

## 새로운 전동기 제작법

홍 석 인

인천교육대학교

### A New Method of Making Electric Motors

Seok-In Hong

*Department of Science Education, Inchon National University of Education*

#### ABSTRACT

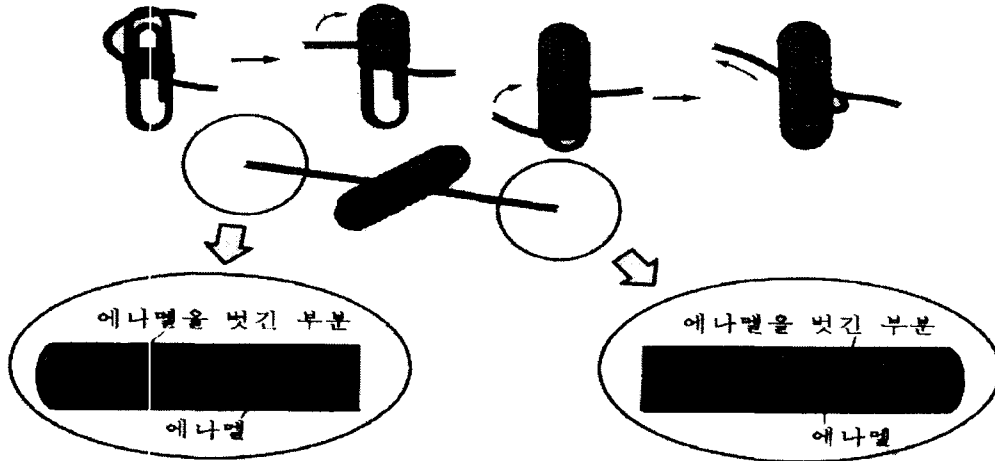
It is well known that making electric motors is very difficult in chapter 2, "Electric Current and Magnetic Field", natural science textbook 6-1 in primary school. In the present paper, we propose a new and successful method for making them. The most important point is that iron cores are not used in making electromagnets. This resolves the problem that both poles of electromagnet can be attracted by any pole of permanent magnet because of iron core in the electromagnet. The thick enamel wire is used as arms of armature so that they can support the electromagnet stably and we can reliably strip off the skin of the enamel wires, completely for one end and half for the other end of the enamel wires coming from the electromagnet. In addition, we suggest the ring-type support made of aluminum foil and the M-shaped support made of thick enamel wire that can substitute for the M-shaped copper wire support for armature.

#### I. 서 론

제 6차 교육과정 초등학교 자연과 6학년 1학기, 2. 전류와 자기장, [2] 전자석 단원(교육부, 1997)에 전동기 만들기 차시가 있는데 교육대학교나 일선 초등학교에서의 전동기 제작 수업의 실태를 알아보면 자연 교과서의 방법대로는 성공할 가능성이 희박하다는 것이다. 충분한 실험적 검증은 거치지 않은 실험이 교과서에 실려 있는 것은 큰 문제가 아닐 수 없다. 본 논문에서는 교사는 물론 초등학생들도 쉽게 만들어

볼 수 있는 새로운 전동기 제작법을 제안하고자 한다.

자연 교과서의 방법대로 했을 경우, 가장 큰 실패 원인은 전자석의 제작 방법에 있다. 전자석은 반드시 원형코일 속에 철심을 포함해야 한다는 잘못된 생각이 문제를 일으킨다. 철심으로 인해 전자석의 자기장이 세지는 것보다 오히려 부작용이 더 심하게 나타난다. 즉, 전자석의 자기장이 충분히 강하지 않은 이상, 영구자석을 전자석에 접근시켰을 때 전자석의 극에 관계없이 철심이 영구자석에 붙어버려 전자석



<그림 1> 자연 교과서의 전동기 회전자 제작방법

의 극의 기능을 상실시킨다. 일반적으로 전자석이란 전류가 흐르는 전선을 의미한다. Ampere의 법칙에 의해 전류는 자기장을 유발한다. 영구자석도 그 근원은 전자의 스핀에 의한 원형전류이다. 직선전류는 그 전류를 중심으로 한 동심원들의 형태로 자기력선을 발생시키는 전자석이며, 원형전류는 막대자석과 같은 형태의 자기장을 내는 전자석이다. 전류가 흐르는 전선의 모양을 다양하게 만들 수 있으므로 서로 다른 형태의 자기장을 내는 무한히 많은 종류의 전자석이 존재한다. 실제로 전동기 제작에 필요한 전자석은 철심이 없는 원형코일만으로 충분하며 부작용이 없다.

II절에서는 자연 교과서의 전동기 제작방법과 그것의 문제점들을 살펴보고, III절에서는 자연 교과서의 전동기의 원리를 초등학생도 이해할 수 있는 수준에서 개념적으로 쉽게 설명한다. IV절에서는 이러한 고찰을 토대로 자연 교과서의 문제점을 극복한 새로운 전동기 제작방법을 제시한다. 이 방법은 인천교육대학교의 학생들에게 실제로 투입되어 실험적 검증을 거쳤다. 덧붙여, 제시된 전동기 제작방법을 기초로 하여 가능한 여러 가지 변형들에 대하여 언급한다.

마지막으로 V절은 결론을 포함한다.

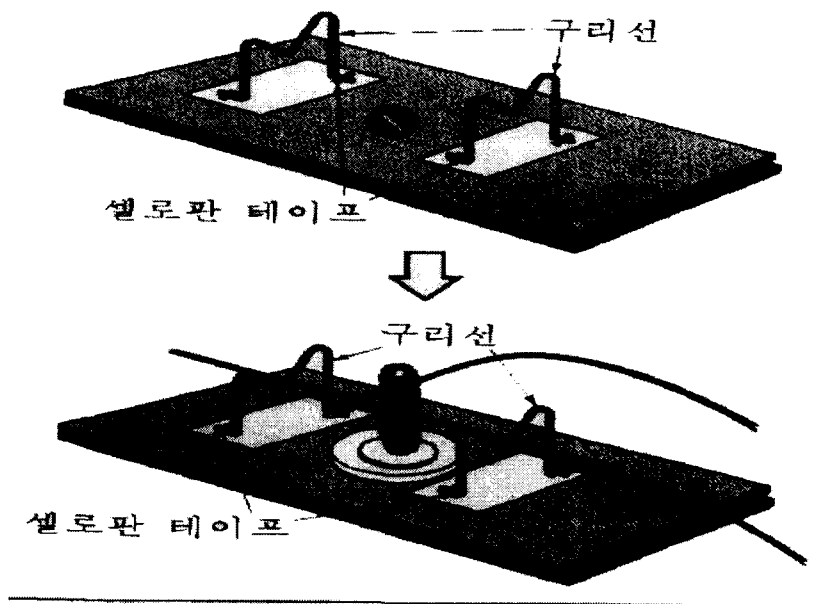
## II. 자연 교과서의 전동기 제작법

### 1. 준비물

클립 1개, 전지(1.5 V) 2개, 스위치 1개, 등근 자석 1개, 받침대, 집게 달린 전선 3개, 전지끼우개 2개, 에나멜선, 구리줄

### 2. 제작과정(교육부, 1997a)

- ① <그림 1>과 같이 클립에 에나멜선을 한 쪽으로만 촘촘하게 두 겹으로 감는다. 가운데로 연결된 에나멜선의 한 쪽 부분은 에나멜을 반쯤 벗기고, 다른 쪽 부분은 완전히 벗긴다.
- ② <그림 2>와 같이 등근 자석의 양쪽에 구리줄로 M자 모양이 되게 만든 받침대를 고정시킨다. 두 받침대 사이를 멀게 하도록 한다. 받침대의 중간에 N극을 위로 향하여 등근 자석을 셀로판 테이프로 붙인다.
- ③ 전동기에 스위치, 전지를 전선으로 연결하여 회로를 만든다. 만든 전동기의 스위치를 닫고 일어나는 현상을 관찰한다. 전동기가 돌지 않으면 처음에 손으로 살짝 돌려준다.



<그림 2> M자형 받침대와 등근 자석의 설치

**3. 문제점**

자연 교과서의 방법대로 전동기를 만들면 매우 잘 만들지 않는 이상 돌지 않는다. 이런 이유 때문에 전동기 제작 실험은 거의 성공 불가능한 실험으로 인식되고 있다. 성공적인 전동기 제작 방법을 찾기 위해 먼저 전동기가 돌지 않는 주된 원인을 살펴보자.

① 클립에 에나멜선을 감아 전자석을 만들어 등근 자석(영구자석)에 가까이 가져가 보면 전자석의 극에 관계없이 등근 자석에 붙는다. 그 이유는 에나멜선에 전류가 흘러 전자석에 N, S 극이 형성되어도 철로 만든 클립이 들어 있으므로 전자석의 자기장이 충분히 강하지 않으면 전자석의 극에 관계없이 클립이 등근 자석에 붙기 때문이다. 따라서 전자석의 극이 제 구실을 하지 못한다.

② 가는 에나멜선을 사용하면 전자석이 구리줄로 만든 M자형 받침대에 안정성 있게 걸쳐지지 않고 늘어진다. 또한 에나멜선의 한 쪽 끝은 완전히 벗기고 다른 쪽 끝은 반만 벗겨야 하는데 에나멜선이 너무 가늘면 M자형 받침대가

반만 벗겨진 부분을 확실히 인식하지 못하여 접촉불량 상태가 될 수 있다. 에나멜선이 굵으면 클립에 많은 횡수를 감기 어렵고 많이 감는다면 무거워져서 M자형 받침대와 마찰이 커지기 때문에 잘 돌지 않을 것이다.

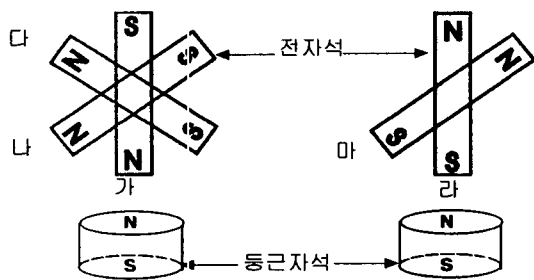
**III. 전동기 이론**

일반물리 교재(Halliday, D. & Resnick, R. & Walker, J., 1993)에서 전동기의 작동원리를 설명하는 방식은 다음과 같다. 영구자석에 의한 자기장 속에 전류가 흐르는 (사각형) 전선의 고리가 있을 때 전선의 각 부분이 받는 자기력을

$$F = I L \times B$$

에 의해 계산할 수 있다. 여기서  $I$ 는 전류의 세기,  $L$ 은 크기는 전선의 길이이고 방향은 전류의 방향인 벡터이고,  $B$ 는 자기장이다. 이로부터 전선의 각 부분이 받는 회전축에 대한 토크를 계산하여 합하면 고리 전체가 받는 토크가 얻어진다. 그러나 고리는 반 바퀴 회전한 후 토크

의 방향이 반대로 바뀌므로 역회전을 일으키게 된다. 정류자를 사용하여 고리에 흐르는 전류의 방향을 반 바퀴 회전할 때마다 바꾸어 주면 이를 방지할 수 있다. 그러나 이와 같은 방법으로 전동기의 원리를 설명하면 엄밀하기는 하지만 일반물리 수준의 어려운 내용으로 오해할 여지가 있다. 실제로 전동기의 작동원리는 초등학생도 쉽게 이해할 수 있을 만큼 개념적으로 단순하다. 여기서 우리는 II절의 자연 교과서의 전동기 구조를 사용하여 전동기의 작동원리를 개념적으로 쉽게 설명하고자 한다.



<그림 3> 에나멜선의 양쪽 끝을 완전히 벗긴 경우, 전동기 작동의 문제점

원형 에나멜선에 전류가 흐르면 그것은 N, S 극을 가진 전자석이 된다. 에나멜선의 한 쪽 끝은 완전히 벗기고 다른 쪽 끝은 반만 벗기는 것이 전동기의 작동을 위해 결정적으로 중요하다. 이것이 전동기의 역회전을 방지해 준다는 점에서 정류자와 같은 역할을 한다. 그 이유를 알아보기 위하여 에나멜선의 양쪽 끝을 완전히 벗긴 경우(즉, 전류가 계속 흐르는 경우)를 생각해 보자. 처음에 전자석이 <그림 3>의 가와 같이 아래 부분이 N극, 위 부분이 S극인 상태로 놓여졌다고 하자. 나무판에 설치된 동근 자석(영구자석)의 위 부분이 N극일 때, 전자석은 밀쳐져 처음에 가의 위치에서 나의 위치로 회전하게 된다. 나의 위치에서 전자석의 N극은 동근 자석의 N극에 의해 다시 밀쳐져 다의 위치로 이동한다. 다의 위치에서 전자석의 S극이

동근 자석의 N극에 의해 끌리므로 전자석은 라와 같은 위치가 된다. 이는 전자석이 180도 회전하였음을 의미한다. 회전관성에 의해 전자석이 나의 위치로 가면 전자석의 S극이 동근 자석의 N극에 의해 끌리므로 전자석은 라의 위치로 되돌아가게 된다. 따라서 에나멜선의 양쪽 끝이 완전히 벗겨진 상태에서는 전자석이 회전하다가 역회전을 하게 되므로 연속적으로 회전할 수 없다. 이러한 문제를 피하기 위하여 에나멜선의 한쪽 끝은 완전히 벗기고, 다른 쪽 끝은 반만 벗기면 전자석이 180도 회전하였을 때 전류가 흐르지 않아 전자석이 자기력을 상실한다. 그러므로 위와 같은 역회전이 일어나지 않으며, 회전하던 관성에 의해 저절로 반 바퀴를 돌아준다면 전자석은 처음 위치로 돌아가고 다시 전자석에 전류가 흐르게 된다. 따라서 이와 같은 과정을 계속 반복하므로 전자석은 연속적으로 회전할 수 있는 전동기가 된다.

#### IV. 새로운 전동기 제작법

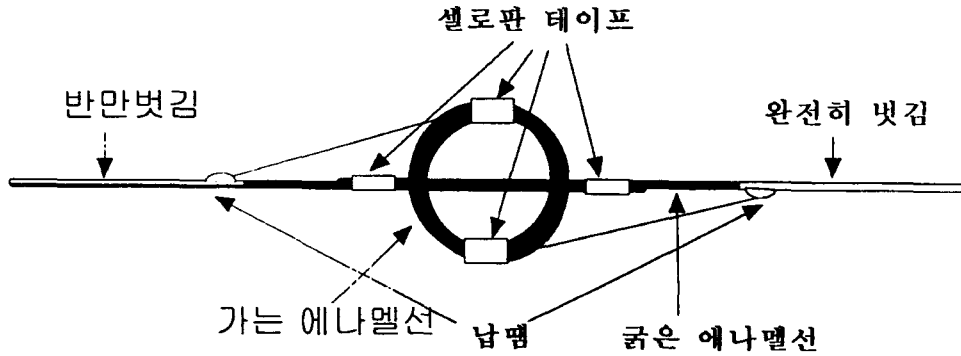
##### 1. 준비물

가는 에나멜선(굵기가 0.25mm 정도), 굵은 에나멜선(굵기가 1mm 정도), 막대자석 1개, 전지 (1.5 V) 2개, 전지 끼우개 2개, 집게 달린 전선 2개, 알루미늄 호일, 전기인두, 실납, 셀로판 테이프, 나무도막 2개(한 변이 3cm 정도의 입방체), 칼, 가위, 니퍼, 자

여기서 나무도막 대신에 같은 높이를 가진 높이가 3cm 이상인 어떤 두 물체(예를 들어, 두꺼운 책 2권)라도 무방하다.

##### 2. 제작과정

① 가는 에나멜선을 굵기가 1~1.5 cm되는 동근 막대(예를 들면, 필기구에 반지모양으로 폭이 좁게 60~70회 정도 감는다. 감은 에나멜선을 그대로 빼내어 흐트러지지 않도록 <그림 4>와 같이 반지의 마주보는 두 지점을 각각 셀로판 테이프로 감아준다. 에나멜선의 시작부분과



<그림 4> 새로운 전동기 회전자의 구조

끝 부분은 각각 5cm정도 여분으로 남겨두고 양 끝을 칼 또는 볼로 확실히 벗겨 놓는다.

이것을 건전지에 연결하여 그네처럼 들고 반지의 중심부분에 막대자석을 접근시키면 이 반지형 전자석은 형성된 극에 따라 막대자석에 끌리거나 밀릴 것이다. 원형전류는 막대자석과 같은 형태의 자기장을 형성하며, 오른손 법칙을 사용하면 반지형 전자석의 극을 쉽게 예측할 수 있다.

여기서 주목해야 할 점은 전자석을 만들기 위해 클립을 사용함으로써 발생된 문제점을 제거하기 위하여 클립과 같은 철심을 사용하지 않았다는 것이다. 철심이 없어도 전동기를 만들기엔 충분한 세기를 가진 전자석이 얻어진다. 또한 철심을 쓰지 않으면 그 만큼 가벼워지므로 회전이 원활해진다.

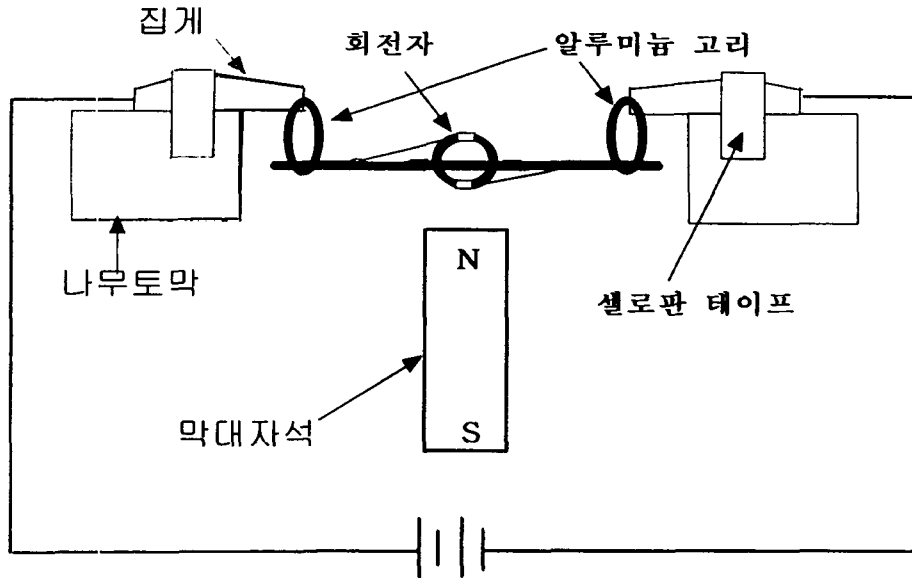
② 굵은 에나멜선을 똑같은 길이(6~7cm 정도)로 두 개를 자른다. 이 과정에서 에나멜선이 구부러지지 않고 곧게 유지되도록 주의한다. 하나는 한 쪽 끝을 3cm 정도 완전히(360°) 벗기고, 다른 하나는 한 쪽 끝을 3cm 정도 반(180°)만 벗긴다. 칼을 사용하여 연한 구리빛이 확실하게 드러나도록 충분히 벗겨준다.

①에서 전자석을 가볍게 만들기 위해 가는 에나멜선을 사용하였기 때문에 그것만으로는

M자형 받침대에 견고하게 받쳐지지 않고 늘어질 수 있으며 한 쪽 끝은 완전히 벗기고 다른 쪽 끝은 반만 벗긴 것이 M자형 받침대에 의해 확실히 인식되지 않을 수 있다. 따라서 이 두 문제점을 확실히 해결하기 위해 굵은 에나멜선을 사용하는 것이다.

③ <그림 4>와 같이 두 개의 굵은 에나멜선을 끝을 벗기지 않은 쪽을 각각 서로 반대 방향으로부터 가는 에나멜선의 반지를 옆으로 관통시켜 건너편에 1cm 정도 나오도록 삽입하고 반지 밖 양쪽에서 두 굵은 에나멜선이 겹친 부분을 셀로판 테이프를 좁게 (5mm 정도) 잘라 감아 줌으로써 고정시킨다. 굵은 에나멜선을 삽입할 때 주의해야 할 점은 굵은 에나멜선이 반지의 중심을 지나도록 하여 굵은 에나멜선에 대해 상하가 대칭이 되도록 한다. 그렇지 않으면 전동기 회전시 회전자가 덜덜거리며 원활히 회전되지 않는다.

④ ①에서 만든 반지형 전자석에서 나온 가는 에나멜선 두 가닥을 <그림 4>와 같이 두 굵은 에나멜선의 벗긴 부분에 각각 납땀해 붙인다. 납땀시 가는 에나멜선의 양쪽 끝이 완전히 벗겨진 상태인지 확인한다. 반지에 가장 가까운 벗겨진 부분을 택하여 소량의 납을 사용하여 가볍게 납땀한다. 납이 굵은 에나멜선의 벗겨진



<그림 5> 고리형 받침대와 막대 자석의 설치

부분에 넓게 퍼지지 않도록 주의하고 납땜 후 굵은 에나멜선의 벗겨진 부분이 적어도 2cm 이상 확보되었는지 확인한다. 아동들은 납땜을 해본 경험이 없을 것이므로 안전과 실험의 원활한 진행을 위해 교사가 대신 납땜을 해 주는 것이 좋을 것이다.

이상으로 전동기 회전자의 제작이 완료되었다. 우리는 굵은 에나멜선을 회전자의 팔이라 부르기로 하자. 회전자가 본 전동기 작동에 결정적인 역할을 하므로 위 지시사항들을 준수하여 제작하도록 한다. 다음은 받침대의 제작에 대하여 논하여 보자.

⑤ 구리줄로 만들어진 M자형 받침대를 가지고 있다면 그것을 그대로 사용하면 된다. 여기서는 구하기 쉽고, 만들기 쉽고, 비용이 들지 않는 새로운 방법을 소개하기로 한다. <그림 5>와 같이 알루미늄 호일을 1cm×5cm 정도의 크기로 오려서 실처럼 가늘게 말아 고리 모양을 만든 후 집게 달린 전선의 집게에 물린다. 이것을 두 개 만들어 두 개의 나무도막 위에 각각 집게 부분을 올려놓고 셀로판 테이프를 붙여 고

정시킨다. 두 나무도막의 간격은 회전자의 길이보다 2~3cm 정도 크게 잡고 적당한 간격이 확정되면 셀로판 테이프를 사용하여 나무도막을 테이블 위에 직접 붙이거나 나무판 또는 플라스틱 판에 고정시키는 것이 좋다. 나무도막이 없으면 높이가 같은 어떤 두 물체를 사용해도 무방하다. 두 집게 달린 전선의 다른 쪽 끝에는 건전지를 1~2개 연결하여 회로를 꾸민다. ⑥ 이제 회전자의 굵은 에나멜선의 양끝을 <그림 5>와 같이 알루미늄 고리에 걸쳐놓는다. 끝이 반만 벗겨진 굵은 에나멜선의 벗겨진 부분이 알루미늄 호일의 고리에 접촉하면 회전자에 전류가 흐르므로 가는 에나멜선으로 만든 회전자의 반지형 코일은 전자석이 된다. 막대자석을 반지형 전자석으로부터 옆으로 1cm 정도 떨어진 지점에 접근시켜 본다. 막대자석을 상하로 약간 움직여 보면 전자석은 이에 반응하여 흔들릴 것이다. 만일 반응이 전혀 없다면 전자석에 전류가 흐르고 있지 않음을 뜻하므로 가는 에나멜선의 끝을 확실하게 벗겼는지, 그것을 굵은 에나멜선의 벗겨진 부분에 제대로 납땜했는지

검토한다. 회전자와 받침대가 제대로 만들어졌다면 막대자석을 가져다 댄과 동시에 전동기는 고속으로 회전할 것이다. 만일 막대자석을 살짝 흔들어 주어도 전동기가 회전하지 않는다면 회전자를 살짝 쳐준다. 또는 회전자에 막대자석을 대주는 방향을 변화시켜 본다.

반지형 전자석이 수평으로 놓여 있을 때 전자석에 전류가 흐른다면 반지의 상하에 극이 형성될 것이다. 따라서 막대자석을 아래쪽에서 대줄 때, 전자석과 막대자석의 마주보는 극이 같은 극이라면 막대자석은 전자석을 위로 밀므로 회전자와 받침대간의 마찰을 감소시켜 회전을 원활하게 해 줄 것이다. 반대로 전자석과 막대자석이 다른 극이라면 서로 끌어당겨 오히려 회전자와 받침대간의 마찰력이 증가하므로 회전을 방해한다. 따라서 반지형 전자석이 어떤 방향을 향하고 있을 때 전류가 흘러 전자석이 되며 N, S극이 어느 쪽에 생기는지를 고려하여 막대자석을 대주면 원활한 회전에 도움을 줄 것이다. 그러나 이와 같이 이론적으로 고려할 필요는 없고 막대자석을 실제로 대봄으로써 가장 적절한 방향을 찾으면 된다. 반지형 전자석에 막대자석을 대주는 적당한 방향을 찾았으면 막대자석을 나무도막으로 받치거나 찰흙에 꽂아 위치를 고정시켜 준다.

⑦ 회전자를 알루미늄 호일에 걸쳐놓으면 전류가 계속 흐르므로 사용하지 않을 때는 회전자를 내려놓거나 전지에 연결한 집게 달린 전선을 하나 떼 내어 전류를 끊는다. 또한 전동기를 오래 사용하면 굵은 에나멜선과 알루미늄 호일간의 마찰 또는 전기적 스파크에 의해 굵은 에나멜선의 벗겨진 부분에 알루미늄 호일이 붙거나 녹이 쓸어 검게 되어 전류가 잘 흐르지 않으므로 칼로 원래 벗겨진 부분을 다시 깨끗이 벗겨준다. 그리고 알루미늄 호일도 새것으로 교체해 준다.

### 3. 여러 가지 변형

반지형 전자석은 가는 에나멜선을 60~70회

정도 감아 만들었기 때문에 전자석에서 나오는 에나멜선으로는 전자석의 무게를 지탱하기 어려워 굵은 에나멜선을 회전자의 팔로 사용하였다. 만일 우리가 중간 굵기의 에나멜선(굵기가 5mm 정도)을 30회 정도 감아 반지형 전자석을 만든다면 <그림 1>과 같이 그 에나멜선을 그대로 회전자의 팔로 사용할 수 있다. 그러면 납땀을 하지 않아도 되기 때문에 아동들도 쉽게 전동기를 만들 수 있을 것이다. 실제로 가는 에나멜선을 15회 정도만 감으면 반지형 전자석이 가벼워 가는 에나멜선으로도 회전을 만들 수 있다. 그러나 IV. 2절에서 제시된 회전자 제작방법을 사용하면 보다 강한 전자석을 얻을 수 있고 회전자가 보다 안정성이 있으므로 보다 성능 좋은 전동기가 얻어진다.

회전자의 받침대로 알루미늄 호일을 사용하였는데 다른 간편한 방법을 살펴보자. 집게 달린 전선의 집게의 끝 부분에 종이를 접어서 물리면 집게가 벌어진 상태로 유지된다. 이러한 두 집게를 수직으로 세우면 집게의 벌어진 사이에 회전자의 팔을 걸쳐놓을 수 있다. 또한 M자형 받침대를 구리줄이 아닌 에나멜선으로 쉽게 만들 수 있다. 굵은 에나멜선을 M자형으로 만든 후 회전자의 팔이 걸쳐지는 부분과 집게 달린 전선을 통하여 전지로 연결될 부분을 칼로 벗겨내면 된다. 이것을 적절히 세워서(예를 들면, 지우개나 찰흙에 꽂아서) 사용하면 된다.

회전자의 팔을 한 쪽은 완전히 벗기고 다른 쪽은 반만 벗겼기 때문에 회전자의 회전시 180°는 전류가 흐르고 나머지 180°는 전류가 흐르지 않는다. 전동기 회로에서 받침대에서 전지 사이에 꼬마전구를 연결한다면 전류가 흘렀다 안 흘렀다 하는 현상을 전구에 불이 켜졌다 꺼졌다 하는 현상으로 시각적으로 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 초등학교 자연과 6학년 1학기

전류와 자기장 단원에서 성공하기 어려운 실험으로 알려진 전동기 제작실험을 쉽게 성공할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다.

가장 중요한 점은 전자석 제작시 철심을 사용하지 않는다는 것이다. 그리하여 전자석이 철심 때문에 극에 관계없이 영구자석에 끌리는 문제점을 해결하였다. 전자석의 자기장을 강하게 하기 위해 가는 에나멜선을 많은 횟수를 감았기 때문에 이를 지탕함과 동시에 전자석에서 나온 에나멜선의 한 쪽 끝은 완전히 벗기고 다른 쪽 끝은 반만 벗기는 목적을 확실히 수행하기 위하여 회전자의 팔로 굵은 에나멜선을 사용하였다. 또한 구리줄로 만든 M자형 받침대가 없을 경우 이를 쉽게 대체할 수 있는 알루미늄 호일로 만든 고리형 받침대와 굵은 에나멜선으로 만든 M자형 받침대를 제안하였다.

본 제작방법을 사용함으로써 고속으로 회전하는 전동기를 실패없이 제작할 수 있음이 많은 학생들이 실시한 실험에 의해 검증되었다.

### 참고 문헌

1. 교육부(1997). 자연 6-1, 국정 교과서 주식회사.
2. 교육부(1997a). 초등학교 교사용 지도서 자연 6-1, 국정 교과서 주식회사.
3. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J.(1993). Fundamentals of Physics (4th eds.). NY: John Wiley