

8-VSB DTTB의 최적 ERP와 안테나 HAAT에 관한 연구

김선미*, 박근희*, 류광진*, 김영곤*, 노순국**, 박창균**

* 조선대학교 대학원 전자공학과

** 조선대학교 전자정보통신공학부

A Study on optimal ERP and HAAT of antenna for the 8-VSB DTTB

Kim Seon-Mi*, Park Chang-Gyun**

*Dept. of Electronic Engineering Graduate School Chosun University

** Dept. of Electronic & Information Engineering Chosun University

요 약

현재 운용중인 NTSC TV송신시스템을 근거로 가까운 장래에 설치되어 운용될 8-VSB DTV전송시스템의 재원을 설계한다.

먼저 아날로그 NTSC와 디지털 8-VSB DTV의 지상파 방송의 경우 최적의 수신전계를 유지할 수 있는 조건을 검토하고, Longley-Rice의 전계강도 산출법을 이용해서 수신을 위한 최소한의 전계강도의 임계값을 산출한다.

8-VSB DTV전송은 NTSC 6MHz대역에서 HDTV가 가능하도록 19.39Mbps의 데이터를 고속으로 전송하는데 그 목표를 두고 있으므로 무엇보다 송·수신점 사이의 전계강도의 최적화는 중요한 문제이므로 8-VSB DTV전송은 NTSC 서비스 커버리지에 비하여 확장되거나 효율적이어야만 한다. 본 연구에서는 산출결과 NTSC가 8-VSB DTV와 동일한 서비스 커버리지를 유지하기 위하여 NTSC VHF에서 DTV UHF로 전환시 필요한 송신출력과 NTSC UHF에서 DTV UHF로의 전환시 필요한 송신출력을 산출한다.

I. 서 론

1998년 11월부터 미국은 ATSC방식으로 DTV방송을 이미 개시하였고, 우리나라의 경우도 2000년 시험방송을 거쳐 2001년부터 수도권을 중심으로 DTV 본 방송을 실시한다는 정부의 전환 계획을 발표하고 있다. 2000년 중에 TV방송 3사가 DTV 실험방송을 했고, 지금까지 많은 연구가 진행되고 있다. 2010년까지는 NTSC TV 방송과 동일한 서비스 영역을 확보 할 수 있도록 단계적으로 DTV 방송체널을 할당하여 DTV로 완전 전환한다는 계획이다.

본 논문에서는 아날로그 NTSC TV와 디지털 8-VSB TV의 최소 수신전력 조건을 분석하고 현재 TV송신소에 운용중인 아날로그 NTSC TV 시스템에 대한 재원을 토대로 차후 설치될 디지털 8-VSB의 지상파 TV의 시스템의 재원을 검토한다.

아날로그와 디지털 TV 방송의 경우 송신기와 각 수신점 사이에 놓여있는 지형 변화와 전파경로에 따라 변하는 수신전계를 예측하기 위하여 FCC rules Sections 73.623과 74.704에 근거하여 Longley-Rice계산방법^{[1][2][3]}을 통해서 최적수신 조건을 검토한다.

II. NTSC와 8-VSB DTV의 송신전력의 비교

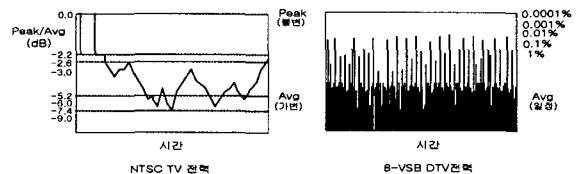
A. 송신전력

DTV는 평균전력을 사용하므로 소요전계강도를 기준으로 송신출력을 설계하며 실효방사전력으로 산출한다.^{[4][5]}

NTSC 방식 TV신호는 피크전력(Peak of Sync)으로 표시되며 평균전력과과의 관계는 식(1)과 같다.

$$NTSC\ avg = NTSC\ peak - 5.2dB \quad (1)$$

식(1)은 TV송신기가 일상 운용되는 상태 즉, 영상신호를 APL(Average Picture Level)로 했을 때 유효하며, 만약 영상신호가 블랭킹 레벨(Blanking Level)이라면 -5.2 dB 대신 -2.2 dB를 적용해야 한다.



| IRE | Peak/Avg(dB) |
|-------------|--------------|
| 0(Blanking) | -2.2 |
| 7.5(Black) | -2.6 |
| 20 | -3.3 |
| 40 | -4.4 |
| 60 | -5.6 |
| 80 | -6.6 |
| 100(White) | -7.4 |

| Peak/Avg (dB) | (%) | Occurrences 24hours | One Occurrence Every |
|---------------|--------|---------------------|----------------------|
| 5.2 | 1 | 864 | 1.7Min |
| 6.4 | 0.1 | 86.4 | 17Min |
| 7.1 | 0.01 | 8.64 | 2.8hr |
| 7.6 | 0.001 | 0.86 | 28hr |
| 7.9 | 0.0001 | 0.086 | 11Days |

그림 1. NTSC TV전력과 8-VSB DTV전력의 비교

그림 1은 NTSC TV전력과 8-VSB DTV전력의 비교이고 식(2), 식(3), 식(4)는 피크전력과과의 관계이다.

$$DTV\ peak = DTV\ avg + 6.3dB \quad (2)$$

NTSCavg와 DTVavg이 같다고 하면 식(3)과 같다.

$$DTV\ avg = NTSC\ peak - 5.2dB \quad (3)$$

NTSCpeak가 DTVpeak과 같다고 하면 식(4)와 같다.

$$NTSC\ peak = DTV\ avg + 6.3dB \quad (4)$$

B. 커버리지 영역의 결정요소

송신기의 커버리지는 간섭신호가 없는 상태에서 ERP와 안테

나의 HAA'T(Height Above Average Terrain), 그리고 채널주파수를 기초로 한다.

커버리지 영역을 결정할 수 있는 기준은 수신점의 전계강도로서 HAA'T, ERP, 주파수에 관한 함수이다. 정확한 전계강도를 구하는 것은 거의 불가능하고, 여러 번의 실험을 거친 통계적인 자료에 의해서 근사적으로 구할 수밖에 없다.

FCC에서는 NTSC F(50, 50), DTV F(50, 90) 전파커브를 사용한다. F(L, T)는 송신기 안테나를 중심으로 커버리지 원을 그리며, 화면이 위치상으로는 L%, 시간상으로는 T% 이상에서 잘 나오는 영역을 의미한다.^[6]

NTSC의 서비스 구역 산출시에는 F(50, 50)이 사용되고, DTV의 경우에는 F(50, 90)이 적용된다. 그것은 DTV신호의 수신은 시간적으로 안정된 전계가 유지되어야만 정상적인 수신이 가능하기 때문이다. DTV가 시간적으로 90%를 사용하는 이유는 DTV의 경우 커버리지 경계에서 TOV(Threshold of Visibility) 조건인 BER(3×10^{-6})이나 SER(1.9×10^{-4})을 만족하면 송신소에서 보낸 화질과 동등한 화질을 보장하지만, TOV 이하이면 전혀 알아볼 수 없게 되는 Cliff Effect 현상이 나타나기 때문이다.

NTSC에서는 수신 전계의 세기에 의하여 화질의 차이가 발생하며, 중급 수준의 수신상태에 요구되는 S/N은 28.5dB이다. 일반적으로 수신 등급은 City Grade, Grade A, Grade B로 표시하며 채널별 요구되는 전계 기준은 표1과 같다. 대등한 방송서비스 구역을 유지하는 DTV 송신시스템의 제원을 설계할 때 NTSC의 방송구역을 산출하기 위해서는 "Grade B"를 기준으로 한다.

표 1. FCC의 NTSC 전계강도의 범위

| C II | 주파수대역 (MHz) | City Grade (dBμ) | Grade A (dBμ) | Grade B (dBμ) |
|-------|-------------|------------------|---------------|---------------|
| 2~6 | 54~88 | 74 | 68 | 47 |
| 7~13 | 174~216 | 77 | 71 | 56 |
| 14~69 | 470~806 | 80 | 74 | 64 |

III. 시험망 분석 및 검토

A. 실효전력(ERP)과 안테나 HAA'T

NTSC TV와 DTV시스템의 ERP는 송신기 출력, RF Filtering에 따른 손실, 급전선 손실, 그리고 안테나 이득으로부터 계산되며 식(5)와 같다.

$$ERP(kw) = \text{송신기출력}(kw) \times \text{급전선효율} \times \text{안테나이득} \quad \text{식(8)}$$

데시벨(dB)로 표시되는 ERP는 식(6)과 같다.

$$ERP(dBk) = \text{송신기출력}(dBk) + \text{급전선 손실}(-dB) + \text{안테나 이득}(dB) \quad \text{식(9)}$$

dBk는 송신전력 및 실효복사전력 등을 대수적으로 계산하기 위해, 1kW를 기준으로 하여 대수화한 단위로서 식(7)과 같다.

$$P(dBk) = 10 \log \text{송신출력}(kw) \quad \text{식(7)}$$

안테나 HAA'T는 어떤 지형의 평균 해발로부터의 높이를 의미하며, 송신안테나가 서비스 대상 구역의 평균 높이로부터 얼마나 높은 위치에 있는가를 나타내는데 사용되며 식(8)과 같다.

$$HAA'T = h_1 h_2 h_3 \quad \text{식(8)}$$

B. DTV 송신시스템 제원 설계

NTSC로 방송중인 특정 채널에 대하여 대등한 서비스 구역을 갖는 DTV 송신 시스템의 제원을 설계한다.

가. NTSC 시스템 검토

채널이 4(66~72MHz)이고 송신출력이 10kw(Visual Peak Power)일 때 dBk로 표현하면 10.0dBk이고, 급전선을 3 1/8" Heliax 케이블(-0.35dB/100m)의 길이가 100m이며, 안테나가 무지향성인 2-Dipole(+4.7dB)이고, 기타 손실이 0.3dB일때 ERP는 식(9)와 같다.

$$ERP(dBk) = 10.0 + 4.7 - 0.35 - 0.3 = 14.05 \quad \text{식(9)}$$

14.05dBk는 송신기 정격 출력이 25.40kw이다

HAA'T를 산출하면 위의 식(8)에 의해 790m로 계산된다.

나. NTSC의 서비스 구역 산출

NTSC F(50, 50) 커버리지와 ERP(CH2~6)인 그림 2에서 송신기 정격출력이 25.40kw일 경우 서비스 커버리지는 88km이다.

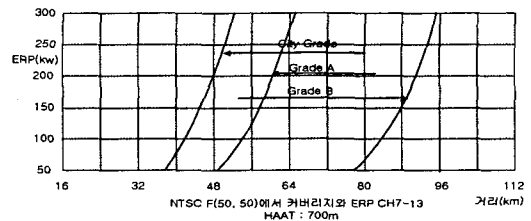
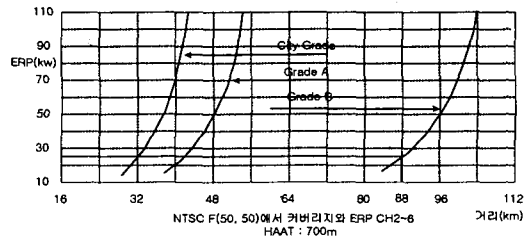


그림 2. NTSC F(50, 50) 커버리지와 ERP(CH2~6)

다. NTSC 방송과 대등한 서비스구역을 갖는 DTV 송신 ERP 계산

그림 3에서 서비스 구역 한계거리 88km에 대한 수직선을 긋고, 43dBu(마진을 고려한 DTV의 전계강도 임계값)꼭선과의 교차점에서 좌측으로 이동하여 ERP눈금을 읽으면 220kw를 얻는다. 그러나 CH-34의 최저 수신전계는 40.68dBu이므로 ERP를 2.32dB(43-40.68) 만큼 줄인다.

비례값으로 ERP를 산출한다면 전계강도가 43dBu일 때, ERP가 220kw(23.42dBk)이면, 전계강도가 40.68dBu일 때 ERP는 128.8kw(21.1dBk)라는 결과 값을 얻는다.

필요한 ERP는 128.8kw(≈129kw)이다.

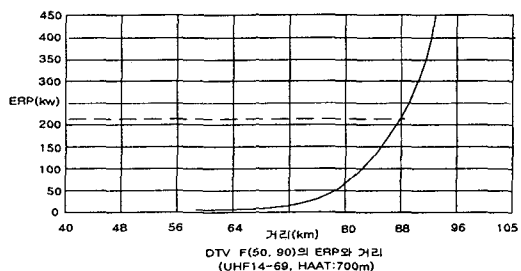


그림 3. DTV F(50, 90) 커버리지와 ERP(CH14~69)

8-VSB DTTB의 최적 ERP와 안테나 HAAT에 관한 연구

라. ERP에 따른 DTV송신기 정격출력(T'PO)

실효방사전력에 따른 디지털 TV의 송신기 전력출력은 식(10)과 식(11)로 계산된다.

$$21.1\text{dBk} = T'PO + 11.7 - 0.35 - 0.4 \quad \text{식(10)}$$

$$T'PO = 21.1 - 11.7 + 0.35 + 0.4 = 10.15(\text{dBk}) \quad \text{식(11)}$$

여기서, $10.15(\text{dBk}) = 10.35\text{kw} (\approx 10\text{kw})$ 와 같다.

마. DTV송신기 피크출력 계산 및 NTSC 송신기와 규모

디지털 TV의 송신기 피크 출력은 식(12)와 같다.

$$10\text{kw avg} \times 4.27 = 42.7\text{kw peak} \quad \text{식(12)}$$

이 송신기의 규모는 NTSC의 42.7kw급과 같다고 할 수 있다.

C. NTSC TV를 DTV(CH36)로 전환

NTSC VHF CH-4로 송신되는 송신소에 DTV UHF CH-34를 할당받은 것으로 가정하여 요구되는 송신 시설의 제원을 산출한다.

NTSC UHF CH-24로 방송중인 송신소에 DTV UHF CH-36을 할당받은 것으로 하여 요구되는 송신 시설의 제원을 산출한다.

채널이 24(530~536MHz) 송신 출력이 30kw(Visual Peak Power)인 송신기를 dB로 표현하면 14.77dBk이다. 급전선은 6 1/8" Heliax(-0.52dB/100m)이고 길이가 100m이며, 안테나는 2Dipole(+11dB)를 이용하고, 기타 손실은 -0.2dB로 계산한다.

가. ERP 계산과 안테나 HAAT 산출

ERP를 계산하면 식(13)과 같다.

$$\text{ERP}(\text{dBk}) = 14.77 + 11 - 0.52 - 0.2 = 25.05\text{dBk}$$

$$25.05\text{dBk} (= 319.9 \text{ kw}) \approx 320\text{kw} \quad \text{식(13)}$$

안테나의 HAAT는 NTSC와 동일하며 식(8)에 의하여 790m로 계산된다.

나. NTSC의 서비스 구역을 산출

그림 4로부터 최저 수신전계는 63dBu[64-20log(615/533)=62.80] 서비스 커버리지는 67km가 됨을 확인한다.

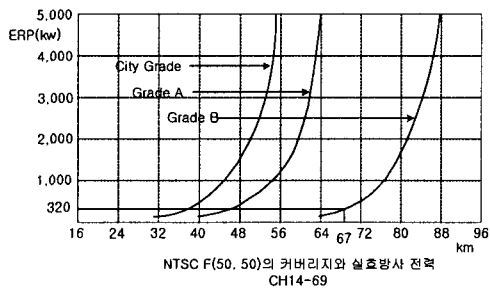


그림 4. NTSC F(50, 50) 커버리지와 ERP

다. DTV 송신 시스템 제원

안테나 HAAT는 식(8)에 의하여 790m이다. 급전선은 3 1/8" Heliax(-0.806dB/100m) 케이블을 사용하고, 길이가 100m일 때, 안테나는 Slot(+10.3dB)이고, 기타 손실을 0.4dB로 가정한다.

라. NTSC 방송과 대등한 서비스 구역을 갖는 DTV 송신 ERP 계산

그림 5로부터 67km거리에서 40dBu를 유지할 수 있는 ERP송신출력을 구한다.

수신전계강도가 43dBu(마진을 고려한 DTV수신 전계강도 임계값)이고 송신기 출력이 10kw(10dBk)이면, 수신전계강도가 40.9dBu일 때는 송신기 출력이 6.16kw (7.9dBk)가 된다. 따라서 CH36의 최저 수신전계는 $40.9\text{dBu}[41 - 20\log(612/605)]$ 로 계산된다.

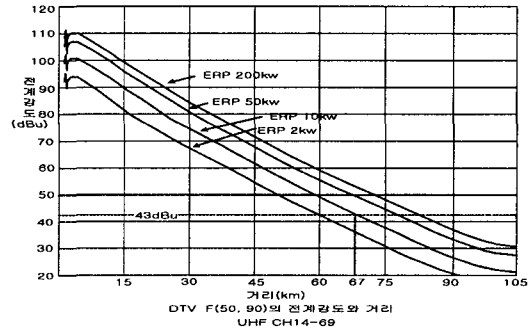


그림 5. DTV F(50, 90) 전계강도와 거리(CH14~69)

DTV송신기 정격출력(T'PO)을 계산하면 식(14)와 같다.

$$7.9\text{dBk} = T'PO + 10.3 - 0.806 - 0.4$$

$$T'PO = 7.9 - 10.3 + 0.806 + 0.4 = -1.194(\text{dBk}) \quad \text{식(14)}$$

-1.194(dBk) ($\approx 759\text{w}$) 약 1kw의 송신기로 본다.

D. DTV 송신 시스템의 제원 설계

NTSC 송신시스템과 대등한 방송 서비스 구역을 유지하는데 필요한 DTV 송신 시스템의 제원을 설계한다.

가. 안테나 HAAT와 최대 허용 ERP

FCC의 6회 보고서는 각 DTV할당을 위해 평균지역의 안테나 높이, DTV ERP를 할당하였다. 이러한 할당은 NTSC송신소에 의해 지금 서비스되는 것과 동등한 지형으로 DTV 서비스를 제공하도록 한다. DTV의 최소 실효 방사 전력(ERP) 제한은 VHF-L(CH2~6)는 1kw, VHF-H(CH7~13)는 3.2kw, UHF(CH14~69)는 50kw로 FCC에서 설정하였다.

CH14~59의 안테나 HAAT와 최대 허용 ERP와의 관계는 식(15)와 같다.

$$\text{ERP}_{\text{MAX}} = 84.57 - 17.08 \log_{10}(\text{HAAT}) \quad \text{식(15)}$$

급전선은 3 1/8" Heliax(-1.525dB/100m) 케이블로서 길이가 100m이며 안테나는 SLOT안테나 (11.7dB)를 사용하고, 기타 손실은 0.5dB인 것으로 가정하여 계산한 결과는 표2와 같다.

표2. 안테나 HAAT와 최대 허용 ERP와의 관계(CH14~69)

| 안테나 HAAT(m) | ERP(kw) | ERP(dBk) | 송신기출력(dBk) | 송신기출력(kw) |
|-------------|---------|----------|------------|-----------|
| 365 | 40.80 | 16.10 | 6.42 | 4.38 |
| 395 | 40.22 | 16.04 | 6.36 | 4.32 |
| 425 | 39.67 | 15.98 | 6.30 | 4.26 |
| 460 | 39.09 | 15.92 | 6.24 | 4.20 |
| 490 | 38.62 | 15.86 | 6.18 | 4.14 |
| 520 | 38.18 | 15.81 | 6.13 | 4.10 |
| 550 | 37.76 | 15.77 | 6.09 | 4.09 |
| 580 | 37.37 | 15.72 | 6.04 | 4.01 |
| 610 | 36.99 | 15.68 | 6.00 | 3.98 |
| 640 | 36.64 | 15.63 | 5.95 | 3.93 |
| 670 | 36.30 | 15.59 | 5.91 | 3.89 |
| 700 | 35.97 | 15.55 | 5.87 | 3.86 |
| 730 | 35.66 | 15.52 | 5.84 | 3.83 |
| 760 | 35.36 | 15.48 | 5.80 | 3.80 |
| 790 | 35.07 | 15.44 | 5.76 | 3.76 |
| 820 | 34.80 | 15.41 | 5.73 | 3.74 |
| 850 | 34.53 | 15.38 | 5.70 | 3.71 |
| 880 | 34.27 | 15.34 | 5.66 | 3.68 |
| 910 | 34.04 | 15.31 | 5.63 | 3.65 |
| 940 | 33.78 | 15.28 | 5.60 | 3.63 |
| 970 | 33.55 | 15.25 | 5.57 | 3.60 |
| 1000 | 33.33 | 15.22 | 5.54 | 3.58 |

IV. 결론

NTSC의 송신시스템과 대등한 방송 서비스 구역을 유지하는데 필요한 DTV 송신 시스템의 재원을 설계하였다.

검토 결과에 의하면, NTSC VHF채널을 DTV UHF대로 전환 할 때는 약 4배 규모의 송신출력이 요구되며, NTSC UHF를 DTV UHF대로 전환할 경우에는 약 1/7정도의 현저히 적은 규모의 송신출력을 필요로 할 것으로 나타났다.

지상파 방송 3사의 테스트 결과는 DTV의 서비스 범위가 대부분의 거리에서 NTSC방식에 가깝게 나타났고, 그 결과는 송신기 출력을 높여서 운용한다든지 더 높은 위치에 송신안테나 설치하는 것이 신호의 수신에 효과적 이다는 결론을 얻었다. 하지만 송신 출력을 높이는 것은 NTSC와 DTV가 공존해야하는 디지털 방송식의 TV송신에 바람직한 방법은 아니라고 하겠다.

참 고 문 헌

- [1]. FCC, OET BULLETIN No.69 (Longley-Rice Methodology for Evaluating TV Coverage and Interference, 1997)
- [2]. Douglas W. Garlinger, Introduction to DTV RF, SBE (1997)
- [3]. NCC's rules(REF.1 "Code of Federal Regulations, Title 47, CH1, Part73", Federal Communication Commission, 1999.)
- [4]. 김철성, 이영복 "DTV방송의 서비스구역 설계검토" 디지털 방송기술, KBS기술본부, 2000
- [5]. 윤인택, "DTV의 소요전계강도" 디지털 방송기술, KBS기술본부, 2000
- [6]. <http://ww1.access.gpo.gov>
(ww1.access.gpo.gov/search?NS_srarch_page=results)
TV service coverage and interference, 73.622, 73.623, 74.704
F(50, 50)curves 73.699
Field strength contours 73.683
Prediction of coverage 73.684
Power and antenna height requirements 73.614

NTSC의 서비스 커버리지를 유지하면서, 안테나 HAAT를 690m(≒700)로 하고 안테나이득, 급전선손실, 기타 손실을 고려했을 때 주파수 대역별 송신기 ERP 및 송신기의 정격 출력은 표3과 같다.

표3. 주파수 대역과 ERP

| C H | 주파수대역(MHz) | ERP(kw) | 송신기 정격출력(kw) |
|-------|------------|---------|--------------|
| 2~6 | 54~88 | 18.97 | 2.04 |
| 7~13 | 174~216 | 23.97 | 2.57 |
| 14~69 | 470~806 | 35.97 | 3.86 |

E. 결과 분석

NTSC TV와 DTV에서의 송신시스템의 재원에 따른 서비스 커버리지 산출은 NTSC에 대응하여 DTV 채널을 할당받은 것으로 가정하여 요구되는 DTV 송신시스템의 재원을 구성하였다.

가. 현용 NTSC 송신시스템의 재원

현재 운용중인 2개 채널(24, 30)의 재원은 표4와 같다.

표4. 현용 NTSC TV송신시스템의 재원

| 송신채널(CH) | 송신출력(kw) | 급전선 | | | 안테나 | | | 해발고(m) | 서비스커버리지(km) |
|----------|----------|----------|-------|--------|------------------|--------|---------|--------|-------------|
| | | 규격(inch) | 길이(m) | 손실(dB) | D:Dipole P:Panel | 이득(dB) | 부착높이(m) | | |
| 4 | 10 | 3 1/8 | 90 | 0.35 | 2D-12P | 4.7 | 10~30 | 780 | 88 |
| 24 | 30 | 6 1/8 | 100 | 0.96 | 4D-16P | 11.7 | 42~48 | 780 | 67 |

나. 디지털로 전환시의 송신시스템의 예상되는 재원

NTSC TV와 DTV의 서비스 커버리지 및 ERP에 대한 재원은 토대로 살펴 보면 아래 표5와 같다.

표5. DTV로 전환시 송신시스템의 예상 재원

| 송신채널(CH) | 송신출력(kw) pk/av | 급전선 | | | 안테나 | | | 해발고(m) | 서비스커버리지(km) |
|----------|----------------|----------|-------|--------|------|--------|---------|--------|-------------|
| | | 규격(inch) | 길이(m) | 손실(dB) | 형태 | 이득(dB) | 부착높이(m) | | |
| 34 | 10/2.5 | 3 1/8 | 100 | 0.35 | Slot | 11.7 | 40 | 780 | 88 |
| 36 | 10/2.5 | 3 1/8 | 100 | -1.525 | # | 10.8 | 40 | 780 | 67 |