

# 방사선 이용기술

## 古代鐵器의 年代측정 방법개발

### 탄뎀(Tandem)형 가속기 이용해서 측정

이제까지 古代철기의 年代측정은 함께 出土된 토기를 빌어서 이루어져 왔다.

일본에서는 鐵을 만들 때 熱源으로 사용한 木炭에서 흡입된 炭素를 탄뎀형가속기를 이용해 방사선 同位體比 측정방식으로 가속기 질량분석에 의해 철기의 年代를 알아내는 법을 개발했다.

#### I. 머릿말

일본의 여기저기에서 유적이 발굴되고 새로운 역사적 발견이 신문 기사를 장식하는 경우도 많다. 우리는 이러한 역사 자료를 자연과학적으로 분석해서 연구하고 있다.

역사자료를 과학적인 방법으로 조사할 때의 목표로서는, 재질, 기법(技法), 산지(產地), 연대(年代)를 들 수 있다.

이 중에서도 연대에 관한 정보의 중요성은 매우 크다.

여기서는 우리가 동경대학 원자력

## 이제까지 동시에 출토된 토기의 형상 등 미루어 鐵器年代측정

연구 종합센터 탄뎀형 가속기를 이용한 가속기 질량분석 그룹과 공동으로 개발한 철기(鐵器)의 연대 측정법을 소개한다.<sup>1,2)</sup>

여대까지 철기의 연대를 측정하는 방법이 없어, 발굴시 동시에 출토된 토기의 형상등에서 추정되어 왔다. 우

리들의 방법은, 철기 자체에서 직접 제작 연대를 측정하고자 하는 것이다.

#### II. 원리

연대 측정은 탄소 14 연대측정법에 의한다.

탄소 14( $^{14}\text{C}$ )는 반감기(半減期)가  $5730 \pm 40$ 년<sup>3)</sup>인 방사성 동위원소로 우주선의 조사(照射)에 의해서  $^{14}\text{N}$ 으로부터 생성된다.

생성된  $^{14}\text{C}$ 는  $^{14}\text{CO}_2$ 가 되어 대기 중에 대량으로 존재하는  $^{12}\text{CO}_2$ ,  $^{13}\text{CO}_2$ 와 섞여서 대기중에서 수년간 순환한 후 생물 등에 흡입된다.

## 방사선 이용한 古代철기의 年代측정

대기중에서  $^{14}\text{C}$  농도는 방사평형에 이르고 있으므로 그것을 흡입한 생물도 살아있는 동안은 체내의  $^{14}\text{C}$  농도가 일정치로 유지된다.

그러나 생물이 죽으면 외계로부터의 탄소 공급이 없어지므로 방사성 원소인  $^{14}\text{C}$ 는 죽은 생물체 안에서 년수의 경과와 더불어 감소한다. 그러므로 그 체내의  $^{14}\text{C}$  농도를 측정하면 죽은 후 경과한 시간을 구할 수 있다.

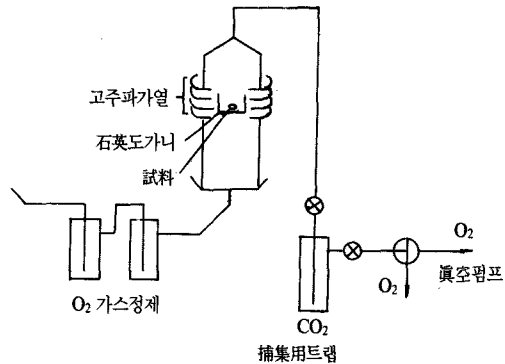
이 방법은 목제품, 사람의 뼈 등 유기물의 연대 결정에 대해서는 이미 실용화 되어 있으나, 원리적으로는 어떠한 것이든지 생물의 사망시의 탄소원자를 그대로 유지하고 있기만 하면 연대를 측정할 수 있을 것이다.

한편, 철기중에는 0.2~4% 가량의 탄소가 포함되어 있다.

이것은 사철(砂鐵)이나 철광석을 환원해서 철을 만들때 열원·환원제로서 사용된 목탄에서 흡입된 것이므로, 이 탄소를 끄집어 내어  $^{14}\text{C}$  농도를 측정하면 철이 제련된 연대(엄밀하게 말하면 “제련시에 사용된 목탄의 원료인 나무가 벌목된 年代”)라고 할 수 있는데, 양자간에 큰 차는 없다고 생각할 수 있다)를 알 수 있다.

그러나, 일본에서 명치(明治)이후 시행된 근대적 제철법으로 만들어진 철과 같이, 제련에 석탄·코크스등 화석연료를 사용한 경우에는 외견상 측정치는 수만년 이상(현재 사용하고 있는 장치의 측정한계는 7만년 정도이다)이라고 하는 매우 오래된 값이 나

그림 1 : 鐵자료에서 탄소를 추출하는 酸化장치



오게 된다.

이것은 이 방법의 단점으로도 생각되지만, 덕천막부(德川幕府) 말기에서 명치 초기에 걸쳐 만들어진 철이 어떤 제철법으로 만들어졌는가 하는 등의 판정에는 이용할 수 있다.

즉, 만약 그 철이 전통적 「골풀무」 제철법으로 만들어진 것이라면, 연료로는 목탄을 사용했을 것으로 생각되므로 연대는 약 10년간 정도의 값이 나올 것이다.

한편, 근대적인 제철법에서는 높은 온도를 얻기 위해서 화석연료를 사용하므로 만들어진 철의 연대는 수만년 이상이라는 오래된 값을 나타낼 것이다.

이와 같은 화석연료에 포함된 탄소는  $^{14}\text{C}$ 가 거의 소멸되었으므로 “사멸 탄소”라고 부른다.

그리고  $^{14}\text{C}$  연대는 역사연대 (단위

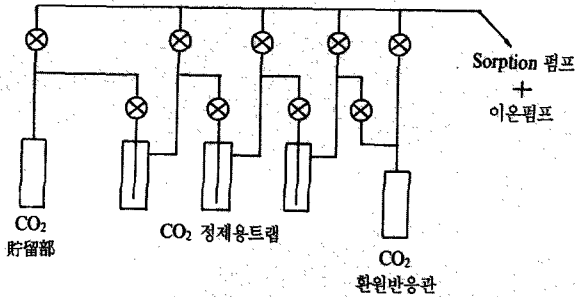
는 yr. B.P)로 표시한다. 즉 T<sub>1/2</sub>는 5570년(이 방법을 개발한 Libby<sup>4)</sup>가 사용한 값)으로 하고, A·D. 1950년을 기점으로 해서 몇년전으로 거슬러 오르는가로 표시한다.

### Ⅲ. 탄소의 추출법

철에서 탄소를 추출하는 데는 탄소 농도에 따라 두가지 방법을 사용하기로 했다.

철의 탄소농도가 약 2% 이하인 “강(鋼)”에서는 탄소는 철에 녹아들거나 탄화물이 되어 존재하고 있다. 이 경우는 산소를 흘려주면서 고주파로(爐) 안에서 가열함으로써 탄소를 산화시켜 발생된 CO<sub>2</sub>를 포집(捕集)한 후 금속 마그네슘으로 환원해서 무정형 탄소로 바꾸는 방법을 택한다.

그림 2 : CO<sub>2</sub>를 빼내 탄소로 바꾸는 환원장치



제로 거의 실용화될 수 없다.

근래 역사자료나 지구화학시료에 대한 연대 측정의 중요성이 인식되어, 보다 미량의 자료로 측정을 수행하는 것이 필요하게 되었다.

여기서 주목된 것이 질량 분석법이다.

이것은 탄소중에 포함되어 있는 <sup>14</sup>C의 수를 직접 세어보자는 방법이다.

예를 들면 여기 6만년전의 탄소 1g이 있다고 하자. 이 탄소로 부터는 100분간 걸려도 겨우 1개의 β선 밖에 방출되지 않지만, 그 안에는 4천만개의 <sup>14</sup>C가 붕괴하지 않고 남아 있는 것이다.

그러나 그 존재도가 다른 탄소동위원체에 비해 극히 적으므로(<sup>12</sup>C와 비교하면 1천억분의 1) <sup>14</sup>C를 통상의 질량 분석장치로 측정하는 것은 극히 어려웠다.

이것을 가능하게 한것이 1977년에 Muller가 제안한 가속기 질량 분석법 (Accelerator Mass Spectrometry : AMS)이다.

이 방법에 의하면 탄소시료 수mg으로 측정할 수 있고 측정한계도 약 6만년 까지 거슬러 오를 수 있다.

우리는 동경대학 원자력연구 종합센터에 있는 "탄뎀(Tandem)형 가속기"라 불리는 장치를 이용해서 측정을 수행하고 있다.

탄뎀형 가속기는 5층 건물 안에 장치되어 있다.

탄소농도가 약 2%를 넘는 "주철(鑄鐵)"이 되면 탄소는 "편상흑연(片狀黑鉛)"이라 불리는 상태로 철 안에 존재한다.

이 경우는 염산 등으로 철을 녹여버리면 탄소가 녹지 않고 남아서 용이하게 탄소만을 추출할 수 있다.

#### IV. 측정장치

계측장치에 의해서 계측한 바에 따르면 <sup>14</sup>C의 동위원체존재도는 매우 낮으므로 지금까지 그 동위원체비측정(同位體比測定)은 붕괴시에 방출되는 β선을 계측하는 것에 의해서 이루어졌다.

그러나 <sup>14</sup>C 농도가 높은 현대의 탄소조차 거기서 방출하는 β선은 탄소 1g당 1분간에 13.8카운트인 매우 미약

한 것이다.

역사자료의 경우는 그 안의 <sup>14</sup>C는 시간의 경과에 따라 감소하고 있으므로 β선 강도는 더욱 약해지고 있다.

통상적으로 β선의 계측은 저(低) 백그라운드 미약방사능측정장치를 사용해서 대량의 시료(탄소량으로 1g 이상)를 장시간(1일~수주간)에 걸쳐서 측정하고 있다.

예를 들면 기체비례계수관(氣體比例計數管)을 사용한 경우에는 약 1g의 탄소를 포함한 아세틸렌을 합성해서 3~4만년 까지, 또 액체 신틸레이션(Scintillation)법에서는 약 2g의 탄소를 포함한 벤젠을 합성해서 4만년까지 측정이 가능한 것으로 되어있다.

철기의 연대를 이 방법으로 측정하고자 하면, 그 철기에 0.5%의 탄소가 포함되어 있다고 할 때 200~400g의 시료가 필요하다. 이렇게 되어서는 실

# 방사선 이용한 古代철기의 年代측정

표 1 : 탄소의 同位體 組織

<sup>12</sup> C	98.90%
<sup>13</sup> C	1.10%
<sup>14</sup> C	0.00000000012%

탄소 14농도 측정시대는 5층의 이온원(源)에서 이온화된 탄소가 우선 수평으로 날으면서 수축(收束)해서 전자식으로 휘어져 가속관에 도입된다.

그래서 이온이 5층에서 1층까지 통과하는 동안에 2단계로 가속되어 1층에서 또다시 수평 방향으로 휘어져 검출기에 도달한다.

상세한 것은 생략하는데, 이 사이에 교묘한 여러가지 장치에 의해서 탄소 12, 13, 14가 분리되어 각각 정도(精度)있게 측정된다.

이 방법의 특징중 첫번째는 고감도, 고정도(高精度)라는 것이다.

시료의 필요량은 탄소량으로 따져 1~2mg로 수백mg의 철기가 있으면 충분히 측정할 수 있게 된다.

계측상 생기는 오차는 측정치의 전후 60년 정도이다.

## V. 測定 例

여기서는 산처리(酸處理)에 의해서 탄소를 추출하는 주철의 측정결과를 소개한다.

### 1. 묘호지(妙法寺 : 東京都 杉並區) 철주문 문짝 (탄소농도 3.23% : 명치시대)

측정연대는 38 350년 BP이고, 사멸(死滅) 탄소의 값을 나타냈다.

이것은 철 제련시에 코크스 등 화석 연료를 사용한 것을 의미한다. 즉 이 철은 목탄을 사용하는 전통적 제철법이 아니고 근대 제철법으로 만들어진 것이다.

이 문짝은 공부성 적우분국(工部省 赤羽分局)에서 명치 11년(明治 11年 : 1878)에 설계·시공한 것으로, 초기의 고로(高爐) 제철에서는 코크스가 사용되지 않은 점에서 수입 철 소재의 사용을 시사하고 있다.

국내에서 코크스가 처음 사용된 기록은 명치 15년(1882) 관영 부석(釜石) 제철소의 2차 조업에서이다.

### 2. 다기노가와(瀧野川) 반사로 (東京都 北區) 근처 이나리 신사 천수통(稻荷神社天水桶) 조각

이 신사는 1864년에 계획되었으나 그후 공사가 중지된 기록이 있는 다기

노가와 반사로(反射爐) 자리 근처에 있다.

천수통에는 1866년의 표시가 있고, 이 반사로가 가동된 것을 기념해서 그 출선(出銑)으로 만들어 신사에 봉납된 것이라는 견해도 있다.

측정은 두번 시행되어 각각 940년 BP, 950년BP로 잘 일치된 값을 얻었다.

당시 목탄을 사용해서 만들었다고 가정하면 약 10%의 사멸탄소의 혼입이 있는 것으로 보인다.

따라서 이 천수통은 전통적인 제철법으로 제련된 철을, 코크스를 연료로 한 반사로에서 다시 주조했을 가능성도 생각할 수 있게 한다.

## VI. 맺음말

이상과 같이 탄뎀형 가속기를 사용함으로써 철기의 연대 측정법은 이 방법이 처음으로 실용화 할 수 있는 방법이 되었다.

이 연구에는 전처리의 방법 등 기술적으로 개량해야 할 점도 아직 남아있으나, 앞으로 역사자료를 조사함에 있어 유효한 수단이 될 것으로 생각된다.

동경대학의 탄뎀 가속기는 장치하여 가동개시 이래 약 28년이 경과했기 문에 1994년 3월 완성을 예정으로 장치 전체를 새롭게 다시 만들고 있다.

구장치에 비해서 한꺼번에 측정할 수 있는 시료수가 40개로 늘어나고(구

장치는 12개) 얻을 수 있는 이온 강도가 한자리 올라가며, 또 컴퓨터 콘트롤 시스템에 의해서 측정이 편리하게 단시간에 시행될 수 있게 된다.

그리고 이상의 결과로 측정정도(精度)가 크게 향상될 것으로 생각된다.

새로운 장치에 의해서 연대측정·연구는 한층 진전될 것으로 기대된다.

(이 글은 Isotope News誌 제

477호에서 일본 국립역사민속박물관 「사이토 쓰도무」 씨의 글을 옮겨 실은 것이다)

### 참고문헌

① 齊藤 努 : 仙台藩製鐵關係遺物の自然學的 研究, 국립역사민속박물관연구보고. 35. 373-391(1991)

② 吉田邦夫 : 加速器質量分析法에 의한 C-14 年代測定. 국립역사민속박물관 연구보고. 38. 171-198 (1992)

③ Godwin H : Half-life of radio carbon. Nature. 195. 984(1962)

④ Anderson E. Libby WF. Weinhouse S. et al : Radiocarbon from cosmic. radiation Science. 105. 576-577(1974)

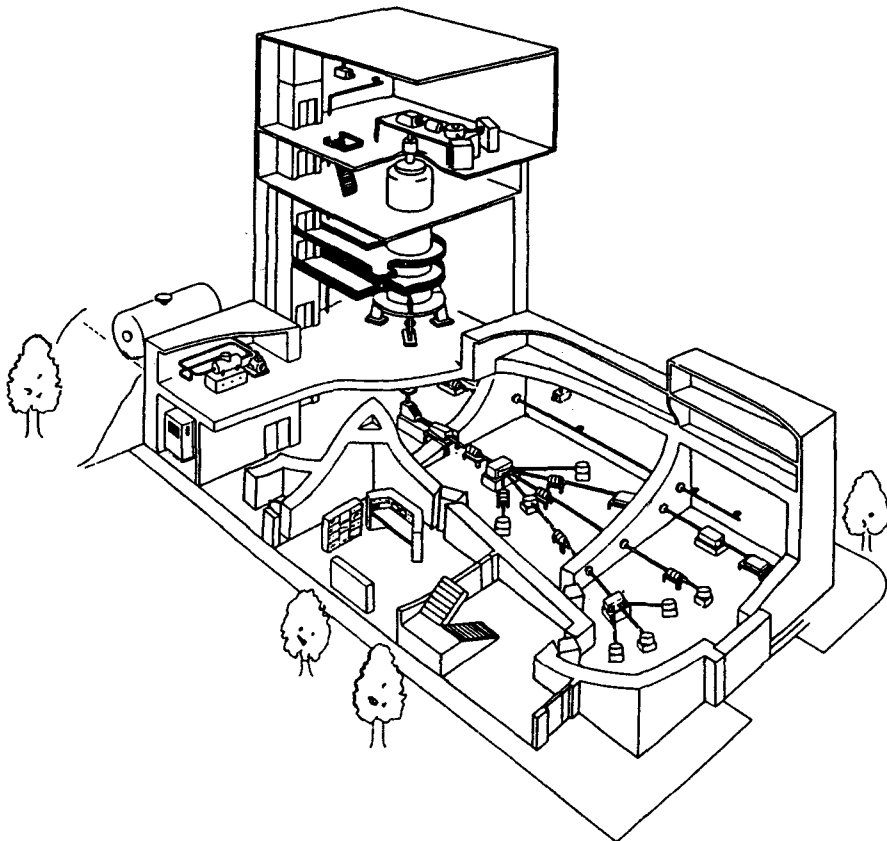


그림 3 .. 탄뎀형 가속기의 개략도