

Part
II₂

저압전로의 지락보호에 관한 기술지침

대한전기협회 법령연구실 이주철 부장
대한전기협회 법령연구실 이위문 전문위원

전기사업법의 규정에 의한 기술기준은 전기설비의 안전확보를 위하여 필요한 최소한의 사항을 준수하도록 의무화하고 있다. 또 전기관련기관·학계·단체 및 업계의 참여로 작성되는 전기설비의 「기술규정」은 이러한 기술기준에 필요한 기술적인 사항을 규정함과 동시에 민간자율규정으로 설계, 시공, 유지, 검사 등에 관한 사항을 구체적이고 알기 쉽게 풀이하여 전기사업자를 비롯한 전기설비의 시설자, 공사 관계자가 지켜야 할 사항을 그 내용에 따라 의무적 사항, 권고적 사항, 권장적 사항으로 구분하여 규정하고 있다.

그렇지만 급속한 기술발전에 따라 신기술에 관한 사항, 안전상 필요한 사항 등에 관해서 지금까지 연구과제로서 불확정 요소가 많은 사항, 미해결된 것으로서 일률적으로 규정화 하는 것이 곤란 또는 부적절한 사항이 수없이 존재하고 있다.

따라서, 일반적으로는 준수해야 하는 사항이지만 그 방법, 대책 등에 대해서 즉시 규정에 반영하여 운용하기에는 이르다고 생각되는 사항 등을 「기술지침」으로 정리하는 것으로 하였다. 예를 들면

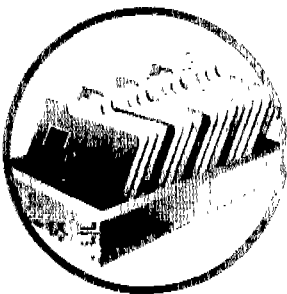
- (1) 신기술에 관한 사항으로서 기준화 또는 규정화하기에는 국내외의 적용사례나 사용실적이 적은 것
- (2) 안전상 필요한 사항이지만 그 방법, 대책 등에서 학술적으로 이론, 방법론이 반드시 확립되어 있지 않은 경우 또는 그 논리를 일반적으로 적용하여 기준화 또는 규정화가 곤란한 경우
- (3) 미해결, 확정되지 않은 요소가 있어 세부적으로 의무, 권고, 권장 등의 사항으로 명확하게 구분하는 것이 곤란한 것
- (4) 사회정세가 급격하게 변화함에 따라 기준화 또는 규정화 하는 것이 반드시 좋다고 판단하기 어려운 경우 등이 이에 해당한다.

이러한 지침은 정부를 비롯하여 전력산업계에서 참여하고 있는 한국전기기술기준위원회(KEC)에서 심의한 것으로 기술지침의 내용은 기술지표적 사항 및 참고사항을 많이 수록하여 안전의 확보에 필요한 사항을 적용할 수 있도록 한 것이다.

따라서, 기술지침은 원칙적으로 기술규정에 준하여 준수되어야 할 것으로서 다음 사항에 유의해서 운용하여 주시기 바란다.

- (1) 실제 적용에 있어서 기술의 진보를 저해하지 않도록 해석할 것
- (2) 내용을 충분히 이해하여 설계, 시공 등에 있어서 잘못 적용되는 일이 없도록 할 것
- (3) 이 지침에 기재되어 있지 않은 사항, 방법 등이라도 그것이 안전상 적절한 것인 경우에는 채용할 것

이 기술지침의 내용에 관해서는 누구나 의견제출, 이의신청 또는 심의요청을 한국전기기술기준위원회(KEC, 사무국 대한전기협회)에 제출할 수 있다. 이와 같은 목적으로 작성된 "저압전로의 지락보호에 관한 기술지침"의 내용중 현장적용에 필요한 사항을 지면 관계상 발췌하여 지침본문과 해설을 소개한다.



CONTENTS

- I. 총 칙
- II. 보호방식
 1. 적용범위
 2. 보호접지방식의 종류
 3. 보호접지 적용 개소
 4. 시설방법
- III. 누전차단방식

II. 보호접지 방식

2. 보호접지방식의 종류

보호접지방식에서의 접지저항 값은 보호대상물의 허용접촉전압에 따라 표5에 적합하여야 한다.

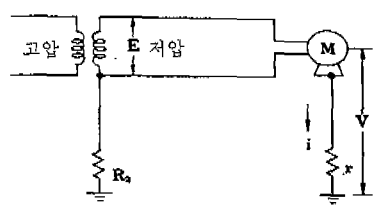
표5 보호접지의 종류와 접지저항 값

구분	허용접촉전압(V)	접지저항(Ω)
1급	25	$r \leq \frac{25}{E-25} R_2$
2급	50	$r \leq \frac{50}{E-50} R_2$
3급	제한 없음	$R \leq 100$

- 주) r : 보호접지저항의 최대 값[Ω]
 E : 저압전로의 사용전압[V]
 R₂ : 저압전로의 제2종 또는 중성점 접지저항[Ω]

<해설>

보호접지는 지락사고시의 대지전위를 허용접촉 전압 이하로 억제하는 것이기 때문에 허용접촉 전압의 구분에 따라 표5와 같이 1급~3급 보호접지로 구분했다. 표5에 나타내는 보호접지 저항치의 계산식은 저압전로의 완전지락시의 상태를 그림 6과 같이 예상하여 도입한 것이다



- E : 저압전로의 사용전압(V)
 R₂ : 제2종 접지저항(Ω)
 V : 지락 점의 대지전압(V)
 i : 지락전류(A)
 r : 보호접지저항(Ω)

그림6 지락사고의 예상도

위 그림에서 $E = i \cdot (R_2 + r)$
 $V = i \cdot r$
 $r = \frac{V \cdot R_2}{E - V}$

위 식의 V에 적용 장소에 따라 25V 또는 50V의 허용접촉전압을 취하면 $r \propto R_2$ 가 되어 제2종 접지저항 값(R₂)에 비례하여 보호접지 저항 값(r)의 허용최대치가 정해진다. 또한 3급 보호접지에 관해서는 감전 사고를 일으킬 우려가 적은 4종 접촉상태의 곳에 적용하는 것이기 때문에 종전의 제3종 접지공사 정도의 보호효과로 충분하다고 보아 100Ω하였다.

3. 보호접지 적용개소

- 가. 저압전로에 시설하는 기계기구의 철대, 금속제 외함에는 표5에 따른 보호접지공사를 시행하여야 한다. 다만, 다음 각호에 해당하는 것은 그러하지 아니하다.
- 1) 사용전압이 직류 300V 또는 교류대지전압 150V 이하의 회로에서 사용하는 기기를 건조한 장소에 시설하는 경우
 - 2) 건조한 목재의 마루, 기타 이와 유사한 절연성이 있는 물질의 위에서 취급하도록 시설하는 경우
 - 3) 사람이 접촉할 우려가 없도록 목주 등과 같이 절연성이 있는 것의 위에 시설하는 경우
 - 4) 철대 또는 외함의 주위에 작업자를 위하여 적당한 절연대를 시설하는 경우
 - 5) 고무, 합성수지 등의 절연물로 피복한 것을 사람이 접촉할 우려가 없도록 시설하는 경우
 - 6) 전기용품안전관리법의 적용을 받는 2종 절연구조의 기계기구를 시설하는 경우
- 나. 전항에 의한 것 이외에 제3종 접지공사 또는 특별 제3종 접지공사를 하도록 규정한 것에 대하여는 이 지침에서는 이를 보호접지공사로 대체하여 적용하여야 한다.

<해설>

보호접지는 전기설비기술기준 제36조(기계기구의 철대 및 외함의 접지의 규정)에 의해 제3종 또는 특별 제3종 접지 공사를 시행해야 할 것에 적용하는 것이다. 그러나 이 접지 저항치를 표5에 적합하게 하려면 제2종 접지저항치를 확인하여야 하고 또 다음 표6과 같이 매우 낮은 저항 값을 확보하기가 어렵기 때문에 보호접지방식을

단독으로 적용할 수 있는 것은 다음과 같은 경우이다.

- (1) 특별고압 또는 고압으로 수전하는 자가용 시설의 경우
- (2) 수도관, 철골 또는 철근 등의 저저항 값의 매설 금속체를 이용할 수 있는 경우 이 때문에 일반적인 장소에서 1급 또는 2급 보호접지를 하는 경우는 누전차단방식 등 본 지침에서 정하고 있는 다른 보호방식과 병용하는 것이 필요하다.

표6 보호접지 저항 값

급전전압 [kV]	저압전로의 최대 전압 [kV]	
	2급 보호접지 저항 값 [Ω]	1급 보호접지 저항 값 [Ω]
	220V	
1	0.1	0.08
5	0.6	0.4
10	1.2	0.8
15	1.9	1.3
20	2.5	1.7
30	3.8	2.6
40	5.1	3.5
50	6.4	4.4
60	7.6	5.2
70	8.9	6.1
80	10.2	7.0
90	11.5	7.9
100	12.8	8.8
125	16.0	11.0
150	19.2	13.2

주) ^㉞는 현행 전기설비기술기준 제21조에서 채택하고 있는 보호접지저항 값을 나타낸다.

- 비고) r_a : 1급 보호접지저항의 최대 값[Ω]
 r_b : 2급 보호접지저항의 최대 값[Ω]
 r : 현행 전기(電技)의 보호접지저항의 최대 값[Ω]
 E : 저압전로의 사용전압[V]
 R_2 : 저압전로의 제2종 접지저항 또는 중성점 접지저항[Ω]

* 자가용 수용가의 제2종 접지저항 값은 다음 표에 의한 값으로 할 수 있다.

구분	제2종 접지저항 값	비고
고압 비접지 계통 (3.3kV, 6.6kV)	75[Ω]이하	
22kV 비접지 계통	10[Ω]이하	계산 값이 8[Ω]이면 8[Ω]으로 적용
22.9kV 다중접지 계통	5[Ω]이하	

〈참고자료〉

상기 제2종 접지저항 값은 다음과 같은 조건으로 산출한 것이다.

- a. 고압(3.3kV, 6.6kV) 비접지 계통(기술기준 제21조 ①항)
 - 접지저항값 결정요소 : 일선지락전류(I_g)
 - 접지저항(R) : 150/ I_g , 300/ I_g , 600/ I_g
 * 300 : 1초를 넘고 2초이내 자동차단,
 600 : 1초이내 자동차단 장치 설치
 - 전로의 길이가 1km이내인 것의 제2종접지저항 값을 구하면 다음 표와 같다

공칭 전압	공칭 단면적	전로의 길이	표준정전용량	지락전류				
				I_c [A]	I_a [A]	I_g [A]	I_g [Ω]	
3.3	300mm ²	38	1	0.34	0.7	0.38	0.79	75
		50	1	0.32	0.7	0.38	0.80	75
		60	1	0.34	0.7	0.38	0.80	75
		100	1	0.4	0.9	0.38	0.98	75
		150	1	0.52	1.1	0.38	1.16	75
		250	1	0.57	1.2	0.38	1.26	75
6.6	300mm ²	38	1	0.23	1.0	0.38	1.06	75
		50	1	0.25	1.1	0.38	1.16	75
		60	1	0.27	1.2	0.38	1.26	75
		100	1	0.28	1.2	0.38	1.26	75
		150	1	0.4	1.7	0.38	1.74	75
		250	1	0.44	1.9	0.38	1.94	75

* 산출조건

- 표준정전용량(C) : 케이블정전용량(20°C)[μF/km],
 충전전류(I_c) = $2\pi f C E$ [A]
- 지락전류 $|I_g| = |I_c + I_a|$
- GPT 전류 : 1차 영상유효분전류(3M)는 0.38A(지락방향계전기 감도)
- 제2종 접지저항(R) = 150/ I_g (지락전류 2미만은 2로 계산)

b. 22kV 비접지 계통

- 기술기준 제26조의 규정에 따라 : 10Ω이하
- 산출 접지저항값(150, 300, 600/ I_g)이 10Ω초과

하여도 10Ω이하로 적용

- 산출 접지저항값이 8Ω이 나오면 8Ω으로 적용

c. 22.9kV 다중접지 계통

○ 1선 지락전류 계산 예 1)

전원측(계통)임피던스 11%, 주변압기의 임피던스 9.5%(自己容量에서), 전선 ACSR 95mm²×3, 중성선 ACSR 58mm²×1 (Z = 5.8 + j 8.4i)

1선지락의 고장저항 값 7.5Ω, 고장지점까지의 선로 길이 9km 일때 1선 지락전류 I_g = 874A

○ 1선 지락전류 계산 예 2) : 제2종 접지저항 값을 최초로 산출하기 위한 조건적용

전원측(계통)임피던스 11%, 주변압기의 임피던스 14.5%, 1선 지락고장저항 30Ω

정상 %임피던스 : 경동선 5mm, 완급 2,400mm(18.55 + j 9.22)

영상 %임피던스 : 경동선 22mm² (23.42+ j 34.02) (배전규정 부록 V, 배전선로의 고장전류계산 참조), 1선 지락전류 I_g = 273A(고장지점까지의 선로길이 10km)

I_g = 139A(고장지점까지의 선로길이 50km)

〈제2종 접지저항 계산결과〉

구분	제2종 접지저항 값		
	874A	273A	139A
1선 지락전류 I _g	874A	273A	139A
150/1g(지기가 생겼을때 자동차단 장치 없음)	5Ω이하 (계산 값 : 0.17Ω)	5Ω이하 (계산 값 : 0.55Ω)	5Ω이하 (계산 값 : 1.09Ω)
300/1g(1초를 넘고 2초이내 지기 발생시 자동차단)	5Ω이하 (계산 값 : 0.34Ω)	5Ω이하 (계산 값 : 1.09Ω)	5Ω이하 (계산 값 : 2.17Ω)
600/1g(1초이내 지기 발생시 자동차단)	5Ω이하 (계산 값 : 0.68Ω)	5Ω이하 (계산 값 : 2.19Ω)	5Ω이하 (계산 값 : 4.34Ω)

○ 22.9kV 특별고압 가공전선로와 저압전로를 결합하는 변압기의 제2종접지공사 접지저항 기준치를 토대로 여러 조건에 따라 계산한 결과 22.9kV 특별고압 가공전선로와 저압전로를 결합하는 변압기의 제2종 접지공사 접지저항은 5Ω을 넘지 않으므로 전기설비기술기준 제21조제1항 및 제2항에 따라 기준치를 5Ω이하로 한다.

법, 근거 및 해설 등에 대하여는 지침을 참고하기 바라며, 다음에는 누전차단기의 정격감도전류선정에 대하여 해설한다.

III. 누전차단방식

〈누전차단기의 정격감도전류선정 해설〉

정격감도전류의 선정에 있어서는 이론에 기초하여 선정하는 것이 원칙이지만 이론에는 가정이 많기 때문에 실제의 현장 데이터라든가 경험을 참고로 하고 또한 법의 규제가 있는 장소에서는 그것을 준수하도록 선정할 필요가 있다. 실제의 선정에 있어서의 주의점을 기술한다.

가. 법적 기준에 따른 선정

누전차단기의 정격감도전류의 값에 대해서는 특수한 경우를 제외하고는 특별히 규정된 것이 없으나 다음 표7에 표시하는 적용장소에 대하여는 정격감도전류에 관한 법적규정이 있기 때문에 준수하여야 한다.

표7 설치장소에 따른 정격감도전류

적용장소	관련규정	누전차단기별 정격
기계기구의 철대 외함의 접지공사가 곤란한 장소 (물기가 있는 장소 제외)	· 전기설비기술기준 (제36조) · 내선규정(140-2)	· 정격전압 : 300V이하 · 정격감도전류 : 30mA이하 · 동작시간 : 0.03초이하
주택의 옥내 전로인 압구	· 전기설비기술기준 (제187조) · 내선규정(151-1)	· 정격전압 : 150V초과 300V이하 · 정격감도전류 : 30mA이하 · 동작시간 : 0.03초이하
가반식 및 이동식의 전동기계기구	· 산업안전기준에 관한 규칙(제329조)	· 정격감도전류 : 30mA이하 · 동작시간 : 0.03초이하
욕실 등 인체가 물에 젖어있는 상태에서 물을 사용하는 장소의 콘센트	· 전기설비기술기준 (제191조)	· 정격감도전류 : 15mA이하 · 동작시간 : 0.03초이하
제3종 및 특별 제3종 접지 공사의 접지저항 값을 500Ω까지 완화할 수 있는 장소	· 전기설비기술기준 (제21조)	· 정격감도전류 : 30mA~500mA · 동작시간 : 0.5초이내

4. 시설 방법

시설방법에 대하여는 지침본문을 참조하기 바란다.

위에서 언급하지 않은 지락보호방식의 종류, 시설방

나. 일반설비에 대한 감전보호 측면에서의 선정

감전의 위험에 대한 기본적인 생각은 간접접촉에서는 접촉전압 값을 낮게 억제하여 인체에의 통전전류를 작게 하는 것이다. 따라서 누전차단기의 정격감도 전류와 기기의 보호접지 저항 값과는 밀접한 관계가 있다. 접지의 종류 선정에 대한 기본적인 고려사항 및 접촉상태와 정격감도전류의 관계 등은 전술한 표3에 표시되어 있다.

다. 전로의 누설전류에 따른 선정

전로는 절연저항이 정상이라도 전선과 대지 간에는 대지정전용량이 존재하고 있기 때문에 상시 얼마간의 누설전류가 흐른다. 이 누설전류는 전선의 종류, 전선의 굵기, 누전차단기 설치 점에서 부하기기까지의 전로의 길이 등이 정해지면 계산에 의해 개략적으로 산출할 수 있다. 이 누설전류에 의하여 누전차단기가 불필요한 동작을 하지 않도록 정격감도전류를 정하는 것이 필요하다.

(1) 누설전류의 계산

가) 전선에서의 누설전류 계산

누전차단기의 부하측 전로의 길이, 전로의 종류 및 사이즈에 따라 후술하는 참고자료에 의하여 누설전류를 산출한다.

나) 전동기의 누설전류 계산

전동기의 용량과 대수를 산출하여 동시 기동하는 대수에 대하여는 후술하는 참고자료의 표16의 기동시 누설전류란의 값을 기타의 것은 운전시 누설전류란의 값을 사용하여 누설전류를 계산한다. 동시 기동대수가 불분명할 경우에는 전체의 10%의 대수를 용량이 큰 것부터 취한다. 그리고 에어컨, 공작기계 등 전동기를 사용하는 기기는 대개 전동기의 용량으로 계산하여도 된다.

다) 형광등의 누설전류 계산

철골 등에 직접 부착하는 경우(취부금구가 금속인 경우를 포함한다).....0.1mA/1대
나무, 콘크리트 등에 부착하는 경우 ... 0.002mA/1대

(2) 용량성 회로에서의 돌입전류

전로가 갖는 대지분포정전용량에 의한 상시누설전류 외에 개폐기류(전자개폐기, 배선용차단기 등)의 개

폐시에 발생하는 개폐서지에 의한 과도시 누설전류에 대해서도 고려함이 불필요한 동작을 방지하는데 중요하다. 예로서 다음 그림 7과 같은 회로에서 정상치와 과도치의 비를 구해본다.

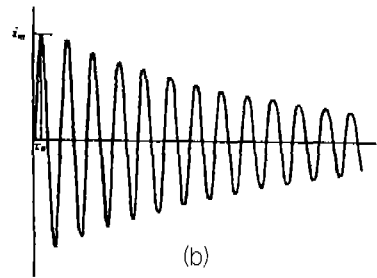
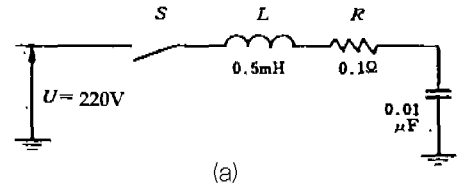


그림 7 콘덴서 투입전류

그림 7의 i_m 및 τ_0 는 다음 식으로 주어진다.

$$i_m = \frac{\sqrt{2}U}{\sqrt{L/C}} \exp\left(-\frac{R}{\sqrt{(4L/C) - R^2}} \arctan \frac{\sqrt{(4L/C) - R^2}}{R}\right)$$

$$\tau_0 = \frac{2L}{(4L/C) - R^2} \arctan \frac{\sqrt{(4L/C) - R^2}}{R}$$

여기에 그림 7의 수치를 대입하면 $i_m = 1.39A$, $\tau_0 = 3.5\mu s$ 가 된다.

그림 7의 상시누설전류

I_ℓ 은 $R \gg \frac{1}{\omega C}$, $\omega L \ll \frac{1}{\omega C}$ 이므로

$$I_\ell = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} = \omega C U = 0.829 \text{ mA}$$

$$i_m / I_\ell = 1677$$

이 예로 알 수 있듯이 정전용량회로에서는 상시누설전류가 0.83mA라도 과도시에는 조건에 따라서는 1677배(1.39A)나 흐르는 일이 있다. 따라서 펄스전류에 의해 누전차단기가 동작할 것인지 안할 것인지를 검토할 필요가 있다. 일반적으로는 상시 누설전류는 정격감도전류의 10분의 1이하인 것이 바람직하다.

(3) 정격감도전류의 선정

상술한 방법으로 상시누설전류를 구하고 또한, 과도 돌입전류에 대한 추가검토를 하여 최종적으로 정격감도전류를 결정하게 된다. 상기 (2)를 고려하여 상시누설전류(대지절연저항의 영향은 일반적으로 무시할 수 있는 정도이며, 정전용량 쪽이 영향이 크다.)와 정격감도전류의 관계를 다음 표8에 표시한다.

표8 상시누설전류와 정격감도전류의 관계

정격감도전류 (mA)	정격감도전류 (mA)	
	220V/380V	110V회로
15	150이하	30이하
30	30이하	60이하
100	100이하	200이하
200	200이하	400이하
500	500이하	1000이하
1000	1000이하	2000이하

(4) 누설전류의 계산과 선정의 예

a) 조건

- 철골 1층 공장
- 3상3선식 220V 결선 전로
- 전기기기는 동작기계(전동기용량 0.75kW이하) : 30대
 콤프레사(2.2kW) : 2대, 형광등(220W) : 30대
- 배선은 600V 비닐절연전선(14mm² : 50m,
 2mm : 100m, 1.6mm : 1km)
- 누전차단기는 주 회로에 1대 설치한다.

b) 누설전류

누설전류는 다음 표9에 표시하는 것과 같이 약 14 mA가 된다.

표9 누설전류

전기기기	대수	단위당 누설 전류(mA)	누설전류 (mA)	비고
콤프레사 2.2kW	2	0.87	174	참고자료 표16의 기동시의 값
공작기계 0.75kW	28	0.12	3.36	
형광등	30	0.1	3.00	상기다(1)의대금규류 취부의 값
전선 14 mm ²	50m	22.6/km	1.13	참고자료 표15에 의한 철골을 따라 비닐관 공사를 한 것으로 한다 다만 2mm는 동표의 55mm의 값
	2 mm	100m	2.03	
	1.6 mm	1km	1.32	
합 계			13.28	

c) 정격감도전류

정격감도전류는 표8에서 200mA이다. 이 경우 정격감도전류가 30mA인 누전차단기를 사용하는 경우 주 회로에 1대 설치하는 데는 무리가 있으므로 예를 들면 콤프레사, 동작기계 등의 동력회로와 조명회로별로 각각 설치하는 등 분기회로별로 부하를 분리하여 시설하는 것이 필요하다.

<누설전류 계산 참고자료>

전로의 누설전류는 여러 가지 요인이 포함되어 있기 때문에 그 값을 알기 위해서는 실측하는 것이 바람직하나 현실적으로는 실측 불가능한 경우도 많기 때문에 계산에 의해 누설전류를 가늠하여 누전차단기의 감도 전류를 선정한다.

누설 전류의 요인 중 전선로의 공장, 전선의 종류, 굵기 등에 의해 발생하는 전선로의 누설전류, 전동기의 권선과 케이스간의 누설전류, 기타 부하기기라든가 서지필터 등으로부터의 누설전류를 구하여 합계함이 필요하다. 이 계산 자료는 IEC규격에 의한 전선의 누설전류를 계산하고자 하는 경우에는 별도계산이 필요하다.

(1) 전선로의 누설전류 계산치

a) 3상3선식 결선 220V 전로

전선 사이즈별 누설전류를 표10 및 표11에 표시한다.

표10 600V 비닐 절연전선(IV)을 대지에 밀착시켜 배선한 경우의 1km당의 누설전류

전선 사이즈 mm ²	1km당 정전용량	공의 저항 R(MΩ)	C에 의한 누설 전류 I _c (mA)	R에 의한 누설 전류 I _R (mA)	1km당의 누설 전류 I _g (mA)
5.5	0.707	50	101.5	0.008	101
8	0.707	50	101.5	0.008	101
14	0.786	40	112.9	0.010	113
22	0.845	40	121.3	0.010	121
38	0.952	40	136.7	0.010	137
60	1.180	30	169.4	0.013	169
100	1.350	30	193.8	0.013	194
150	1.500	20	215.4	0.019	215
200	1.550	20	222.5	0.019	223
250	1.740	20	249.8	0.019	250
325	1.800	20	258.4	0.019	258
400	1.990	20	285.7	0.019	286
500	2.040	20	292.9	0.019	293