

MC-50 싸이클로트론을 이용한 Mn-54 제조

서용섭, 양승대, 전권수, 채종서
이동훈, 김유석, 이종두

원자력병원

요 약

원자력병원의 MC-50 싸이클로트론을 이용하여 표준선원용으로 사용되는 ^{54}Mn 를 $^{59}\text{Co}(p, \alpha pn)$ 핵반응으로 생산하고 이온교환수지법을 통하여 무담체의 ^{54}Mn 를 $11.85 \mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ 의 수율로 분리하였다. 또한 $^{59}\text{Co}(p, \alpha pn)^{54}\text{Mn}$ 핵반응에 대한 여기함수를 stacked foil 방법으로 측정하였고, 그 결과 threshold energy는 27.3 MeV이었으며 41.2MeV에서 최대치의 핵반응단면적 47.4mb를 나타내었다.

1. 서론

반감기가 312.2일이고 γ -에너지가 835.0keV(abundance:100%)인 ^{54}Mn 은 주로 표준선원으로 사용되며 인체내의 망간대사 연구에도 이용된다. ^{54}Mn 는 전자포획 (100%)으로 붕괴하며 그 붕괴도는 그림 1과 같다.

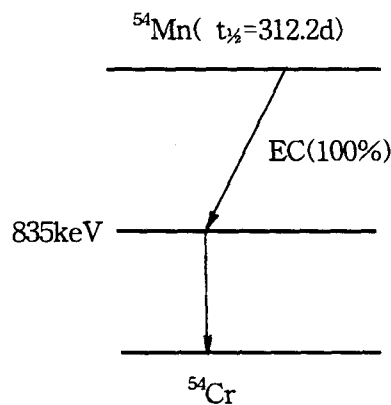


Fig. 1. The decay scheme of ^{54}Mn .

^{54}Mn 를 얻기 위한 핵반응과 조사된 표적으로 부터 생성된 ^{54}Mn 의 분리방법은 여러

가지가 있다. 지금까지 보고된 분리방법은 일반적으로 공침법, 용매추출법등을 사용하여 왔으나 이들 방법은 회수율이 좋지 않을 뿐만 아니라 분리과정이 매우 복잡하다는 단점이 있다. 따라서 본 실험에서는 $^{59}\text{Co}(p, \alpha pn)$ 핵반응에 의해 생성된 ^{54}Mn 을 이온교환수지를 사용해 무담체(carrier free)로 얻는 방법에 대하여 연구하였다. 또한 $^{59}\text{Co}(p, \alpha pn)$ 핵반응에 대한 여기함수를 측정하였고, 이때 함께 생성되는 부핵반응 $^{59}\text{Co}(p, \alpha)^{58}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(p, 3n)^{57}\text{Ni}$, $^{59}\text{Co}(p, 4n)^{56}\text{Ni}$ 에 대한 여기함수도 함께 측정하였다.

2. 본 론

2.1 표적조사

$^{59}\text{Co}(p, \alpha pn)$ 핵반응에 의해 ^{54}Mn 를 생산하기 위하여 표적물질 천연 cobalt를 4π -냉각표적 지지대에 부착하여 조사하였다. 빔 에너지는 여기함수를 측정하여 얻은 결과에 따라 50.5→25MeV를 사용하였고 전류의 세기는 $25\mu\text{A}$ 로 조사하였다. 조사된 표적은 먼저 MCA /HPGe 검출기로 γ -선 에너지를 측정하였고 그 결과는 그림 2와 같다. 그림에서와 같이 cobalt 표적에 양성자 빔을 조사하면 ^{54}Mn 외에 부핵반응 $^{59}\text{Co}(p, d)$, $^{59}\text{Co}(p, 4n)$, $^{59}\text{Co}(p, 3n)$ 에 의해 $^{58}\text{Co}(t_{1/2}=70.78\text{d})$, $^{56}\text{Ni}(t_{1/2}=6.1\text{d})$, $^{57}\text{Ni}(t_{1/2}=36\text{h})$ 이 각각 생성되고 ^{56}Ni 이 전자포획으로 붕괴하여 ^{56}Co 이 생성되며 또한 $^{59}\text{Co}(p, dn)$ 핵반응과 ^{57}Ni 이 붕괴하여 ^{57}Co 이 함께 생성된다.

2.2 ^{54}Mn 의 화학분리

조사된 표적 Co와 부핵반응으로 생성된 Ni로 부터의 ^{54}Mn 의 분리는 조사된 Co 표적 866mg을 20mL의 2N HNO_3 용액에 녹였다. 이 용액 5mL를 취해 0.05N 이하로 묽힌 후 이를 양이온교환수지 AG50W-X8(H^+ -form, 200-400 mesh)의 컬럼($\phi 15 \times 70\text{mm}$)에 서서히 흘리며 흡착시켰다. 이때 Co, Mn, Ni의 흡착여부는 추적자로서 ^{57}Co 의 122keV, ^{54}Mn 의 835keV, ^{57}Ni 의 1,378keV를 각각 이용하였다. 이어서 진한염산(12.08N) 20mL를 흘려 Co, Ni, Mn을 모두 회수한 후 음이온 교환수지 AG1-X8(H^+ -form, 100-200 mesh)로 컬럼($\phi 15 \times 350\text{mm}$)을 만들어 흡착시키고 HCl의 농도를 변화시키며 용출시켜 그림 3과 같이 분리하였다. 이때 AG1-X8 resin을 이용한 Co, Ni, Mn의 분리에 있어서 이 3가지 핵종은 염산의 모든 농도에 대하여 분배계수가 비슷하므로 컬럼을 길게 만들고 용출속도를 0.5mL/min 이하로 제한할때 효율적이었다. $^{59}\text{Co}(p, \alpha pn)$ 핵반응에 의한 ^{54}Mn 생산법은 그림 4에 나타난 바와 같이 무담체의 ^{54}Mn 를 직접 얻을 수 있는 방법중의 하나이다. 이 방법에 의한 ^{54}Mn 의 생산 수율은 $11.85\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ 이었고 분리도는 약 91% 이상이었다.

2.3 $^{59}\text{Co}(p, \alpha pn)^{54}\text{Mn}$ 핵반응의 여기함수 측정

여기함수(excitation function)는 입사 에너지에 따른 핵반응 단면적의 함수로 원하는

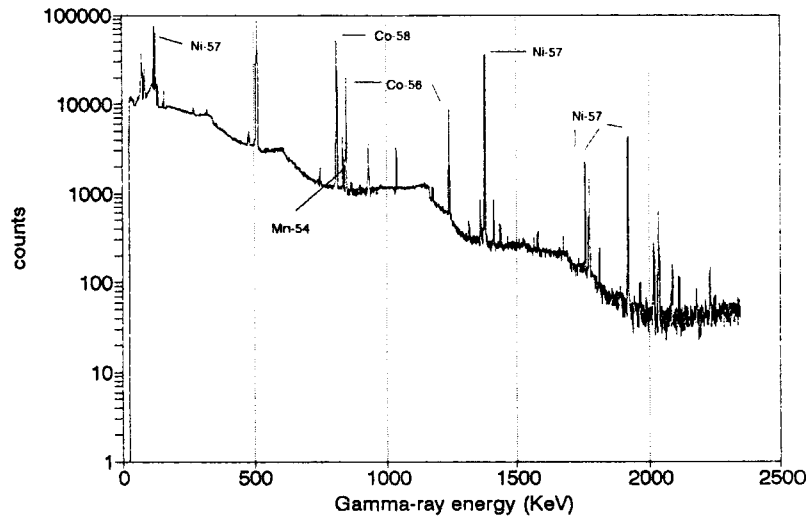


Fig. 2. The γ -ray spectrum of irradiated ^{nat}Co target with 50.5 MeV proton beam.

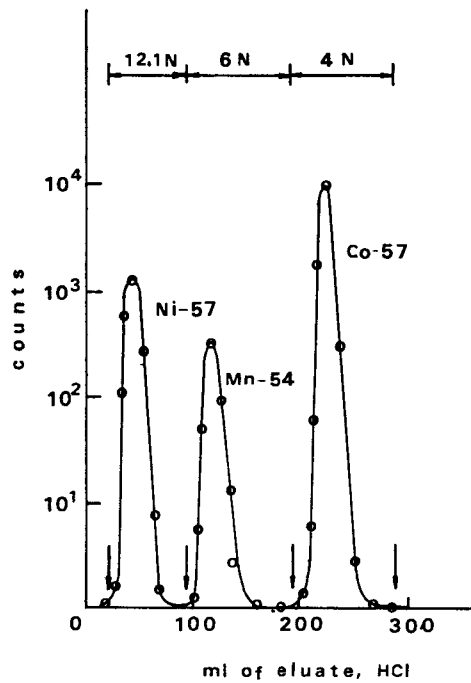


Fig. 3. Elution curve for Co^{2+} , Ni^{2+} and Mn^{2+} .

동위원소의 수율 및 순도와 부핵반응으로 생성되는 불순핵종의 농도를 결정하는데 사용된다. $^{59}\text{Co}(p, \alpha pn)^{54}\text{Mn}$ 핵반응에 대한 여기함수 측정은 'stacked -foil' 방법을 사용하였다. 각 foil에 대한 양성자에너지는 Williamson등이 계산한 stopping power로 계산하였고 표적에 집적된 전류의 양은 digital current integrator(ORTEC 430)와 counter timer(ORTEC 776)를 사용하여 측정하였다. 또한 정확한 여기함수 측정을 위해 beam line의 Faraday cup 전후에 직경 4mm의 graphite collimator를 설치하여 빔의 확산을 방지하였고, 조사된 표적의 방사능량과 핵종분석은 MCA/HPGe 검출기(ORTEC GEM series p-type coaxial detector)로 하였다. MCA에 의하여 측정된 count 수를 이용해 조사 직후의 방사능량은 다음 식으로 계산하였다.

$$A_o(dps) = cps \times \frac{1}{de} \times \frac{1}{\%ab} \times \frac{t_b}{1 - e^{-\lambda t_b}} \times \frac{t_c}{1 - e^{-\lambda t_c}} \times e^{-\lambda \Delta t}$$

cps : count per sec de : detector efficiency
 λ : decay constant t_b : irradiation time
 t_c : counting time Δt : cooling time
 %ab : γ -ray abundance

한편 핵반응 단면적은 위 식에서 구한 방사능량을 이용해 다음 식으로 구하였다.

$$A_o(dps) = 6.24 \times 10^{18} \times i \times \frac{N \times \rho \times y_i}{M \times 10^{-3}} \times X \times \sigma(E) \times (1 - e^{-\lambda t_b})$$

i : current(A)
 N : Avogadro's No(mole⁻¹)
 ρ : density of target material(Kg/m³)
 X : target thickness(m)
 y_i : isotopic abundance of target material
 $\sigma(E)$: cross section
 M : molecular weight of target material(Kg/mole)
 t_b : irradiation time(hr)
 λ : decay constant(hr⁻¹)

이 식에 의하여 $^{59}\text{Co}(p, \alpha pn)^{54}\text{Mn}$ 핵반응과 부핵반응 $^{59}\text{Co}(p, d)^{58}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(p, 4n)^{56}\text{Ni}$, $^{59}\text{Co}(p, 3n)^{57}\text{Ni}$ 에 대한 핵반응 단면적 및 각 에너지에 대한 수율(thin target yield)과 전체 누적수율(cummulative yield)을 그림 5와 표 1에 각각 나타내었다.

3. 결 론

표준선원으로 사용되는 ^{54}Mn 를 천연표적 cobalt에 MC-50 싸이클로트론으로 양성자

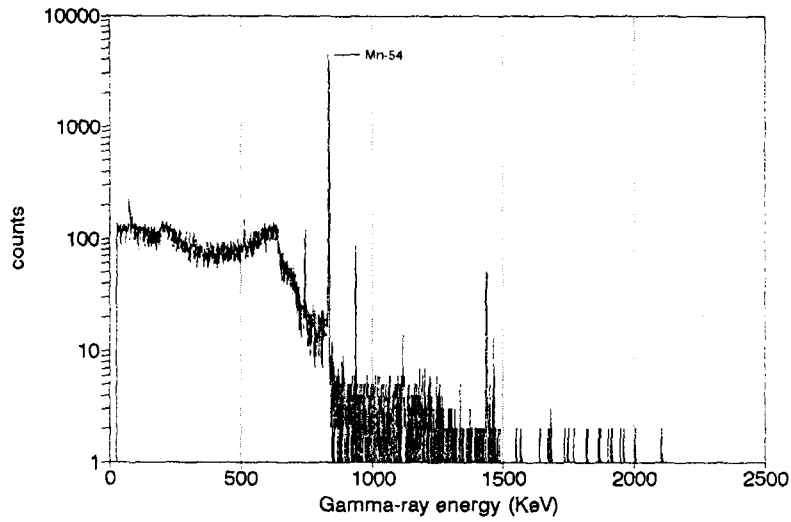


Fig. 4. The γ -ray spectrum of separated ^{54}Mn .

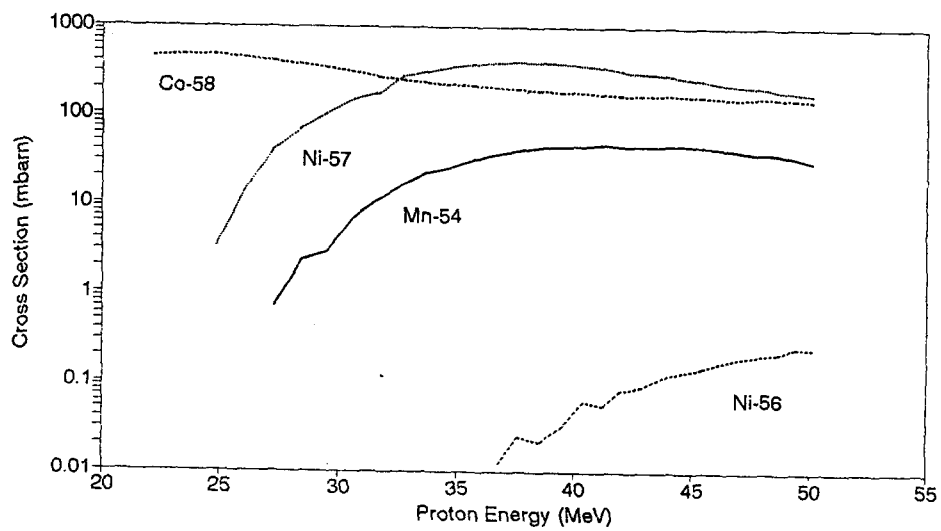


Fig. 5. The cross section of ^{57}Ni , ^{56}Ni , ^{58}Co and ^{54}Mn from proton energy on metallic cobalt target.

빔을 조사하여 $^{58}\text{Co}(p, \alpha pn)$ 핵반응으로 생산하였다. 생산된 ^{54}Mn 를 표적물질 Co와 부핵반응으로 생성된 Ni로부터 분리하기 위해 이온교환수지 AG50W-X8과 AG1-X8를 사용하였고, 이때 분리도는 91% 이상이였으며 생산수율은 $11.85 \mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ 이었다. 또한 $^{58}\text{Co}(p, \alpha pn)$ ^{54}Mn 핵반응에 대한 여기함수를 'stacked foil' 방법으로 측정한 결과 threshold energy는 27.3MeV 이었고 41.2MeV에서 최대치의 핵반응 단면적(47.48mb)을 보였다. 이 방법에 의해 생성된 ^{54}Mn 은 무담체로써 향후 표준선원용으로 사용이 기대된다.

Table 1. The Single and Cummulative Yields of ^{57}Ni , ^{56}Ni , ^{58}Co and ^{54}Mn from Proton Energy on Metallic Cobalt Targets.

Foil No.	Proton Energy(MeV)			Yield($\mu\text{Ci}/\mu\text{A/h}$)							
	Inc.	Exit	Avg.	Ni-57		Ni-56		Co-58		Mn-54	
				Single	Cumm.	Single	Cumm.	Single	Cumm.	Single	Cumm.
1	50.50	49.80	50.15	2.47	2.47	0.18	0.18	9.11	9.11	0.43	0.43
2	49.80	49.0	49.40	2.60	5.06	0.18	0.36	9.50	18.61	0.49	0.92
3	49.00	48.20	48.60	2.78	7.66	0.16	0.52	9.64	28.24	0.54	1.47
4	48.20	47.40	47.80	2.98	10.44	0.15	0.67	9.64	37.88	0.54	2.01
5	47.40	46.60	47.00	3.03	13.43	0.14	0.81	9.58	47.46	0.57	2.58
6	46.60	45.80	46.20	3.22	16.46	0.12	0.93	9.77	57.23	0.61	3.19
7	45.80	45.00	45.40	3.59	19.67	0.11	1.04	10.15	67.38	0.64	3.84
8	45.00	44.20	44.60	3.83	23.27	0.10	1.14	10.36	77.74	0.67	4.50
9	44.20	43.40	43.80	4.13	27.10	0.09	1.22	10.33	88.07	0.65	5.15
10	43.40	42.40	42.90	4.21	31.23	0.07	1.29	10.20	98.28	0.65	5.81
11	42.40	41.60	42.00	4.52	35.44	0.06	1.35	10.35	108.62	0.66	6.46
12	41.60	40.80	41.20	4.99	39.06	0.04	1.39	10.80	119.43	0.67	7.14
13	40.80	40.00	40.40	5.26	44.95	0.04	1.44	11.13	130.55	0.65	7.79
14	40.00	39.00	39.50	5.44	50.21	0.02	1.46	11.14	141.69	0.64	8.43
15	39.00	38.00	38.50	5.65	55.65	0.02	1.47	11.64	153.33	0.62	9.05
16	38.00	37.20	37.60	5.62	61.30	0.02	1.49	12.03	165.36	0.58	9.63
17	37.20	36.20	36.70	5.59	66.92	0.01	1.50	12.63	177.99	0.51	10.14
18	36.20	35.20	35.70	5.37	72.51	0.00	1.50	13.13	191.12	0.45	10.59
19	35.20	34.20	34.70	4.95	77.88			13.73	204.85	0.36	10.96
20	34.20	33.20	33.70	4.36	82.84			14.36	219.21	0.32	11.27
21	33.20	32.20	32.70	3.87	87.20			15.25	234.46	0.23	11.51
22	32.20	31.20	31.70	2.47	91.07			16.50	250.96	0.16	11.67
23	31.20	30.00	30.60	2.08	93.54			18.70	269.66	0.10	11.76
24	30.00	29.00	29.50	1.45	95.62			20.56	290.23	0.04	11.81
25	29.00	27.90	28.45	1.01	97.07			22.35	312.57	0.03	11.84
26	27.90	26.70	27.30	0.57	98.08			24.04	336.61	0.01	11.85
27	26.70	25.50	26.10	0.21	98.65			26.58	363.19	0.00	11.85
28	25.50	24.20	24.85	0.04	98.86			27.89	391.08		
29	24.20	22.90	23.55	0.00	98.90			28.17	419.25		
30	22.90	21.50	22.20					27.11	446.36		