요시모리 나오키
카나레전기주식회사
기술부문장

야마다 유키오
기술2부장

12G-SDI를 전송하는 케이블과 커넥터의 개발

머리말

미국 영화 텔레비전 기술자 협회는 동축 케이블로 최대 4K 해상도의 비압축 디지털 신호(12G-SDI)를 전송하는 규격으로써 SMPTE ST 2082-1:2015 12Gb/s Signal/Data Serial Interface - Electrical을 2015년에 제정하였다.

전송 속도는 11.88Gbps이며 손실량에 대해서는 다음과 같이 기술하고 있다. "Typical loss amounts would be in the range of up to 40dB at one-half the clock frequency." (대표적인 손실량은 1/2 클록 주파수에서 최대 40dB이다.) 그러므로 수신단에서의 감쇠량은 6GHz(5.94GHz)에서 40dB까지가 된다.

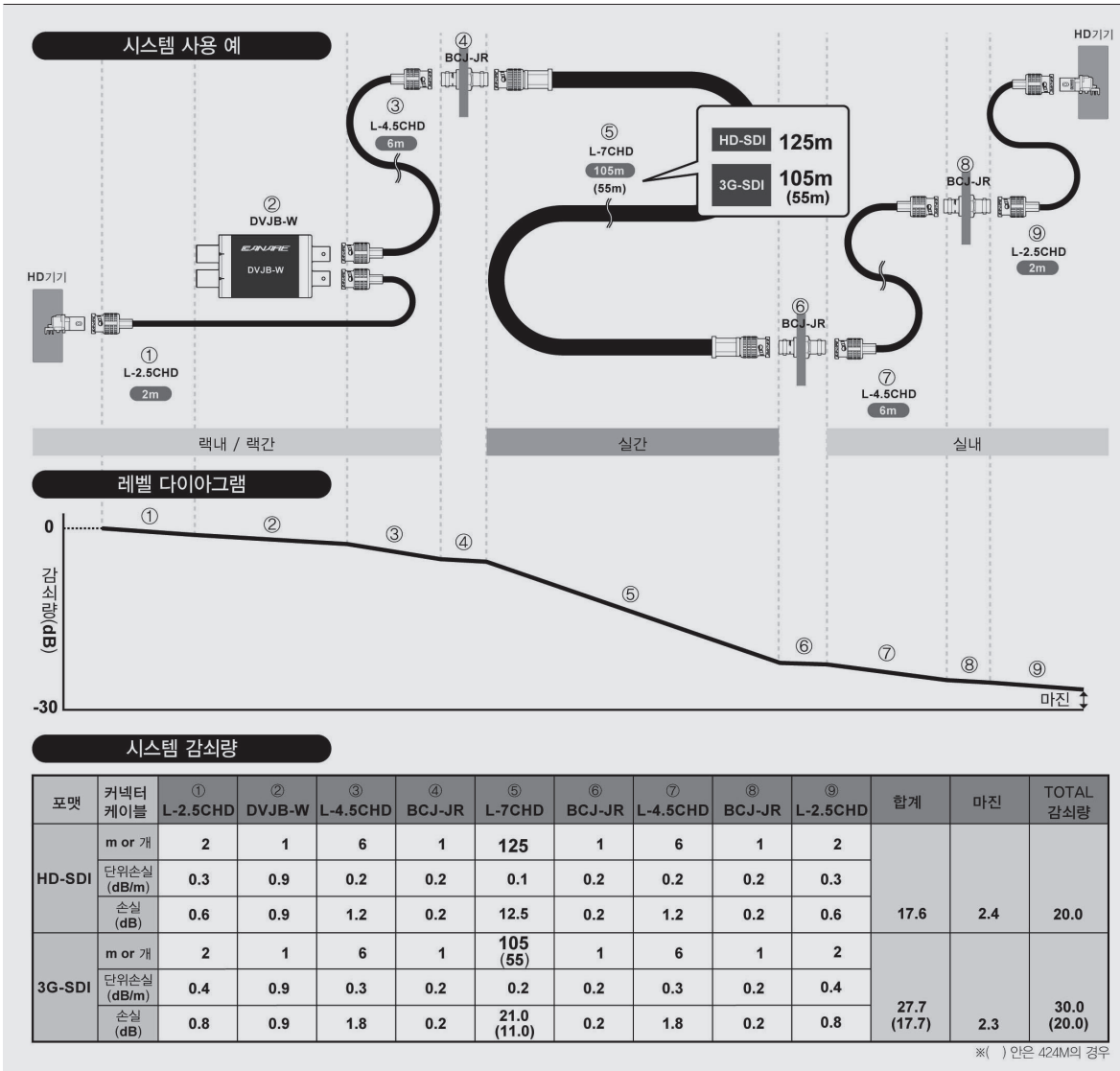
카나레 전기는 가능한 한 에러와 노이즈 없이 신호를 전송할 수 있는 제품을 만든다는 사명감을 갖고 제품을 개발하고 있다. 신호 대역이 12Gbps가 되더라도 제작 현장이나 설비 인프라에서의 편리성을 기존과 변함이 없도록 제품을 개발하고 있으며 이와 관련하여 다음과 같이 설명하고자 한다.

제품구성

당사가 담당하는 전송로의 구성은 [그림 1]과 같이 왼쪽 끝의 기기(송신기)에서 오른쪽 끝의 기기(수신기)까지라고 할 수 있다. SMPTE ST 2082-1:2015에 따르면 당사가 역할을 담당할 수 있는 전송경로는, 특성 임피던스 75Ω 동축 케이블과 75Ω BNC형 커넥터로, 리턴로스는 전체선로에서 4dB로 규정되어 있다. 중요한 것은 수신기 측의 케이블 이퀄라이저 성능(40dB@6GHz)에 있다.

[그림 1]에서는 HD-SDI와 3G-SDI를 예로 들어 각 구성품의 감쇠량을 측정하고 합산하여 버젯(이퀄라이저 성능 30dB@1.5GHz)에 대해 수dB의 마진이 남도록 설계하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 감쇠가 가장 큰 것이 동축 케이블이다. 동축 케이블의 감쇠에 따라 시스템 설계가 결정된다고 해도 과언이 아니다.

12G-SDI에서는 아직 모든 구성품의 감쇠량 데이터가 확인된 것은 아니지만, 수신기 측의 이퀄라이저 성능 40dB에 대하여 감쇠가 적은 제품을 필요로 하고 있음은 분명하다. 다음 항에서는 각 제품별로 어떠한 성능이 요구되며 또한 어떻게 대처해 나갈지에 대하여 기술하고자 한다.



포맷	커넥터 케이블	① L-2.5CHD	② DVJB-W	③ L-4.5CHD	④ BCJ-JR	⑤ L-7CHD	⑥ BCJ-JR	⑦ L-4.5CHD	⑧ BCJ-JR	⑨ L-2.5CHD	합계	마진	TOTAL 감쇠량
HD-SDI	m or 개	2	1	6	1	125	1	6	1	2			
	단위손실 (dB/m)	0.3	0.9	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3			
	손실 (dB)	0.6	0.9	1.2	0.2	12.5	0.2	1.2	0.2	0.6	17.6	2.4	20.0
3G-SDI	m or 개	2	1	6	1	105 (55)	1	6	1	2			
	단위손실 (dB/m)	0.4	0.9	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4			
	손실 (dB)	0.8	0.9	1.8	0.2	21.0 (11.0)	0.2	1.8	0.2	0.8	27.7 (17.7)	2.3	30.0 (20.0)

※( ) 안은 424M의 경우

그림 1. 전송로의 시스템 설계

동축 케이블

방송국 내에서 스튜디오 용도로 사용하고 있는 L-5CFB는 HD-SDI와 3G-SDI 신호를 100m 이상 전송하지만, 12G-SDI 신호라면 대체로 68m가 그 전송거리이다. 그렇기 때문에 L-5CFB(O. D. φ 7.7)와 동일한 외경으로 100m를 전송할 수 있는 동축 케이블이 필요하게 되었다.

구조

동축 케이블의 구조는 [그림 2]와 같이 동심원상에 A : 중심도체, B : 절연체(유전체), C : 외부도체, D : 피복으로 이루어진 구조이다.

"전송거리를 늘린다" = "감쇠량을 줄인다"라는 관계를 실현하기 위해서는 단순히 케이블을 굵게 만들면 된다고 생각된다. 단, 그러기 위해서는 특성 임피던스, 차단 주파수, 기계적 강도와 같은 다양한 변수나 사용상의 편리성 등을 고려할 필요가 있다.

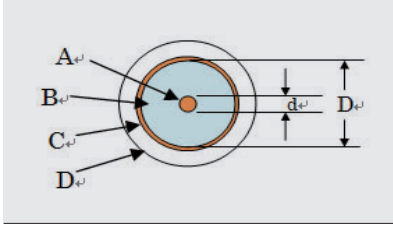


그림 2. 동축 케이블 구조도

요시모리 나오키
카나레전기주식회사
기술부문장

야마다 유키오
기술2부장

다음으로 동축 케이블의 분포상수회로[그림 3]를 고려해 보았다. 케이블에 인가된 전기신호는 일차상수(R, L, C, G)에 의한 손실로 서서히 감쇠하다가 결국은 소멸하게 된다. 이 손실(감쇠량)을 발생시키는 주된 요인은 도체손실[1] (저항 감쇠량)과 유전체손실[2] (누설 감쇠량)이다.

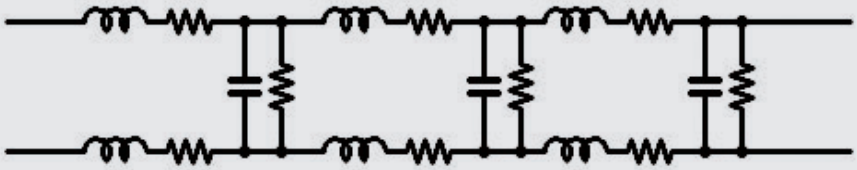


그림 3. 동축 케이블의 분포 상수 회로도

1 전기신호를 전달하는 도체 자신의 저항으로 열이 되어 소실되는 손실

2 도체를 감싸는 절연물로써 사용되는 물질(유전체)을 통해서 누설되는 손실

이와 같은 감쇠(도체손실이나 유전체손실)의 원인이 되는 선로(일차)상수는 다음과 같은 계산식으로 나타낸다.

$$\alpha(\text{감쇠량}) = \alpha r(\text{저항 감쇠량}) + \alpha g(\text{누설 감쇠량}) = \frac{R}{2} \times \frac{\sqrt{C}}{L} + \frac{G}{2} \times \frac{\sqrt{L}}{C}$$

감쇠량을 줄이기 위한 조건은

① 내부 및 외부도체의 도체저항 R[Ω/m]을 작게 한다. 주파수가 높아지면 표피 효과 등의 영향으로 저항치가 커진다.

$$R = 2f \left(\frac{\sqrt{\rho 1}}{d} + \frac{\sqrt{\rho 2}}{D} \right)$$

(f : 주파수, ρ1 : 내부도체의 고유저항, ρ2 : 외부도체의 고유저항)

예) 도체외경 d를 굵게 한다. 전도율이 높은 도체를 사용한다. (전기저항이 적은 물질을 사용한다.)

② 누설량 G[S/m]를 작게 한다.

누설량 G는 도체 간의 누설 저항에 상당하는 수치로 G는 $G = 2\pi f \cdot C \cdot \tan\delta$로 나타낸다.

예) 절연체를 두껍게 해서 정전 용량 C를 작게 한다. 유전손실률 tanδ가 작은 유전체를 사용한다.

③ 정전 용량을 작게 한다.

정전 용량 C는 도체 간에 존재하는 콘덴서로 $C = 24.12\varepsilon r/\log 10(D/d)$로 나타낸다.

예) 비유전율εr이 작은 유전체를 사용한다. 공기의 유전율(ε=1)에 가깝게 한다. 유전체를 두껍게 해서 선간(왕로와 귀로의 도체 간) 거리를 크게 한다. 유전체를 발포로 하고 유전체 외경을 일정하게 유지했을 경우는 특성 임피던스를 일정하게 하기 위해서 도체를 굵게 할 수 있다.

④ 인덕턴스 L[H/m]을 크게 한다.

자기유도계수(Inductance) L은, 도선에 전류가 흘렀을 때 발생하는 자속으로 선로 길이가 길고 고주파일 때 커진다.

$L \fallingdotseq Le = 0.4605 \times \log 10(D/d)$로 나타낸다. (Le : 외부 유도계수 >> Li : 내부유도계수)

예) 도체외경을 가늘게 한다. 유전체를 두껍게 해서 선간 거리를 크게 한다.

표피효과에 대해서

교류 전류가 도체를 흐를 때는 주파수가 높아지는 만큼 전류밀도가 [그림 4]와 같이 도체 표면에 집중되므로 교류 전기 저항은 커진다. 한편 표피 깊이 d[m]는 다음의 계산식으로 나타낸다.

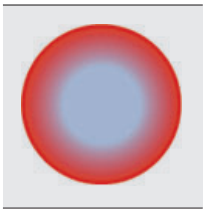


그림 4. 중심도체의 표피

$$d = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \delta}}$$

ω : 각 주파수 = 2πf(MHz)
μ : 도체의 절대 투자율 (H/m)
δ : 도전율 (S/m)

주파수	구리	알루미늄	은
10MHz	20.9	25.1	20.3
750MHz	2.4	2.9	2.3
1.5GHz	1.7	2.0	1.6
3GHz	1.2	1.4	1.1
6GHz	0.8	1.0	0.8

표 1. 도체재료의 표피 깊이 / 단위 : μm

[표 1]은 각 도체재료의 주파수별 표피 깊이를 계산한 결과이다.

차단 주파수에 대해서

전송 주파수가 높아지면 차단 주파수에 대해서도 생각해 볼 필요가 있다. 차단 주파수란 전송 가능한 에너지의 한계이며 그것을 초과하는 주파수 에너지는 케이블 내에서 감퇴 또는 반사되어 전송할 수가 없다. 차단 주파수 fc[kHz]는 다음의 계산식으로 나타낸다.

$$f_c = \frac{2C}{\pi(D+d)\sqrt{\varepsilon r}}$$

C : 빛의 속도
d : 내부도체외경(mm)
D : 외부도체외경(mm)
εr : 유전체 비유전율

MODEL	fc (GHz)
L-3CFB	40
L-5CFB	25
L-2.5CHD	50
L-4.5CHD	28
L-5CHD	28
L-5.5CUHD (Prototype)	24
L-6CHD	22
L-7CHD	19
L-8CHD	16

표 2. 당사 동축케이블의 차단 주파수

이 식에 따라, 당사 동축케이블의 차단 주파수를 계산한 결과를 [표 2]에 기재한다. 차단 주파수에 있어서는 외경(절연)이 가늘고 유전체 비유전율이 작은 케이블이 유리함을 알 수 있다.

위의 내용을 근거로, 사용 재료, 구조 및 제조 방법을 최적화함으로써 기존과 같은 시공이 가능하게 하였으며, 이것은 [그림 5]와 같이 12G-SDI 신호 100m 전송 가능(40dB 이하@6GHz)이라고 하는 목표달성을 가능하게 하였다.

본 케이블은 방송 시장에 있어서 같은 사이즈의 동축 케이블로서는 현시점에서 감쇠량이 가장 작은 부류에 속한다고 생각하며, 2015년 NAB나 KOBA Show를 비롯한 각국의 전시회에서도 고객으로부터 큰 반향을 불러일으켰다. 단, 현재 사용 중인 동축 케이블로도 12G-SDI 신호를 전송할 수 있다. 다음 [표 3]에 당사 케이블의 표준전송 거리를 기재했으므로 참고해 주시길 바란다.

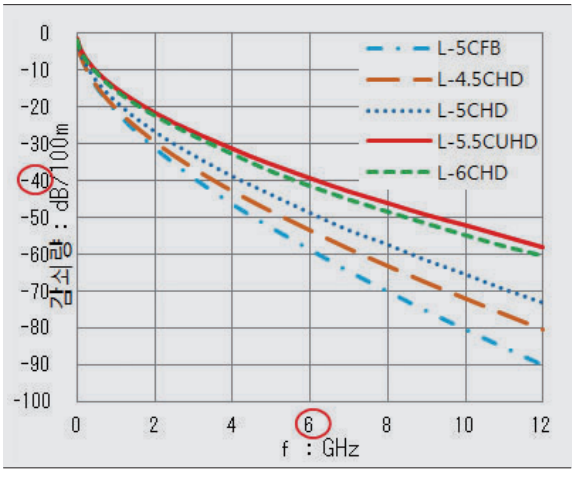


그림 5. 동축케이블의 표준 감쇠량

요시모리 나오키
카나레전기주식회사
기술부문장

야마다 유키오
기술2부장

Video format		HD-SDI (1080i)		3G-SDI (1080p)		12G-SDI (2160p)	
Standard		SMPTE ST 292		SMPTE ST 424		SMPTE ST 2082-1	
Bit rate		1.485 Gbps		2.97 Gbps		11.88 Gbps	
Loss amount		20 dB @ 1/2 clock		30 dB @ 1/2 clock		40 dB @ 1/2 clock	
Model	O.D. (mm)	L (m)	Nominal Attenuation (dB/m)	L (m)	Nominal Attenuation (dB/m)	L (m)	Nominal Attenuation (dB/m)
L-3CFW	5.8	60	0.331	60	0.494	35	1.142
L-4.5CHWS	7.2	87	0.228	90	0.333	50	0.793
L-5CFW	7.7	103	0.194	105	0.284	56	0.705
L-2.5CHD	4.2	66	0.302	69	0.431	43	0.917
L-3CFB	5.5	68	0.291	69	0.430	42	0.935
L-4.5CHD	7.0	114	0.174	119	0.251	74	0.536
L-5CFB	7.7	112	0.177	114	0.261	68	0.586
L-5CHD	7.7	128	0.156	133	0.225	82	0.487
L-5.5CUHD (prototype)	**7.7**	**151**	**0.132**	**157**	**0.190**	**102**	**0.391**
L-6CHD	8.9	155	0.129	157	0.190	95	0.420
L-7CHD	10.2	183	0.109	188	0.156	116	0.344
L-8CHD	11.1	208	0.096	212	0.141	131	0.304

표 3. 동축 케이블의 전송거리(참고)

※ 본 표는 표준 감쇠량을 기준으로 계산한 전송거리입니다.

75Ω BNC형 커넥터

아무리 동축 케이블의 성능을 향상시켜도 그 양단에 접속되는 커넥터의 성능이 따라주지 못한다면 신호의 입구와 출구에서 그 성능이 손상되고 만다. 애초부터 규격 IEC 61169-8 Radio-frequency connectors Part 8 : (type BNC)는 적용 주파수를 4GHz까지라고 기재하고 있지만, SMPTE의 규정에 따라 호환성을 유지하면서 각 부분의 치수를 정밀히 조사하여, 12GHz를 전송할 수 있는 제품을 개발하였다.

여기에서는 동축 케이블에 접속되는 BNC 플러그와 기기의 인터페이스에 사용되는 기판 설치 BNC 리셉터클에 대해서 개발 포인트를 설명하고자 한다.

BNC 플러그

플러그에 요구되는 요건은 기존과 동일한 사용편리성에 더하여 12GHz까지의 리턴로스 성능을 충분한 마진을 갖고 발휘해 주는 것이다. 다음은 그 목표 성능이다.

① 리턴로스 : 26.4dB@3GHz, 20.8dB@6GHz, 15dB@12GHz

② 아이솔레이션 : 50dB 이상

③ 특성 임피던스의 안정성 : 외부 컨텍트의 힘에 의한 내부외경의 변화를 억제한다.

④ 감합시의 안정성 : Female 커넥터와 감합했을 때의 본체의 흔들림을 억제한다.

그림 6. 위는 현행품, 아래는 신규제품

BNC 리셉터클

리셉터클에 요구되는 점은 리턴로스 성능은 물론이거니와 그 모양이 라이트앵글형(L자형)인 것이다. 기판에의 납땜성능, 기판 패턴의 제작법, 기판에의 고정 방법, 기타 전기적 성능 이외에도, 여기에서도 역시 사용편리성이 요구된다. 다음은 그 목표성능이다.

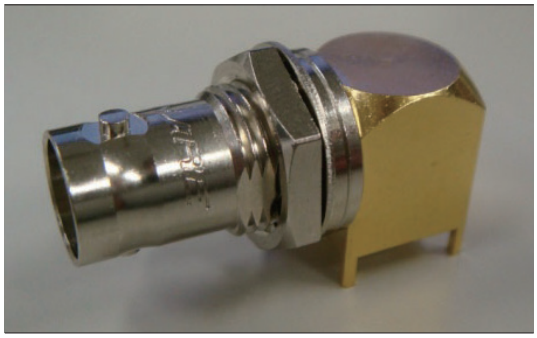


그림 7. 신규 출시 예정품

① 리턴로스 : 26.4dB@3GHz, 20.8dB@6GHz, 15dB@12GHz

② 아이솔레이션 : 50dB 이상

③ 그라운드 강화 : 최대한 그라운드와의 접촉 안정성을 꾀한다

④ 기판에의 납땜성능 : 커넥터 본체의 기판에 납땜이 손쉬워야 한다.

⑤ 모양 : 제1 단계로는 라이트앵글형을 출시하고 다음 2단계로서 엣지마운트(edgemount)형과 수직형을 출시할 예정이다.

향후의 과제

지금까지 기술해 온 제품은 거의 개발이 완료되어 양산을 준비 중에 있다. 출시까지는 아직 몇 개월이 필요하므로 향후 빠른 시기에 고객이 예정하고 있는 설비의 스케줄에 맞춰야 하는 과제를 안고 있다.

또 하나의 기술적 과제가 있는데, 그것은 8K 전송이다. 12G-SDI의 몇 배 또는 몇십 배라고 하는 초광대역을 필요로 하므로 메탈 케이블로 전송하기는 대단히 어렵다고 생각된다. 해답은 광섬유 전송에 다다르게 된다. 이미 당사에서는 광 카메라 케이블과 광 카메라 커넥터를 15년 이상 전에 개발하였고 3G-SDI의 전기 ↔ 광 컨버터 또한 개발하였다. 여기에서 축적된 노하우를 활용하여 8K용 전송이라는 연구 개발을 진척시켜 가고자 한다.

맺음말

12GHz라고 하는 대역은 3GHz의 4배라고 하는 지금까지는 없었던 비약적 성능을 요구하고 있다. 부품의 제조 정밀도, 기계적 내구성, 시간변화에 따른 내후성 등, 지금까지 요구돼 온 요건을 훨씬 상회하는 성능이 필요함은 분명하므로 이는 곧 메탈 케이블 전송의 한계에 근접했다고 볼 수 있다.

카나레는 케이블과 커넥터 모두를 스스로 개발하고 제조해 온 강점을 살려, '요구되고 있는 성능을 어떻게 완수해 나갈 것인가' 라는 물음을 존재의의로 생각하며 방송국에서 오랜 세월에 걸쳐 품질이 안정된 신호 전송을 위하여 SDI 기술은 물론, 최근에 주목을 받고 있는 IP 기술까지 포함하여 미래를 대응해 나갈 수 있는 독특하고 꼭 필요한 제품을 개발하고자 한다.