KOSHA GUIDE
D - 54 - 2022

화학설비의 압력시험에 관한 기술지침

2022. 12.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 안전보건공단 최병욱, 정용재
○ 개정자 : 안전보건공단 정용재

○ 제·개정 경과

- 2014년 11월 화학안전분야 제정위원회 심의
- 2022년 09월 화학안전분야 기준제정위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료

- KS B 6750, “압력용기 - 설계 및 제조일반”, 2017
- ASME Boiler & pressure vessel code Ⅷ division 1, “Rules for construction of pressure vessels”, 2015
- ASME B31.3, “Process piping”, 2016
- ASME B16.5, “Pipe flanges and flanged fittings”, 2003

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2022년 12월 31일
제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

KOSHA GUIDE
D - 54 - 2022

화학설비의 압력시험에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 화학설비 및 부속설비의 수압 및 기압 시험 절차, 안전조치 등에 필요한 사항을 정하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 화학설비 및 부속설비 중 압력용기 및 배관의 수압 및 기압 시험에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “압력시험 (Pressure test)”이라 함은 압력용기, 가스실린더, 배관, 보일러 등이 사용 중의 압력에 충분히 견딜 수 있는지 여부를 알기 위한 목적으로 실시하는 시험을 말하며 시험유체에 따라 액체를 사용하는 수압시험 (Hydrostatic test)과 기체를 사용하는 기압시험 (Pneumatic test)로 구분한다.

(나) “기밀시험 (Leak test)”이라 함은 누출의 존재라든가 누출부분 또는 누출량을 검출하기 위한 목적으로 실시하는 시험을 말한다.

(다) “압력용기 (Pressure vessel)”라 함은 용기의 내면 또는 외면에서 유체의 압력을 받는 밀폐된 용기를 말한다.

(라) “설계압력 (Design pressure)”이라 함은 용기 등의 최소 허용두께 또는 용기의 여러 부분의 물리적인 특성을 결정하기 위하여 설계 시에 사용되는 압력을 말한다.

(마) “설계온도 (Design temperature)”라 함은 설계압력을 결정할 때 설계압력에 부합되는 사용조건으로부터 정해지는 온도를 말한다.

(사) “최대허용사용압력 (Maximum allowable working pressure, MAWP)”이라 함은 용기의 제작에 사용된 재질의 두께(부식여유 제외)를 기준으로 하여 산출된 용기상부에서의 허용 가능한 최고의 압력을 말한다.

(아) “호칭압력 (Pressure rating)”이라 함은 플랜지의 압력등급을 나타내기 위하여 사용하는 수치를 말한다.

(자) “공칭지름”이라 함은 플랜지의 크기를 나타내기 위하여 사용하는 수치를 말한다.

(차) “최소설계금속온도 (Minimum design metal temperature, MDMT)”라 함은 압력용기 설계온도의 하나로써 취급유체와 용기 운전온도범위에 따라 사용자 또는 설계자에 의해 결정되며, 일반적으로 저온취성 및 샤르피 충격시험 요구조건에 따라 허용되는 금속 재질상의 최저온도 이상 최저운전온도 이하의 값을 가진다.

(카) “복합용기 (Combination unit)”라 함은 운전온도와 압력이 서로 같거나 다른 하나 이상의 독립적인 압력실로 구성된 압력용기를 말한다.

(타) “공통부재 (Common element)”라 함은 복합용기에서 각각의 압력실을 분리하는 부품을 말하며, 예로 열교환기 관판 (Tubesheet)이 이에 속한다.

(2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 주요 물질의 경우를 제외하고는「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 정의하는 바에 의한다.

4. 일반사항

압력시험은 수압시험으로 실시하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 아래의 경우는 기압시험을 할 수 있다.

(1) 물을 구하기가 현저하게 어려운 경우

(2) 수압시험 후 물을 완전히 제거할 수 없는 경우

(3) 용기 또는 배관에 가득 채운 물의 무게로 인해 용기, 배관 또는 그 지지구조에 과다한 응력이 발생할 경우

(4) 용기 또는 배관에 가득 채운 물로 인해 용기 및 배관 라이닝에 손상이 발생할 경우

(5) 수압시험을 실시할 경우 재질상 문제가 발생하거나 완전히 제거되지 않은 물로 인해 공정운전에 지장을 초래하는 경우

4.1 시험 유체

(1) 수압시험에 사용되는 유체는 아래사항을 만족하여야 한다.

(가) 수돗물, 정제수, 소방용수, 보일러수 등 독성이 없는 액체를 사용하여야 한다.

(나) 오스테나이트계 스테인리스강 재질의 용기 및 배관인 경우 염소이온 농도가 50ppm 미만인 물을 사용하여야 한다.

(다) 수압시험 유체로 해수(Sea water)를 사용하여서는 아니 된다.

(라) 동파방지를 위해 글리콜수용액을 사용하는 경우 사용 후 처리방안을 마련하여야 한다.

(2) 기압시험에는 공기, 질소, 헬륨, 아르곤 등 독성 및 인화성이 없는 불활성 기체를 사용하여야 한다.

4.2. 시험 압력

4.2.1 수압시험

화학설비 및 부속설비는 다음의 구분에 따른 압력으로 수압시험을 실시하여야 한다.

(1) 압력용기

(가) 강제 또는 비철금속제 압력용기는 최고허용압력(또는 설계압력)에 1.3을 곱한 후 온도 보정을 한 압력

$$P_a = 1.3 \times P \times \frac{\sigma_n}{\sigma_a}$$

여기에서 P_a : 온도보정 후 수압시험압력(㎫)
P : 최고허용압력(또는 설계압력)(㎫)
σ_n : 수압시험 온도에서 재료의 허용인장응력(㎫)
σ_a : 설계온도에서 재료의 허용인장응력(㎫)

(나) 최고허용압력(또는 설계압력)이 200 ㎪ 이상인 주철제 압력용기는 최고허용압력의 2배 압력

(다) 최고허용압력(또는 설계압력)이 200 ㎪ 미만인 주철제 압력용기는 최고허용압력의 2.5배 압력. 단, 시험압력이 400 ㎪을 초과하여서는 아니 된다.

(라) 유리 라이닝된 압력용기는 최고허용압력(또는 설계압력)

(마) 열교환기 등의 복합용기는 다음 중 하나의 방법으로 수압시험을 하여야 한다.

① 복합용기의 공통부재가 각 압력실의 최대허용압력 중 높은 값보다 더 큰 차압으로 설계되는 경우, 4.2.1(1)항과 같이 설계차압에 온도 보정을 한 압력으로 수압시험을 실시하여야 한다.

예) 동체측 설계압력이 0.5 ㎫이고 튜브측 설계압력이 완전 진공

(Full vacuum)인 열교환기의 시험압력은 0.6㎫에 온도 보정을 한 압력이어야 함.

② 복합용기의 각 압력실이 시운전, 운전 및 정지 중에 발생할 수 있는 최대차압으로 설계된 공통부재가 있고 압력실 간 차압이 각 압력실 중 높은 압력 미만일 경우, 4.2.1 (1)항과 같이 설계차압의 1.3배에 온도 보정을 한 압력으로 수압시험을 실시하여야 한다.

예) 동체측 설계압력이 0.5㎫이고 튜브측 설계압력이 1.0㎫인 열교환기의 시험압력은 0.65㎫{=1.3×(1.0-0.5)}에 온도 보정을 한 압력이어야 함.

(바) 완전진공(Full vacuum)또는 부분 진공의 용도만으로 설계된 압력용기는 최소 설계 내부 절대압력과 표준대기압과의 차에 1.3배 이상의 압력으로 수압시험을 실시하여야 하며, 수압시험이 곤란할 경우에는 기압시험을 실시한다.

(2) 배관

(가) 설계압력의 1.5배 이하

(나) 설계온도가 시험온도보다 높은 경우, 내부 설계압력(게이지압력)에 1.5를 곱한 후 온도 보정을 한 압력

$$P_a = 1.5 \times P_d \times \frac{\sigma_n}{\sigma_a}$$

여기에서 P_a : 온도보정 후 수압시험압력 (㎫)

P_d : 내부 설계압력 (㎫)

σ_n : 수압시험 온도에서 재료의 허용인장응력 (㎫)

σ_a : 설계온도에서 재료의 허용인장응력 (㎫)

단, 설계 및 시험온도에 따른 허용인장응력비는 6.5를 초과하여서는 아니 된다.

(다) 외압을 받는 배관은 내압과 외압의 차에 1.5배의 압력으로 수압시험을 실시하여야 한다. 단, 산정된 시험압력은 105㎪ 이상이어야 한다.

(라) 자켓이 부착된 배관은 내·외부 설계압력 중 큰 압력으로 수압시험을 실시하여야 한다.

4.2.2 기압시험

화학설비 및 부속설비는 다음의 구분에 따른 압력으로 기압시험을 실시하여야 한다.

(1) 압력용기는 최고허용압력(또는 설계압력)에 1.1을 곱한 후 온도보정을 한 압력을 적용한다.

$$P_a = 1.1 \times P \times \frac{\sigma_n}{\sigma_a}$$

여기에서 P_a : 온도보정 후 수압시험압력(MPa)
P : 최고허용압력(또는 설계압력)(MPa)
σ_n : 기압시험 온도에서 재료의 허용인장응력(MPa)
σ_a : 설계온도에서 재료의 허용인장응력(MPa)

(2) 배관은 설계압력의 1.1배 압력을 적용한다.

4.2.3 임의의 중간 시험압력

다음의 경우 4.2.1항 및 4.2.2항에 따른 시험압력 이하의 중간 시험압력을 적용할 수 있다.

(1) 4.2.1항 및 4.2.2항에 따른 시험압력이 시험온도에서 재료의 항복강도를 초과하는 응력을 발생할 경우

(2) 용기 및 배관에 육안으로 구별할 수 있을 정도의 영구적인 변형이 발생할 경우

4.3 시험온도

(1) 시험온도는 취성파괴의 위험을 고려하여야 하며 최소 4℃이상 유지하여야 하고 최저설계금속온도보다 17℃이상 높게 유지하는 것이 바람직하다.

(2) 용기 또는 배관 내부의 시험유체 온도와 내압시험온도가 동일하게 된 후 내압시험 압력을 가하여야 한다.

(3) 시험온도는 15 ℃이상 48 ℃이하로 유지하여야 하며 시험온도가 48 ℃를 초과할 경우 내압시험을 한시적으로 지연하는 것이 바람직하다.

5. 압력시험 방법

5.1 시험 준비

(1) 압력계는 내압시험을 하는 배관 등의 내부압력을 항상 확인할 수 있도록 작업자가 보기 쉬운 장소에 최소한 2개 이상 설치하여야 한다.

(2) 압력계는 최대눈금이 시험압력의 1.5배 이상 4배 이하의 것으로 설치하여야 하며, 표준 정하중 시험기, 교정 마스터 게이지 또는 수은주와 비교하여 교정해야 하고, 참조규격 또는 규격서에서 다르게 규정하지 않는 한 게이지는 최소한 1년에 한 번은 재교정해야 한다.

(3) 압력용기 및 배관의 모든 연결부위의 보온재를 제거하여야 하며, 급성 독성물질을 취급하는 용기를 제외한 압력용기는 내·외부를 도색 및 코팅 또는 라이닝 할 수 있다. 그러나 시험 전에 실시한 도색, 코팅, 라이닝으로 인해 압력시험 중 누출을 감지할 수 없을 경우를 고려할 필요가 있다.

(4) 지하매설 배관은 지상배관보다 먼저 시험을 실시하고 매립한다.

(5) 가스 및 증기 취급배관에는 시험유체의 하중을 지지하기 위해 임시 지지대를 설치할 수 있다.

(6) 균형추식 배관 지지대(Counterweight piping support)는 시험유체의 하중을 지지하기 위해 임시 고정하여야 한다.

(7) 스프링행거(Spring hanger)는 시험유체의 하중을 지지할 수 있도록 멈춤장치를 작동시켜야 하며, 멈춤장치를 사용할 수 없는 경우 임시 지지대를 설치하여야 한다.

(8) 신축이음(Expansion joint)이 설치된 배관은 신축이음 설계압력의 150%까지 압력시험을 실시하여야 하며, 시험압력이 설계압력의 150%를 초과하는 경우 앵커(Anchor), 가이드(Guide), 기타 구속물(Restraint)을 설치하거나 신축이음을 제거한 후 압력시험을 실시하여야 한다.

(9) 역지밸브(Check valve)가 설치된 배관의 경우 밸브 전단에서 시험유체를 투입하고 가압하여야 하며, 이것이 불가능할 경우 밸브를 제거한다.

(10) 계장배관의 차단밸브는 견고히 닫아두어야 한다.

(11) 안전밸브 및 파열판은 입·출구측 플랜지에 맹판(Blind flange)을 설치하거나 시험 대상 압력용기 또는 배관으로부터 분리하여야 한다.

(12) 제어밸브(Control valve)를 압력시험 대상범위에 포함하여서는 아니 되며, 바이패스 배관이 있을 경우 압력시험은 바이패스 배관으로 실시하여야 한다. 필요시 제어밸브를 대신하여 임시 배관을 설치하여야 한다.

(13) 시험유체 투입 및 배출을 방해하는 오리피스는 모두 제거하여야 한다.

(14) 동절기에 수압시험을 실시하는 경우 배관 또는 시험유체를 예열하는 등 동파방지 조치를 실시하여야 한다.

(15) 모래, 먼지 등 불순물 유입이 우려될 경우 필터 또는 스트레이너를 시험 대상 배관계 내에 설치하여야 한다.

(16) 펌프, 압축기, 터빈은 연결배관과 분리하거나 맹판 등으로 격리하여야 한다.

(17) 배관을 격리하는 경우에는 연결부위 플랜지에 맹판을 설치하여야 하며, 밸브본체 및 시트가 시험압력을 수용할 수 있으면 차단밸브로 격리할 수 있다. 맹판에 대한 기준은 아래와 같다.

(가) 적정한 맹판 설치를 위한 플랜지의 호칭압력 및 사용하는 재질그룹별 온도에 따른 플랜지의 압력등급(Pressure temperature rating)은 KOSHA GUIDE D-9, “플랜지 및 개스킷 접합부에 관한 기술지침” 에 따른다.

(나) 맹판의 외경, 두께 및 체결해야 하는 볼트의 개수는 〈부록 1〉에 따른다.

(다) 플랜지가 한국산업표준(KS)에 따라 제작된 것은 압력등급을 KS B 1501, "철강제 관 플랜지의 압력단계"에 따라 설치하며, 맹판의 외경, 두께 및 체결볼트 개수는 KS B 1511 , "철강제 관 플랜지의 기본치수"에 따른다.

(18) 압력용기와 연결된 배관의 시험압력이 용기의 시험압력 이하인 경우 용기의 시험압력을 적용하여 압력시험을 함께 실시하고, 용기의 시험압력을 초과할 경우 배관을 용기와 분리하거나 격리하여 별도로 압력시험을 실시하여야 한다. 단, 용기로부터 배관을 분리하거나 격리할 수 없는 경우에는 용기의 시험압력을 적용한다.

(19) 수압시험 시 용기 및 배관의 최상부에는 충수할 때 공기 포켓(Air pocket)을 제거하기 위해 벤트밸브(배출구)를 설치하고 공기를 방출한다.

(20) 수압시험 중 용기의 온도가 상승하게 되는 경우를 대비하여 시험압력의 1.3배 압력으로 설정된 액체배출용 릴리프밸브를 설치하는 것이 바람직하다.

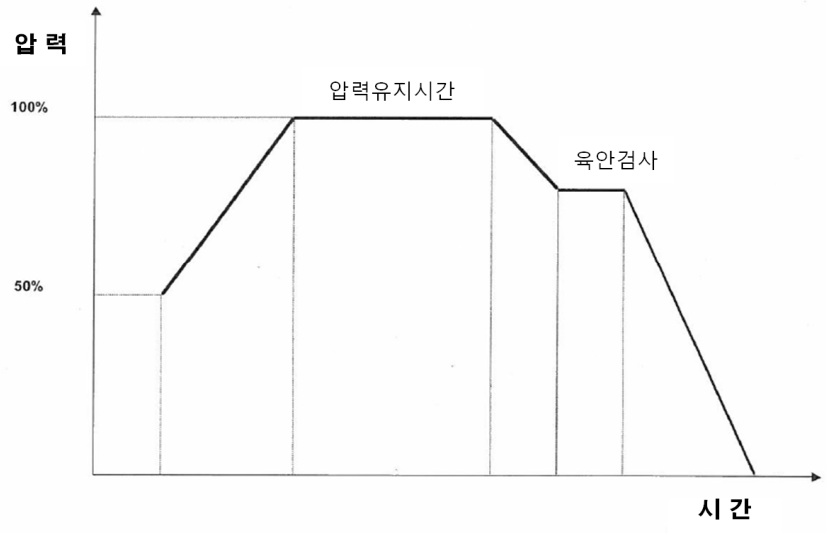
(21) 기압시험 시에는 345 ㎪ 또는 시험압력의 10 % 중 작은 값을 시험압력에 더한 압력으로 설정된 안전밸브를 설치하여야 한다.

(22) 용접이음이 있는 압력용기 및 배관에 기압시험을 할 경우에는 시험 전에 용접부 전 길이에 대해 비파괴 검사를 하여야 한다.

5.2 시험 실시

(1) 수압시험 시 시험대상 설비 내에 물을 채우고 벤트밸브를 통해 물이 완전히 채워진 것을 확인한 후 가압펌프(수압시험기)로 물을 압입시켜 시험압력까지 승압시킨다.

(2) 기압시험 시 압력은 시험압력의 50 %까지 서서히 승압시키고 이상이 없는 것을 확인한 이후에는 시험압력의 10 %씩 단계적으로 승압시키고, 그때마다 안전한 위치에서 이상 유무를 감시하면서 시험 압력에 도달할 때까지 승압시킨다. 압력시험 선도는 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 압력시험 선도

(3) 압력유지 시간은 내압시험 압력까지 상승시킨 후 압력이 안정된 후에 최소 10분 이상 유지한 후 누출 및 변형 등의 이상 유무를 확인하여야 한다.

(4) 열교환기 등의 복합용기의 각 압력실은 별개의 압력용기로 고려하여 시험을 실시하며, 한쪽 실에 수압시험을 할 때에는 다른 쪽 실은 대기압상태로 비워 둔다. 단, 복합용기의 각 압력실이 시운전, 운전 및 정지 중에 발생할 수 있는 최대차압으로 설계된 공통부재가 있고 압력실 간 차압이 각 압력실 중 높은 압력 미만일 경우에는 각 압력실들을 동시에 수압시험 하여야 한다.

(5) 압력유지 시간 중 모든 연결부위와 접속부위에 대해 육안검사를 실시하여야 하며, 기압시험 중에는 거품용액을 사용하여 육안검사를 실시한다. 거품용액에 대한 세부사항은 KOSHA GUIDE M-150, “불활성기체 등을 이용한 기밀시험방법에 관한 기술지침” 을 따른다.

(6) 압력시험 중에 이상 징후가 확인된 경우는 즉시 감압시키고 이상을 조치한 후에 시험을 재실시하여야 한다.

(7) 기압시험 중 승압 및 압력유지 시간에는 시험대상 설비외면으로부터 최소 10 m 이상 이격된 지점에 펜스 및 접근금지 표지를 설치하고 시험 관계자 외의 접근을 금지시키고 최소인원으로만 기압시험을 수행하여야 한다.

5.3 시험 종료

(1) 수압시험 종료 후 배수는 잔류된 시험유체가 없도록 완전히 배수하고 건조된 공기나 질소를 투입하여 시험유체를 제거하여야 한다.

(가) 역지밸브 후단의 배관계는 완전히 배수되었는지 확인한다.

(나) 압력시험 동안 닫혀있던 모든 밸브를 열고 본체 내부의 시험유체를 제거한다.

(다) 배수할 때 장치 내 부압 또는 진공방지를 위해 공기배출구를 개방한다.

(2) 기압시험 종료 후 음압 또는 진공이 발생하지 않도록 서서히 감압하여야 한다. 또한 시험유체를 대기에 방출하는 경우에는 밸브, 배관 등에 과냉각이 발생하지 않도록 감압속도를 제어하여야 한다.

(3) 압력시험 후 내압부의 주요부분에 보수용접을 한 경우에는 시험을 재실시하여야 한다.

(4) 압력시험 전 분리하였던 밸브, 오리피스, 신축이음은 적절한 개스킷과 함께 원래의 위치에 설치하여야 한다.

(5) 배관에 설치된 임시 지지대는 제거하고 스프링행거 멈춤장치는 해지한다.

(6) 압력시험 중 용기 또는 배관을 분리하거나 격리하기 위해 설치한 맹판은 모두 제거한다.

(7) 압력시험을 위해 임시로 설치한 플랜지 접속부위 볼트와 개스킷은 설계 호칭압력 및 온도에 적합한 것으로 교체한다.

6. 기록 관리

(1) 시험기간 중 시험과 관련한 모든 사항을 기록하여 보관하여야 한다.

(2) 시험내용 기록에는 다음의 사항을 포함하여야 한다.

(가) 시험일시

(나) 시험대상 범위

(다) 시험유체의 종류 및 온도

(라) 시험압력

(마) 최소 대기온도(Ambient temperature)

(바) 시험 책임자 및 입회자

<부록 1>

호칭압력에 따른 맹판 설치기준

단위: mm

호칭압력	Class 150			Class 300			Class 400			Class 600			Class 900			Class 1500			Class 2500		
공칭지름 (NPS)	외 경	두 께	볼트수	외 경	두 께	볼트수	외 경	두 께	볼트수	외 경	두 께	볼트수	외 경	두 께	볼트수	외 경	두 께	볼트수	외 경	두 께	볼트수
$\frac{1}{2}$	90	9.6	4	95	12.7	4	95	14.3	4	95	14.3	4	120	22.3	4	120	22.3	4	135	30.2	4
$\frac{3}{4}$	100	11.2	4	115	14.3	4	115	15.9	4	115	15.9	4	130	25.4	4	130	25.4	4	140	31.8	4
1	110	12.7	4	125	15.9	4	125	17.5	4	125	17.5	4	150	28.6	4	150	28.6	4	160	35.0	4
$1\frac{1}{4}$	115	14.3	4	135	17.5	4	135	20.7	4	135	20.7	4	160	28.6	4	160	28.6	4	185	38.1	4
$1\frac{1}{2}$	125	15.9	4	155	19.1	4	155	22.3	4	155	22.3	4	180	31.8	4	180	31.8	4	205	44.5	4
2	150	17.5	4	165	20.7	8	165	25.4	8	165	25.4	8	215	38.1	8	215	38.1	8	235	50.9	8
$2\frac{1}{2}$	180	20.7	4	190	23.9	8	190	28.6	8	190	28.6	8	245	41.3	8	245	41.3	8	265	57.2	8
3	190	22.3	4	210	27.0	8	210	31.8	8	210	31.8	8	240	38.1	8	265	47.7	8	305	66.7	8
$3\frac{1}{2}$	215	22.3	8	230	28.6	8	230	35.0	8	230	35.0	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	230	22.3	8	255	30.2	8	255	35.0	8	275	38.1	8	290	44.5	8	310	54.0	8	355	76.2	8
5	255	22.3	8	280	33.4	8	280	38.1	8	330	44.5	8	350	50.8	8	375	73.1	8	420	92.1	8
6	280	23.9	8	320	35.0	12	320	41.3	12	355	47.7	12	380	55.6	12	395	82.6	12	485	108.0	8
8	345	27.0	8	380	39.7	12	380	47.7	12	420	55.6	12	470	63.5	12	485	92.1	12	550	127.0	12
10	405	28.6	12	445	46.1	16	445	54.0	16	510	63.5	16	545	69.9	16	585	108.0	12	675	165.1	12
12	485	30.2	12	520	49.3	16	520	57.2	16	560	66.7	20	610	79.4	20	675	123.9	16	760	184.2	12
14	535	33.4	12	585	52.4	20	585	60.4	20	605	69.9	20	640	85.8	20	750	133.4	16	-	-	-
16	595	35.0	16	650	55.6	20	650	63.5	20	685	76.2	20	705	88.9	20	825	146.1	16	-	-	-
18	635	38.1	16	710	58.8	24	710	66.7	24	745	82.6	20	785	101.6	20	915	162.0	16	-	-	-
20	700	41.3	20	775	62.0	24	775	69.9	24	815	88.9	24	855	108.0	20	985	177.8	16	-	-	-
24	815	46.1	20	915	68.3	24	915	76.2	24	940	101.6	24	1,040	139.7	20	1,170	203.2	16	-	-	-