

# GPS 수신기 적용을 위한 compact형 slotted triangular 마이크로스트립 패치 안테나 설계

Design of Slotted Compact Microstrip Triangular Patch Antenna for GPS Receiver Antenna

성하원

(순천향대학교대학원, 석사과정)

손태호

(순천향대학교, 교수)

Key Words : 차량 내장형, 마이크로스트립 안테나, GPS

## 목 차

- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| I. 서론              | III. 슬롯 패치 안테나  |
| II. 마이크로스트립 안테나 이론 | IV. 안테나 제작 및 측정 |
| 1. 삼각형 패치 안테나      | V. 결론           |
| 2. 공진주파수           | 참고문헌            |

## I. 서론

GPS(Global Positioning System)는 기존의 항법시스템보다 정확성이 높고 사용이 간편하며 시간과 장소 그리고 기상 상황에 관계없이 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 이동하는 사용자의 3차원 위치, 속도, 자세, 시간 등에 대한 10가지 정보를 동시에 제공할 수 있는 기능을 갖고 있다. GPS는 저가의 사용자 장비로 다른 전파항법시스템보다 높은 정밀도를 얻을 수 있는 장점 때문에 개발초기부터 현재까지 전 세계적으로 많은 연구가 진행되어 왔으며 보다 더 소형이면서 저가격의 수신기 기술개발에 박차를 가하고 있다. 또한 항공기, 선박, 자동차 항법장치(CNS), 지리정보 시스템(GIS) 등에 응용되고 있으며 소형, 경량의 휴대용 수신기 구현을 통한 레저 스포츠 등의 활용이 기대되고 있다.

GPS는 위성으로부터의 신호가 미약하므로 대기 감쇄 및 반사파의 영향을 적게 하기 위해 우회전 원편파 방식의 전파를 사용한다. 이를 수신하기 위한 안테나는 손실이 작게 설계되어야 한다. 기존의 GPS 수신용 안테나는 모노폴, 헬리컬, 마이크로스트립 패치 등의 형태로 구현되고 있으며, 이 중 마이크로스트립 패치 안테나는 다른 안테나에 비해 감도가 낮은 단점을 가지고 있으나 소형, 경량이면서 대량생산이 가능하기 때문에 최근 많이 사용되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

본 논문에서는 GPS 수신용(1.564~1.585GHz) 안테나로 사용될 수 있는 마이크로스트립 삼각형 패치 안테나를 설계, 제작

한다. 급전은 프로브 급전방식을 사용한다. 패치에 십자 슬롯을 부설하여 안테나의 소형화를 유도하고 십자 슬롯의 가로와 세로의 비와 급전 점의 위치를 조절하여 원편파를 유도한다. 사용기판은 비율전율  $\epsilon_r = 4.3$  loss tangent = 0.019인 에폭시 기판을 사용하여, 기존 전장품에서 적용하는 고가의 세라믹기판 패치의 대체용으로의 가능성을 타진한다.

## II. 마이크로스트립 안테나 이론

### 1. 삼각형 패치 안테나

삼각형 마이크로스트립 안테나의 기하학적 구조는 다음 그림과 같이 삼각형 모양으로 아주 단순하며 유전율이  $\epsilon_r$  이고 두께가 h인 유전체 기판 위에는 삼각형의 도체가 놓여있고, 배면은 접지면으로 되어 있다.

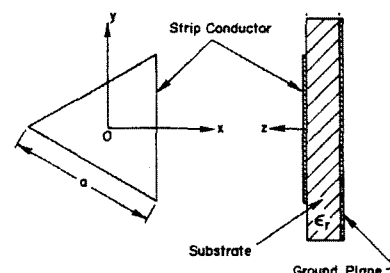


그림 1. 삼각 패치 안테나 윗면과 옆면

그림 1은 패치의 윗면과 옆면을 나타낸 것으로 삼각형 패치 안테나는 캐비티 모델을 이용하여 해석할 수 있다. 한 변의 길이가  $a$ 인 삼각형 패치 둘레에서 수직 단면을 자기벽 (magnetic wall)으로 보았을 때, 삼각형 캐비티 내의 전자계 분포를 살펴본다. 기판 두께가 파장  $\lambda$ 에 비해 아주 작으면  $z$  방향 전계 변화는 거의 없으므로 TM모드만 고려한다.

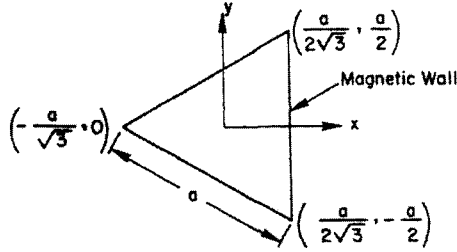


그림 2. 삼각형 패치 안테나

그림 2는 삼각형 패치 안테나의 각 꼭지점에 대한 좌표 점을 나타낸 것으로 삼각형 도파관의 전자계 분포는 Schelkunoff 와 Akaiwa 가 전계 경계조건을 이용하여 구했으며, 쌍대성 원리(duality principle)에 의하면, 전계 경계조건을 이용하여 구한 TE모드에 관한 전자계 식은 서로 같다. 따라서 삼각형 공진기의 TM모드의 전자계 분포는

$$E_z = A_{m,n,l} T(x,y)_{m,n,l} \quad (1)$$

$$H_x = \frac{j}{\omega\mu} \frac{\delta E_z}{\delta y} \quad (2)$$

$$H_y = \frac{-j}{\omega\mu} \frac{\delta E_z}{\delta x} \quad (3)$$

$$H_z = E_x = E_y = 0 \quad (4)$$

이며, 여기서

$$T(x,y)_{m,n,l} = \cos\left[\left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}a} + \frac{2\pi}{3}l\right)\cos\left[\frac{2\pi(m-n)y}{3a}\right] + \cos\left[\left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}a} + \frac{2\pi}{3}m\right)\cos\left[\frac{2\pi(n-l)y}{3a}\right] + \cos\left[\left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}a} + \frac{2\pi}{3}n\right)\cos\left[\frac{2\pi(l-m)y}{3a}\right]\right] \quad (5)$$

이고,

$A_{m,n,l}$ 은 임의의 진폭상수,  $a$ 는 삼각형 변의 길이, 그리고 아래첨자  $m,n,l$ 은 동시에 0이 될 수 없는 정수이며,

$$m+n+l=0 \quad (6)$$

의 조건을 만족한다.

전계  $E_z$ 에 관한 파동방정식은

$$\left(\frac{\delta^2}{\delta x^2} + \frac{\delta^2}{\delta y^2} + k_{mn}^2\right)E_z = 0 \quad (7)$$

이며, 여기서

$$k_{mn} = \frac{4\pi}{3a} \sqrt{m^2 + mn + n^2} \quad (8)$$

이다.

$m,n,l$ 이 서로 바뀌어도 파수  $k_{m,n}$ 과 전자계 분포는 변하지 않는다. 처음 두 모드에 관한 전자계 분포는 그림 3과 그림 4에 나타난다.

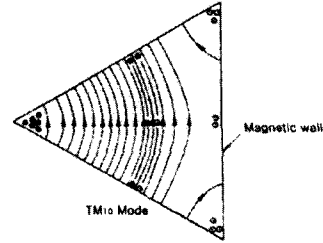


그림 3. TM<sub>10</sub> mode

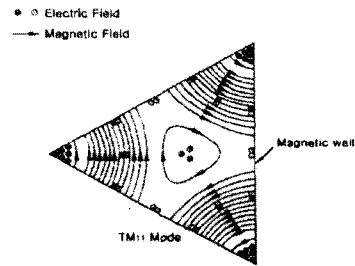


그림 4. TM<sub>11</sub> mode

식 (1)~(3) 으로부터 삼각형 패치의 기본모드 TM<sub>1,0,-1</sub>의 전자계는

$$E_z = A_{1,0,-1} \left[ 2\cos\left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}a} + \frac{2\pi}{3}\right)\cos\frac{2\pi y}{3a} + \cos\frac{4\pi y}{3a} \right] \quad (9)$$

$$H_x = -jA_{1,0,-1}\eta_0 \left[ \cos\left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}a} + \frac{2\pi}{3}\right)\sin\frac{2\pi y}{3a} + \sin\frac{4\pi y}{3a} \right] \quad (10)$$

$$H_y = -j\sqrt{3}A_{1,0,-1}\eta_0 \left[ \sin\left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}a} + \frac{2\pi}{3}\right)\cos\frac{2\pi y}{3a} \right] \quad (11)$$

이고,

$$\text{여기서 } \eta_0 = \frac{1}{120\pi} \text{ 이다.}$$

## 2. 공진주파수

여러 가지 종류의 모드에 대응하는 공진 주파수 ( $f_r$ )는

$$f_r = \frac{ck_{m,n}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}}(m^2 + mn + n^2)^{1/2} \quad (12)$$

이며,  $c$ 는 자유공간에서의 빛의 속도 이다.

여기서 ( $f_r \cdot a$ )는  $\epsilon_r$ 의 함수로서 여러 종류의  $m, n$  값에 대한 변화는 그림 5와 같으며, 기본모드의 공진 주파수는

$$f_r = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \quad (13)$$

이다.

이러한 관계는 종단효과(end effects)와 프링징 효과(fringing fields)를 고려하지 않은 것이며, 이들 효과를 고려할 때  $\epsilon_r$  대신 실효 유전율 ( $\epsilon_e$ )은

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{4} \left(1 + \frac{12h}{a}\right)^{-1/2} \quad (14)$$

사용하고

삼각형 패치 변의 길이도  $a$ 대신에 실효 변 ( $a_{eff}$ )

$$a_{eff} = a + h/\sqrt{\epsilon_r} \quad (15)$$

을 사용해야 한다.

따라서 기본모드의 공진 주파수 ( $f_r$ )는

$$f_r = \frac{2c}{3a_{eff}\sqrt{\epsilon_e}} \quad (16)$$

이 된다.

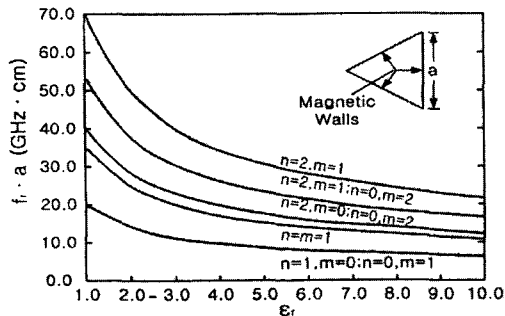


그림 5. 유전율에 따른 각 모드의 공진 주파수 변화

## III. 슬롯 패치 안테나

삼각 패치 안테나 설계를 위한 주파수 대역은 GPS RX 밴드로 1564~1585MHz(대역폭 21MHz) 이다.

먼저 Slot을 넣기 전 단일 패치 안테나를 설계를 하였다. 그 결과는 그림 6과 같다.

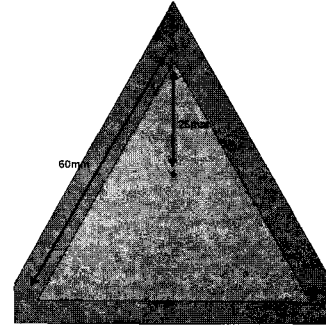


그림 6. 단일 패치 안테나 설계 모델

그림 7은 그림 6과 같이 설계된 단일 패치 안테나의 S11 이론치 이다. VSWR 2:1을 기준으로 대역폭은 46MHz이며, 공진주파수는 1580MHz이다.

그림 8은 단일 패치 안테나의 이득패턴 이다. 공진주파수인 1580 MHz에서 최대 방사 방향으로 1.889dBi가 나타난다.

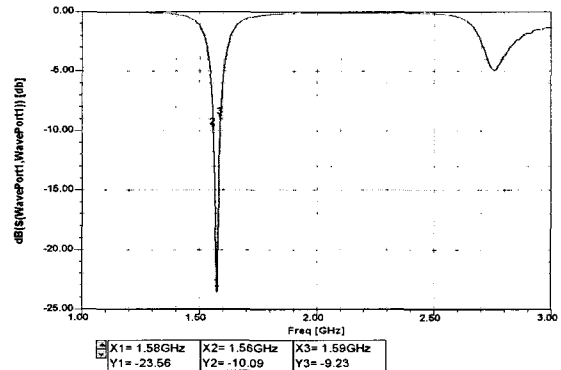


그림 7. 단일 패치 안테나 S11

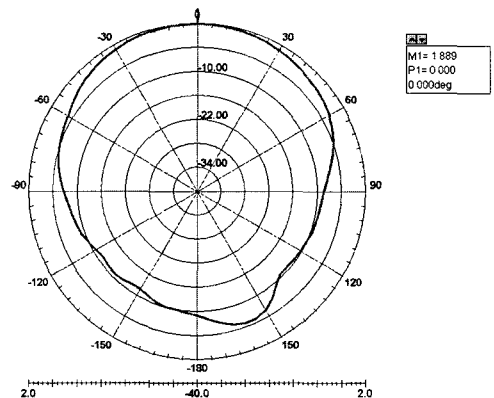


그림 8. 단일 패치 안테나 방사패턴

설계된 단일 패치 안테나를 기본으로 하여 패치 면에 슬롯을 부설하면 패치의 소형화를 유도 할 수 있다. 접지 면에 최적의 슬롯을 갖기 위해 슬롯의 길이를 비교 분석한다.

그림 9는 분석을 위한 모델이다.

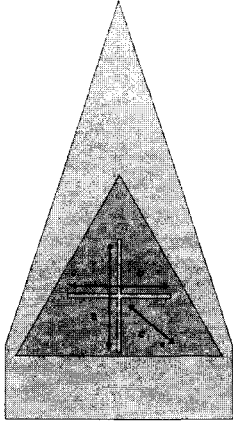


그림 9. 슬롯 패치 안테나 설계 모델

그림 10은 a,b의 비율을 1:0.9로 유지하고 길이에 따른 공진 주파수의 변화 모습을 보여주는 그림이다. 슬롯의 길이가 길어질수록 공진 주파수가 하향천이 되었다.

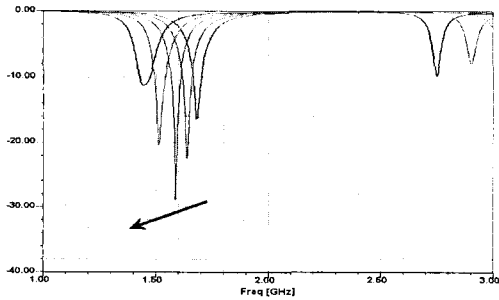


그림 10. 슬롯 길이에 따른 S11 파라미터 값의 변화

그림 11은 슬롯의 길이를 a=23mm, b=21mm를 고정하고 c의 길이 즉, 급전점의 길이까지의 변화에 따른 축비의 변화 모습을 보여주는 그림이다.

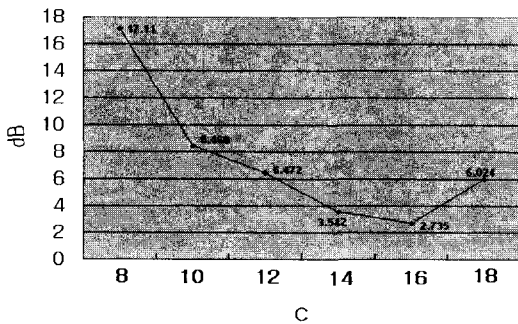


그림 11. 변수 c에 따른 AR 파라미터 값의 변화

이상과 같은 방법으로 설계된 치수는 a=23mm, b=21mm, c=16mm이다. 그림 12는 최적화 설계된 슬롯 패치 안테나 모델이다.

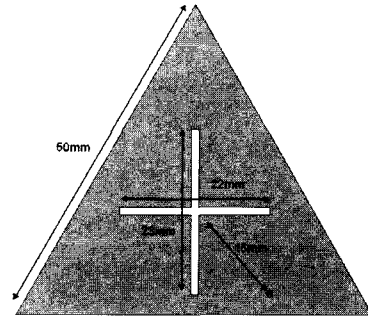


그림 12. 최적화된 슬롯 패치 모델

최적화된 모델의 S11 이론치는 그림 13과 같다. VSWR 2:1을 기준으로 대역폭은 40MHz이며, 공진주파수는 1580MHz이다. 그림 14는 설계된 삼각 패치 안테나의 이득패턴이다. 공진주파수 1580MHz에서 최대 방사 방향으로 1.729dBi를 얻었다. 그림 15는 설계된 안테나의 축비이다. 2.735dB로 양호한 특성을 얻었다.

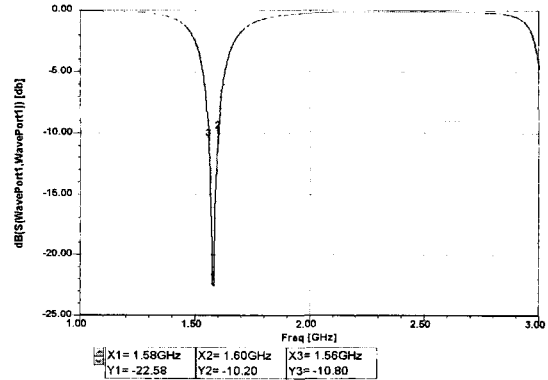


그림 13. 설계된 패치안테나의 S11

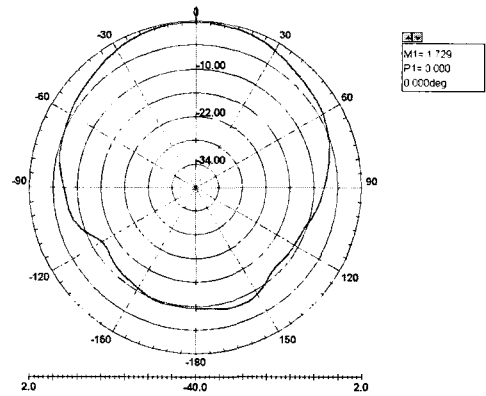


그림 14. 설계된 패치안테나의 방사패턴

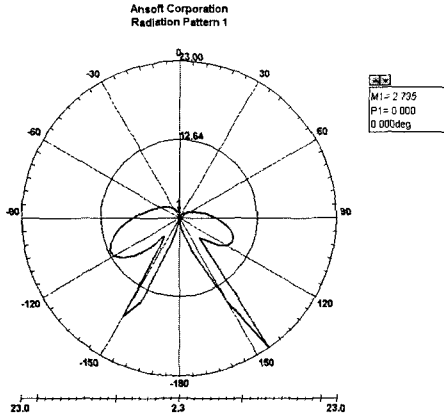


그림 15. 설계된 패치안테나의 축비(AR)

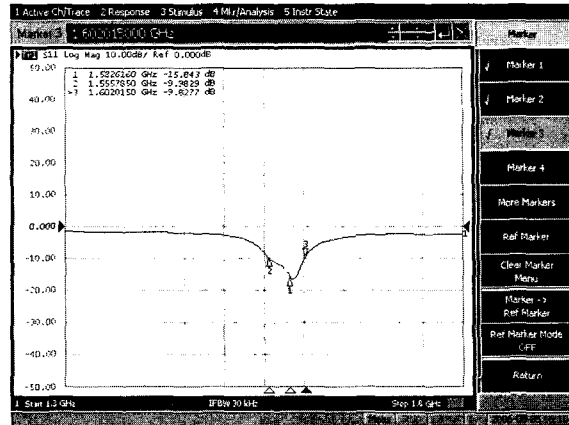


그림 17. 삼각 슬롯 패치 안테나 반사손실 측정치

#### IV. 안테나 제작 및 측정

지금까지의 시뮬레이션을 바탕으로 슬롯 패치 안테나를 제작하고 측정한다. 제안된 삼각패치의 크기는 한 변이 50mm 이고 슬롯의 크기는 세로축 23mm, 가로축 21mm 이며, 급전 점까지의 길이는 중심축에서 16mm로 설계되어 제작하였다.

안테나의 성능 측정을 위해 Agilent 사의 Network Analyzer 를 사용하였다.

그림 16는 제작된 삼각형 슬롯 패치안테나를 제작한 모습이다.

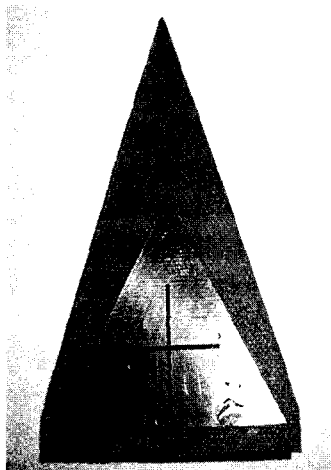


그림 16. 제작된 삼각 슬롯 패치 안테나

제작된 삼각 슬롯 패치 안테나의 반사손실 측정치는 그림17 과 같다. 또한 그림18,19는 측정된 안테나의 방사패턴이다. VSWR 2:1 기준으로 대역폭은 40MHz 이며, 공진주파수는 1583MHz이다. 시뮬레이션과 약간의 오차가 있었지만 공진주 파수와 대역폭 이론치에 근접한 값을 얻었다.

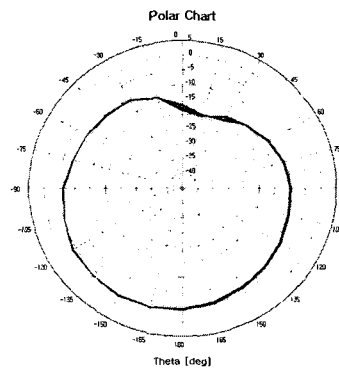


그림 18. 측정된 안테나 방사 패턴 (E-plane)

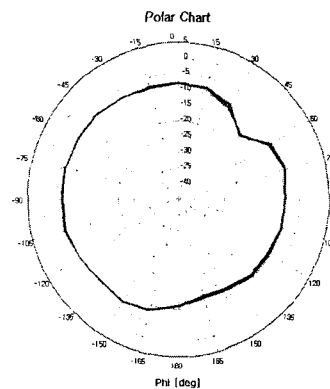


그림 19. 측정된 안테나 방사 패턴 (H-plane)

#### V. 결론

본 논문에서는 GPS 차량 수신용 안테나의 제작을 위해 삼 각형 모양의 패치를 사용하였다. 크기의 소형화를 위해 슬롯

을 부설하고 약10%의 소형화를 유도하였고, 슬롯의 가로 세로 비율과 급전점의 위치를 조절함으로써 측비가 3dB 이하인 우회진 원편파를 설계하였다. 패치의 크기는 한 변의 길이를 50mm로 고정하고 슬롯의 길이와 급전점을 조정하였다.

그 결과 공진주파수 1583MHz에서 40MHz 대역으로 이론치와 비슷한 결과를 얻었고 GPS RX 대역 (1564 ~ 1585MHz)에 만족하는 대역폭을 얻었다. 이득 또한 1.729dBi 로 양호하게 형성됨을 보였다. 하지만 실제 측정이득은 -5dBi 로 측정되었는데, 초도품인 관계로 향후 조정에 의한 재설계가 필요할 것으로 생각된다. 본 연구를 통해 차량용 GPS 안테나 등의 설계에 도움을 줄 수 있으리라 생각된다.

본 연구는 2007년도 충남 자동차전장 RIS 사업단 지원에 의해 시행된 연구임.

#### 참고문헌

- [1] David M. Pozar, "Microwave Engineering", John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [2] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory",
- [3] W. L. Stutzman / G. A. Thiele, "Antenna Theory and design", John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [4] Kin-Lu Wong "Compact and Broadband Microstrip Antennas", John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [5] Girish Kumar / K. P. Ray "Broadband Microstrip Antennas",
- [6] Ramesh Garg, "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House, Inc.
- [7] 이원규 외 2명, "GPS와 DMB 신호 수신을 위한 단일 급전 이중 대역 원형 편파 삼각 패치 안테나 설계 및 구현", 추계 마이크로파 및 전파학술 대회 논문집, pp, 893-902, 2005년 9월
- [8] 정수영 외 1명, "GPS/GLONASS 통합 수신기용 광대역 원편파 안테나", 추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, pp, 868-875, 2000년 9월