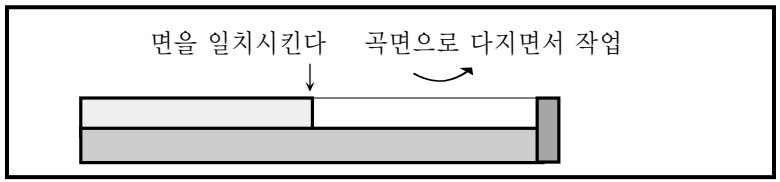
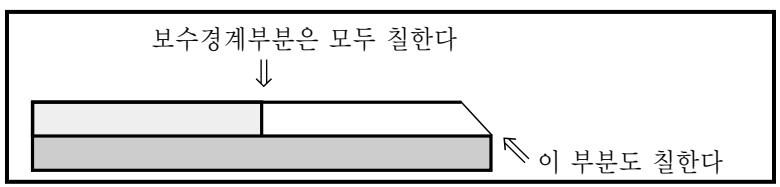
⑤ 보수부분의 표면을 주물용 스푼으로 곡면부분을 강하게 문지르면서 평활하게 다듬는다.(이때 스푼에 신나를 묻혀서 사용하면 면이 매끄럽게 될 수 있다.)

그림3) 평탄작업



⑥ 보수부분의 다듬질이 끝나면 신나를 이용하여 경계부분을 정리한다.

그림4) 신 나 칠



⑦ 보수 후 양생을 한다. 보수부분이 급격히 건조하지 않도록 그늘이 되도록 표면과 끝부분을 덮는다.

⑧ 단단하게 경화후(약 1~2시간) 실코팅을 한다.

그림5) 실 코 팅

【 준 비 물 】

함마(소형), 주물용 스푼, 와이어 브러쉬, 붓, 정, 고운모래 시멘트, 실코팅제(아크릴계 또는 역청질계의 지정된것), EPOXY수지(주제, 경화제), 에폭시 신나

이 외에도 EPOXY수지 충진제 또는 아크릴에멀젼으로 보수하는 방법도 있다.

X. 설계 자료

1. 덕타일주철관의 관두께 계산 255
2. 주철관의 내진설계 262
3. 이형관 보호콘크리트 270
4. KP특수압륜의 적용 271
5. 연약지반의 배관 278
6. 주철관의 시방서 288
7. 각종 품셈 자료 301
8. 상수도 관로의 관종선정 343
9. 방식용 PE슬리브 351

1. 덕타일 주철관의 관두께 계산

정수압, 수격압, 토피에 의한 토압, 트럭하중에 의한 토압을 전부 동시에 고려하여 유도하고 있다. 정수압을 P_s로, 수격압을 P_d로 나타내면 내압에 의해서 발생하는 인장응력 σ_t는 다음과 같다.

$$\sigma_t = \frac{(P_s+P_d)d}{2t}$$

또, 토피에 의해 발생하는 휨모멘트를 M_t, 트럭하중에 의해 발생하는 휨모멘트를 M_t로 하면 외압에 의해서 발생하는 휨응력 σ_b는 다음과 같다.

$$\sigma_b = \frac{(M_f+M_t)}{Z}$$

$$Z = \frac{b\,t^2}{6}$$

여기서, b : 단위길이

$$\sigma_b = \frac{6(M_f+M_t)}{t^2}$$

토피에 의한 토압을 W_f, 트럭하중에 의한 토압을 W_t로 나타내면,

$$M_f = K_f \cdot W_f \cdot R^2$$

$$M_t = K_t \cdot W_t \cdot R^2$$

이므로 이를 위 식에 대입하면,

$$\sigma_b = \frac{6(K_f W_f + K_t W_t)R^2}{t^2}$$ 이 된다.

그런데, σ_b는 휨응력이기 때문에 인장응력으로 환산하기 위해 0.7을 곱하고, 허용응력을 σ_s로 하면, 관두께는 다음 식을 만족하도록 결정하면 된다.

$$\sigma_t + 0.7\sigma_b = \sigma_s$$

여기서, 정수압에 대한 안전율 2.5
수격압에 대한 안전율 2.0
토피에 의한 토압안전율 2.0

노면하중에 의한 토압안전율 2.0

를 대입하고, 관재의 인장강도를 S로 하면 계산식은,

$2.5\sigma_{ts} + 2.0\sigma_{td} + 1.4\sigma_b = S$

$2.5\sigma_{ts} + 2.0\sigma_{td} + 1.4\sigma_b = S$

여기서, σ_{ts} : 정수압에 의한 발생응력

σ_{td} : 수격압에 의한 발생응력

R ≒ Dm/2 로 놓고 계산하면,

$St^2 - (1.25P_s + P_d)dt - 2.1(K_fW_f + K_tW)Dm^2 = 0$

Dm ≒ d로 두고 t에 대해서 풀면

$$t = \frac{(1.25P_s+P_d)+\sqrt{(1.25P_s+P_d)^2+8.4(K_fW_f+K_tW_t)S}}{2S}\,d$$

가 된다.

여기서, t : 계산 관두께 (㎜)

d : 관의 호칭경 (㎜)

P_s : 정수압 (kg/㎠)

P_d : 수격압 (kg/㎠)

W_f : 토피에 의한 토압 (kg/㎠)

W_t : 노면하중에 의한 토압 (kg/㎠)

S : 관재의 인장강도 (kg/㎠)

K_f : 관저의 지지각에 따라서 결정되는 계수

K_t : 관정 0.076, 관저 0.011

또한 공칭관두께 T는

T = (t+2)×1.1(㎜), t+2 ≥ 10㎜인 경우

T = (t+2)×1(㎜), t+2 < 10㎜인 경우이다.

관정, 관저의 양쪽에 대해서 계산하여 큰 쪽을 채용한다.

관저의 지지각에 따라서 결정되는 계수값 (덕타일 주철관)

위 치 \ 관저의 지지각	40°	60°	90°	120°	180°
관 정	0.140	0.132	0.121	0.108	0.096
관 저	0.281	0.223	0.160	0.122	0.096

1) 외압 계산방법

가) 상부 토피하중

① 시트파일(sheet pile)등 토류벽 시공에 따른 수직 굴착의 경우

$W_f = \gamma_s \cdot H$

여기서, W_f : 상부 토피하중 (kg/㎠)

γ_s : 흙의 단위중량 (kg/㎠)

H : 토피 (㎝)

② 일반 굴착의 경우

수직굴착 경우의 상부 토피하중보다 값이 작으면 수직굴착 경우의 상부 토피하중을 적용한다.

$W_f = C_d \cdot \gamma_s \cdot B_d$

여기서, W_f : 상부 토피하중 (kg/㎠)

C_d : 도랑(trench) 상수 (Marston 공식)

$$C_d = \frac{1-EXP(-2K\cdot\mu\cdot\frac{H}{B_d})}{2K\cdot\mu}$$

여기서, γ_s : 흙의 단위중량 (kg/㎠) (입도 다짐도 관련사항)

H : 토피 (㎝)

B_d : 관상단에서의 도랑(trench) 폭 (㎝)

K : Rankine 토압계수

$$\left(K = \frac{1-\sin\Theta}{1+\sin\Theta}\right)$$

μ : 되메우기 흙과 사면의 마찰계수 (μ=tanΘ')

Θ : 되메우기 흙의 내부마찰각

Θ' : 되메우기 흙의 사면의 내부 마찰각 (보통Θ' ≒ Θ)

나) 노면하중

$$W_t = \frac{2np \cdot (1+i)}{[nL+(n-1) \cdot C+b+2H\tan\Theta]} \cdot \frac{1}{(a+2H\tan\Theta)}$$

여기서, W_t : 노면하중 [truck 하중강도(kg/㎠)]

P : 후륜(1륜) 하중(kg)

n : 점유폭에 접하여 나란한 truck 대수

L : 후륜 중심간격(㎝)
(일반적으로 175㎝적용)

C : 인접 truck 간의 후륜 중심간격(㎝)
(일반적으로 100㎝적용)

H : 토피(㎝),

b : 후륜 접지폭(㎝) (일반적으로 50㎝적용)

Θ : 분산각(°) (일반적으로 45° 적용),

a : 차륜접지장(㎝) (일반적으로 20㎝적용)

i : 충격계수

충 격 계 수

토 피 (m)	i
$H \le 1.5$	0.5
$1.5 < H < 6.5$	$0.65 - 0.1H$
$H > 6.5$	0.0

표 1. 흙의 단위체적중량과 마찰각

토 질		단위체적중량 (gf/㎠)	마찰각(Ø°)
토사	土砂 ; 건조한것 자연의 축축한것 충분히 축축한것	1.4 1.6 1.8	35~40 45 27
점토질 토사	건조한것 축축한것	1.5 1.9	40~46 20~25
점토	건조한것 축축한것	1.6 2	40~50 20~25
모래	건조한것 자연의 축축한것 충분히 축축한것	1.58-1.65 1.8 2	30~35 40 25
자갈	건조한것 젖은것	1.8-1.85 1.86	35~40 25
알돌	玉石 ; 각이진것 둥근것	1.8 1.8	45 30

표 2. 매설조건에 대한 지지각

구 분	매 설 조 건	지지각
A	일반적인 지반의 경우	60°
	홈 바닥이 강고한 경우이고 홈 바닥에 모래를 넣은 경우	
	홈바닥이 강고한 경우이고 매려토를 모래로 치환한 경우	
B	홈 바닥이 강고한 경우	40°

입력 DATA

사용관종	관경(㎜)	관두께	매설깊이(㎜)	차량하중
2종관	1,200㎜	17.00㎜	1,500	DB-24
정수압(kg/㎠)	수격압(kg/㎠)	터파기방법	기초의 지지각	허용응력
10	5.5	수직터파기	120도	4300

덕타일 주철관 관두께 산정

□ 설계조건

관　경(㎜): 1,200㎜　t=17.00㎜　정수압(P_s) : 10kg/㎠

매설깊이(㎜): 1,500㎜　　수격압(P_d) : 5.5kg/㎠

□ 토피에 의한 토압 계산 (수직터파기)

▷ $W_v = C_d * Y_s * B_d$　　0.255 kg/㎠

흙의 단위중량(Y_s)　　1,700 kg/㎥

Rankine 토압계수　　0.333

되메우기 흙과 사면의 마찰계수　　0.577

되메우기 흙의 내부마찰각　　30

관상단에서의 도랑폭 (B_d)　　160

도랑상수 (C_d)　　0.787

□ 노면하중에 의한 토압 계산　　0.225kg/㎠

▷ $W_t = 2np(1+i)/[\{nL+(n-1)C+b+2H\tan\alpha\} *]$

I : 충격계수 =　　0.5

p : 후륜 1륜 하중 =　　(DB-24)　9,600kg

n : 점유폭에 접하여 나란한 트럭대수 =　2대

L : 후륜중심간격 =　　175㎝

C : 인접트럭간 후륜중심간격 =　　100㎝

a : 차륜 접지장 =　　20㎝

b : 차륜 접지폭 =　　50㎝

α : 분산각 =　　45

□ 소요관두께 계산　　기초지지각 = 120도

▷ $t=[(1.25P_s+P_d)+\{1.25P_s+P_d)2+8.4(K_fW_f+K_tW_t)S\}^{\frac{1}{2}}] * D/(2S)$

K_f : 관저의 지지각에 따른 계수　　K_t :

관정 = 0.108　　관정 = 0.076

관저 = 0.122　　관저 = 0.011

관정부 소요두께 t_1 = 8.65㎜

관저부 소요두께 t_2 = 7.98㎜

공칭관두께(T)　　10.65㎜　　OK

T=(t+2) * 1.1 (㎜), (t+2) ≥ 10㎜인 경우

T=(t+2) * 1.0 (㎜), (t+2) < 10㎜인 경우

2. 주철관의 내진설계

1) 설계조건

(1) 지진동에 의한 것과 상시의 하중에 의한 것을 더하여 내진안전성을 조사한다.

(2) 관체발생응력, 이음부의 신축량이 허용치 이하가 되도록 검토한다.

(3) 상시의 하중으로서는 다음을 고려한다.

① 내압에 의한 것

② 차량 하중에 의한 것

(4) 이음부 신축량을 계산할 때는 상시하중에 의한 변형 이외에도 온도변화와 부등침하에 의한 변형을 추가로 고려한다.

2) 관에 발생하는 응력

(1) 내압에 의한 축방향 응력(σ_t)

$$\sigma_i = \frac{P \cdot (D-t)}{2 \cdot t}$$

여기서 σ_t: 내압에 의한 축방향 응력(kgf/㎠)

ν : 포아손비

P: 내압(kgf/㎠)

D: 관로의 외경(㎝)

t : 관두께(㎝. 공칭관두께로부터 주철구조물 공차를 뺀 관두께)

(예: 900㎜의 관두께: 14.0/1.1=12.72㎜)

(2) 자동차 하중에 의한 축방향 응력(σ_0)

$$\sigma_0 = \frac{0.332 \cdot W_m}{Z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{K_\nu \cdot D}}$$

여기서 W_m: 차량하중(kgf/㎠)

K_ν: 연직방향지반반력계수(1.0kgf/㎠)

E : 탄성계수(1.6~1.7×10⁴kgf/㎟)

I : 단면2차모멘트(㎝⁴)

Z : 단면계수(㎤)

여기서 P_m : 차량 후륜 1륜당 하중(kgf/㎠)

a : 접지폭(㎝)

h : 흙두께(㎝)

Θ : 하중분포각

i : 충계계수

(3) 지진시의 축방향 응력(σ_x)

① 표층지반의 고유주기는 다음 식으로 계산한다.

$$T_G = 4 \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{H_i}{V_{si}}$$

여기서 T_G : 지반의 고유주기(sec)

H_i : 지표층 지반의 i번째 토층 두께(m)

V_{si} : 지표층 지반의 i번째 토층의 평균전단파 속도(m/s)

퇴적시대별토질		Vs (m/sec)	
		표층지반	기반암
홍 적 층	점성토	$129N^{0.183}$	$172N^{0.183}$
	사질토	$123N^{0.125}$	$205N^{0.125}$
충 적 층	점성토	$122N^{0.0777}$	$143N^{0.0777}$
	사질토	$61.8N^{0.211}$	$103N^{0.211}$

② 지반의 수평변위는 다음 식으로 계산한다.

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K'_{h1} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{2H_s}\right)$$

여기서 S_v : 단위진도당 기반지진도의 속도응답(m/s)

K'_{h1} : 설계기반면 수평진도

$K'_{h1} = C_z \cdot K'_{h01}$

C_z : 지역별보정계수 Ⅰ급 1.0, Ⅱ급 0.85, Ⅲ급 0.7

K'_{h01} : 기반면 기준수평진도

H_s : 지표층 지반 두께(m)

x : 지표면에서 관축(관로 중심)까지의 거리(㎝)

③ 지진시의 파장은 다음식으로 계산한다.

$$L = \frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

$L_1 = T_g \cdot V_{DS}$ $\quad$ $L_2 = T_g \cdot V_{BS}$

여기서, L : 지진동의 파장 (m)

T_G : 표층지반의 고유주기 (1.54sec)

V_{DS} : 표층지반의 전단탄성파 속도(m/s)

V_{BS} : 기반층의 전단탄성파 속도(334m/s)

$$V_{DS} = \frac{\sum Hi}{\sum \frac{Hi}{Vi}}$$

④ 지반의 강성계수

$$K_1 = 1.5 \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot V_S^2$$

$$K_2 = 3 \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot V_S^2$$

여기서, K_1 : 축방향변위에 따른 지반의 강성계수133(kgf/㎠)

K_2 : 축직교방향변위에 따른 지반의 강성계수266(kgf/㎠)

γ : 흙의 단위체적중량(kgf/㎤)

V_S : 관로의 위치에 따른 표층지반의 전단탄성파 속도(m/sec)

g : 중력가속도(980 ㎝/sec)

⑤ 지진시의 축방향응력

$$\sigma(x) = \sqrt{\sigma_L'^2 + \sigma_B'^2}$$

$$\sigma_L' = \xi_1 \cdot \sigma_L$$

$$\sigma_B' = \xi_2 \cdot \sigma_B$$

$$\sigma_L = a_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h}{L} \cdot E$$

$$\sigma_B = a_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot D \cdot U_h}{L^2} \cdot E$$

$$a_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_1 \cdot L'}\right)^2}$$

$$a_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_2 \cdot L}\right)^4}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_1}{E \cdot A}}, \quad \lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{E \cdot I}}$$

$$L' = \sqrt{2} \cdot L$$

$$\upsilon = \frac{\iota}{L} \qquad \upsilon' = \frac{\iota}{L'}$$

여기서, σ : 관측방향합성응력(kgf/㎠)

σ'_L : 축응력 (kgf/㎠)

σ'_B : 휨응력 (kgf/㎠)

ξ_1 : 축응력에 대한 보정계수

ξ_2 : 휨응력에 대한 보정계수

U_h : 관측위치의 지반의 수평변위진폭

L : 지진동의 파장 (m)

D : 관외경 (cm)

E : 주철관의 탄성계수 ($1.6 \sim 1.7 \times 10^4$ kgf/㎟)

K_1 : 축방향변위에 따른 지반의 강성계수 (133.0kgf/㎠)

K_2 : 축직교방향변위에 따른 지반의 강성계수(266.0kgf/㎠)

A : 관의단면적(329.8㎠)

I : 단면이차모멘트 ($3.250 \times 10^5 cm^4$)

– 참고 –

$$\xi_1(x) = \frac{\sqrt{\varphi_1(x)^2+\varphi_2(x)^2}}{[\exp(\nu'\lambda_1 L')-\exp(-\nu'\lambda_1 L')]}$$

$$\xi_2(x) = \sqrt{\varphi_3(x)^2+\varphi_4(x)^2}$$

$$\varphi_1(x) = [\exp(-\nu'\lambda_1 L')-\cos(2\pi\nu')]\cdot\exp(\mu'\lambda_1 L')$$
$$[\exp(\nu'\lambda_1 L')-\cos(2\pi\nu')]\cdot\exp(-\mu'\lambda_1 L')$$
$$+2\sinh(\nu'\lambda_1 L')\cdot\cos(2\pi\nu')$$

$$\varphi_2(x) = 2\sinh(2\pi\nu')\cdot\sinh(\mu'\lambda_1 L')-\sin(2\pi\mu')\cdot\sinh(\mu'\lambda_1 L')$$

$$\varphi_3(x) = f_3e_3-f_1e_2-f_4e_1-\sin(2\pi\mu)$$

$$\varphi_4(x) = e_3+f_2e_3-f_2e_2-f_5e_1-\cos(2\pi\mu)$$

f_1	$\frac{\ell}{\Delta}[\{C_1(C_4-C_1)-C_3(C_3+C_2)-C_1\cos(2\pi\nu)\}\frac{2\pi}{\beta L}+(C_3+C_2)\sin(2\pi\nu)]$		
f_2	$\frac{\ell}{\Delta}[\{C_1(C_3-C_2)-C_4(C_3+C_2)+(C_3+C_2)\cos(2\pi\nu)\}+\frac{2\pi}{\beta L}\sin(2\pi\nu)]$		
f_3	$\frac{\ell}{\Delta}[\{C_1(C_4+C_1)-C_2(C_3+C_2)-C_1\cos(2\pi\nu)\}\frac{2\pi}{\beta L}+(C_3+C_2)\sin(2\pi\nu)]$		
f_4	$\frac{\ell}{\Delta}[\{C_3(C_4+C_1)-C_2(C_4-C_1)+(C_2-C_3)\cos(2\pi\nu)\}\frac{2\pi}{\beta L}-2\cdot C_1\sin(2\pi\nu)]$		
f_5	$\frac{\ell}{\Delta}[C_1(C_3-C_2)^2-2C_1C_4-2C_1\cos(2\pi\nu)\}-(C_2-C_3)\frac{2\pi}{\beta L}\sin(2\pi\nu)]$		
Δ	$(C_3+C_2)\cdot(C_3-C_2)+2\cdot C_1^2$		
C_1	$\sin(\nu\beta L)\cdot\sinh(\nu\beta L)$	C_2	$\sin(\nu\beta L)\cdot\cosh(\nu\beta L)$
C_3	$\cos(\nu\beta L)\cdot\sinh(\nu\beta L)$	C_4	$\cos(\nu\beta L)\cdot\cosh(\nu\beta L)$
e_1	$\sin(\mu\beta L)\cdot\sinh(\mu\beta L)$	e_2	$\sin(\mu\beta L)\cdot\cosh(\mu\beta L)$
e_3	$\cos(\mu\beta L)\cdot\sinh(\mu\beta L)$	e_4	$\cos(\mu\beta L)\cdot\cosh(\mu\beta L)$
ν	$\frac{\ell}{L}$	μ	$\frac{x}{L}$
β	$\sqrt[4]{\frac{Kg2}{4E\cdot I}}$		

(3) 관체응력에 의한 내진안정성의 조사

상시하중에 의한 발생응력과 지진시의 발생응력을 합산하고 이것이 허용응력이하인지 조사한다.

3) 주철관 이음부의 축방향 신축량

(1) 내압에 의한 이음부 신축량(ei)

$$e_i = \frac{\ell \cdot \sigma_i}{E}$$

여기서, e_i= 내압에 의한 이음부신축량(㎝)
σ_i= 내압에 의한 관체발생응력(kgf/㎠)
ℓ = 관길이 (cm)
E= 주철관의 탄성계수(kgf/㎝)

(2) 차량하중에 의한 이음부신축량(e_O)

$$e_O = \frac{\ell \cdot \sigma_O}{E}$$

여기서, e_O= 차량하중에 의한 이음부신축량(㎝)
σ_O= 차량하중에 의한 관체발생응력(kgf/㎠)
ℓ = 관길이 (cm)
E= 주철관의 탄성계수(kgf/㎝)

(3) 온도변화에 의한 이음부신축량 (e_t)

$$e_t = \alpha \cdot \Delta T \cdot \ell$$

여기서 e_t: 온도변화에 의한 이음부신축량 (cm)
α: 선팽창계수 (1.0×10^{-5} °C)
ΔT : 온도변화 (°C)

(4) 부등침하에 의한 이음부신축량 (e_d)

$$e_d = \Delta\ell$$

여기서, $\ell = \sqrt{\ell^2+\delta^2}-\ell$
δ: 그림 6.43에서 중앙부분의 부등침하(20cm)
ℓ : 그림 6.43에서 ℓ = 30m

(5) 지진시의 이음부신축량 (ed)

$$|u_j| = u_0 \cdot \overline{u}_j$$

$$u_0 = a_1 \cdot U_a$$

$$U_a = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_h$$

$$\overline{u}_j = \frac{2\gamma_1 \ |\cosh\beta_1 - \cos\gamma_1|}{\beta_1 \cdot \sinh\beta_1}$$

$$a_1 = \frac{1}{1+(\gamma_1/\beta_1)^2}$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{K_1}{E \cdot A}} \cdot I$$

$$\gamma_1 = \frac{2\pi\ell}{L'}$$

$$L' = \sqrt{2} \cdot L$$

$|u_j|$: 관축방향 이음부 신축량(㎝)

u_0 : 무한연속보의 경우 관축방향 상대변위량(㎝)

L : 지진동의 파장

ℓ : 이음부간격(관 연장)(㎝)

(6) 이음부의 신축량에 의한 내진안전성의 조사

상시하중과 온도변화, 부등침하에 의한 이음부의 신축량 과지진에 의한 신축량을 합산하여 허용신축량 이하인지 조사한다.

KP메커니컬형 덕타일주철관 단면계수 및 이음부의 신축량

호칭구경 ㎜	관의외경 ㎜	공칭관두께 ㎜	단면계수 ㎤	단면2차 모멘트 ㎤	최대신축량	
					최대 ㎜	허용 ㎜
80	98	6.7	41	201	40	31
100	118	6.8	62	369	40	29
150	170	7.0	140	1,193	40	25
200	222	7.1	250	2,770	40	20
250	274	7.5	407	5,579	40	21
300	326	8.0	620	10,109	64	45
350	378	8.5	891	16,848	64	32
400	429	9.0	1,221	26,197	64	33
450	480	9.5	1,620	38,872	64	32
500	532	10.0	2,101	55,877	64	33
600	635	11.0	3,307	104,988	64	32
700	738	12.0	4,888	180,372	64	32
800	842	13.0	6,910	290,920	64	32
900	945	14.0	9,391	443,747	64	31
1,000	1,048	15.0	12,394	649,447	72	38
1,100	1,144	16.0	15,769	901,975	72	38
1,200	1,255	17.0	20,190	1,266,930	72	39