

# Active Transport Characteristics of $K^+$ - $Na^+$ Pumping System in Cell Membrane Model which Irradiated by High Energy X-ray

In-Ho Ko

Department. of Radiological Technology, Cheju Halla University,

Received: April 14, 2017. Revised: April 25, 2017. Accepted: April 30, 2017

## ABSTRACT

The active transport characteristics of  $K^+$  and  $Na^+$  pumping system of cell membrane model which irradiated by high energy x-ray (linac 6MeV) was investigated. The cell membrane model used in this experiment was a  $Na^+$  type sulfonated copolymerized membrane of styrene and divinylbenzene. The initial flux of the ion was increased with increase of both  $H^+$  ion concentration. In this experiment range (pH 1.5-5, temperature 36.5 °C), the initial flux of  $K^+$  which was not irradiated by radiation was found to be from  $2.09 \times 10^{-4}$  to  $1.32 \times 10^{-3}$  mole/cm<sup>2</sup>·h and that of  $Na^+$  from  $7.09 \times 10^{-4}$  to  $1.09 \times 10^{-3}$  mole/cm<sup>2</sup>·h. the initial flux of  $K^+$  which was irradiated by radiation was found to be from  $21.0 \times 10^{-4}$  to  $16.7 \times 10^{-3}$  mole/cm<sup>2</sup>·h and that of  $Na^+$  from  $62.0 \times 10^{-4}$  to  $20.6 \times 10^{-3}$  mole/cm<sup>2</sup>·h. The ratio  $K^+/Na^+$  of membrane was about 1.10. And the driving force of pH of irradiated membrane was significantly increased about 9-20 times than membrane which was not irradiated. As active transport of  $K^+$  and  $Na^+$  of cell membrane model were abnormal, cell damages were appeared at cell.

Key words: linac, high energy x-ray,  $K^+$ ,  $Na^+$ , pH, sulfonated copolymerized membrane

## I. INTRODUCTION

단세포 생물인 박테리아 등을 비롯 하여 고등 동식물은 세포외부와 세포내부사이의 물질전달이 세포막을 통하여 이루어지고 있으며 특히, 세포내부에 있는 세포소기관 중 미토콘드리아, 핵, 엽록체 등도 세포막처럼 이중막으로 되어 있어 세포내부에서도 상호간의 물질교환이 이루어지고 있다.<sup>[1,2]</sup>

이와 같이 세포막은 세포외·내부의 생리적 대사에 중요한 역할을 담당하고 있으며 세포의 구조와 생명현상을 유지하는데 없어서는 안 되는 세포의 구성성분이며 유기물질의 물질전달은 능동수송(active transport), 수동수송 (passive transport)에 의해서 이루어진다.<sup>[3]</sup>

여기서 세포막의 능동수송(active transport)은 물질수송이 저 농도에서 고농도로 이동할 때 발생하며 또한 에너지가 추가되어야 하는데 이 때 사용되는 생화학

적 에너지로는 ATP이며 그리고 조효소, 효소 등 막 단백질이 작용한다.

또한 능동수송(active transport)은 병류수송(co-transport)과 향류수송(counter-transport)으로 나누고 음이온의 전달시  $H^+$ 이온과 음이온이 동시에 이온쌍을 만들어 전달자와 복합체를 형성하여 병류수송이 이루어지고 양이온의 전달시는  $H^+$ 이온이 에너지를 제공하여  $H^+$ 이온과 양이온이 각각 전달자와 복합체를 형성하여 반대방향으로 전달되는 향류수송이 있다.<sup>[4-7]</sup>

한편 Yoshikawa<sup>[8]</sup> 고정전달자가 있는 고분자 막에서의 능동전달에 대한 관계식으로 아래 식을 제안하였다.

$$J = \frac{k}{L} \times \frac{k[C]_o [S] [S']}{1 + k[S]} \quad (1)$$

여기서

J: 초기플럭스

k: 복합체 생성상수

(고정 전달자: SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, 알칼리 금속 :Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>)

L: 막 두께

[C]<sub>o</sub> : 막 내부의 고정이온 농도

[S] : 알칼리 금속이온의 농도

k : 켈보기 속도 상수

[S'] : H<sup>+</sup> 의 농도(구동력이 되는 성분)

상기 식으로부터 H<sup>+</sup>의 농도가 증가되면 플럭스가 증가됨을 알 수가 있다.

세포막의 수동수송( passive transport)은 물질수송이고 농도에서 저 농도로 이동하는 물질전달현상으로 에너지가 부가될 필요가 없는데 삼투, 확산 등이 이에 해당된다.<sup>[8,9]</sup>

생체막의 경우 원형질막을 통한 칼륨(K<sup>+</sup>)과 나트륨(Na<sup>+</sup>)의 선택적 전달과 산화적 인산화에서 양성자 수송과 같은 세포벽을 통한 이온의 능동전달 등이 그 예로 들 수 있다. 막에 대한 방사선의 작용연구는 주로 적혈구 막에서 이루어지고 있는 실정이며 세포막의 작용 중 물질수송은 투과성에 의해서 결정되는데 세포내부는 칼륨(K<sup>+</sup>)농도가 높고 세포외부는 나트륨(Na<sup>+</sup>)농도가 높는데 방사선 조사로 인하여 적혈구 막의 이온투과성이 상실되어 세포내부는 나트륨(Na<sup>+</sup>) 농도가 높아지고 세포외부는 칼륨(K<sup>+</sup>)농도가 높아져서 막의 구조변화로 적혈구가 치사된다.

1961년 Bacq와 Aloxander등의 “ 효소방출설”에 의하면 고 선량의 방사선이 생물 막에 조사되면 막을 구성하고 있는 효소가 방출되어 세포내의 구성성분인 핵산, 단백질 등을 분해하여 결국에는 세포가 치사된다는 이론이며 이 이론은 선량이 고 선량이 일 때만 가능하고 저 선량에는 발생하지 않는 이론이어서 어느 정도의 한계를 지닌 이론이다.

본 연구는 최근에 생물 막과 유사한 이온투과성막

(양 이온교환막, 음 이온교환막)을 이용한 물질의 능동수송(active transport)에 대한 연구보고가 많이 있으나 고 선량의 방사선조사로 인한 이온투과성변화에 대한 연구는 미비한 실정이다.<sup>[10,11]</sup>

이에 따라서 방사선이 조사된 세포막이 물질의 능동수송(active transport)에 의해서 발생하는 이온투과성변화에 어느 정도의 영향을 미치는가를 구명하기 위하여 생물 막과 유사한 이온투과성막을 고분자로 제조한 후 이 생물 막의 이온투과성 변화가 방사선조사 전·후에 어떻게 변화하는가를 알아보기 위하여 물질의 능동수송(active transport)을 통하여 실험을 하였다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 실험재료

#### 1.1 고분자막(polysulfone)의 구성

고분자막은 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>이온투과성을 선택적으로 측정할 수 있는 이온투과성 막으로서 최근 연구에 많이 이용되고 있는 poly(1-methyl-4-vinylpyridinium iodide-co-divinylbenzene)분말을 polysulfone과 결합시킨 복합막으로서 polysulfone계 고분자 복합막인 슬론화 폴리스티렌-디비닐벤젠(polystyrene-divinylbenzene) 혼성 중합막을 사용하였다.

#### 1.2 실험기기

반응기, Magnetic Stirrer, 분광광도계(Shadzu UV-2401PC, Japan), 전도도측정기(suntex, model Sc-17A), pH meter(Union prix, model GP-55), 원자흡광분석기(Nippon Jarell Ash, A.A-845), 저울(Mettler AT201, USA), 항온수조(Eyela SB-9, Japan), linac X선 조사기 등을 사용했다.

#### 1.3 전해질 용액의 Na<sup>+</sup>농도와 K<sup>+</sup>농도변화

고분자막은 세포막에 대응되는 생물 막으로서 좌측 cell에 0.1N KCl, 0.1N HCl or 0.1N NaCl, 0.1N HCl solution과 우측cell에 0.1N KOH, or 0.1N NaOH solution 사이의 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>이온투과성에 대하여 5Gy의 고 선량조사를 한 후 이온투과성과 방사선조사 전의 이온투과성을 비교 연구하기 위하여 사용하였다. 좌측 셀에 0.1N KCl, 0.1N HCl or 0.1N NaCl, 0.1N HCl 용액과 우측

셀에 0.1N KOH, or 0.1N NaOH solution는 water jacket 으로 온도를 변화하였고 Na<sup>+</sup>농도와 K<sup>+</sup>농도는 방사선 5 Gy로 조사한 생물 막과 조사하지 않은 생물 막으로 각각 상호교환을 하여 마이크로피펫으로 각각 샘플링을 하고 그 농도를 원자흡광분석기로 검량선을 통하여 측정하였다.

**2. 실험 장치**

본 실험에서는 전해질 용액에서 다양한 변수들의 변화가 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> 펌프시스템의 능동적 전달에 어느 정도의 영향을 미치는가를 정량화하기 위하여 Fig.1과 같은 실험장치를 pyrex유리로 제작하여 실험하였다.

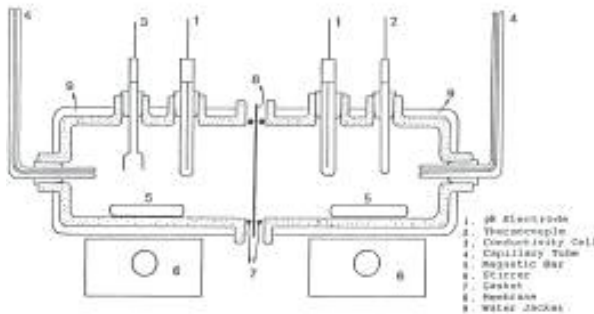


Fig.1. Experimental apparatus for transport measurement (Left cell: 0.1N KCl, 0.1N HCl or 0.1N NaCl, 0.1N HCl Right cell: 0.1N KOH, or 0.1N NaOH)

**3. 실험 방법**

**3.1 막의 특성 실험**

본 실험에서는 슬폰화 폴리스티렌-디비닐벤젠 혼성 중합막을 사용하여 막의 특성을 이온교환용량(AR), 함수율(w), 고정이온농도(Aw)를 통하여 측정하였다.

시료막인 슬폰화 폴리스티렌-디비닐벤젠 혼성중합막을 증류수로 세정 한 후 1M HCl 용액 중에 담그고 3 일 간 방치한 후 완전히 H<sup>+</sup>형으로 된 시료막을 증류수로 세척하여 HCl이 더 이상 침출되지 않을 때까지 세정하였다.

이 시료막을 2M NaCl 30mL에 담구었다가 H<sup>+</sup>를 Na<sup>+</sup>로 교환시키고 액중에 유리된 H<sup>+</sup>를 NaOH 용액으로 적정하였다.

Na<sup>+</sup> 형이된 시료막을 더 이상 Cl<sup>-</sup> 침출되지 않을 때까지 증류수로 세척하고 여과지로 닦은 후 빨리 밀폐 용기에 넣고 칭량하였다.

여기서 이온교환용량(AR)은 건조된 수지 1g 중에 고정이온의 밀리당량(meq)으로 구하였다.

$$AR = \text{meq/ g dry resin} \quad (2)$$

함수율(w)은 여과지로 닦아내어 칭량한 막과 115°C에서 건조시킨 막과의 질량 차이로 구하였으며 수지 중의 물에 대한 고정이온농도(Aw)는 이온교환용량(AR)과 함수율(w)로부터 구하였다.

$$Aw = AR/w \quad (3)$$

**3.2 능동 전달 특성 실험**

이온교환막을 8wt % NaOH 수용액 중에서 24시간 방치하여 Na<sup>+</sup> 형으로 평운시켜 모든 실험을 수행하였다.

측정셀은 Fig 1.의 능동전달특성 실험 장치를 사용하였고 셀은 이중벽으로 펌프를 사용해 물을 셀내벽과 외벽 사이로 순환시켜 온도를 일정하게 유지토록 하였다.

셀의 한쪽 부피는 380cm<sup>3</sup>, 막의 유효면적은 12.5cm<sup>2</sup>이다. 셀의 바닥은 평평하게 제작하였으며 자력교반기로 500rpm으로 용액을 충분히 교반시켜 위치에 따른 측정오차를 제거하였다. 막 양측의 전도도는 전도도측정기로, 수소이온농도는 pH meter로 기록계를 사용하여 연속적으로 측정하였다.

용액의 전도도가 이온농도에 비례하므로 전도도 추이에 따라 2ml 씩 2시간에 한번씩 양쪽셀에서 시료용액을 채취하여 원자흡광 분석기를 사용하여 금속이온의 농도를 측정하였다. 본 실험은 온도는 36.5°C로 고정한 후초기 pH 및 용질의 종류를 변수로 하였다.

막에 대한 5Gy의 선량조사 전 후의 pH에 대한 실험으로서 온도는 36.5°C로 고정한 후 pH를 1.5, 2.0, 3.0, 5.0까지 변화시켜 좌측셀의 용질로는 KCl, HCl을 사용

하였으며 우측 셀은 KOH를 사용하였다.

용질을 바꾸어서 좌측 셀의 용질로는 NaCl, HCl을 사용하였으며 우측 셀은 NaOH를 사용하였다.

### III. RESULT

#### 1. 막의 특성

실험에 사용한 양 이온교환막의 특성을 측정한 결과를 Table 1.에 나타내었다.

Table 1. Physical properties of membrane

physical property	CMV
화학적 조성 고정라디칼	Copolymer(Styrene-DVB) 황라디칼
AR(meq/g dry resin)	2.8
수분함량(%)	38
두께(mm)	0.21
AW(meq/g H <sub>2</sub> O)	7.3684

#### 2. 능동전달

Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> 펌프시스템에 대한 능동전달 현상을 알아 보기 위하여 셀 좌우 각각의 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 초기농도를 0.1N로 같게 한 후 이온농도의 변화는 시간이 지남에 따라 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 초가 좌측셀은 증가하였고 우측셀에서는 감소하였다.

이는 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>가 농도차에 대하여 반대방향으로 이동하는 능동전달 현상으로 H<sup>+</sup>이온이 능동전달의 에너지를 제공하였기 때문이다.

##### 2.1 방사선을 조사하지 않은 세포막 model의 고 정온도 36.5℃에서 초기 pH변화에 대한 전달 특성

Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>펌프시스템에 대한 실험에서 H<sup>+</sup>이온농도의 변화를 하였을 때의 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>농도변화결과를 Fig.2.- Fig.3. 에 나타내었다. 구동력이 되는 수소이온 농도를 증가시킬수록 농도변화 및 플럭스가 증가하였다.

이 때 pH 1.5 일 때 플럭스의 최고값을 나타냈으며 이는 초기농도 99%의 이동량을 보였다. Fig. 4.에서는 우측셀의 초기 pH 변화시 최종이동결과를 초기농도의 백분율로 나타낸 것이다. 이 때 pH 4에서는 거의 이동

이 일어나지 않으며 pH 1.5 부근에서는 K<sup>+</sup> 나 Na<sup>+</sup> 양 쪽 모두 대부분 이동되었음을 알 수 있다.

이는 수소이온농도가 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>의 이동량과 유사한 경향을 보인 것으로서 이동의 구동력이 되는 수소이온 농도가 클수록 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>의 이동이 크다는 것을 알 수 있었다.

그러나, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>가 H<sup>+</sup>의 이동량을 초과하지 못하므로 그 정량적인 관계는 H<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ≥ 1 또는 H<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ≥ 1로 Helfferich<sup>[12]</sup>의 수지에 대한 결과와 일치하였다.

Fig.5.은 Fig 2, 3에서 초기플럭스를 구한 결과이다. K<sup>+</sup> 나 Na<sup>+</sup> 양쪽 모두 pH 1.5 일 때 각각 최대값을 나타내었다. Table 2.에 초기 pH 변화에 대한 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>의 초기플럭스 변화량을 나타내었다. 이 초기플럭스는 시간대 농도의 그래프에서 최소 제곱법에 의해 C=at<sup>2</sup> + bt + c 를 구한 후 b를 초기 농도 변화율로 취하여 계산 한 것이다.

본 실험에서 H<sup>+</sup> 이온은 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 이온과의 이온교환에 의해서 이동함을 알았다. 그러나 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>가 H<sup>+</sup>의 이동량을 초과하지 못하였다.

즉, H<sup>+</sup>의 전달량 ≥ K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>의 전달량의 관계가 성립되며 이는 막 내부 세공의 크기가 확대되면 세공 표면에서의 이온교환에 의한 능동전달 보다 농도차에 의한 확산이 더 쉬워지기 때문이다. H<sup>+</sup>이온과 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 이온의 비가 1 일 때 가장 좋은 효율을 나타내며 이는 이온교환에 의한 능동 전달만 일어난다고 할 수 있다.

Table 2. Initial pH vs initial flux

H	Initial F(mole/cm <sup>2</sup> -h)	
	K <sup>+</sup> Ion	Na <sup>+</sup> Ion
1.5	1.32×10 <sup>-3</sup>	1.09×10 <sup>-3</sup>
2	3.81×10 <sup>-4</sup>	2.16×10 <sup>-4</sup>
3	2.80×10 <sup>-4</sup>	9.90×10 <sup>-4</sup>
5	2.09×10 <sup>-4</sup>	7.90×10 <sup>-4</sup>

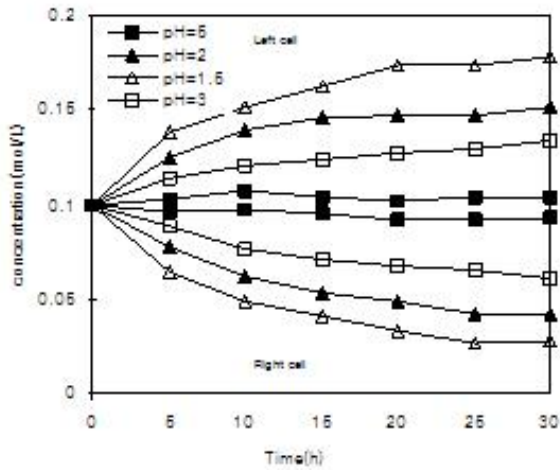


Fig. 2. Effect of initial pH on transport of  $K^+$  ion

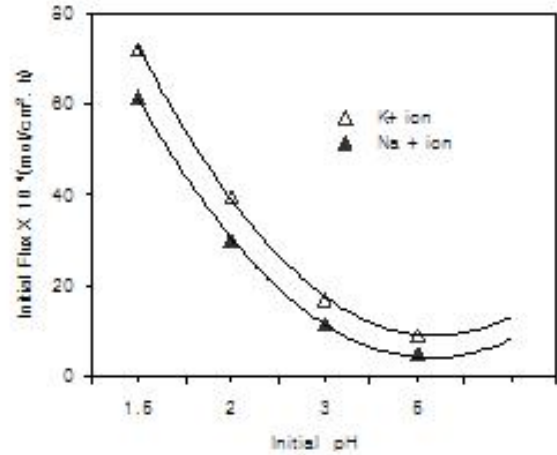


Fig. 5. Effect of initial pH on initial flux of  $K^+$  and  $Na^+$  ion

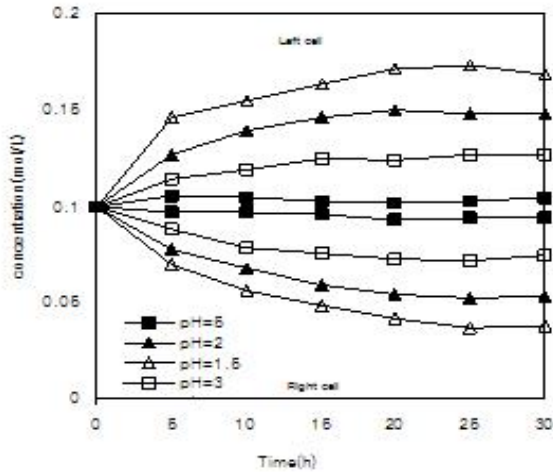


Fig. 3. Effect of initial pH on transport of  $Na^+$  ion

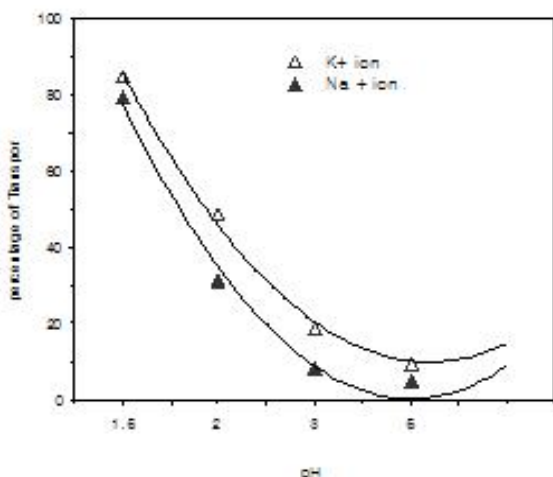


Fig. 4. Effect of initial pH on transported percentage of  $K^+$  and  $Na^+$  ion

2.2 방사선 5Gy로 조사한 세포막model의 고정 온도 36.5°C에서 초기 pH변화에 대한 전달 특성

방사선 5Gy로 조사한 세포막model에서  $Na^+$ - $K^+$  펌프시스템에 대한  $H^+$ 이온농도의 변화를 때의  $Na^+$ ,  $K^+$  농도변화결과를 Fig.6, Fig.7에 나타내었다. 방사선 5Gy로 조사한 세포막model에서는 방사선 조사를 안 한 세포막model보다 구동력이 되는 수소이온 농도를 9-20배 정도 증가시키고 농도변화 및 플럭스도 9-20배 정도 증가하였다.

이 때 pH 1.5 일 때 플럭스의 최고값을 나타냈으며 이는 초기농도 99%의 이동량을 보였다. Fig. 8.에서는 우측셀의 초기 pH 변화시 최종이동결과를 초기농도의 백분율로 나타낸 것이다. 이 때 pH 3에서는 거의 이동이 일어나지 않으며 pH 1.5 부근에서는  $K^+$  나  $Na^+$  양쪽 모두 대부분 이동되었음을 알 수 있다.

이는 수소이온농도가  $K^+$ ,  $Na^+$ 의 이동량과 유사한 경향을 보인 것으로서 이동의 구동력이 되는 수소이온 농도가 클수록  $K^+$ ,  $Na^+$ 의 이동이 크다는 것을 알 수 있었다.

그러나,  $K^+$ ,  $Na^+$ 가  $H^+$ 의 이동량을 초과하지 못하므로 그 정량적인 관계는  $H^+/K^+ > 1$  또는  $H^+/Na^+ > 1$ 로 Helfferich의 수지에 대한 결과와 일치하였다.

Fig.9은 Fig 6,7에서 초기플럭스를 구한 결과이다.  $K^+$  나  $Na^+$  양쪽 모두 pH 1.5 일 때 각각 최대값을 나타

내었다. Table 2.에 초기 pH 변화에 대한  $K^+$ ,  $Na^+$ 의 초기플럭스 변화량을 나타내었다. 이 초기플럭스는 시간대 농도의 그래프에서 최소 제곱법에 의해  $C=at^2 + bt + c$  를 구한 후 b를 초기 농도 변화율로 취하여 계산 한 것이다.

본 실험에서  $H^+$  이온은  $K^+$ ,  $Na^+$  이온과의 이온교환에 의해서 이동함을 알았다. 그러나  $K^+$ ,  $Na^+$ 가  $H^+$ 의 이동량을 초과하지 못하였다. 즉,  $H^+$ 의 전달량 >  $K^+$ ,  $Na^+$ 의 전달량 의 관계가 성립되며 이는 막 내부 세공의 크기가 확대되면 세공 표면에서의 이온교환에 의한 능동전달 보다 농도차에 의한 확산이 더 쉬워지기 때문이다.<sup>[13-15]</sup>  $H^+$ 이온과  $K^+$ ,  $Na^+$  이온의 비가 1 일 때 가장 좋은 효율을 나타내며 이는 이온교환에 의한 능동 전달만 일어난다고 할 수 있다.

Table 3. Initial pH vs initial flux

pH	Initial F(mole/cm <sup>2</sup> ·h)	
	K+ Ion	Na+ Ion
1.5	$16.7 \times 10^{-3}$	$20.6 \times 10^{-3}$
2	$37.4 \times 10^{-3}$	$24.5 \times 10^{-3}$
3	$28.0 \times 10^{-4}$	$78.0 \times 10^{-4}$
5	$21.0 \times 10^{-4}$	$62.0 \times 10^{-4}$

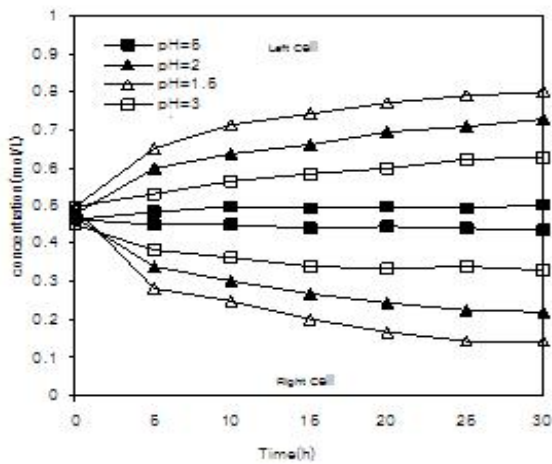


Fig. 6. Effect of initial pH on transport of  $K^+$  ion by irradiation.

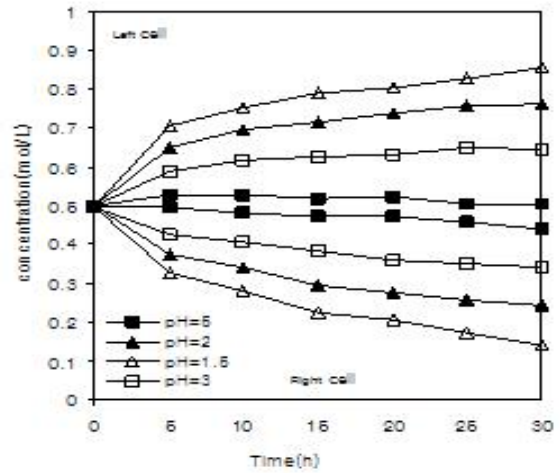


Fig. 7. Effect of initial pH on transport of  $Na^+$  ion by irradiation.

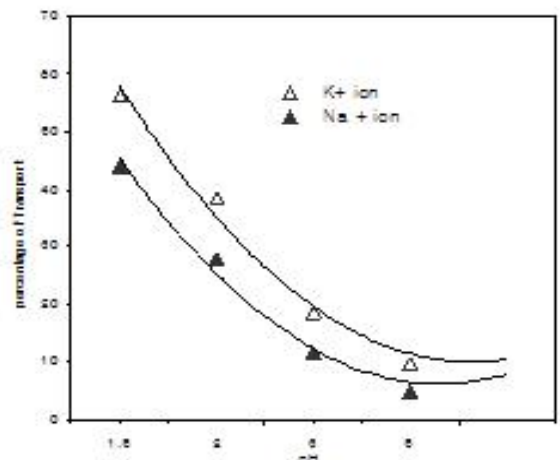


Fig. 8. Effect of initial pH on transported percentage of  $K^+$  and  $Na^+$  ion by irradiation.

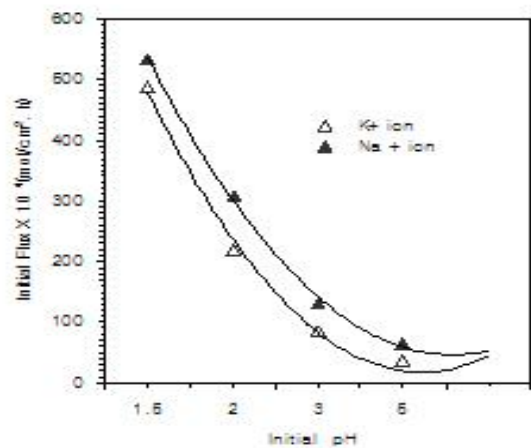


Fig. 9. Effect of initial pH on initial flux of  $K^+$  and  $Na^+$  ion by irradiation.

#### IV. DISCUSSION

고분자막은 1960년대에 CA계통의 비 대칭고분자막이 개발되었고 1970년대에는 poly-amide계의 공중사막이 1980년대에는 복합막이 개발되었으며 복합막은 기계적 강도보존 층인 지지층과 선택적 투과성을 갖는 활성 층으로 이루어진 복합적 구조를 지닌 고분자막이다.

복합막의 지지층은 용매투과속도를 빠르게 하는 기능 층이며 활성 층은 용질분리를 담당하는 비 공성의 기능 층이다. 이온투과성막은 선택적반투과성막인 세포막과 같은 특성을 지녀야 하므로 이온교환막으로 복합막 구조를 하고 있다.

고분자 막에서는 액막에서 사용되는 이온교환체 형태의 전달자 대신에 호 변이성의 활성기를 갖는 이온교환수지막을 이용하여 능동전달에 관한 연구가 되고 있다.

Marr와 Kopp<sup>[16-18]</sup>는 액막에서 일어나는 전달현상과 매카니즘을 보고하였는데 이 보고에 의하면 능동전달을 병류수송(co-transport)과 향류수송(counter-transport)으로 나누는데 음이온의 전달시 H<sup>+</sup>이온과 음이온이 동시에 이온쌍을 구성하여 전달자와 복합체를 형성하는 병류수송(co-transport)과 양이온의 전달시 H<sup>+</sup>이온이 에너지를 제공하여 H<sup>+</sup>이온과 양이온이 각각 전달자와 복합체를 형성하여 반대방향으로 전달되는 향류수송(counter-transport)이 있다.

Yoshikawa, M<sup>[19,20]</sup>등에 의해 poly(1-propenoyl-9-acridinyl-co-acrylonitrile)을 통한 할로젠 이온의 투과는 향류수송과 병류수송에 의해 이루어지며 poly(1-vinylimidazole-co-styrene)을 통한 할로젠 이온의 투과 또한 향류수송과 병류수송에 의해서 세포막에서 물질의 능동수송이 있음을 보고하고 있으며 또한 Koyama, K<sup>[21,22]</sup> 등은 poly(1-butyl-2-vinyl pyridinium chloride-co-styrene)을 역삼투 공정에 응용시켜 89-95% 정도의 배제효과가 있었음을 연구보고 하였다.

Song<sup>[23]</sup> 은 토끼 장간막 동맥절편에서 cromakalim과 pinacidil의 K<sup>+</sup> 통로개방작용이외에 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>펌프를 활성화 작용연구에서 cromakalim과 pinacidil은 세포내 Na<sup>+</sup>를 증가시킴으로서 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>펌프를 활성화시킨다는 연구보고가 있다.

본 실험은 슬론화 폴리스티렌-디비닐벤젠(polystyrene-divinylbenzene) 혼성 중합막으로 구성된 세포막 모델에서 양이온 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 이온과의 이온교환에 의한 능동전달 실험이므로 향류수송(counter-transport)을 알아보는 실험이다.

방사선이 조사된 세포막모델에서는 비정상적으로 양이온 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 이온과의 이온교환에 의한 능동전달이 발생하여 정상적인 물질전달이 이루어지므로 실제로 세포의 기능에 커다란 영향을 미쳐서 세포사, 세포기능과 구조적변화 등 다양한 형태의 장애를 유발하는 것으로 사료된다.

#### V. CONCLUSION

방사선조사로 고분자막(세포막모델)의 구조적 변화에 따른 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>이온투과성의 변화를 실험을 한 결과 아래와 같은 결론을 추론하게 되었다.

첫째, 방사선을 조사하지 않은 고분자 막(세포막모델)의 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>이온농도의 변화에 대하여 알아본 결과로 다음과 같았다.

1. Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>이온의 능동전달 초기 플럭스는 pH가 증가 할수록 증가하였다.
2. 실험범위(pH 1.5-5.0)에서 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>의 초기 플럭스는 각각  $7.09 \times 10^{-4} - 1.09 \times 10^{-3} \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$  및  $2.09 \times 10^{-4} - 1.32 \times 10^{-3} \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$  이었다.
3. H<sup>+</sup>이온의 이동량과 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 이동량의 정량적인 관계는  $H^+/K^+ \geq 1$ ,  $H^+/Na^+ \geq 1$  이었다.

둘째, 5Gy의 선량을 조사한 고분자 막의 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> 이온농도의 변화에 대하여 알아본 결과로 다음과 같았다.

1. Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>이온의 능동전달 초기 플럭스는 pH가 증가 할수록 증가하였다.
2. 실험범위(pH 1.5-5.0)에서 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>의 초기 플럭스는 각각  $62.0 \times 10^{-4} - 20.6 \times 10^{-3} \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$  및  $21.0 \times 10^{-4} - 16.7 \times 10^{-3} \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$  이었다.
3. H<sup>+</sup>이온의 이동량과 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 이동량의 정량적인 관계는  $H^+/K^+ > 1$ ,  $H^+/Na^+ > 1$  이었다.

상기의 실험 결과를 종합해 보면 방사선 5Gy의 조사로 세포막모델(고분자막)의 구성성분 중 H<sup>+</sup>가 전리가 되어 전해질의 H<sup>+</sup>이온 함량을 증가시킨다.

전해질의  $H^+$ 이온 함량의 증가는 능동전달의 구동력을 증가시켜서 조사되지 않은 고분자막보다 9-20배정도로 급속도로  $Na^+$ ,  $K^+$ 의 초기 플럭스 증가를 가져왔다.

이는  $Na^+$ ,  $K^+$  이동량의 증가를 가져와  $Na^+$ - $K^+$ 펌프 시스템의 비정상적인 능동전달 현상을 나타내면서 세포내-외의 정상적인 물질의 능동전달에 큰 장애를 준다.

결국에는 세포막의 기능이 정상적으로 작동을 하지 못하므로 다양한 형태의 세포장해를 발생할 것으로 사료된다.

### Reference

- [1] choy, E. M. Evans, D. F. and Cussier, E. L. J. Am Chem Soc, 96, 7085, 1974.
- [2] Schiffer, D. K. Hochhauser, A. Evans, D. F. and Cussier, E. L. Nature(London), 250, 484, 1974.
- [3] D. M. Koenhen. "J. of polymer Science", 34, 2079, 1987.
- [4] West, I. C. Biochem, Biophys, Act. 604, 91-126., 1980.
- [5] Glynn, Y. M. and Hokin, L. E. Ann. Rev Biochem. 43, 327-356, 1974.
- [6] Uragami, T., S. Watanabe, R. Nakamura, F. Yoshida, and M. Sugihara, " study on synthesis and Fermeabilities of polymer Membrane." J, Appl. polym, Sci., 28, 1613. 1981.
- [7] Shimidzu, T. N. Yoshikawa, M. Hsegawa, and K. Kasakatus, " Active transport and selectivity transport of alkalimetal ion through poly(3-vinyl-1, 4-butyrolacton-co-acrylonitrile) membrane." macromolecules, 14, 170, 1981.
- [8] Rosen, B. P.(ed) Bacterial transport. Dekker, N. Y. 1978.
- [9] Meares, P, " Membrane separation process," Elssvier, New York., 1976.
- [10] Scott, J. " Membrane and Ultrafiltration Technology Recent Advance," Noyes Data Corp. N. J., 1980.
- [11] Kesting, R. E, " "Synthetic polymeric membrane," John Wiley and Son New York, 1985.
- [12] Helfferich, F, "Ion exchange", MC Graw-Hill, New York, 1962.
- [13] Swdlack, B. and Kahovec, J, "Synthetic polymeric membrane," walter de Grvter, Berlin, New York, 1987.
- [14] Hwang, S. T. " Membrane in separation", John and Sons, Inc New York., 1982.
- [15] M. Yoshikawa, S. Shudo, K. Sanui and N. Ogata, Active transport of organic acid rough poly of Membrane. Sci, pp. 26. 1986.
- [16] Ullrich, K. J. Rev. Physiol. 41, 181-195, 1979.
- [17] Marr, R. and A. Kopp, " Liquid membrane technology a survey of phenomena, mechanism, and model," Inter Chem. Eng, pp. 22-44., 1982.
- [18] Yoshikawa, M., Shudo, S., Sanui, K., and Ogata, N., JI. Membrane. SCI, pp. 26. 1986.
- [19] Webb, R.C and Bohr, D. F, " Potassium-induced relaxation as an indicator of Na. K-ATPase activity in vascular smooth muscle" Blood Vessels. 15, 198-207, 1978.
- [20] Webb, R.C and Bohr, D. F, " Potassium relaxation of vascular smooth muscle from spontaneous hypertensive rats Blood Vessels. 16, 71-79, 1979.
- [21] Thomas, R, " Electrogenic sodium pump in nerve and muscle cells." Physiol. Rev. 52, 593-594, 1972.
- [22] Rudy, B, " Diversity and ubiquity of  $K^+$ channels" Neuroscience, 25, 729-749, 1988.
- [23] Chul Soo, Song, " Cromakalim and pinacidil - induced vasodilatation : A Rule for activation of The  $Na^+$ - $K^+$  pump", Pusan university graduate school. 1991. 2.



# 고에너지 엑스선을 조사한 세포막모델에서 $K^+$ - $Na^+$ 펌프 시스템의 능동적 전달 특성

고인호

제주한라대학교 방사선과

## 요 약

본 논문에서는 고에너지 엑스선(6MeV)을 조사한 세포막 모델에서  $K^+$ - $Na^+$  pump 시스템의 능동적 전달특성에 대하여 연구하였다. 이 실험에 사용된 세포막 모델은  $Na^+$ 슬론화 폴리스티렌-디비닐벤젠(polystyrene-divinylbenzene) 혼성 중합막을 사용하였다. 이온의 초기플럭스는  $H^+$ 이온 농도의 증가와 함께 증가하였다.

이 실험의 조건을 pH 1.5-5, 온도  $36.5^{\circ}C$ 로 하여 첫 번째, 방사선이 조사되지 않은 막에서  $K^+$ 의 초기플럭스는  $2.09 \times 10^{-4}$ - $1.32 \times 10^{-3} \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 이고  $Na^+$ 의 초기플럭스는  $7.09 \times 10^{-4}$ - $1.09 \times 10^{-3} \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 으로 나타내었다. 두 번째, 방사선이 조사된 막에서  $K^+$ 의 초기플럭스는  $21.0 \times 10^{-4}$ - $16.7 \times 10^{-3} \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 이고  $Na^+$ 의 초기플럭스는  $62.0 \times 10^{-4}$ - $20.6 \times 10^{-3} \text{ mole/cm}^2 \cdot \text{h}$ 으로 나타내었다. 막의  $K^+/Na^+$ 선택도는 약 1.10이다. 조사된 막의 pH의 추진력은 조사되지 않은 막보다 약 9-20배 정도 유의성 있게 증가하였다. 세포막모델에서  $K^+$ - $Na^+$ 의 pump 시스템의 능동적 전달특성이 비정상적이기 때문에 세포장해가 세포에서 발현된다고 사료된다.

중심단어: 라이락, 고에너지 엑스선, 수소이온농도지수, 슬론화 폴리스티렌-디비닐벤젠 혼성중합막