

## MC-50 싸이클로트론을 이용한 Na-22 제법에 관한 연구

### The Study of Na-22 Production with MC-50 Cyclotron

서용섭, 양승대, 전권수, 안순혁, 윤용기, 박 현, 이지섭, 김상욱, 허민구, 임상무  
원자력병원,  
서울시 노원구 공릉동 215-4

유국현  
동국대학교

#### 요 약

원자력병원의 MC-50 싸이클로트론을 이용해  $^{27}\text{Al}(p,\alpha\text{pn})$  핵반응으로 무담체의  $^{22}\text{Na}$ 를 생산하는 방법에 대해 연구하였다.  $^{22}\text{Na}$ 는 반감기가 2.6년이고 주  $\gamma$ -에너지가 1,274.5keV로서 표준선원으로 이용될 수 있다. 여기함수 측정결과  $^{22}\text{Na}$  생산에 적합한 양성자 에너지는 26MeV 이상이었으며, 43.8MeV에서 최고치의 핵반응단면적 40.8mbarn을 나타내었으며 50.5→26.3MeV에 대한  $^{22}\text{Na}$ 의 생산수율은 60.9 $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ 이었다. 조사된 표적으로부터  $^{22}\text{Na}$ 의 분리는 이온교환수지법을 이용하였다.

#### Abstract

A method for the production of no-carrier added(NCA)  $^{22}\text{Na}$  was developed via  $^{27}\text{Al}(p,\alpha\text{pn})$  nuclear reaction with 50.5MeV protons. The half life of  $^{22}\text{Na}$  is 2.6 years and main  $\gamma$ -energy is 1274.5keV and it is used standard source and sodium catabolism study. The cross-section and thick target yield for the reaction was measured in detail in the energy range of 50.5→20.2MeV in order to determine the optimum conditions for the production of  $^{22}\text{Na}$ . The maximum cross-section for the production of  $^{22}\text{Na}$  was 40.8 mbarn at 43.85MeV. The calculated production yield of  $^{22}\text{Na}$  by 50.5MeV protons on aluminium was 60.9 $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ . The separation of  $^{22}\text{Na}$  was carried out by ion exchange, precipitation and diffusion. It was found that ion exchange column operation using AG50W-X4 resin was the most efficient method among them.

#### 1. 서 론

반감기가 2.6년이고 주  $\gamma$ -에너지가 1274.5keV(abundance: 99.93%)인  $^{22}\text{Na}$ 는 표준선원으로 사용할 수 있고, 또한 PATS(position annihilation timing spectroscopy)<sup>1)</sup>와 나트륨 대사에 관

한 in vivo 연구에 사용되고 있다<sup>2)</sup>.  $^{22}\text{Na}$ 는  $\beta^+$ (90.57%)와 전자포획(9.43%)으로 붕괴하며 붕괴도는 그림 1과 같다.

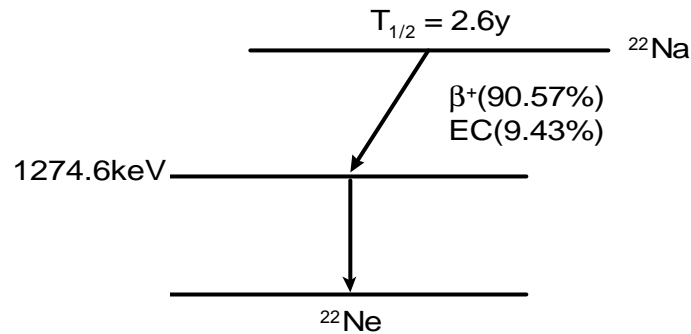


Fig. 1. Decay scheme of  $^{22}\text{Na}$ .

$^{22}\text{Na}$ 을 얻기 위한 핵반응은 표 1에 나타난 바와 같이 여러가지가 있으나 현재 원자력병원에서 보유중인 MC-50 싸이클로트론 특성을 고려해 무담체(No Carrier Added)의  $^{22}\text{Na}$ 을 얻기 위해 핵반응 단면적(43mbarn)은 적으나 천연 알루미늄을 표적으로 사용하는  $^{27}\text{Al}(p,\alpha pn)$  핵반응을 선택하였다. 이 핵반응의 Q-Value와 threshold value는 각각 -22.5MeV와 23.3MeV<sup>3,4)</sup> 이므로  $^{22}\text{Na}$ 를 얻기 위해서는 23.3MeV이상의 양성자 에너지를 조사시켜야만 한다.

본 실험에서는 먼저  $^{27}\text{Al}(p,\alpha pn)^{22}\text{Na}$ 에 대한 여기함수를 측정하였고, 이 때 얻은  $^{22}\text{Na}$ 를 분리하는 방법 및 수율에 대하여 연구하였다.

Table 1. Nuclear Reactions for the  $^{22}\text{Na}$  Production.

Reaction	Energy (MeV)	Target material	Cross section (mbarn)	Impurity	Reference
$^{23}\text{Na}(p,pn)$	15-120	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	122		5
$^{24}\text{Mg}(p,2pn)$	31-96	Mg powder	65		6
$^{24}\text{Mg}(p,\alpha)$	4-96	Mg metal	113		6
$^{26}\text{Mg}(p,\alpha n)$	16-94	Mg metal	42		6
$^{27}\text{Al}(p,\alpha pn)$	26-55	Al metal	43	$^{24}\text{Na}$	3, 4
$^{23}\text{Na}(d,p2n)$	15-52	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	160		7
$^{26}\text{Mg}(d,\alpha)$	3-11	Mg powder	200	$^{24}\text{Na}$	8
$^{27}\text{Al}(d,\alpha p2n)$	18-52	Al metal			9
$^{27}\text{Al}(^3\text{He},2\alpha)$	7-24	Al metal	4		10
$^{27}\text{Al}(\alpha,2\alpha n)$	34-41	Al metal			11

## II. 본 론

### 1. MC-50 싸이클로트론을 이용한 표적조사

$^{22}\text{Na}$ 을 생산하기 위하여 표적물질 알루미늄(Johnson Matthey Co., 99.9%, thickness: 0.5mm, 33×60mm)을 24°경사, 2궤냉각표적 지지대에 부착하여 조사하였다. 빔 에너지는 여기함수를

측정하여 얻은 결과에 따라 50.5→25.0MeV를 사용하였고, 전류의 세기는 20 $\mu$ A를 사용하였다. 표적의 두께는 50.5→25.0MeV에 해당되는 두께 3.20mm(24°경사표적사용시)까지를 사용하였다. 조사된 알루미늄 표적은 먼저 다중파고분석기와 고순도 Ge 검출기로  $\gamma$ -선 에너지를 측정하였고 그 결과는 그림 2와 같다. 그림에 나타난 2754.0keV와 1368.6keV의 피크는  $^{24}\text{Na}$ 에 해당하는 것으로  $^{27}\text{Al}(p,3pn)$  핵반응에 의해 생성되며, 2243.0keV와 1732.0keV의 피크는 각각  $^{24}\text{Na}$ 의 2754.0keV에 대한 single escape, double escape 피크이고, 1785.5keV는  $^{22}\text{Na}$ 의 1274.5keV와  $\beta^+$ 의 511keV의 sum peak이다. 한편 부핵반응에 의해 생성된  $^{24}\text{Na}$ 는 그 반감기가 14.97시간으로  $^{22}\text{Na}$ 의 반감기 2.60년에 비해 매우 짧으므로 빔조사후 약 1주일 정도 냉각시키면 자연붕괴되어 소멸되므로 별도로 분리하지 않았다.

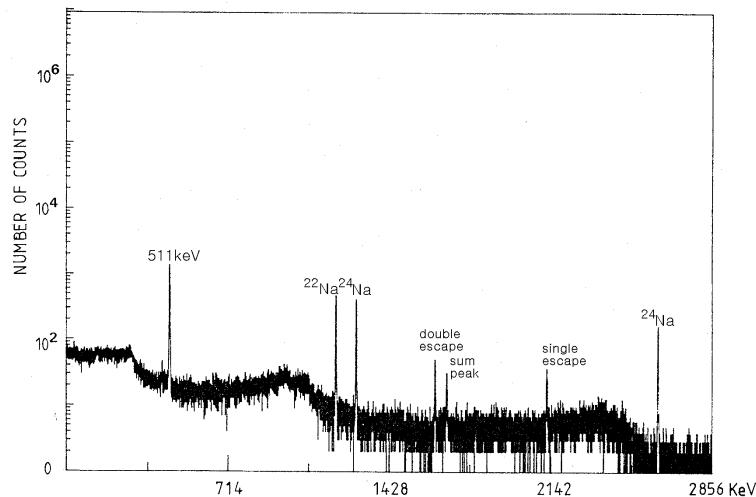


Fig. 2. The  $\gamma$ -ray spectrum of aluminium target irradiated with 50MeV proton beam.

## 2. $^{22}\text{Na}$ 의 여기함수 측정

동위원소 생산에 필요한 기초자료 중 가장 중요한 것 중의 하나는 여기함수(excitation function)이며 이는 입사에너지에 따른 핵반응단면적의 함수로 원하는 동위원소의 수율 및 순도와 부핵반응으로 생성되는 불순핵종의 순도를 결정하는데 필요하다.  $^{27}\text{Al}(p,\alpha pn)^{22}\text{Na}$  핵반응에 대한 여기함수 측정은 "stacked-foil" 방법으로 두께 0.1mm 알루미늄 박막(Johnson Matthey Co., 99.9%, 25×25mm) 100장을 2 $\pi$ 직각 냉각장치 지지대에 부착시켜 0.5 $\mu$ A의 전류 세기로 140분간 조사하여 50.5MeV에서 13.4MeV 까지의 여기함수를 측정하였다. 각 박막에 대한 양성자 에너지는 Williamson등이 계산한 stopping power로 계산하였고 표적에 집적된 전류의 양은 표적으로부터 나오는 전류를 digital current integrator(ORTEC 430)와 counter timer(ORTEC 776)를 사용하여 측정하였다. 한편 정확한 여기함수를 측정하기 위하여 빔 라인의 Faraday cup 전후에 직경 4mm의 collimator(재질:graphite) 2개를 부착하여 빔의 확산현상을 방지하였다. 조사된 표적의 방사능량과 핵종분석은 HPGe 검출기(ORTEC GEM series p-type coaxial detector)와 MCA로 분석하였다. MCA는 8092 channel로 이루어졌고 channel 당  $\gamma$ -선 에너지는 표준선원  $^{137}\text{Cs}$ (661.62keV)와  $^{60}\text{Co}$ (1173.21 keV)로 계산하였다. HPGe 검출기의 절대효율(absolute efficiency)은 표준선원  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{188}\text{Sn}$ ,  $^{137}\text{Se}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{60}\text{Co}$ 등을 사용하여 검출기와의 거리 5, 10, 15, 20cm에서 측정하여  $\gamma$ -선 에너지에 대한 HPGe의 절대효율을 측정하였다. 한편, 조사 직후의 방사능량은 MCA에 의하여 측정된 count수를 이용해 다음 식으로 계산하였다.

$$A_0 = \text{cps} \times \frac{1}{\text{de}} \times \frac{1}{\%ab} \times \frac{T_b}{1 - \text{EXP}(-\lambda T_b)} \times \frac{T_c}{1 - \text{Exp}(-\lambda T_c)} \times \text{Exp}(\lambda \Delta T)$$

cps = counts per second

de = detector efficiency

%ab = gamma ray abundance

$\lambda$  = decay constant

Tb = irradiation time

Tc = counting time

$\Delta T$  = cooling time

또한 핵반응단면적(cross section)은 위 식에서 구한 방사능량을 이용해 다음과 같이 구하였다.

$$A_0(\text{dps}) = 6.24 \times 10^{18} \times i \times (N \times \rho \times y_i / M \times 10^{-3}) \times X \times \sigma(E) \times [1 - \text{Exp}(-\lambda T_b)]$$

i = current(ampere)

N = Abogadro's Number(number/mole)

$\rho$  = density of target material(kg/m<sup>3</sup>)

X = target thickness(m)

$\sigma(E)$  = cross section

Tb = irradiation time(hr)

$\lambda$  = decay constant(hr<sup>-1</sup>)

M = molecular weight(g/mole)

y<sub>i</sub> = isotopic abundance of target material

위 식에 의하여 계산한 <sup>27</sup>Al(p,αpn)<sup>22</sup>Na과 부핵반응 <sup>27</sup>Al(p,3pn)<sup>24</sup>Na 핵반응에 대한 핵반응 단면적을 표 2와 그림 3에 나타내었고, 각 에너지에 대한 수율(thin target yield)과 전체 누적수율(cummulative yield)을 그림 4에 나타내었다.

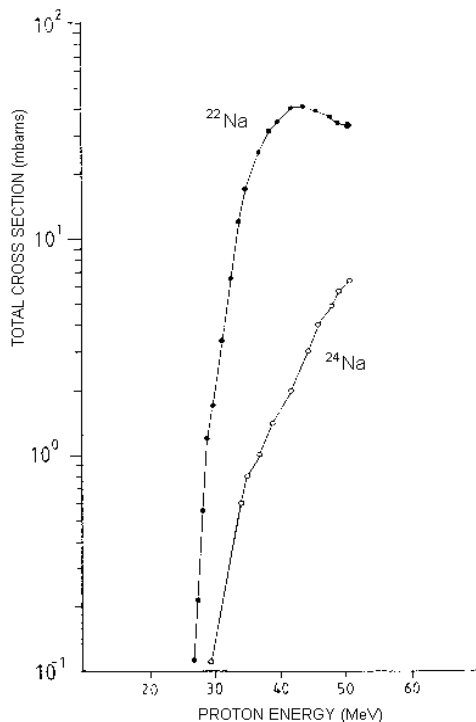


Fig. 3. The total cross section(mbarn) for the <sup>22</sup>Na and <sup>24</sup>Na

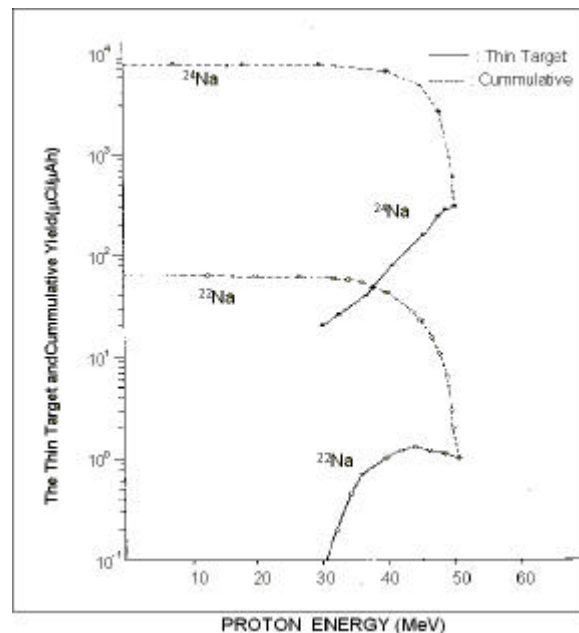


Fig. 4. Thin target and cummulative yield(μCi /μ h) for production of <sup>22</sup>Na and <sup>24</sup>Na

Table 2.  $^{22}\text{Na}$  and  $^{24}\text{Na}$  Single and Cumulative yield( $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ ) and Cross Section (mbarn) from Proton Energy on Aluminum Metal.

Proton energy (MeV)			$^{22}\text{Na}$ yield ( $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ )		$^{24}\text{Na}$ yield ( $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ )		Cross section (mbarn)	
Inc.	Exit	Avg.	Single	Cummul.	Single	Cummul.	$^{22}\text{Na}$	$^{24}\text{Na}$
50,5	50,2	50,35	1,025	1,020	302	302	33,2	6,4
50,2	50,0	50,10	1,056	2,081	303	605	34,2	6,4
50,0	49,7	49,85	1,054	3,135	298	903	34,2	6,4
49,7	49,5	49,60	1,076	4,211	289	1192	34,9	6,2
49,5	49,2	49,35	1,093	5,304	284	1476	35,4	6,1
49,2	48,9	49,05	1,075	6,379	279	1755	34,8	5,9
48,9	48,7	48,80	1,110	7,489	266	2021	35,9	5,7
48,7	48,4	48,55	1,088	8,577	258	2279	35,3	5,5
48,4	48,1	48,25	1,136	9,713	250	2529	36,8	5,3
48,1	47,9	48,00	1,120	10,833	241	2770	36,3	5,2
47,9	47,6	47,75	1,134	11,967	236	3006	36,8	5,0
47,6	47,3	47,45	1,147	13,114	228	3234	37,2	4,9
47,3	47,1	47,20	1,145	14,259	223	3457	37,1	4,8
47,1	46,8	46,95	1,170	15,429	211	3668	37,9	4,5
46,8	46,5	46,65	1,177	16,606	204	3872	38,1	4,3
46,5	46,2	46,25	1,201	17,807	196	4068	38,9	4,2
46,2	46,0	46,10	1,205	19,012	184	4252	39,0	3,9
46,0	45,7	45,85	1,210	20,222	175	4427	39,2	3,7
45,7	45,4	45,55	1,213	21,435	166	4593	39,3	3,5
45,4	45,1	45,25	1,226	22,661	161	4754	39,7	3,4
45,1	44,9	45,00	1,194	23,855	155	4909	38,7	3,3
44,9	44,6	44,75	1,238	25,093	148	5057	40,1	3,2
44,6	44,3	44,45	1,213	26,306	141	5198	39,5	3,0
44,3	44,0	44,15	1,219	27,525	139	5337	39,5	2,9
44,0	43,7	43,85	1,258	28,783	131	5468	40,8	2,8
43,7	43,3	43,55	1,251	30,034	121	5589	40,5	2,6
43,3	43,1	43,25	1,244	31,278	121	5710	40,3	2,6
43,1	42,8	42,95	1,236	32,514	117	5827	40,1	2,5
42,8	42,6	42,70	1,225	33,739	110	5937	39,7	2,4
42,6	42,3	42,45	1,214	34,953	108	6045	39,3	2,3
42,3	42,0	42,15	1,188	36,141	99	6144	38,5	2,1
42,0	41,7	41,85	1,208	37,349	99	6243	39,2	2,1
41,7	41,4	41,55	1,174	38,523	95	6338	38,0	2,0
41,4	41,1	41,25	1,156	39,679	87	6425	37,4	1,9
41,1	40,8	40,90	1,146	40,825	85	6510	37,1	1,8
40,8	40,5	40,62	1,142	41,967	80	6590	37,0	1,7
40,5	40,2	40,35	1,111	43,078	79	6669	36,0	1,7
40,2	39,8	40,00	1,093	44,171	77	6746	35,4	1,6
39,8	39,5	39,65	1,093	45,264	75	4821	35,4	1,6
39,5	39,2	39,35	1,061	46,325	70	6891	34,4	1,5
39,2	38,9	39,05	1,033	47,358	71	6962	33,5	1,5
38,9	38,6	38,75	1,015	48,373	67	7029	32,9	1,4
38,6	38,3	38,45	0,993	49,366	65	7094	32,2	1,4
38,3	38,0	38,15	0,950	50,272	60	7154	30,8	1,3
38,0	37,6	37,75	0,9,6	51,178	59	7213	29,4	1,3
37,6	37,3	37,45	0,881	52,059	56	7269	28,6	1,2

continued

37,3	37,0	37,15	0,845	52,904	50	7319	27,4	1,1
37,0	36,7	36,85	0,801	53,705	51	7370	25,9	1,1
36,7	36,3	36,50	0,757	54,462	45	7415	24,5	1,0
36,3	36,0	36,15	0,702	55,164	54	7459	22,8	0,9
36,0	35,7	35,85	0,668	55,823	52	7501	21,7	0,9
35,7	35,3	35,50	0,620	56,452	38	7539	20,1	0,8
35,3	35,0	35,15	0,577	57,029	38	7577	18,7	0,8
35,0	34,6	34,80	0,537	57,566	36	7613	17,4	0,8
34,6	34,3	34,45	0,465	58,031	37	7650	15,0	0,8
34,3	34,0	34,15	0,437	58,468	29	7679	14,2	0,6
34,0	33,6	33,80	0,375	58,843	28	7707	12,2	0,6
33,6	33,2	33,40	0,335	59,178	26	7733	10,9	0,6
33,2	32,9	33,05	0,290	59,468	25	7758	9,4	0,5
32,9	32,5	32,70	0,254	59,722	24	7782	8,2	0,5
32,5	32,2	32,35	0,216	59,938	25	7807	7,0	0,5
32,2	31,8	32,00	0,181	60,119	21	7828	5,9	0,5
31,8	31,4	31,60	0,192	60,311	28	7856	6,2	0,5
31,4	31,1	31,25	0,152	60,463	26	7882	5,0	0,5
31,1	30,7	30,90	0,122	60,585	23	7905	4,0	0,5
30,7	30,3	30,55	0,095	60,680	27	7932	3,1	0,5
30,3	29,9	30,10	0,072	60,752	21	7953	2,3	
29,9	29,5	29,70	0,053	60,805	21	7974	1,7	
29,5	29,1	29,30	0,038	60,843			1,2	
29,1	28,7	28,90	0,037	60,880			1,2	
28,7	28,3	28,50	0,020	60,900			0,6	
28,3	27,9	28,10	0,014	60,914			0,5	
27,9	27,5	27,70	0,005	60,919			0,3	
27,5	27,1	27,30	0,004	60,923			0,2	
27,1	26,7	26,90	0,002	60,925			0,1	
26,7	26,3	26,50	0,002	60,927			0,1	

### 3. $^{22}\text{Na}$ 의 화학분리

$^{27}\text{Al}(p,\alpha pn)$  핵반응에 의해 생성된  $^{22}\text{Na}$ 를 표적물질 알루미늄으로부터 분리하는 방법은 이온교환수지법<sup>12)</sup>, 침전법<sup>12,13)</sup>, 용매추출법<sup>14-16)</sup>, 확산법<sup>17)</sup> 그리고 leaching법<sup>18)</sup> 등이 있다. 이 중 leaching법은 표적물질로 산화 알루미늄을 사용했을 때 가능한 방법이며 본 실험에서는 표적물질로 알루미늄 금속을 사용하였기 때문에 이 방법에 대하여서는 고려하지 않았다. 또한 조사된 표적으로부터  $^{22}\text{Na}$ 의 분리는 반감기가 14.97 시간인  $^{24}\text{Na}$ 이  $^{27}\text{Al}(p,3n)$  핵반응에 의해 생성되므로 조사 후 일주일 이상 냉각시켜  $^{24}\text{Na}$ 이 거의 붕괴된 것을 확인한 후 실시하였다.

#### (1) 이온교환수지법에 의한 분리

조사된 알루미늄 박막 0.66g을 3N HCl 50ml에 약 50℃로 가열하면서 녹였다. 이 조사된 표적은 표면에 산화막이 형성되어 잘 녹지 않으므로 약 3일 정도의 시간이 필요하다. 이 용액의 Na와 Al을 이온교환수지에 흡착시키기 위하여 0.01N HCl 용액이 되도록 묽힌 후 양이온 교환수지 AG50W-X4(H<sup>+</sup>-form, 200-400mesh) 칼럼(φ20mm x 150mm)에 흡착시켰다. 이때 흡착여부는 용출용액을 2ml 씩 분취하여 MCA로 확인하였다. 칼럼에 흡착된  $^{22}\text{Na}$ 와 Al의 분리는 염산의 농도를 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.3, 1.5, 2.0N로 변화시키고 용출속도를 0.7ml/min로 흘리면서 실험한 결과 분해능은 1.0N HCl에서 가장 좋았으나 이 농도의 용출용액에서는 spot test

결과 알루미늄이 검출되기 때문에 0.7N HCl 용액을 용출액으로 사용하였고 그 결과는 그림 8과 같았다. 용출된 핵종의 방사핵종 순도검정은 MCA를 사용하며 측정된 결과 그림 9에 나타낸바와 같이  $^{22}\text{Na}$ 에 해당하는 511keV와 1274.5keV의  $\gamma$ -선을 확인하였다.

한편 용출된 용액내 알루미늄 오염 여부는 알루미늄에 대한 적당한 추적자가 없으므로 morin 을 이용한 spot test<sup>19)</sup> 로서 확인하였다. 즉 morin은 황색염료로 알콜용액에서 알루미늄염과 반응하여 알루미늄 착물을 형성하며 이는 진한 녹색을 띤다. 이러한 원리를 이용해 다음과 같이 알루미늄에 대한 spot test를 하였다. 먼저 용출된 시료 용액에 과량의 2N KOH를 넣은 후 이를 여과시키고 이 용액 한방울에 2N acetic acid로 약산성화(pH 4-6) 시켰다. 여기에 MeOH 에 포화시킨 morin 용액을 한방울을 넣어 녹색을 확인함으로써 알루미늄의 존재여부를 확인하였다. 이 방법으로 0.2 $\mu$  알루미늄까지 확인할 수 있다.

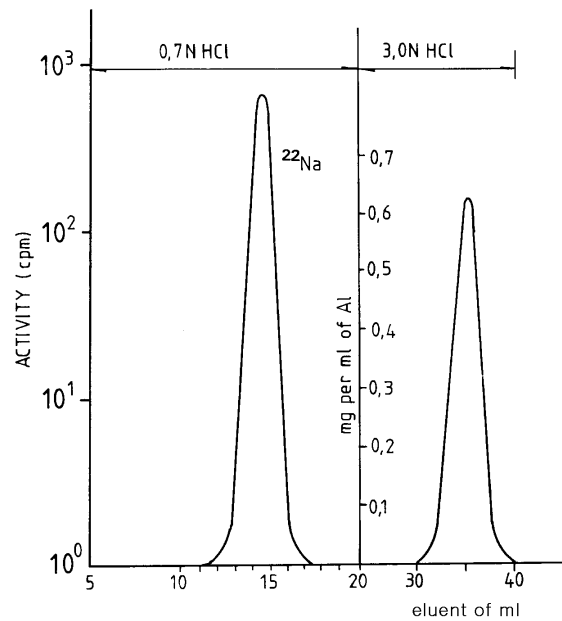


Fig. 5. The elution curve for  $^{22}\text{Na}$  and Al in AG50W-X4 resin with 0.7N HCl

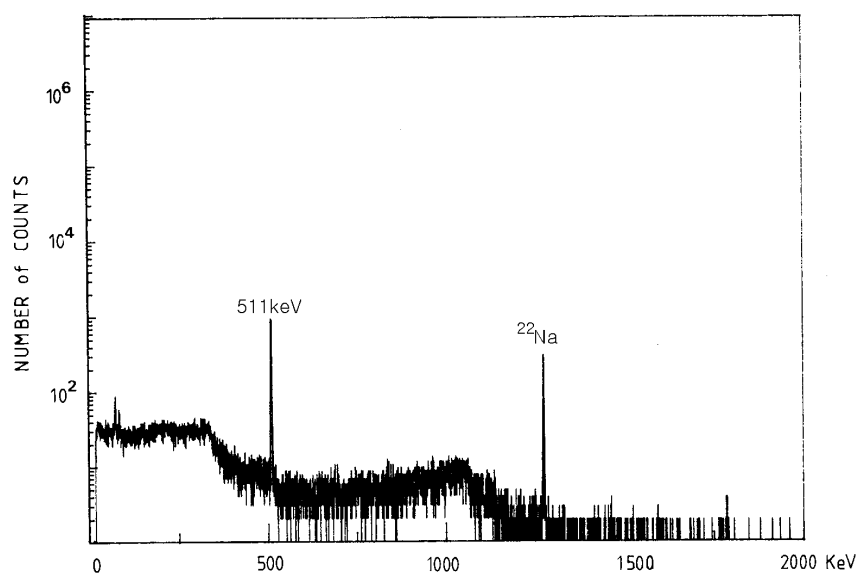


Fig. 6. The  $\gamma$ -ray spectrum of separated  $^{22}\text{Na}$ .

### (2) 침전법에 의한 분리

조사된 표적 알루미늄으로부터  $^{22}\text{Na}$ 를 침전법에 의해 분리하기 위해 진한  $\text{NH}_4\text{OH}$ 와 8-quinolinol을 사용하였다.  $\text{NH}_4\text{OH}$ 에 의한 분리는 표적을 녹인 3N HCl 용액에 진한  $\text{NH}_4\text{OH}$ 로 중화시키고 담체로 소량의 철(III), 니켈, 마그네슘 이온등을 넣어 사용하면 수율은 90% 정도로 높일 수 있으나 무담체의  $^{22}\text{Na}$ 은 얻을 수 없다. 따라서 이와같은 담체를 사용하지 않고 침전물  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 를 원심분리기를 사용해 분리한 결과 공침(coprecipitation) 현상이 일어나기 때문에 수율은 30-40% 정도였다. 한편 8-quinolinol에 의한 분리는 5% 8-quinolinol/2N acetic acid 용액으로 만들어 70-80°C에서 반응시켜 원심분리시킨 결과 50-60%의 수율을 얻었다.

### (3) 확산법에 의한 분리

조사된 알루미늄을  $^{128}\text{I}$  생산에 사용되는 석영용기<sup>20)</sup>에 넣고 전기로를 이용해 1000°C로 온도를 올려  $^{22}\text{Na}$ 가 확산되어 나오는 것을 운반기체( $\text{N}_2$ )로 포집용기로 이동시켜 0.01N HCl로 포집하였다. 이 방법을 사용할 때 확산되어 나오는  $^{22}\text{Na}$ 의 양은 pmol 정도에 지나지 않기 때문에 석영용기 내벽에 응고되어 실제 수율을 10% 이하로 극히 저조하였다.

## III. 결과 및 고찰

표준선원으로 사용되는  $^{22}\text{Na}$ 를  $^{27}\text{Al}(p,\alpha p n)$  핵반응으로 생산하였다. 생산에 필요한 적합한 양성자 빔 에너지를 결정하기 위하여  $^{27}\text{Al}(p,\alpha p n)^{22}\text{Na}$  핵반응에 대한 여기함수를 50.5→0MeV 까지 측정한 결과 threshold 값은 26.3MeV 이었고 핵반응 단면적은 43.85MeV에서 최고치 40.8mbarn을 나타내었다. 또한 이 핵반응에서 50.5→26.3MeV에 대한  $^{22}\text{Na}$  생산수율은 60.9  $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$  이었다. 조사된 알루미늄 표적으로부터  $^{22}\text{Na}$ 의 분리는 이온교환수지법, 침전법, 용매 추출법, 확산법 그리고 leaching법에 대해 실험, 검토한 결과 이온교환수지법이 가장 효율적이었다. 이 방법에 의한 분리는 조사된 알루미늄 표적을 3N 염산으로 녹인 후 염산 농도를 0.1N 이하로 묽혀 양이온교환수지 AG50W-X4에 흡착시키고 0.7N 염산을 0.7ml/min으로 흘려 분리하였다. 이때 알루미늄의 오염여부는 morin을 이용한 spot-test로 확인하였다. 이 방법에 의한  $^{22}\text{Na}$ 의 생산법은 수율이 낮다는 단점이 있으나 분리시 이온교환수지를 사용하므로 다른 방법에 비해 간편하다는 장점이 있다.

본 연구에서 생산된  $^{22}\text{Na}$ 는 핵의학 장비중 하나로 사용되고 있는 다중파고분석기(MCA)의 에너지 검정용으로 사용이 기대된다.



## References

1. L.J. Laslett, *Phys Rev*, **52**, 529 (1935)
2. C.L. Comar, F. Bonner, "Mineral Metabolism", vol 2, NY, Academic press Inc., 1964.
3. R.E. Batzel, G.H. Coleman, *Phys Rev*, **93**, 280 (1954)
4. M. Furukawa, S. Kume, M. Ogawa, *Nucl Phys*, **69**, 362 (1965)
5. J.W. Meadows, R.B. Holt, *Phys Rev*, **83**, 47 (1951)
6. J.W. Meadows, R.B. Holt, *Phys Rev*, **83**, 1257 (1951)
7. J. Lange, H. Munzel, E. Gantner, *Radiochim Acta*, **11**, 21 (1969)
8. H.F. Rohm, G.J. Verwey, J. Steyn, W. Rautenbauch, *J Inorg Nucl Chem*, **31**, 3345 (1969)
9. U. Martens, G.W. Schweimer, *Z Physik*, **233**, 170 (1970)
10. O.D. Brill, *Soviet J Nucl Phys*, **1**, 37 (1965)
11. R.H. Lindsay, R.J. Carr, *Phys Rev*, **118**, 1293 (1960)
12. W.T. Mullins, et al., AEC NAS-NS 3055
13. I.M. Kolthott, E.B. Scandell, "Textbook of Quantitative Analysis", p320, Mcmillan (1943)
14. G.H. Morrison, H. Freiser, "Solvent Extraction in Analytical Chemistry", pp 157-190, NY, John wiley and Sons Inc.
15. J. Steinbach, H. Freiser, *Anal Chem*, **26**, 375 (1954)
16. E.B. Scandell, "Colorimetric Determination of trace of Metals", 2nd ed., p152, NY, Interscience Publishers Inc., 1956
17. K.H. Neeb, *Nukleonik*, **6**, 320 (1964)
18. J. Govaerts, *Bull Soc r Sci Liege*, **9**, 38 (1940)
19. F. Feigl, "Spot test in Inorganic Analysis" Elsevier Publ. Co., 5th ed, (1958)
20. 서용섭, 양승대, 전권수, 이종두, 한현수, *대한핵의학회지*, **25(1)**, 286 (1991)