

GRATING 제작 과정에서의 창의성 提高

陸 根 鐵(公州大學校)

I. 서 론

물리수업의 근본적인 목적이 물리적 개념을 학생들에게 올바르게 이해시키는 데 있다고 볼 때 물리교사는 물리교과 내용이나 지도방법에 보다 참신하고 새로운 정보를 최대한으로 활용하여 학생들이 인상 깊고 재미있게 물리적 개념을 이해할 수 있도록 수업을 전개해야 한다. 그러나 우리의 교육 현실은 여전히 교사 중심의 칠판수업, 교육 기자재의 부족으로 인한 맨손수업, 수업개선을 위한 의지 부족, 물리 교과 자체의 난해성 등으로 인해서 학생들에게는 물리교과가 재미없고 어렵고 딱딱한 과목으로 인식되고 있다. 따라서 물리교과에 대한 학생들의 흥미를 유발시키고 교사의 수업의 질을 높이기 위해서는 학생 중심의 실험 실습 내지는 다양한 첨단 교수매체가 수업 현장에 도입되어야 한다. 그래서 학생들의 입장에서는 물리교과에 대한 흥미를 유발시키고 자연 현상을 기술하는 방법으로는 교과서에서 배우는 것 이외에도 여러 가지가 있음을 깨달아 창의적인 새로운 아이디어를 낼 수 있도록 유도하고, 물리교사의 입장에서는 새로운 교수 방법을 개발하여 교수-학습 효과를 높일 수 있는 또 다른 방법이 있음을 소개하기 위한 방법의 하나로 수면파 실험수업, 각도 측정, 횡 변위 측정에서의 보조 학습자료로서 격자를 제작하는 과정에서의 창의적인 아이디어 신장은 물론 이들 격자에 의해서 만들어지는 무아레 무늬(Moire Fringe)를 활용할 수 있는 몇가지 방안을 제안하고자 한다.

그 일례로 수면파 실험은 고등학교 물리교과 『빛과 파동』단원에서 호이젠스의 원리에 의해 파동이 전파되는 물리적 현상을 시각적으로 확인해 볼 수 있는 유일한 실험이라는 측면에서 교과 시간에 반드시 실험을 해야하는 부분이다. 그러나 수파투영장치에 의한 수면파 실험은 실험장치가 너무 복잡하여 실험준비 시간이 많이 걸리고, 주어진 시간에 많은 학생들이 동시에 실험을 할 수 없다는 단점 때문에 교사들은 수

파투영장치에 의한 수면파 실험을 기피하고 있는 실정이다. 더욱이 수면파 실험에서의 물결과에 의한 파동 시험은 파동 현상이 너무 빨라서 파장이나 주기 측정이 어렵고 하나의 파동 현상을 여러 학생들이 동시에 관찰하고 이해할 수 없다는 단점이 있다. 그래서 수면파 실험이 재미있고 기본적인 실험임에도 불구하고 교육 현장에서 생략되는 경우가 많다. 따라서 파동 현상에 대한 학생들의 흥미를 유발시켜 주고 물리적 현상을 기술하는 방법에는 여러 가지가 있음을 보여주기 위하여 두장의 직선격자, 원형격자, 사방격자에 의해서 만들어지는 무아레 무늬(Moire Fringe)를 이용한 수면파 실험에서의 굴절, 간섭, 반사현상을 설명할 수 있는 교수 방법을 제안하고, 그 이외의 새로운 격자로 ECG 격자, MRP 격자를 만드는 과정에서 제기될 수 있는 창의적 아이디어 기법을 소개하고 이때 만들어진 특수한 격자를 이용한 미소 횡 변위나 미소 각도를 무아레 무늬를 이용하여 측정할 수 있는 방안도 제안하고자 한다.

II. Moire 무늬

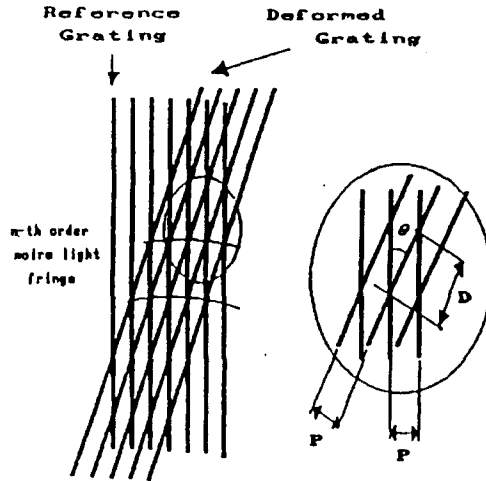
백색광하에서 공간적으로 주기성을 갖는 반사판 또는 투과판을 서로 겹쳐 놓을 때 발생하는 물결 형태의 간섭무늬를 무아레 무늬(Moire Fringe)라고 하는데 이러한 무아레 간섭현상은 비간섭성 광원을 사용해서도 얻어질 수 있는 일종의 강도(intensity)간섭 효과로 이해될 수 있다.^(1,3)

일반적으로 무아레 간섭법(Moire interferometry)에는 무아레 토포그래피(Moire topography)법과 무아레 편향 간섭법(Moire deflectometry)^(2,4,5)으로 구분할 수 있는데 무아레 토포그래피(Moire topography)에서 가장 많이 사용되는 격자로는 직선형 격자(linear grating)가 있다. 무아레 토포그래피(Moire topography) 기술은 실험 장치가 비교적 간단하고 접촉식 방법으로는 측정하기가 어려운 물체(인체)의 형상을 측정할 때 사용되는 새로운 기법으로 1994년 육근철 등⁽⁶⁾은 그림자식 무아레 토포그래피에서 두 개의 색광원을 이용한 물체의 형상 측정 방법을 개발하였다. 물리교육 분야에 있어서는 1981년에 松林勉 등⁽⁷⁾이 무아레 무늬를 이용하여 원형파를 발생시켜 광학 수업에 활용할 수 있는 방안을 제안하였으며, 1990년 이성목 등⁽⁸⁾은 고등학교 파동관련 수업에 무아레 무늬를 활용할 수 있는 방안을 제안하였으며, 1994년 Ruari Grant⁽⁹⁾는 정방형 격자(crisscrossed grating)를 이용한 무아레 무늬의 응용에 대해서 발표한 바 있다.

1. 직선격자에 의한 무아레 무늬

두 장의 직선격자(linear grating)에 의해서 만들어지는 무아레 무늬는 Fig.1과

같이 두 격자가 이루는 각 θ 를 변화시켜 무아래 무늬 사이의 간격 D 를 조절할 수 있다. 그림에서 N자 모양으로 겹치는 부분은 어두운 무아래 무늬가 만들어지는 곳이고 X자 모양으로 겹치는 부분은 밝은 무아래 무늬가 만들어지는 곳이다. 따라서 두 장의 직선격자를 각 θ 로 겹쳐 놓으면 밝고 어두운 물결모양의 무아래 무늬를 얻을 수 있다.



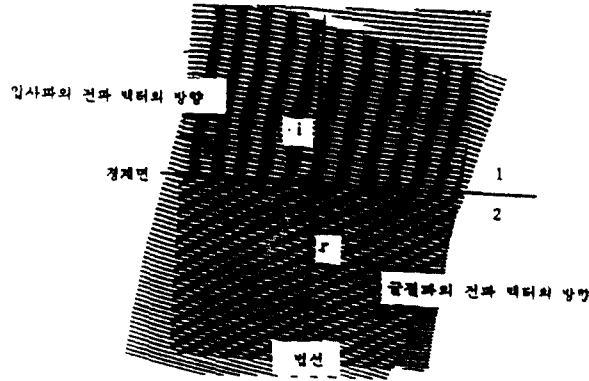
(그림 1. 두 장의 직선격자에 의한 중첩)

- 이때의 무늬 간격은 격자의 피치(P)와 비교할 때 어떻습니까?
- 두 격자가 이루는 각(θ)을 변화시키면 무늬사이의 간격 D 가 변하는데 이때 θ 와 D 사이에는 어떤 관계가 있습니까?
- θ 와 D , P 사이의 관계를 수학적으로 표현할 수 있습니까?

1) 직선격자를 이용한 굴절실험

수면파의 굴절 실험에서는 두 매질의 경계면이 입사파와 평행하지 않을 때 굴절파의 모양, 입사각과 굴절각의 비교, 두 부분에서의 파장 및 속도를 비교 측정하기 위하여 수면파 실험을 한다. 그러나 수면파가 계속해서 이동하고 있기 때문에 입사각이나 굴절각, 파장의 측정 등이 매우 어렵다. 그러나 격자선의 간격이 각각 $p_1=4\text{mm}$, $p_2=3\text{mm}$ 인 직선격자를 한 장의 O.H.P 용지위에 그린다음 이 O.H.P 위에 격자선의 간격이 $p_3=4\text{mm}$ 이상($p_3 > p_2 > p_1$)인 직선격자를 각 θ 로 겹쳐 놓으면 Fig. 2와 같이 두 매질의 경계면에서 파동이 굴절하는 물결무늬 형태의 무아래 무늬를 정확히 얻을 수 있다. ⁽⁶⁾ 이때 겹쳐놓은 직선격자 p_3 를 각 θ 로 변화시키면 무아래 무늬의 파장을 변화시킬 수 있으며 이 겹쳐놓은 격자 p_3 를 무아래 무늬 방향으로 이동시키면 두 장의 격자

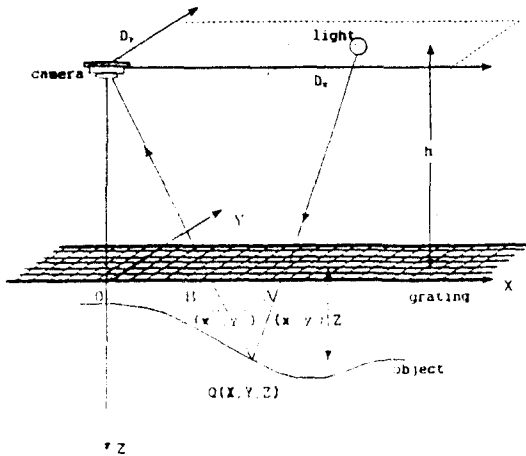
에 의해서 만들어진 무아레 무늬들은 수면과처럼 이동하게 되어 수면과 실험의 보조 학습 매체로 활용할 수 있다.



(그림2. 직선격자의 무아레 무늬에 의한 굴절 현상)

2) 직선격자를 이용한 물체의 형상 측정

Fig. 3과 같이 물체 앞에 직선격자를 설치하고 일정한 거리에서 광원으로 빛을 비추면 Fig. 4와 같이 물체의 굴곡도에 따라 등고선 형태의 무아레 무늬가 나타난다. 이때 이 무아레 무늬의 차수를 카운트하여 물체 면상의 임의의 지점의 높이를 측정할 수 있는 방법으로 이러한 기법을 Shadow Moiré Topography라고 한다.



2. 사방격자에 의한 무아레 무늬

사방격자(crisscrossed grating)는 두 장의 직선격자를 수직하게 겹쳐놓으면 만들어지므로 입사파는 $\cos(kx - \omega t)$ 로 표시할 수 있으며 이때 정방형 격자의 투과도는 원형격자와 마찬가지로 다음과 같이 코사인 함수로 표현된다.

$$T_1 = A \left(1 + \cos \frac{2\pi}{p} x\right) \left(1 + \cos \frac{2\pi}{py} y\right)$$

$$T_2 = A \left(1 + \cos \frac{2\pi}{p} x'\right) \left(1 + \cos \frac{2\pi}{py} y'\right)$$

또한 이때 생기는 무아레 간섭무늬는 이 두 정방형 격자를 겹쳐놓을 때 발생하는 두 격자의 강도 투과율은 다음과 같이 두 격자의 강도 투과율의 곱으로 표시할 수 있다.

$$T = T_1 \times T_2$$

$$= \left[\left(1 + \text{고주파} + \frac{1}{2} \cos \frac{2\pi}{p} (x - x')\right) \right] \left[\left(1 + \text{고주파} + \frac{1}{2} \cos \frac{2\pi}{py} (y - y')\right) \right]$$

$$\begin{aligned} \text{그런데 } x' &= x + y\theta \\ y' &= -x\theta + y \end{aligned}$$

$$= \left(1 + \text{고주파} + \frac{2}{1} \cos \frac{2\pi}{p} y\right) \left(1 + \text{고주파} + \frac{2}{1} \cos \frac{2\pi}{py} x\right)$$

따라서 두 장의 정방형 격자가 겹쳐져서 만들어지는 무아레 무늬 역시 각 θ 에 따라서 주기가 변하는 함수이며, 이 무늬의 새로운 주기는 다음과 같이 표시된다.

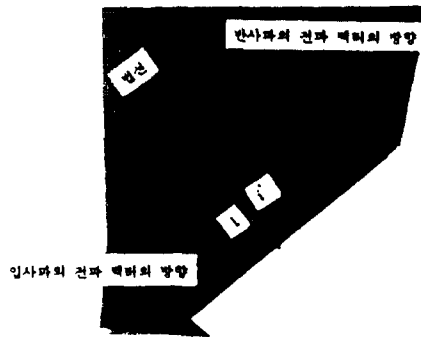
$$Py' = \frac{\theta}{P_x}, \quad Px' = \frac{\theta}{Py}$$

즉, θ 가 커지면 주기는 작아진다.

1) 사방격자를 이용한 수면파의 반사실험

수면파 실험에서 입사파가 장벽에 접근해서 반사되어 나올 때 입사 펄스가 반사벽과 이루는 각 i 와 반사 펄스가 반사벽과 이루는 각 i' 을 측정하면 $\langle i = \langle i'$ 임을 알 수 있다. 이와 같은 수면파의 반사 현상은 Fig. 5와 같이 두 장의 정방형 격자(crisscrossed grating)를 겹쳐 놓으므로써 발생시킬 수 있다. 그림에서 반사벽

XX'에 대한 입사 펄스와 반사 펄스가 이루는 각은 각각 45°로 같다. 따라서 수면 파에서와 같이 $\langle i = \langle i'$ 이 된다. 이때 입사각을 변화시키기 위해서는 정방형 격자의 모양을 변화시키므로써 얻어질 수 있다. 또한 입사펄스의 파장을 변화시키기 위해서는 위의 식과 같이 두 정방형 격자가 이루는 각 θ 를 변화시키면 된다. 이때 밑에 있는 정방형 격자를 무아레 무늬 방향으로 이동시키면 마치 수면파에서 직선파가 입사해 들어오는것 처럼 시각적 효과를 낼 수 있다. 그러나 직선격자로는 불가능하다.



(두 장의 정방형격자에 의한 무아레 무늬)

FIG. 5

2) 사방격자를 이용한 물체의 형상 측정

사방격자를 만들어 Fig.3과 같은 그림자식 무아레 토포그래피 방식으로 물체에 비 간섭성 광원을 비추면 Fig.6과 같이 Dark-White-Dark의 주기적인 무아레 무늬가 나타난다. 직선격자에 의해서 만들어지는 무아레 무늬는 주기적인 구조가 아닌 동심원의 무아레 무늬만 나타나기 때문에 임의의 한 지점에서의 무늬의 치수를 헤아리기가 어렵다. 그러나 사방격자를 사용하면 쉽게 임의의 한 지점에서의 차수를 쉽게 결정 할 수 있다는 장점이 있다.

$$DD_1 = D_2 = D \sin \theta \quad \frac{D_1}{D_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

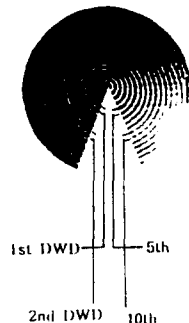


Fig. 6

2. 원형격자에 의한 무아레 무늬

두 장의 원형격자(circular grating)에 의해서 만들어지는 무아레 무늬를 얻기 위하여 Fig.7과 같이 극좌표를 설정하였다. 이때 두 원형격자 사이의 간격 a 를 변화시킴에 따라서 두 원형격자의 중심 G_1, G_2 사이에 만들어지는 무아레 무늬의 갯수를 조절할 수 있다.

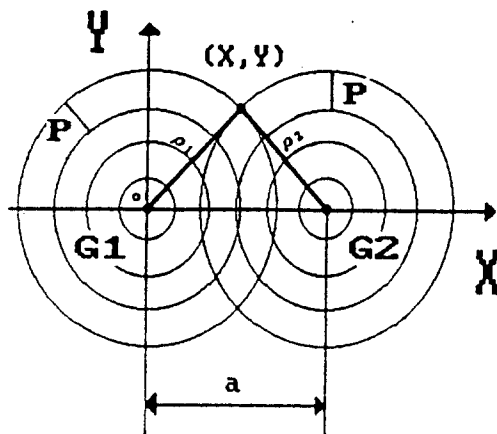


Fig. 7

- 원형격자 G_1, G_2 의 투과도는 다음과 같이 cosine함수로 표시할 수 있는데 그 이유를 토의해 보십시오.

$$T_1(\rho_1) = \frac{1}{2} (1 + \cos \frac{2\pi}{p} \rho_1)$$

$$T_2(\rho_2) = \frac{1}{2} (1 + \cos \frac{2\pi}{p} \rho_2)$$

여기서 $\rho_1 = (X^2 + Y^2)^{1/2}$ 이다.

- 원형격자 G_1, G_2 를 겹쳐 놓으면 어떤 무늬가 발생합니까? 그림으로 그려 보십시오.
- 마디선의 개수는 두 파원사이의 거리가 일정할 때 파장의 증감에 따라 어떻게 달라지나? 또 파장이 일정할 때 두 원점 사이의 거리의 증감에 따라서 어떻게 달라지나?
- 이때 발생하는 무아레 간섭무늬는 이 두 격자를 서로 겹쳐 놓을 때 발생하므로 G_1 과 G_2 격자의 강도 투과율은 다음과 같이 두 격자의 강도 투과율의 곱으로 표시

할 수 있는데 그 이유를 말할 수 있습니까?

$$T = T_1(\rho_1) \cdot T_2(\rho_2)$$

$$= \frac{1}{4} \left[1 + A + B + \frac{1}{2} \cos \frac{2\pi}{p} (\rho_1 - \rho_2) \right]$$

여기서 A, B는 공간 주파수의 고주파 성분으로서 다음과 같이 정의되는데 관찰하고자 하는 무아레 간섭무늬에 비해서 잡음(noise)항으로 취급된다.⁽¹¹⁾

$$A = \cos \frac{2\pi}{p} \rho_1 + \cos \frac{2\pi}{p} \rho_2$$

$$B = \frac{1}{2} \cos \frac{2\pi}{p} (\rho_1 + \rho_2)$$

따라서, $1 + \cos \frac{2\pi}{p} (\rho_1 - \rho_2)$ 항만이 무아레 간섭무늬를 나타내는 주요항이 된다.

1) 원형격자를 이용한 수면파의 간섭실험

거리 a만큼 떨어져서 각각 같은 진동수로 펄스를 발생시키는 두 점파원에 의한 간섭무늬는 Fig.8과 같이 두 개의 동심원군의 중첩에 의해서 두겹 마루는 밝게, 두겹 골은 어둡게 보이고 한파원으로 부터 나오는 마루가 다른 파원으로 부터 나오는 골과 만나는 곳에서는 교란 당하지 않기 때문에 마디선으로 나타나게 된다.

이때 마디선은 중심선을 중심으로 좌우 대칭의 쌍곡선 무늬로 발생되며 마디선의 개수는 파장의 증가함에 따라서 감소하고, 파장이 일정할 때는 두 점파원 사이의 거리를 증가시키면 마디선의 개수도 증가한다. 마찬가지로 두 장의 원형격자를 중심 사이의 간격 $G_1G_2 = a$ 되게 이동시켜 겹쳐놓으면 같은 진동수에 의해서 만들어지는 두 점파원에 의한 수면파의 간섭무늬와 같은 형태의 무아레 간섭무늬를 얻을 수 있다.

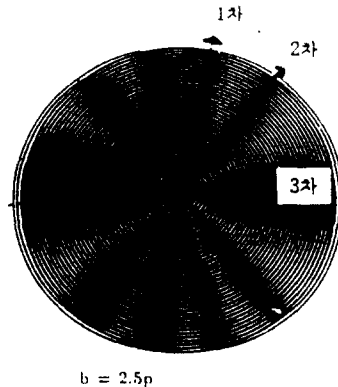
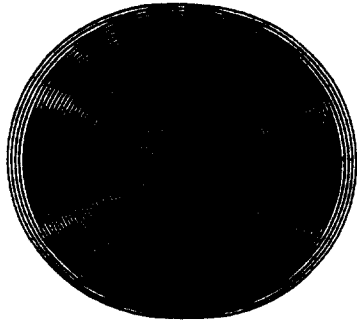


Fig. 8

2) 원형격자를 이용한 미소 횡변위 측정

앞의 식 $1 + \cos \frac{2\pi}{P} (\rho_1 - \rho_2)$ 에서 cosine함수 값이 최대가 되는 조건은 위상항이 2π 의 정수배가 되는 경우이므로 밝은 무늬가 나타날 조건은 $|\rho_1 - \rho_2| = mP$ 가 된다. 여기서 m 은 밝은 무늬의 차수를 의미하는데 $m=0$ 인 경우는 중간 위치에 y 축에 평행한 직선무늬가 나타나고, $m=1$ 인 경우는 중심 선상의 0차의 밝은 무늬를 중심으로 피치 간격이 $1/2$ 되는 곳을 통과한다.

따라서 무아래 간섭무늬는 $P/2$ 의 간격으로 나타난다. 그러므로 밝은 무늬의 차수만 세면 중심거리 a 값은 $P/2$ 의 간격으로 나타난다. 그러므로 밝은 무늬의 차수만 세면 중심거리 a 값은 $P/2$ 의 오차범위 내에서 쉽게 결정할 수 있다.



(그림3. 두 장의 원형격자에 의한 무아래 무늬)

Fig. 9

IV. 결 론

격자를 제작하는 과정에서 새로운 창의적 아이디어로 새로운 형태의 격자를 얼마고 만들 수 있으며 이들 격자를 겹쳐서 만들어지는 무아래 무늬를 이용하여 물리과 수업에서 보조 학습매체로 사용할 수 있는 몇가지 방안을 제안하였다. 즉, 두 장의 직선격자를 중첩시켜서 만들어지는 보다 큰 주기의 무아래 무늬를 이용해서 수면파의 굴절 현상, 물체의 형상 측정을, 두 장의 원형격자를 중첩시켜서 만들어지는 쌍곡선 형태의 무아래 무늬를 이용해서 수면파의 간섭 현상은 물론 횡변위 측정을, 두 장의 정방형 격자를 중첩시켰을 때 만들어지는 보다 큰 주기의 정방형 무아래 무늬를 이용해서 수면파의 반사 현상은 물론 물체의 형상 측정에도 활용할 수 있다.

무아래 무늬는 위상간섭(phase interference)이 아니라 강도간섭(intensity interference)이기 때문에 수면파의 파동현상을 설명하는데는 한계가 있음에도 불구하고

하고 실험 관찰이 간편하고 파장이나 주기 측정이 손쉬우며 복잡한 파동현상을 여러 학생들이 동시에 이해하게 할 수 있다는 장점때문에 파동현상에 대한 개념 형성을 위한 학습 보조자료로 적합하다. 그리고 이외의 여러 형태의 격자를 제작하여 이들 격자의 활용 방안을 모색해 보는것도 창의성을 높이는 한 방안이 될 것이다. ECG격자나 MRP격자의 제작과정이나 활용 방안에 대해서는 지면 관계상 생략하고 workshop 시간에 다루기로 한다.

■참고문헌■

- [1] A. J. Durelli and V. J. Parks, Moire Analysis of Strain(Prentice-Hall, New Jersey, 1970), Ch. 1.
- [2] L. Rayleigh, Phil. Mag. 47, 193(1874).
- [3] P. S. Theocaris, Moire Fringes in Strain Analysis(Pergamon, Oxford, 1969), Ch. 3.
- [4] Y. Nishijima and G. Oster, J. Opt. Soc. Am. 54, 1 (1964)
- [5] H. Takasaki, Appl. Opt. 9, 1467 (1970)
- [6] K. C. Yuk, J. H. Jo and S. Chang, Appl. Opt. 33, 130 (1994)
- [7] 松林 勉, 北原隆, 物理教育 31, 1 (1983)
- [8] 이성목, 전영석, 물리교육 9, 34 (1991)
- [9] Ruari Grant, Physics Education 9, No 5, 318 (1994)