

사전보정기법을 사용한 새로운 지상파 DTV 대역외발사강도 측정법

Novel Out-of-band Emission Measurement Method for Terrestrial DTV Transmitter using Pre-Compensation Method

허 영 태 *, 권 원 현**★

Young-Tae Her*, Won-Hyun Kwon**★

Abstract

In this paper, out-of-band emission regulations and measurement methods of terrestrial DTV broadcasting services are analyzed, and a novel method to evaluate the out-of-band emission characteristics of DTV transmitter is proposed. Experimental results show that proposed method can be easily used to measure the characteristics of DTV transmitter with inexpensive measuring equipments. With a few modifications, proposed method can be widely adopted to measure the RF performances of the general radio equipments efficiently.

요 약

본 연구에서는 우리나라 DTV 방송의 대역외발사강도 기술기준 및 기존 측정방식의 문제점들을 분석하였으며, 지상파 DTV 방송의 대역외발사강도를 효과적으로 측정할 수 있는 방안들을 제안하였다. 고가의 전용 측정장비로만 측정가능한 기존방식에 비해 제안한 방식은 범용장비로도 대역외발사강도를 손쉽게 측정할 수 있으며, 실제 측정 시스템 구현을 통하여 제안한 방식의 유효성을 입증하였다. 본 논문에서 제안된 방식은 경제적이고도 간편하므로 방송장비 이외의 무선 송신장치 특성측정에도 널리 사용될 수 있다.

Key words : DTV Broadcasting, DTV Transmitter, Out-of Band Emission, Channel Filter, Emission Mask

* National Radio Research Agency

**★ Dept. of Information & Communications, Anyang University,

e-mail:whkwon@anyang.ac.kr, 031-467-0883

Manuscript received Jan 5, 2016; revised Feb 18, 2016;
accepted Feb 25, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms
of the Creative Commons Attribution Non-Commercial
License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits
unrestricted non-commercial use, distribution, and
reproduction in any medium, provided the original work is
properly cited.

1. 서론

지상파 방송 서비스는 주어진 주파수 자원을 활용하여 다수의 수요자에게 방송정보를 동시에 전송할 수 있는 대표적인 무료 보편적 서비스의 하나로, 최근 대두되고 있는 국가안전망 구축에도 필수적으로 요구되는 분야이다. 우리나라는 2012년 말부터 고품질 영상방송이 가능한 ATSC 방식의 지상파 디지털 TV(DTV) 서비스를 제공하고 있으며, 우수한 방송환경 구축과 산악이나 건물들로부터의 난시청 현상을 극복하기 위한 다양한 형태의 DTV 방송국 및 송신 시스템 구축이 요구된다[1],[2].

DTV 방송 송신기 중요성능의 하나인 대역외 발사강도(Out-of-band Emission)는 서비스 필요 주파수대역에 바로 인접하여 발생하는 불요발사 중의 하나로, DTV 방송채널관리 및 방송국 간 신호품질 수준에 결정적인 영향을 미치므로 엄격히 관리되어야 한다.

외국의 경우, ATSC DTV 방송국의 대역외발사강도 기준은 FCC CFR47 Part73 및 Part74에서 정의하고 있으며, 방송국의 용도에 따라 방송기간망에 사용되는 10W 이상의 대출력 DTV 방송국은 Rigid Mask, Stringent Mask를 사용하며, 소출력중계기의 경우에는 완화된 Simple Mask를 사용하도록 권고하고 있다[3]-[5].

우리나라는 무선설비규칙 제21조(미래창조과학부고시 제2014-92호 지상파DTV용 무선설비)에서 일반 방송국용 및 소출력 DTV 중계기에 대한 대역외발사강도 규정을 의무적으로 준수하도록 규정하고 있으며, 신규방송국의 인·허가와 기존 방송국 정기검사 시 철저한 측정 및 관리를 수행하여 방송품질 확보가 가능하도록 제도화되어 있다[5].

방송기간망에 사용되는 Rigid Mask 형태의 DTV 대역외발사강도 기준은 -110dBm 이하의 매우 낮은 전력레벨값으로 규정되어 있다. 이 기준 값은 고가의 DTV 전용계측기가 아닌 범용 계측기로는 측정이 불가능하므로 방송품질 확보를 위한 인·허가와 검사업무를 효율적으로 실시할 수 없는 상황이다.

본 연구에서는 값싼 범용 계측기로도 대역외발사강도 측정이 가능한 새로운 측정방법을 제안하였다. 제안방식을 이용하여 -110dBm 이하의 대역외발사강도 측정이 가능한 측정시스템을 개발하였으며, 실제 측정실험을 통하여 그 유효성을 입증하였다.

II. DTV 대역외발사강도 기준

무선기기, 특히 무선송신기의 중요 특성 중의 하나인 불요발사(Unwanted Emission)는 모든 원하지 않는 성분을 갖는 발사를 총칭하는 용어로서, 측정주파수 대역 및 특성에 따라 대역외 발사와 스퓨리어스 발사 (Spurious Emission)로 구분한다.

대역외 발사특성은 기본과 주위에 인접하여 발생하므로 방송품질에 결정적 영향을 미치는 요인으로, 변조의 결과로써 생기는 필요주파수대역 바로 바깥쪽의 불요발사를 나타낸다. 반면, 스퓨리어스 발사는 필요 주파수대역에서 상당히 이격된 주파수에서의 불요발사로서, 통상적으로 발사 레벨이 정보 전송에 영향을 크게 주지 않으며, 고조파발사, 기생발사, 상호변조발사 등이 있다.

일반적으로, 대역외발사 영역과 스퓨리어스발사 영역의 경계는 발사의 중심주파수로부터 필요주파수대역(Necessary Bandwidth: NB)의 2.5배를 기준으로 하며, 이를 그림 1에 나타내었다[10].

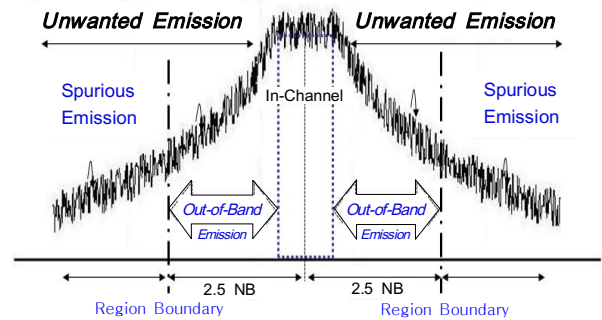


Fig. 1. Out-of-band and spurious emission

그림 1. 대역외발사와 스퓨리어스 발사

우리나라의 방송업무용 무선설비는 미래창조과학부고시 제2014-92호 「무선설비규칙」(방송표준방식 및 방송업무용 무선설비의 기술기준)에서 방송매체별로 기술기준을 정하고 있으며, 지상파 DTV 중계기 기술기준은 동 규칙 제21조에서 규정하고 있다[6]. 대역외발사강도는 필터 성능에 따른 중계기의 제작비용 및 규모에 큰 영향을 주는 항목으로, 우리나라는 방송국의 출력에 따라 10Watt 이상의 대출력 송신기는 식 (1)의 Rigid Mask를, 10Watt 이하의 소출력 송신기는 식 (2)의 Simple Mask의 감쇠특성을 준용하도록 하고 있다.

$$A = \begin{cases} -47 \text{ dB below} & \text{Channel edge} \sim 500\text{kHz} \\ -11.5 \times (\Delta f + 3.6) \text{ dB} & 500\text{kHz} \sim 6 \text{ MHz} \\ -110 \text{ dB below} & 6 \text{ MHz} \sim \end{cases} \quad (1)$$

$$A = \begin{cases} -46 \text{ dB below} & \text{Channel edge} \sim 500\text{kHz} \\ -[46 + (\Delta f^2 / 1.44)] \text{ dB} & 500\text{kHz} \sim 6 \text{ MHz} \\ -71 \text{ dB below} & 6 \text{ MHz} \sim \end{cases} \quad (2)$$

중계기에 의해 발생하는 대역외 간섭전력은 식 (3)로 구할 수 있다.

$$P_{INT}(Watts) = P_{ERP}/[10^{(110/10)}] = P_{ERP}/10^{11} \quad (3)$$

여기에서 P_{ERP} 는 6MHz 대역내 신호전력, P_{INT} 는 측정대역폭 500kHz일 경우의 인접채널간섭전력을 나타낸다. 따라서 DTV 방송국 최대출력이 1 MW일 경우 인접채널에 대한 최대 간섭전력은 10μ Watts 로, 이는 인접채널 500kHz 대역폭 내의 간섭전력을 10μW 이하로 할 수 있는 우수한 감쇄 특성의 채널 필터를 사용하여야함을 의미한다.

그림 2는 본 연구에서 연구하고자 하는 대출력 DTV 송신기의 대역외발사강도 특성이다[5],[7].

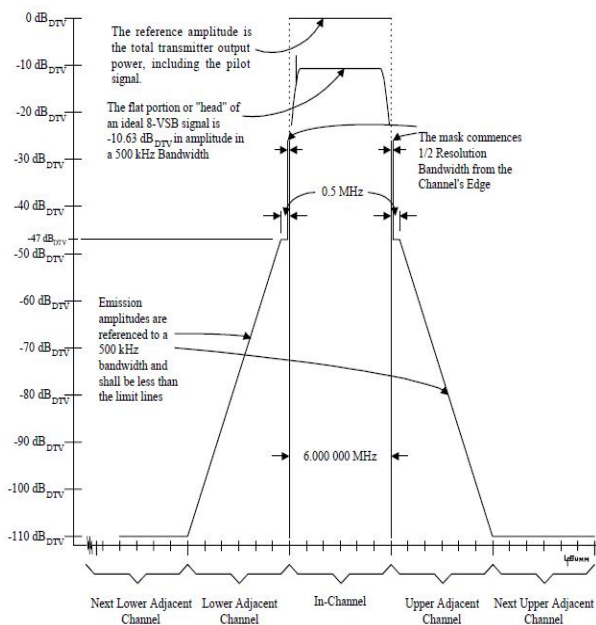


Fig. 2. Out-of-band emission of DTV Transmitter
그림 2. DTV 송신기 대역외발사강도 기준

식 (2)에 나타낸 것처럼 10 W 이하의 소출력 중계기는 요구되는 최저 측정레벨 값이 -71 dB_{DTV} 이므로 일반계측기를 사용하여 손쉽게 성능측정 및 평가가 가능하다. 실제로 산업현장에서 많이 사용되는 HP8563E 스펙트럼 분석기는 700MHz 대역에서 측정대역폭 500kHz와 RBW 10kHz로 설정할 경우의 잡음마루(noise floor)가 약 -85 dBm 이상이다. 따라서 최저 요구측정레벨이

-110dB_{DTV} 인 대출력 중계기의 경우, DTV 전용 계측기(모델명 RFA300 등, 현재 단종됨)가 아닌 일반 스펙트럼분석기로는 측정이 불가능하다.

III. 사전보정기법을 사용한 새로운 대역외발사강도 측정방법

그림 3에 표시된 것처럼 대역외발사강도는 6MHz의 ATSC DTV 1 개 채널을 12개의 500kHz 부대역(Sub-Bands)으로 나누고, 각각의 500kHz 측정대역폭 내의 전력은 10kHz의 분해대역폭(RBW)을 기준으로 측정한 전력을 합하여 산정하며, 희망 채널의 하위인접채널은 -1~-12번, 상위인접채널은 +1~+12 번으로 부대역 채널번호를 부여한다.

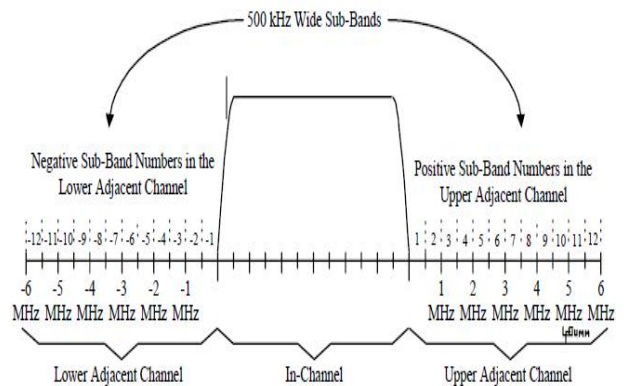


Fig. 3. Out-of-band emission measurement with 500 kHz sub-bands

그림 3. 500kHz 부대역에 의한 대역외발사강도 측정

지금까지 사용되어 온 대역외발사강도 측정방식은 그림 4에 나타낸 채널필터 뒷단의 측정점 Q에서의 신호를 dummy load와 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한다. 일반적인 계측기의 동적영역(dynamic range)은 일반적으로 70 dB 정도 이므로, ±1~±6 부대역의 대역외발사강도의 기술 기준 만족여부만 측정 가능하고, ±7~±12 부대역의 대역외발사강도는 계측기 잡음으로 인하여 측정할 수 없다는 문제점을 지닌다[5],[11],[12]. 그러므로 실제 준공검사나 재허가시의 대역외발사강도 측정은 noise floor 이상의 주파수대역까지만 측정하고, 나머지 -80 ~ -110 dB_{DTV} 에 해당하는 주파수 대역은 제조사에서 제공하는 채널필터 특성으로 대신하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이러한 측정 상의 문제점들을

해결할 수 있는 새로운 대역외발사강도 측정방법 및 시스템 구성방안을 제안하였다.

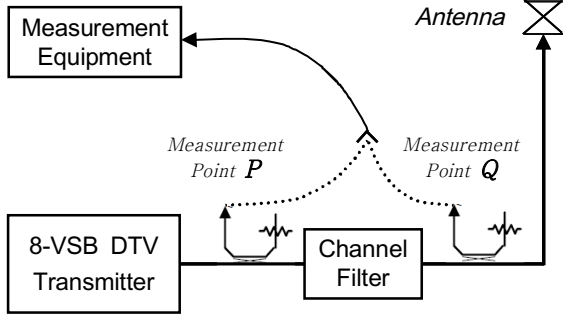


Fig. 4. Measurement points of out-of-band emission

그림 4. 대역외발사강도 측정지점

제안한 측정방식에서는 그림 4의 채널필터 전단 측정점 P에서 DTV 신호 전력을 충분히 가변시키며 송신기 자체의 대역외발사특성을 측정하고, 필터제조업체에서 제공되는 필터특성을 이용하거나 네트워크 분석기로 실측한 주파수 응답특성을 이용하여 전체 DTV 송신시스템의 대역외발사강도 특성을 보정하여 구한다. 즉 전체시스템의 대역외발사강도 A_{System} 은,

$$A_{System} = A_{Before Filter} + L_{dB} + CF \quad (4)$$

로 구할 수 있으며, 여기에서 $A_{Before Filter}$ 는 필터 전단에서 측정한 대역외발사강도특성, L_{dB} 는 채널필터의 감쇠특성, CF 는 채널필터 보정계수(correction factor)이다.

500 kHz 부대역 내에서의 필터 감쇠특성은 통상적으로 해당 부대역 중간지점에서의 감쇠값 (dB)을 사용한다. 하지만 dB 단위계에서 직선함수로 표현되는 감쇠특성은 실제로는 곡선의 감쇠특성을 가지므로 대역중간에서의 감쇠값과 부대역 내 평균감쇠값 사이에는 약간의 오차가 발생하므로 이를 보정하여야 한다.

그림 5에 나타낸 임의의 500kHz 부대역의 채널필터 응답특성(dB Scale)은 직선함수이다. 필터감쇠 중간값 L_{dB} 를 0dB로 가정하고, N 개 지점(통상 $N > 1000$)의 필터 감쇠량을 이용하면 n 지점의 필터 감쇠함수는 식 (5)로 표시할 수 있다.

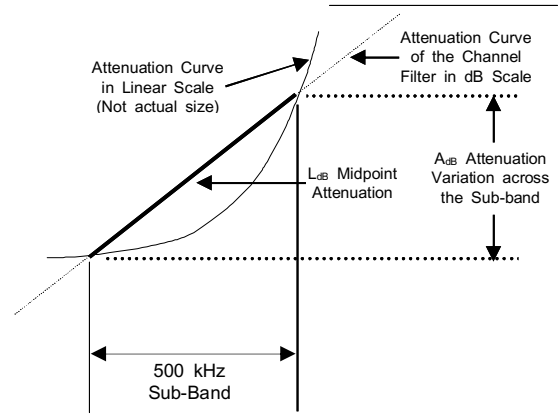


Fig. 5. Correction Factor of Channel Filter Attenuation

그림 5. 채널필터의 감쇠특성 보정

$$R_{dB}(n) = \frac{n}{N-1} A_{dB} - \frac{A_{dB}}{2} \quad (5)$$

필터의 감쇠량을 선형적으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$P(n) = 10^{\frac{R_{dB}(n)}{10}} \quad (6)$$

따라서 이 부대역의 평균감쇠량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P_{avg} = \frac{1}{N} \sum_n P(n)$$

$$P_{avg} (dB) = 10 \log(P_{avg}) \quad (7)$$

예로서, 부대역에서의 감쇠변화량 A_{dB} 가 15 dB 일 경우 평균값 $P_{avg}(dB)$ 가 중간값 L_{dB} 에 비해 1.99 dB 낮음을 알 수 있다. 따라서 식 (4)의 $CF = -1.99$ dB 를 보정하여야 한다.

그림 6은 본 논문에서 제안한 -110 dB_{DTV} 이하의 대역외발사강도 특성 측정 흐름도이다.

본 연구에서는 필터 전단에서 측정한 RF 특성과 채널필터 주파수 응답특성 및 필터보정계수를 고려하여 DTV 대역외발사강도 특성을 자동으로 평가할 수 있는 평가프로그램도 함께 개발하였다. 개발된 프로그램에는 10kHz RBW 전력을 500kHz 부대역 전력으로 변환하는 기능과 500kHz 부대역별 기울기 보정계수를 구하여 500kHz 부대역 주파수 응답특성에 반영하는 기능까지 포함되어있어 더욱 정확한 RF 특성 평가가 가능하다. 제안방식은 스펙트럼 분석기의 측정가능전력 범위 내에서 RF 성능을 측정하므로

기존방식에 비해 정확한 대역외발사특성을 측정할 수 있으며, 저렴하고 간편한 측정시스템 구축이 가능하여 주로 산악지역에 위치한 지상파 중계시설의 특성측정에 매우 효과적인 방식으로 사용될 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 방식은 대역외발사강도 이외의 다른 RF 특성 측정에도 쉽게 적용할 수 있다.

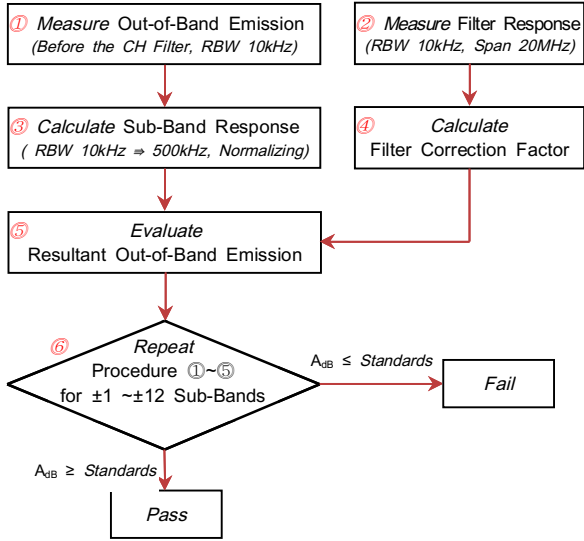


Fig. 6. Proposed measurement Procedures
그림 6. 제안한 측정방법 흐름도

IV. 시험 및 결과분석

본 논문에서 제안한 측정방식의 유효성을 확인하기 위하여 하점 KBS DTV 방송보조국(인천시 강화군 소재)에 측정시스템을 구성한 후, 기존방식과 제안방식을 이용하여 대역외발사강도 특성을 측정하였다. 그림 7은 측정시스템 구성도이다.

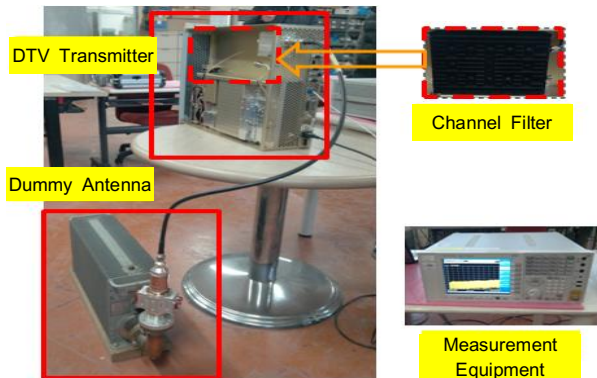


Fig. 7. Measurement system
그림 7. 측정시스템 구성도

먼저 기존 측정방식을 활용한 대역외발사강도

를 측정하였다. 그림 8은 dummy 안테나 앞단 출력신호의 대역외발사강도 측정결과로서, 계측기의 잡음특성으로 인해 대역외발사강도 특성이 마치 기준에 미달하는 것처럼 보임을 알 수 있다.

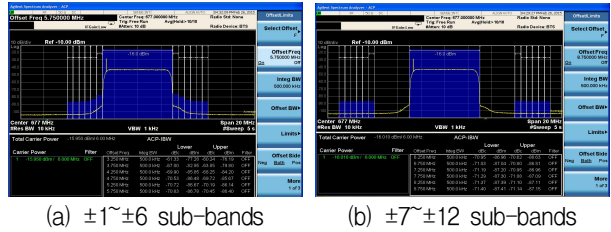
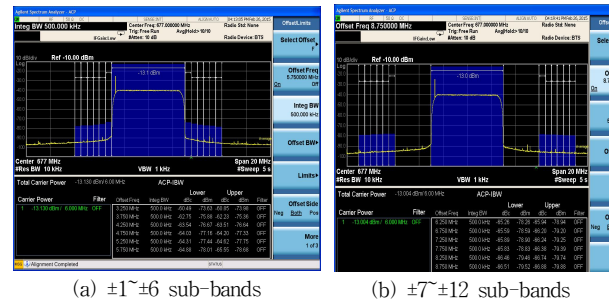


Fig. 8. Results using the conventional method

그림 8. 기존방식에 의한 대역외발사강도 측정결과

다음으로 감쇠기를 이용하여 채널필터 앞단 및 뒷단에서의 대역외발사강도 신호특성을 측정 후 제안방식에 따른 채널필터의 특성 보정과정을 이용하여 대역외 발사강도 특성을 평가하였다.

그림 9는 채널필터 앞단에서의 대역외발사강도 특성과 채널필터 주파수응답특성이다.



(c) Frequency Response of Channel Filter

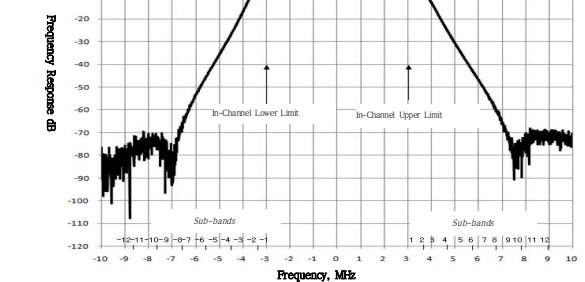


Fig. 9. Measured Results without Pre-compensation
그림 9. 특성보정 전의 측정결과

표 1은 실제 측정값으로, 기존방식에 의한 측정값과 제안방식에 의한 보정값을 비교하였으며, 제안방식의 측정값은 채널필터 전단에서의 대역

외발사강도 특성을 나타낸다. 표에서 알 수 있는 것처럼 기존방식으로는 피측정 중계기가 부대역 $\pm 6 \sim \pm 12$ 의 주파수범위에서 기술기준 권고치에 미달하는 것처럼 평가되지만, 제안방식에 의하면 실제로는 기술기준을 충족시키고 있음을 알 수 있다. 이는 정해진 측정범위를 측정할 수 없는 기존 측정방식으로는 피측정장비의 특성만족여부를 알 수 없어, 계측기 상으로는 ‘미달’로 판정된다. 그러나 본 논문의 제안 방식을 사용하면 피측정장비의 기본 성능특성을 프로그램상에서 사전 보정하여 측정하므로 성능을 정확히 측정할 수 있다.

Table1. Experimental results using the conventional method and the proposed method

표 1. 기존방식과 제안방식을 사용한 실험결과 비교
(P: Pass, F: Fail)

Sub-bands	Required Values (dB _{DTV})	Conventional Method		Proposed Method		
		Measured Values	P/F	Measured Values	Calibrated Values	P/F
1	-47.0	-60.24	P	-61.6	-62.2	P
2	-49.9	-63.85	P	-62.9	-66.9	P
3	-55.6	-68.25	P	-64.1	-76.4	P
4	-61.4	-69.72	P	-64.3	-85.8	P
5	-67.1	-70.19	P	-64.9	-94.9	P
6	-71.9	-70.45	F	-65.5	-103.6	P
7	-78.6	-70.95	F	-66.0	-112.1	P
8	-84.4	-71.03	F	-66.3	-122.0	P
9	-90.1	-71.19	F	-66.4	-134.2	P
10	-95.9	-71.29	F	-66.3	-134.3	P
11	-101.6	-71.37	F	-66.6	-135.9	P
12	-107.4	-71.40	F	-66.8	-133.9	P
-1	-47.0	-61.33	P	-60.6	-61.4	P
-2	-49.9	-67.00	P	-62.7	-69.4	P
-3	-55.6	-69.90	P	-63.7	-80.6	P
-4	-61.4	-70.53	P	-64.1	-90.5	P
-5	-67.1	-70.72	P	-64.3	-99.5	P
-6	-71.9	-70.83	F	-64.8	-109.1	P
-7	-78.6	-70.95	F	-65.2	-118.3	P
-8	-84.4	-71.03	F	-65.5	-132.5	P
-9	-90.1	-71.19	F	-65.6	-148.1	P
-10	-95.9	-71.29	F	-65.6	-132.1	P
-11	-101.6	-71.37	F	-66.2	-134.1	P
-12	-107.4	-71.40	F	-66.3	-136.8	P

그림 10은 본 연구에서 제안한 방식 및 개발한 프로그램으로 대역외발사강도 특성을 측정할 결과이다. 그림에서 ①은 채널필터 특성을, ②는

우리나라 DTV 대역외발사강도 기준값, ③은 채널 필터 전단에서 측정된 대역외발사강도값을 나타낸다. ④는 필터 뒷단에서의 대역외발사강도 특성으로 기존에 사용하던 방식이다. 범용 계측장비의 유한한 동작영역 및 잡음특성 때문에 채널필터에 의한 스푸리어스 억제효과를 제대로 측정하지 못하고 있음을 알 수 있다. ⑤는 본 논문에서 제안한 방식을 사용한 보정값으로, 그림에서 알 수 있는 것처럼 측정대상 중계기는 대역외발사강도 기술기준을 잘 따르고 있음을 알 수 있다. 따라서 기존 방식에서는 측정할 수 없었던 하위 부대역에서의 RF 특성도 제안방식을 사용하면 계측기의 한계성과 무관하게 더욱 정확하고 신뢰성 있는 측정 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

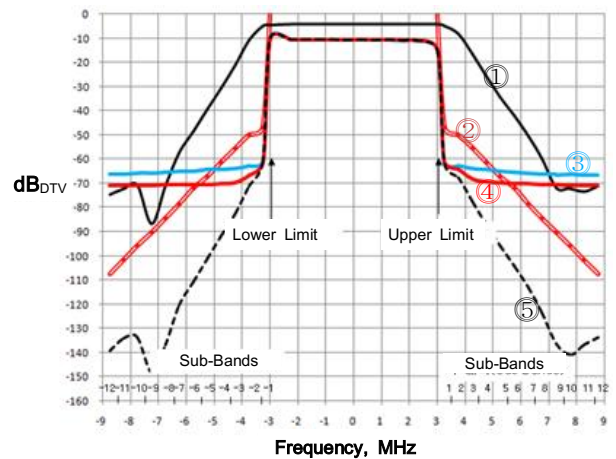


Fig. 10. Measured results using the proposed method

그림 10. 제안방식에 따른 대역외발사강도 특성

V. 결론

본 논문에서는 현행 DTV 대역외발사강도 기술기준 측정시 발생하는 문제점들을 분석하고, 이를 해결하기 위한 새로운 측정방안을 제안하였다. 제안한 방식은 저가의 범용 계측기를 이용하여 -110dB_{DTV} 이하의 DTV 중계기 대역외발사강도 측정이 가능한 방식으로, 실제 측정시스템을 구성하여 그 유효성을 입증하였다.

본 논문에서 제안한 측정방안을 도입할 경우, 현재 1,323개 DTV 방송국의 준공검사 또는 재허가시 방송국의 허가 지연 또는 불합격 등 불합리한 규제가 없어져 정부기관의 신뢰성 향상에 크

게 기여할 것으로 예측되며, 매우 간편한 계측기로 측정시스템을 구성할 수 있으므로 산간 등지에 분포한 중계기 특성측정을 매우 효율적으로 실시할 수 있다.

본 논문에서 제안한 방식은 대역외발사강도 이외의 다른 RF 특성측정 방식으로도 다양하게 응용될 수 있을 것으로 예상된다.

References

- [1] Korea Communications Commission, *Frequency Plan and Policy for Future Network Evolution*, 2011.7
- [2] ATSC, *ATSC Digital Television Standard - Part 2: RF/Transmission System Characteristics*, 2011
- [3] FCC CFR 47 §73.622, *Digital television table of allotments*, 1990
- [4] FCC CFR47 Part74, *Experiment radio, auxiliary, special broadcast and other program distributional services*, 1997
- [5] MSIP Notification No. 2014-92, *Recommendations on Radio Communication Equipments*, 2014.12
- [6] ATSC Document #97-06, *An Evaluation of the FCC RF Mask for the Protection of DTV Signals from Adjacent Channel DTV Interference*, July 17, 1997.
- [7] G. Sgrignoli, "DTV Repeater Emission MASK Analysis", *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol.49, No.1, pp32-80, April 2003
- [8] <http://www.npstc.org>, *Digital Television(DTV) Transition:700MHz Regional Planning Guidebook*, v 2.0 Appendix L, pp98-109, 2014
- [9] Advanced Television Systems Committee, *ATSC Digital Television Standard, Part 2 - RF/Transmission System Characteristics*, Document A/53-Part2:2007, 3 Jan. 2007. Clause 6.9.2, pp. 40.
- [10] Engelson, Morris, *Modern Spectrum Analyzer Theory and Applications*, Arttech House, ©1984, pp. 190-191
- [11] ITU Recommendation of ITU-R BT.1368,

Planning criteria for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands, 2006

- [12] Advanced Television Systems Committee, *Transmission Measurement and Compliance for Digital Television, ATSC Standard A/64, Revision A, Clause 4.1.6, p. 6*

BIOGRAPHY

Young-Tae Her (Member)



1995 : BS degree in Electronic Engineering, Bugeong University.

1997 : MS degree in Electronic Engineering, Busan University.

2010 : Ph.D degree in Information & Comm. Engineering, Anyang University.

1997~ Now : National Radio Research Agency of MSIP.

Won-Hyun Kwon (Life Member)



1983 : BS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.

1985 : MS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.

1990 : Ph.D degree in Electronic Engineering, Yonsei University.

1986~ 1993 : Samsung Electronics 1994~ Now : Dept. of Information & Communications Engineering, Anyang University.