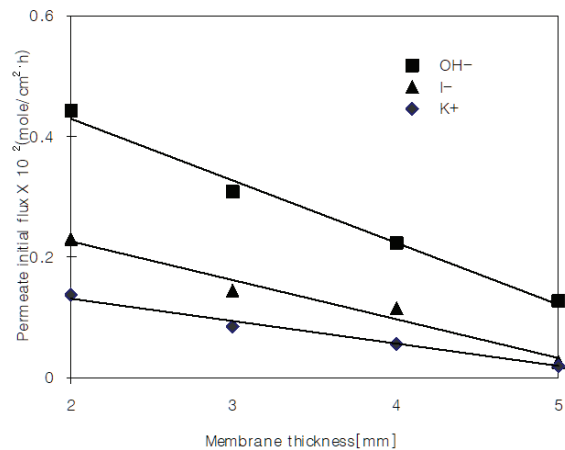


Fig. 7. Effect of membrane thickness on ion flux by irradiation. ([HI]_{L.O} = [KI]_{R.O} = 0.3 M, [KOH]_{R.O} = 0.3 M)

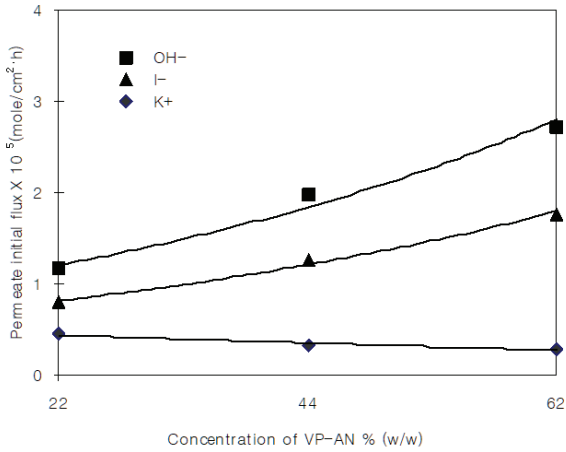


Fig. 8. Effect of fixed carrier concentration [VP-AN % (w/w)] on ion flux by irradiation. ([HI]_{L.O} = [KI]_{R.O} = 0.3 M, [KOH]_{R.O} = 0.3 M)

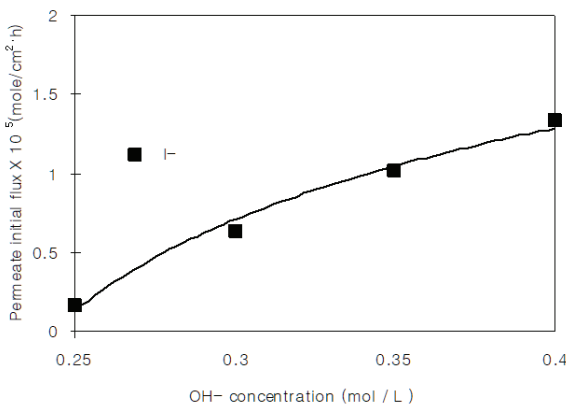


Fig. 9. Effect of OH⁻ concentration on I⁻ flux by non-irradiation. ([HI]_{L.O} = [KI]_{R.O} = 0.3 M, [KOH]_{R.O} = 0.25-0.4 M)

IV. DISCUSSION

갑상선의 소포세포막모델에 의한 세포내부와 외부사이에 HI와 KI, KOH용액을 사용하였을 때 이온들의 선택적 투과성 전달은 막의 두께와 고정전달자[VP-AN%(w/w)]의 농도, OH⁻이온농도의 변화에 따라서 세포막의 형태학적 변화와 K⁺, I⁻, OH⁻의 선택적 투과성 초기플럭스의 변화를 가져오는데 I⁻이온 농도변화는 갑상선호르몬의 생성량에 영향을 미치는 결과로 나타내었다. 갑상선의 소포세포막모델인 피리딘 양이온고분자막에서 세포내부와 외부사이에 HI와 KI, KOH 용액을 사용하였을 때 세포

막의 형태학적 변화와 이온들의 선택적 투과성 전달기능을 구명하기 위해서는 이론적 및 실험적 접근 방법이 필요하며 인체의 체온인 36.5 °C로 고정온도로 한 HI와 KI, KOH용액은 소포세포막의 두께 변화에 따른 세포막의 형태학적 변화와 막과 모세혈관으로부터 생긴 농도차로 발생한 선택적 투과 전달 특성에 대한 연구를 하였다.

Kim^[14]등은 방사면역측정법(RIA)으로 갑상선호르몬의 정상범위를 측정된 결과 갑상선호르몬의 농도는 나이, 성별, 측정기술과 kit의 종류에 따라서 달라지는데 Bayesian측정법에서 정상범위는 2.5 % ~ 97.5 %사이에서 결정되며 T³ 섭취율의 정상범위는 정상인 198.2명에서 23.8 % ~ 32 %로 나타내었고 T³의 정상범위는 정상인 201.3명에서 87 ng/dl ~ 87 ng/dl로 나타내었고 T⁴의 정상범위는 정상인 199.4명에서 5.6 ug/dl ~ 13.1 ug/dl로 나타내었고 갑상선자극호르몬(TSH)의 정상범위는 정상인 0.4 ug/ml ~ 4.1 ug/ml로 나타내었다는 보고 Kang^[15]은 원격전이 된 유두형 갑상선암, 소포성 갑상선암, Hurthle 세포암 등 분화형 갑상선암에 대한 방사성요오드치료는 갑상선 전 적출술 후 표준치료법 중 하나의 치료법이며 방사성요오드는 세포막에 위치한 Na¹³¹I가 병류성 선택적 투과전달을 통해서 갑상선암세포와 갑상선정상세포에 축적이 되는데 이러한 표적 특이적 치료는 좋은 결과의 예측과 부작용을 최소화 할 수 있으며 방사성요오드(¹³¹I)는 감마선으로 영상을 베타선은 암 치료에 적용되었다는 보고 Cho^[16] 등은 단일유전자질환은 단일돌연변이 유전자에 의해서 발생하는 한 개의 유전자 변환 질환이며 단일유전자는 초기진단과 질병발생의 정확한 예측이 가능하여 단일유전자질환에 관련된 병리생리학을 이해하는데 정확한 정보지식을 제공할 수 있으며 갑상선의 단일유전자질환인 갑상선발달, 호르몬생성, TSH수용체신호, 갑상선호르몬의 전달과 표적장기의 반응과 같은 다양한 단계로 발생할 수도 있어서 갑상선호르몬내성증후군, 선천성 갑상선기능저하증, 선천성 갑상선기능항진증은 갑상선의 단일유전자질환에 포함된다는 연구보고가 있다.

본 실험은 피리딘 양이온을 고정전달자로 한 poly (4-vinylpyridine-co-acrylonitrile:VP-AN) 분말을

인장 강도의 강화용인 polysulfone과 결합시킨 불균질의 복합 막을 갑상선의 소포세포 막 모델로 사용하여 세포내부와 외부사이에 이온들의 선택적 투과 전달과 막의 형태학적 변화를 알아본 결과 갑상선호르몬의 생성량 증가와 감소가 상기 연구 결과와 일치되었음을 알게 된 실험이었다^[14-17].

V. CONCLUSION

방사선 5 Gy을 조사한 갑상선 소포세포의 고분자막(세포막모델)은 방사선을 조사한 한 갑상선 소포세포의 고분자막(세포막모델)보다 막의 인장강도가 감소하여서 세포막으로서 형태학적 변화를 가져와서 기능적으로도 비정상적으로 될 수 있으며 소포 세포막의 동일한 두께와 고정전달자[VP-AN% (w/w)]의 동일한 농도, OH⁻ 이온의 동일한 농도에서도 이온들의 선택적 투과 전달 능력의 저하를 가져옴으로서 요오드가 갑상선 소포세포막에 정상적으로 투과 전달이 안 되어서 갑상선호르몬의 생성량 감소를 가져올 수가 있었다.

이는 막의 두께차이, 고정전달자[VP-AN% (w/w)]의 농도차이, OH⁻이온의 농도차이가 소포의 세포막을 통한 요오드의 선택적 투과전달 능력의 차이를 나타내는 동력으로 작용하는데 방사선조사로 인해 세포막의 기능이 비정상적으로 되어서 갑상선의 소포세포에 형태학적 및 기능적 장애를 발생하고 다양한 형태의 세포장해로 인해서 갑상선호르몬의 감소가 발생할 것으로 사료된다.

Reference

[1] M. J. Reinhardt, E. Moser, "An update on diagnostic methods in the investigation of diseases of the thyroid", *European Journal of Nuclear Medicine*, Vol. 23, No. 5, pp. 587-594, 1996.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00833398>

[2] G. G. Klee, I. D. Hay, "Biochemical testing of thyroid function", *Endocrinology and Metabolism Clinics of North American*, Vol. 26, No. 1, pp. 763-775, 1997.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0889-8529\(05\)70281-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0889-8529(05)70281-4)

[3] M. E. McGuinness, R. L. Talbert, "Management of thyroid disorders", *American Pharmacy*, Vol. 34, No.

1, pp. 36-47, 1992.

[4] R. E. Kesting, *Synthetic Polymer Membranes*, 1st Ed., McGraw Hill Co., New York, pp. 87-88, 1977.

[5] P. M. Bungay, *Synthetic Polymer Membranes: Science Engineering and Application*, 2nd Ed., D. Reidal Publishing Company., New York, pp. 234-236, 1985.

[6] H. Brockman, "Dipole potential of lipid membrane", *Chemical Physics of Lipids*, Vol. 73, No. 3, pp. 57-79, 1994.

[7] S. H. Lee, Y. C. Lee, "Ultrafiltration Characteristics of Poly(vinyl Alcohol) Solution and Theoretical Investigations", *Journal of Membrane Science*, Vol. 6, No. 4, pp. 203-212, 1996.

[8] T. Shimidzu, N. Yoshikawa, M. Hsegawa, K. Kasa katus, "Active transport and selectivity transport of akalimetal ion through poly(3-vinyl-1, 4-butyrolaction-co-acrylonitrile) membrane", *macromolecules*, Vol. 14, No. 1, pp. 170, 1981.

[9] M. K. Jeong, S. Y. Nam, "Preparation and characterization of organic solvent-resistant polybenzimidazole on membranes", *Applied Chemical Engineering*, Vol. 28, No. 4, pp. 420-426, 2017.
<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.14478/ace.2017.10155>

[10] H. Fugita, A. Kishimoto, K. Matsumoto, "Characteristics of moving molecular in membrane", *Translation Faraday Society*, Vol. 56, No. 6, pp. 424, 1960.

[11] T. Urugami, S. Watanabe, R. Nakamura, F. Yoshida, M. Sugihara, "study on synthesis and Fermeabilities of polymer Membrane", *Journal of Application polymer Science*, Vol. 28, No. 3, pp. 1613. 1981.

[12] H. K. Byun, Y. J. Jeon, S. K. Kim, "Characteristics on the permeation of protein through membrane of ultrafiltration reactor", *Journal of Membrane Science*, Vol. 8, No. 1, pp. 42-49, 1998.

[13] I. H. Ko, J. D. Yeo, "Separation Permeation Characteristics of N2-O2 Gas in Air at Cell Membrane Model of Skin which Irradiated by High Energy Electron", *Journal of Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 2, pp. 261-270, 2019.
<http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2019.13.2.261>

[14] H. J. Kim, K. H. Jin, M. K. Ryu, I. T. S. Seo,

"Normal range measurement of thyroid hormone in Radioimmunoassay(RIA)", Korean Journal of Clinical Laboratory, Vol. 24, No. 1, pp. 77-81, 1992.

- [15] K. W. Kang, "Radioiodine therapy in distant metastasis of differentiated thyroid cancer", International Journal of Thyroidology, Vol. 6, No. 1, pp. 49-55, 2013.
- [16] S. W. Cho, Y. J. Jin, M. K. Park, "Monogenic disorders of thyroid", International Journal of thyroidology, Vol. 5, No. 2, pp. 83-93, 2012.
- [17] I. H. Ko, J. D. Yeo, "Active Transport Characteristics of Anions through a Cell Membrane Model which Irradiated by r-ray", Journal of Korean Society of Radiology, Vol. 9, No. 4, pp. 187-195, 2015.

고에너지 엑스선을 조사한 갑상선의 세포막모델에서 요오드이온의 선택적 투과성 전달 특성

고인호^{1,*}, 여진동²

¹제주한라대학교 방사선과

²서라벌대학교 방사선과

요 약

본 논문에서는 고에너지 엑스선(6 MV X선)을 조사한 갑상선의 소포세포막 모델에서 막의 두께차이, 고정전달자[VP-AN% (w/ w)]의 농도차이, OH⁻이온의 농도차이가 세포내부와 세포외부사이로 갑상선호르몬의 구성성분인 요오드이온의 농도차이로 발생하고 갑상선호르몬의 생성량에 영향을 미치는데 이러한 영향을 구명하기위해서 소포의 세포막을 통한 요오드의 선택적 투과전달 특성에 대하여 연구하였다. 이 실험에 사용한 세포막 모델은 피리딘 양이온을 고정전달자로 한 poly(4-vinylpyridine -co-acrylonitrile :VP-AN)분말을 인장강도의 강화용인 polysulfone과 결합시킨 불균질의 복합막을 사용하였다. 고정전달자[VP-AN% (w/ w)]의 농도차이(0~62 %)에서 36.5 °C로 방사선을 조사한 소포의 고분자 막(세포막모델)은 형태학적 변화인 인장강도가 비 조사된 세포막모델보다 약 1.2 ~ 1.8배 정도 감소되었다. 방사선을 조사한 갑상선의 소포세포막모델 [2mole AN%(w/w)]에서 막의 두께차이, 고정전달자[VP-AN% (w/ w)]의 농도차이, OH⁻이온의 농도차이로 발생하는 요오드이온의 선택적 투과플럭스는 비 조사된 세포막모델보다 막의 두께가 변화 할 때 각각 약 2.1 ~ 4.5배, 약 2.2 ~ 2.5배, 약 2.1 ~ 2.67배 정도 감소되었다. 결국 방사선조사로 인해서 갑상선의 소포세포막에서 요오드이온의 선택적 투과 전달기능이 비정상적으로 되어 세포장해가 발생하고 갑상선호르몬의 생성량 감소도 동반하게 되었다고 사료됐다.

중심단어: 고에너지엑스선, 고정전달자[VP-AN% (w/ w)], 폴리술폰화불균질의 복합막

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자) (교신저자)	고인호	제주한라대학교 방사선과	교수
(공동저자)	여진동	서라벌대학교 방사선과	교수