

I. 서론

정보화 시대에서의 유무선망 통합구성으로 공중선의 역할이 광범위하게 사용되고 있고, 공중선의 사용이 날이 갈수록 무한한 용도로 다기능화 되어질 것이다. 특히, 제품에 대한 최종 시험이라 할 수 있는 EMC 분야에서의 공중선은 시스템 환경 조건의 기준이라 할 수 있다. 따라서 몇 년전만 하더라도 국내에서 사용하고 있는 EMC 공중선에 대한 성능확인을 제조회사에 직접 의뢰하여 시간적, 경제적 손실과 업무 수행에 어려움이 있었으리라 본다.

그러나, '94년부터 전파연구소에서 전자파 측정에 관한 공중선 교정업무를 수행하여 관련 기관에서 보유하고 있는 공중선 및 제조·연구 중인 공중선에 대하여 정확한 특성을 확인, 관리하여 주므로써 전자파 측정에 있어 정확도를 향상시키고 공중선의 유지관리에 많은 도움이 되었으리라 믿는다.

현재 공중선에 대한 교정방법과 절차에는 여러가지가 있다. 교정방법에는 3공 중선법(표준시험장법), 표준 공중선법, 개량 표준 시험장법, 참조 공중선법, 그리고 2공중선법(스왈쯔백법)등이 있다. 따라서, 우선 2공중선법에 의한 공중선 교정방법과 3공중선법에 의한 교정방법과 절차에 대하여 소개하고자 한다.

II. 2공중선법에 의한 교정방법과 절차

2-1 개요

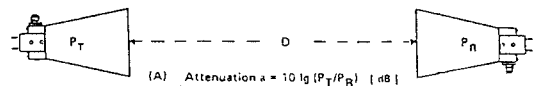
초단파와 극초단파 대역에서의 전자계는 교정된 공중선으로 발생 및 측정된다.

전자계 측정시 공중선 인자는 중요한 값이다. 공중선 인자(대부분 50 Ω)는 저항성 부하에서의 공중선 출력과 전계강도 사이의 비이다. 공중선 인자는 전계강도측정을 단순화시키기 위해 보통 dB(1/m)로 나타낸다. 50 Ω에 대해서 dB/μV로 표시되는 공중선 출력에서의 고주파 전압은, dB(1/m)로 표시되는 공중선 인자와 더해지면 dB μV/m로 표시되는 전계강도가 된다.

공중선 인자교정은 어려운 작업으로서 많은 요인들이 오차를 유발시킨다. 전도성 접지면에서의 다이폴 공중선의 복사저항은 접지면 특성과 높이뿐만 아니라 복사기 주변의 전류분포에 따라 변한다. 공중선 인자는 이런 영향에 따라 변하고, 특히 EMI 시험장비 구성에 쓰이는 수신안테나는 높이에 따라 변한다. 이때, 공중선 인자는 완전한 전도성 지표면의 특정한 높이에서의 공중선 자료로 결정되지 않고, 자유공간 자료를 기준으로 하여 그에 대한 상대적인 위치로 보정을 해서 나타내는 것이 보편적으로 받아들여지고 있다.

실제로 서로 다른 공중선에 대해서 자유공간 조건을 제공하기는 어렵다. 상당히 높은 높이에서 완전한 이득형태를 갖는 두 개의 방향성 고이득 혼 공중선은 부엽 지표반사가 다른 공중선으로 입사되지 않는다면 이상적인 조건으로 접근하게 된다.

지표면에서의 다이폴 공중선은(파장으로 표현되는) 높이에 강한 영향을 받는다. 수평면파에서 복사저항은 지표면 근처에서 매우 낮은 값으로 시작해



[그림 1] 자유공간 상의 감쇠

서 0.3 λ에서 최대치(약 90 Ω, 직경대 길이비에 영향 받음)로 증가하다가, 0.6 λ에서 낮은 임피던스로 감소하며 높이가 증가함에 따라 다시 증가한다. 파장이 길어짐에 따라 편차는 점점 줄어들며 이상적인 다이폴 공중선의 경우인 73 Ω 또는 실제 공중선이 갖는 60~70 Ω으로 접근하게 된다. 이와 같이 복사저항은 높이가 증가함에 따라 자유공간 값으로 접근한다. 임피던스 측정기로 보면 이상적인 다이폴 공중선의 저항은 높이가 증가할 때 73 Ω부근에서 발진한다.

만일 이 발진이 몇번 이루어지고 임피던스에 비례하는 출력이 128 또는 256번과 같은 장시간 상수(long time constant)로 평균화되면, 평균화된 임피던스 표시는 자유공간 값인 73 Ω에 접근해 있을 것이다. 이러한 방법으로 공중선 임피던스와 지표 영향의 공진자유도를 측정하는 것이 가능하다.

2-2 Height Scanning과 Digital Averaging의 근방계 조건

EMI-EMC 시험에서 자주 사용되는 공중선 중의 하나가 반파장 다이폴 공중선, 단축 다이폴 공중선과 증가된 대역폭에서는 바이코니칼 공중선이다.

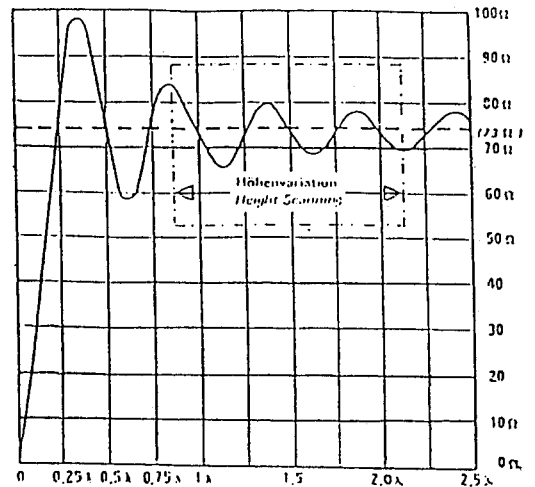
또한 저손실 전(full) 반파장 다이폴 공중선은 기준 공중선이며, 특별히 중앙급전점에 대하여 순수한 저항성의 좌우 대칭적인 73 Ω부하와 10 : 1의 전력비를 갖는 비대칭적인 저항성의 출력을 가진 저손실 전반파장 다이폴 공중선이 기준 공중선이다.

위에서 언급된 공중선들은 이론적인 공중선 인자를 제공하도록 시험 주파수에 동조되어야 한다. 경제적인 측정에서 50 Ω의 부하를 갖거나 200 Ω을 갖는 향상된 저주파수 능률을 갖는 바이코니칼 공중선은 시험용 공중선으로 자주 이용되는 것 중의 하나이다. 위에서 언급된 공중선 모두는 동조된 조건 부근에서 78~90°의 전계 패턴을, H평면에서는 360°의 전방향 패턴을 보여준다. 이러한 이유로 수평면파에서 전계강도가 다소 전도성 지표면에 입사

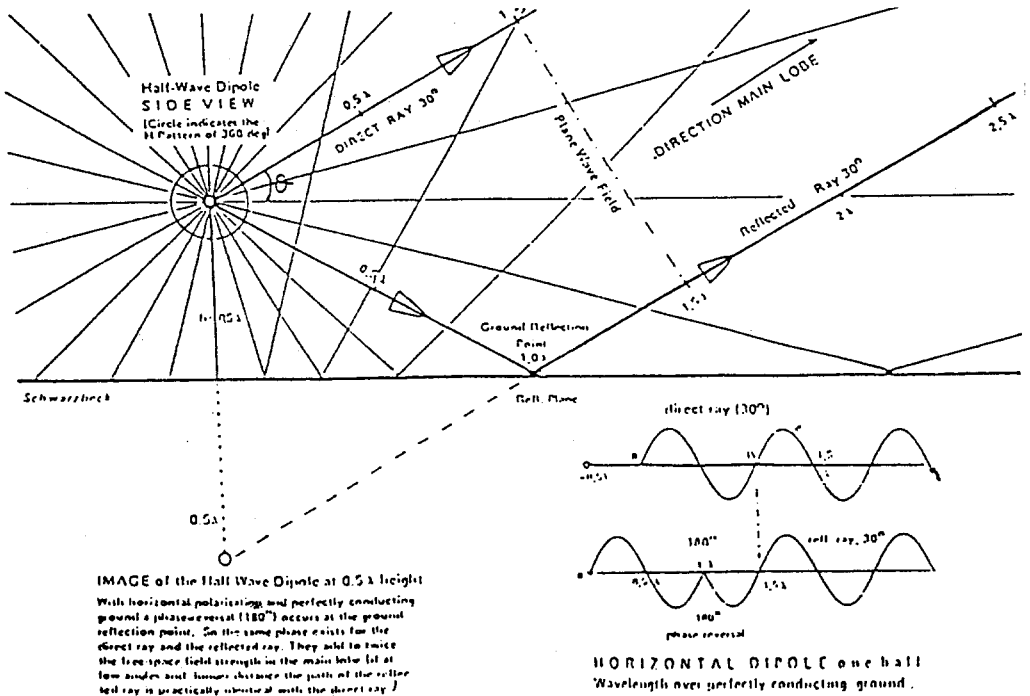
된다. 두 개의 공중선은 직접 경로와 상쇄신호 및 약 6 dB(전계강도상으로 2배에 해당)만큼 감쇠시켜 주는 신호를 전달하는 반사경로를 가지고 결합된다.

이것이 [그림 3]에 보여지는 것과 같은 다이폴 공중선 복사의 하나 또는 다수의 상승 로브에 대한 근거이다. 어떤 위상지연 상황 아래에서 두 파형의 전단은 2배가 되도록 합해지거나 서로 상쇄되기도 한다. 수평면파와 완전지표에서 하나의 로브는 아래와 같이 반파장의 높이를 갖고 30°경사진 다이폴 공중선 양쪽에 존재한다. 지표반사는 완전 전도성의 경우에 180°의 위상반전과 함께 생긴다. 반사는 반사파와 직접파의 위상이 같다면 [그림 3]과 같이 복사되는 방향으로 복사는 최대(λ/2 파장에서 30°, 한파장 높이에서 15°)가 될 것이며, 50°부근에서 두 번째 로브를 갖는다. EMI 시험에서 수신 공중선은 수신된 신호가 최대가 될 때까지 높이를 10 m범위에서는 4 m, 30 m범위에서는 6 m까지 변화시켜야 한다.

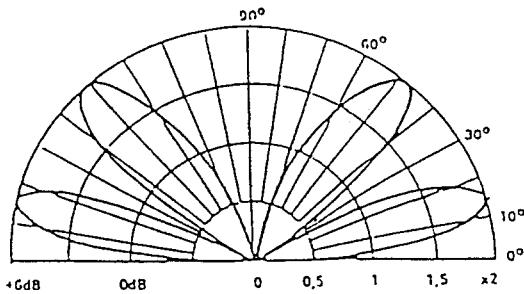
전도성 지표면에서의 두 다이폴 공중선에서 감쇠는 높이, 거리 및 주파수에 따라 변할 것이다. 만일 거리가 일정하게 유지되고 주파수가 고정된다면, 직접파와 지표 반사파형의 위상이 같더라도 좀더



[그림 2] 높이에 따른 다이폴 복사 저항



[그림 3] 반파장 다이폴 공중선의 측면도



[그림 4] 완전 도체면 위의 다이폴의 복사 패턴

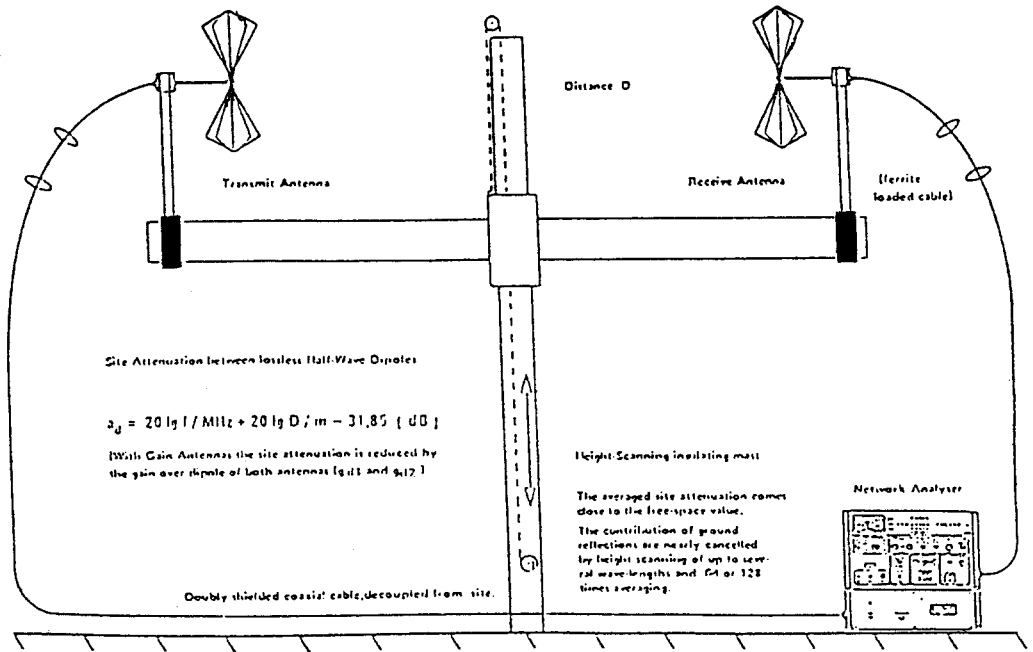
결합되는 높이가 존재하고 결합이 위상반전과 함께 약화된다. 먼 거리와 작은 각도에서 반사 경로는 거의 같은 길이를 갖는다. 전계강도의 기여는 6 dB로 접근하며 가까운 거리와 공중선 높이가 커지면 작아진다.

매우 작은 공중선 간격에서는 파형결합에다가 무효성 결합이 좀더 유효해지는 것과 같이 부가적인 근방계 효과가 생길 것이다.

몇몇 공중선 시험 구역에서는 이득과 공중선 인자를 최대 신호가 수신되도록 하는 고정된 지상고에서 측정한다. 만일 지표반사가 계산에서 충분히 고려된다면, 충분히 정확한 결과가 가능할 것이다. 그러나 오차는 반사특성의 인지도에 의존한다. 또한 시험중인 공중선의 고도 의존성을 반드시 고려해야 한다.

상당히 높은 고도에서 큰 방향성 공중선을 가지고 언급했던 바와 같이 자유공간 측정의 이상적인 조건은 케이블 손실을 제외하고 공중선 커넥터들 사이의 감쇠를 측정할 두 공중선의 고도 정밀 조사에 의해 얻어질 수 있다.

신호기여는 모든 위상에 따라 정과 부는 커져



[그림 5] 공중선 인자 측정 형태

나 작아진다. 만일 이러한 이탈이 통계적으로 평균화되면, 최종적인 결과는 자유공간 조건과 상당히 근접하게 될 것이다. [그림 5]에 가장 간단한 방법이 나타나 있다. 두 공중선은 절연된 지지대의 절연된 봉 위에 장착되어 있다.

2-3 이득 측정

자유공간조건에서 공중선 이득은 원방계에서의 고정된 값으로 정의된다. 지표면상 또는 전도성 물체 근처에서의 공중선은 약간의 복사된 에너지가 공중선으로 다시 반사된다면 이득이 일정하지 않게 된다. 이것은 다이폴 공중선 또는 위에서 언급한 과정이 복사저항에 영향을 미치는 지표면상에서의 다른 광각 공중선이 가진 특별한 문제이다.

가장 정밀한 이득 평가는 때때로 “절대 이득 측정”이라고 부르는 “2공중선법”을 이용하면 가능하

다. 이때 두 동일한 공중선이 필요하다. 의심이 나는 경우에 3번째 안테나를 두 동일한 표본을 확인하거나 평가에서 풀어야 할 3개의 식을 갖게 되는 “3공중선법”을 이용할 수도 있다. 만약 이 3공중선법이 사용된다면 주파수와 고도 의존영향 때문에 반드시 약간의 주의를 기울여야만 한다.

자유공간 시험조건(지표반사 또는 다른 반사가 없는)에서 두 등방성 공중선간의 시험장 감쇠는

$$a_s = 20 \log \frac{4\pi D}{\lambda} \text{ 또는 } 20 \log D + 20 \log f - 27 \text{ [dB]} \quad (1)$$

이다. 이득 공중선의 경우 양 공중선 이득의 기여만큼 감쇠가 감소된다. 무손실 다이폴 공중선은 2.15 dB이득을 제공한다.

이득을 측정하기 위해 2개의 정확한 방향성을 갖

는 동일 표본 사이에서의 감쇠가 자유공간 조건 아래에서 측정되어야 한다. 이것은 고도변화와 모든 크기와 대치반사기여의 위상을 동시에 평균화시키는 지표반사 상쇄법에 의해 이루어진다.

등방성 이득 :

$$g_i = 10 \log D \cdot f - 13.78 - \frac{a}{2} \quad [\text{dB}_i] \quad (2)$$

두 손실 반파장 다이폴 공중선 이득 :

$$g_a = 10 \log D \cdot f - 15.93 - \frac{a}{2} \quad [\text{dB}_a] \quad (3)$$

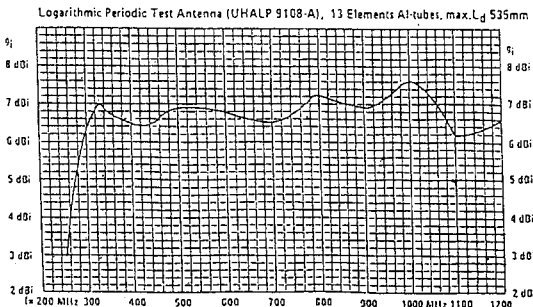
여기서

D : 거리 [m], f : 주파수 [MHz]

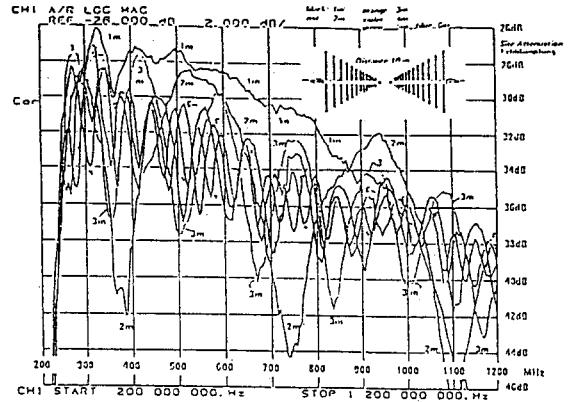
a : 두 동일 공중선(dB)사이에서의 감쇠 (자유공간)

2-4 공중선 인자 측정

상이한 고정된 높이와 10 m거리에서의 두 대수주기 공중선의 감쇠도에서 [그림 7]은 지표반사로 인한 감쇠의 극단적인 이탈이 전도성 지표면상의 고도와 주파수에 의존하며 생긴다는 것을 알 수 있다. 고도와 거리 또는 주파수가 변할 때 지표반사의



[그림 6] 대수주기 공중선의 등방성 이득



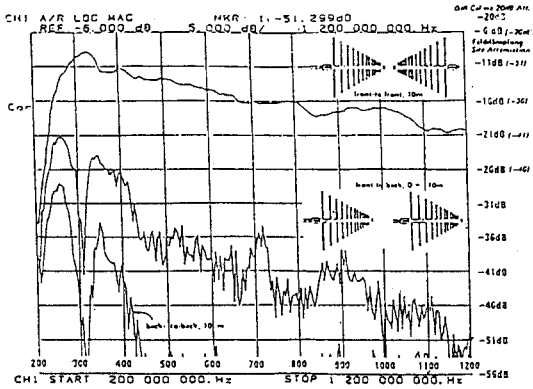
[그림 7] 대수주기 공중선 간의 고정된 높이에서의 지표반사로 인한 감쇠

크기와 위상이 변하여 수신 공중선에서의 전계강도를 증가시키거나 감소시킨다. 이것은 벡터적으로 나타난다. 만일 지표반사에 통계적으로 가중치가 주어지고 적어도 한 파장길이의 Height Scanning이 수행된다면 극단적인 이탈은 거의 완벽에 가깝게 상쇄될 수 있다.

그 결과는 [그림 8]에서 나타나있는 것과 같은 “준자유공간”감쇠이다. [그림 7]에서 보여진 바와 같은 매우 심한 진동값은 사라진다. [그림 8]의 상부에서의 나머지 “리플”은 대수주기 공중선의 전형적인 소이득 변동이다. 대수주기 공중선의 SWR 역시 1.5와 2사이에서 변하며 주파수 범위 이상에서는 거의 1.0이 된다.

중심 궤적은 전단 대 후단의 감쇠도를 보여준다. 이 전후단비는 좀더 강하게 적은 값으로부터 큰 값까지 변화하지만 지표반사는 결국 배제된다. 하측 궤적은 후단 대 후단의 감쇠 측정으로부터 얻는다.

시험장비는 평가에 대한 궤적을 그릴 뿐만 아니라 SETTING MAKER에 의해 특정한 주파수에서 매우 정밀한 감쇠값을 저장해야 한다. 조작의 특별한 방안으로 이러한 dB값들은 1/100 dB의 분해능을 갖거나 수치 평균화 과정이 종료된 후에 1/1000



[그림 8] Height Scanning을 거친 대수주기 공중선 간의 감쇠

dB로 저장된다.

dB(1/m)로 표현되는 공중선 인자 계산에서 다음의 식들은 [그림 6]과 식 (2)에서 보여주는 것과 같은 이득측정을 요구하는데 사용된다. 등방성 이득에서 이득값에 대한 공중선 인자 K 는

$$K = 20 \log f - g_i - 29.78 [\text{dB}(1/\text{m})] \quad (4)$$

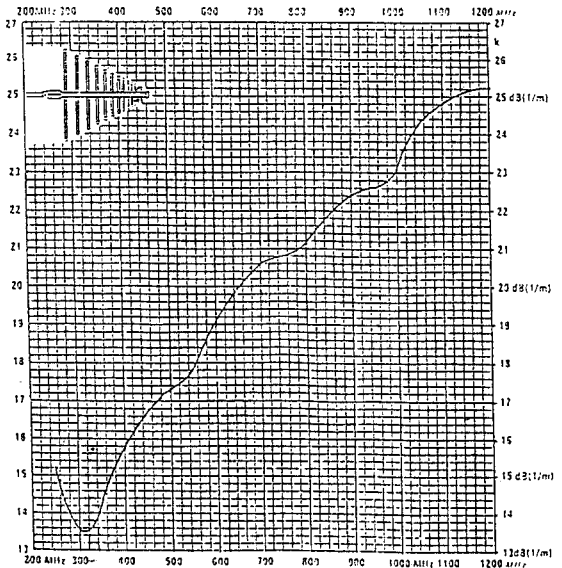
(f 는 MHz이다.)

이다. 대수주기 시험공중선에 대한 공중선 인자 계산은 [그림 9]에 나타나 있다.

III. 3공중선법에 의한 교정방법과 절차 (표준시험장법)

3-1개 요

표준 시험장법을 사용할 때 공중선 인자는 표준 공중선 교정 시험장 상의 수평편파에 대해서만 결정되어야 한다. 이 측정방법으로 비교적 수평편파에 대한 위치 변화에 영향을 받지 않고 자유공간에서 얻을 수 있는 가장 근접한 결과를 얻을 수 있다. 예를 들어, 전기적으로 짧은 공중선, 바이코니칼 공



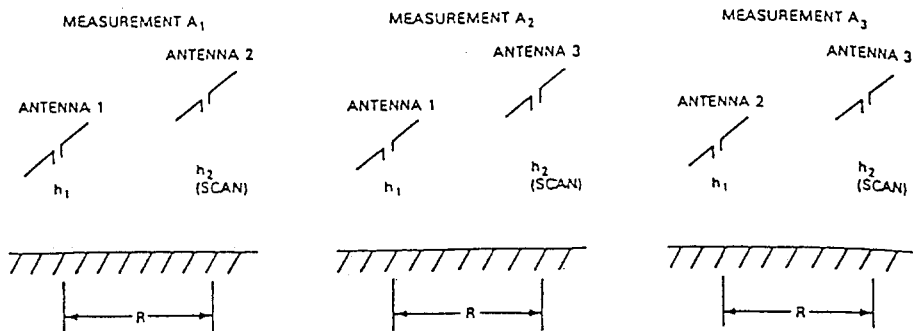
[그림 9] 대수주기 공중선의 감쇠량으로부터 구한 공중선 인자

중선, 다이폴 공중선 그리고 약 100 MHz 이상에서 사용하기 위해 설계된 대수주기 공중선 등이 접지면에서 1 m 이상 떨어져 있다면, 높이와 편파에 무관한 공중선 인자를 가진다.

3-2 방법

이 방법은 [그림 10]과 같이 세 개의 다른 공중선을 쌍으로 취해 동일한 조건 (h_1, h_2, R) 하에서 세 번의 시험장 감쇠량 측정을 필요로 한다. 세 번의 시험장 감쇠량 측정과 연관된 세 개의 식 (5), (6), (7) 이다. 식 (8)은 시험장 감쇠량에 대한 일반적인 이론식이다.

$$AF_1 AF_2 = \frac{f_M E_D^{MAX}}{279.1} A_1 \quad (5)$$



[그림 10] 세 개의 다른 공중선 쌍을 사용한 시험장 감쇠량 측정

$$AF_1 AF_3 = \frac{f_M E_D^{MAX}}{279.1} A_2 \quad (6)$$

$$AF_2 AF_3 = \frac{f_M E_D^{MAX}}{279.1} A_3 \quad (7)$$

$$A = \frac{279.1 AF_R AF_T}{f_M E_D^{MAX}} \quad (8)$$

여기서

E_D^{MAX} = 최대 수신 전계강도(dB)

AF_1, AF_2, AF_3 = 공중선 1, 2, 3의 공중선 인자 값(dB)

A_1, A_2, A_3 = 측정된 시험장 감쇠량

f_M = 측정 주파수(MHz)

식 (5), (6), (7)을 연립 방정식으로 풀고, 그 결과를 dB로 나타내면 공중선 인자에 대한 식을 얻을 수 있다.

$$AF_1 = 10 \log f_M - 24.46 + \frac{1}{2} [E_D^{MAX} + A_1 + A_2 - A_3] \quad (9)$$

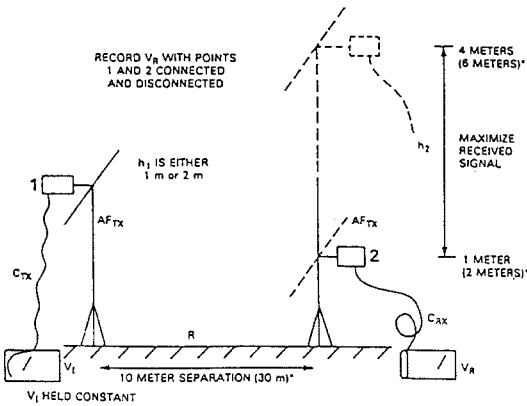
$$AF_2 = 10 \log f_M - 24.46 + \frac{1}{2} [E_D^{MAX} + A_1 + A_3 - A_2] \quad (10)$$

$$AF_3 = 10 \log f_M - 24.46 + \frac{1}{2} [E_D^{MAX} + A_2 + A_3 - A_1] \quad (11)$$

만일 두 개의 동일한 공중선이 교정된다면 공중선 인자, AF(dB)는 다음과 같은 식을 사용하여 단 한 번의 시험장 감쇠량 측정으로부터 얻을 수 있다.

$$AF = 10 \log f_M - 24.46 + \frac{1}{2} [E_D^{MAX} + A] \quad (12)$$

두 공중선이 동일하지 않으면 식 (12)에 의해 계산된 공중선 인자는 두 공중선 각각에 대한 개개의 인자일 뿐이다. 식 (9)에서 식 (11)까지의 시험장 감쇠량 측정 오차는 측정방법의 적절한 선택에 의해서 최소화될 수 있다. 그 이유는 시험장 감쇠량은 단지 V_{direct}/V_{site} 의 비에 관한 측정이고, 여기에서 V_{direct} 는 신호발생기와 전압계가 케이블과 감쇠기를 통해서 직접 연결되었을 때의 공간 전압계의 입력 전압이고, V_{site} 는 신호발생기가 송신 공중선에 연결



[그림 11] 시험장 감쇠량 측정 배치도

되어 있고 전압계가 수신 공중 선에 연결되었을 때의 입력이다. 공중선에 대한 교정시, 공중선 사이의 거리는 10 m 또는 30 m가 바람직하다.

IV. 결 론

앞장에서 EMC 공중선에 대한 측정방법과 절차에 대하여 이미 언급한바 있지만, 다시 간략하게 2공중선법과 3공중선법에 대한 차이점을 요약하면 2공중선법에서 사용하는 측정장비는 네트워크 아날라이저를 사용하며 측정주파수의 송·수신 공중선은 10 m의 거리에서 공중선의 높이를 동시에 1 m에서 4 m의 높이로 가변시켰을 때 자유공간의 신호 전압을 측정 회수에 따라 평균화시켜 최종결과치를 얻으며, 3공중선법은 전계강도 수신기 또는 스펙트럼 아날라이저를 사용하며 측정거리 10 m에서 측정 주파수의 송신 공중선의 높이를 1 m 또는 2 m의 높이로 고정시켜 놓으며 수신공중선의 높이를 1 m에서 4 m로 가변시켜서 자유공간 신호 전압의 최대값을 측정한다.

따라서, 공중선에 대한 전기적 특성 시험에 있어 측정방법도 중요하지만 더욱더 신경을 써야 되는 것은 시험장의 환경조건과 시험장의 전기적 특성이

라 할 수 있다. 그 이유는 시험장의 환경 즉, 자유공간에서의 전기적 감쇠관계 그리고 기후조건, 장비에 대한 정확도 등으로 인하여 오차가 생길 수 있으므로 주의하여야 한다.

또한, 공중선 특성측정방법에 따라 인자값이 차이가 생길 수 있으나 그 결과치가 1 dB이내이면 만족할 수 있고, 측정값이 차이가 있을 경우 다이폴 공중선을 기준으로 재확인하므로써 정확성을 향상시킬 수 있다.

향후, 국가교정시험장으로서 공중선에 대한 국제 기술 동향에 대응하고 국내의 연구개발에 따른 기술지원과 새로운 제품개발에 적극 기여할 것이다.

참고문헌

- [1] American National Standards Institute, "American national Standard for Calibration of antennas used for radiated emission measurements in electromagnetic interference control", ANSI C63.5-1988.
- [2] American National Standards Institute, "American national Standard : Methods of measurement of radio-noise emissions from low-voltage electrical and electronic equipment in the range of 9 MHz to 40 GHz", ANSI C63.4-1992.
- [3] International Special Committee on radio interference "antennas for measurement of radio disturbance and Test site for measurement of radio disturbance field strength for frequency range of 30 MHz to 1000 MHz", CISPER16-1-1993.
- [4] International Special Committee on radio interference "Specification and Validation of a CISPR antenna-Calibration test-site for the frequency range of 30-1000 MHz",

CISRER 16-1 A2f3 1996.

필자소개

김 승 호

정보통신부 전파연구소 이천분소

1978년~1989년 : 무선통신 감시업무

1989년~현재 : 전자파장해(EMI/EMS)

관련업무 [교정담당]

이 대 영

정보통신부 전파연구소 이천분소 시험과장