

미국 유리섬유 복합관 설계 매뉴얼 소개 (V)

Introduction of American Fiberglass Pipe Design Manual (V)



윤순종(Soon-Jong Yoon) 회장 | 홍익대학교 토목공학과 | 교수 | sjyoon@hongik.ac.kr
 지효선(Hyo-Seon Ji) 부회장 | 대원대학교 철도건설공학과 | 부교수 | hsj@mail.daewon.ac.kr

1. 서론

유리섬유 복합관(Fiberglass Pipe)은 경량성, 내구성, 고강도, 내부식성 및 내마모성의 장점을 가지고 있다. 최근에 이러한 재료의 장점을 살려서 국내에서도 유리섬유 복합관을 사용하여 노후 하수관 개량공사에 적용하는 사례가 급격히 증가되고 있다. 국내에서는 유리섬유 복합관에 대한 설계기준 및 공사 시방서가 아직까지 제정되지 않은 실정이다. 현장에서는 주로 유리섬유 복합관 제작사로부터 제공된 공사시방서를 기준으로 시공을 하고 있다. 이 공사시방서도 유리섬유 복합관의 재료적 특성을 기술하면서 주로 기존 콘크리트 하수관에 적용된 일반적인 내용을 주로 포함하고 있다.

본 기사에서는 국내 유리섬유 복합관 관련 설계 및 시공 기술자에게 유리섬유 복합관 설계, 제작, 시공의 각 단계에 대한 정보를 제공하기 위하여 미국 상하수도협회(American Water Works Association; AWWA M45) 에서 제정된 ‘유리섬유 복합관 설계 매뉴얼(Fiberglass Pipe Design Manual, 2nd Edition)’ 에 대해서 연속기사로 일정

한 분량으로 나누어서 소개하고자 한다. 본 매뉴얼은 총 10장으로 구성되어 있다(표 1 참조).

표 1. 유리섬유 복합관 설계 매뉴얼의 목차

제1장	유리섬유 복합관 역사와 적용
제2장	유리섬유 복합관의 재료 및 물성 특성
제3장	유리섬유 복합관의 제조공법
제4장	유리섬유 복합관 수리계산
제5장	유리섬유 복합관 지중매설설계
제6장	유리섬유 복합관 지하설치 지침
제7장	유리섬유 복합관 스트리트 블록
제8장	유리섬유 복합관 설계 및 시공
제9장	접합방식 및 이음장치
제10장	운반, 취급, 보관 및 보수
부록	용어해설

2. 유리섬유 복합관 설계매뉴얼 소개

제6장 유리섬유복합관 지하설치 지침

6.1 개요

다른 거의 모든 매설 파이프와 마찬가지로, 유리섬유복합관 구조 설계 및 설치 설계는 서로 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 제 5 장에서 언급한 구조 설계 절차는 주변 토양이 파이프를 지지한다는 가정하에 기술된 것이며, 이 가정사항은 설치 절차에도 동일하게 적용된다. 이번 장의 지침은 일반적인 토양 조건에 유리섬유복합관을 매설하는 절차에 대한 것이다. 트렌치 형성, 파이프 배치, 파이프 연결, 되메우기 및 다짐 그리고 변형 정도 모니터링과 관련된 권고사항을 포함하고 있다.

ANSI/AWWA 표준 C950은 1인치부터 12피트에 이르는 직경, 9 psi에서 72 psi(62 kPa에서 496 kPa)에 이르는 파이프 강성, 최대 250 psi(1,724 kPa)에 이르는 내부 압력 등 광범위한 제품 변수의 파이프들을 포함한다. 설계인력 및 설치인력은 현장에서 발생할 수 있는 모든 가능성, 즉 파이프, 토양 종류 및 지표 조건의 모든 조합이 이번 장에 모두 포함되어 있지 않는다는 사실을 유념하기 바란다. 이번 장의 권고사항은 설치 조건의 필요에 따라서 수정 또는 확장될 수 있다. 6.9 절에는 프로젝트 및 지역적 조건에 영향을 받을 수 있는 영역에 대한 목록을 포함하고 있으며, 해당 영역에 대한 사양을 준비할 경우 이번 장에서 언급된 내용의 수정 또는 확장을 고려해야 한다. 유리섬유복합관의 수중 설치에 대한 지침은 다루지 않는다.

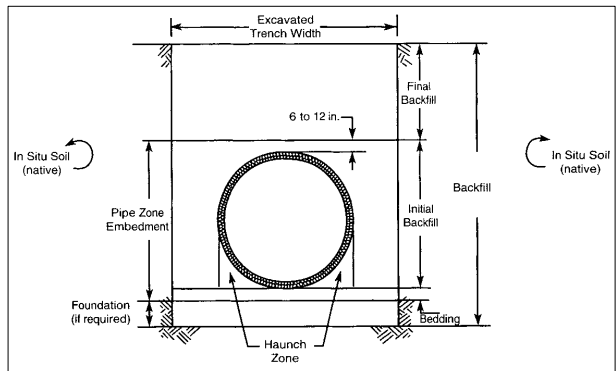
이 지침은 유리섬유복합관 매설 작업과 관련된 설계자, 사양결정자, 제조자, 설치 도급자, 관리 기관, 소유자 및 검사 기관을 위한 것이다.

6.2 용어

이번 장에서 사용하는 용어들은 별도의 언급이 없는 한 ASTM 표준 F412, D8, D653 및 D883을 따른다. 다음 용어들은 본 설명서에만 국한된다.

베딩(bedding). 평평한 재료위에 파이프를 위치시키기 위해 터파기 하부 또는 기초위에 충전하는 되메우기 재료, 헌치메우기(haunch zone)의 일부를 포함할 수도 있고 포함하지 않을 수도 있다(그림 6-1 참조).

다짐. 토양을 고밀도 및 고강성으로 다짐하는데 용이한 정도. 석분(분쇄된 바위)는 약간의 다짐 에너지로도 고밀도 및 고강성을 얻을 수 있기 때문에 고 압밀도를 가진다고 할 수 있다.



Reprint with permission from the Annual Book of ASTM Standards, Copyright ASTM, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428-29593

Figure 6-1 Trench cross-section terminology

변형. 시공 및 가해진 부하로 인한 파이프 직경의 변화량. 변형은 수직 또는 수평으로 측정되며 초기 직경 대비 백분율로 표시된다.

엔지니어. 작업 책임 엔지니어 또는 인정 또는 승인된 대표자

최종 되메우기. 초기 되메우기 상단부터 지표까지 충전되는 되메우기 재료

기초. 터파기 바닥이 파이프 매설에 적합하지 않을 경우 터파기 바닥을 평평하게 만들기 위해서 터파기 바닥에 충전하고 다진 되메우기 재료

토목섬유(Geotextile). 투수성(透水性)의 직물 재료로 기초, 자연상태의 토양, 바위, 토질(土質)재료와 함께 합성 제품, 구조 및 시스템의 일부로 사용된다.

현칭. 베딩의 상단과 파이프의 스피링라인 사이에 충전되는 파이프 바로 아래쪽에 있는 토양.(그림 6-1 참조).

초기 되메우기. 현칭을 포함해 파이프 측면과 최대 6인치에서 12인치(150mm에서 300mm)의 높이로 파이프 상단에 충전되는 되메우기(그림 6-1 참조).

인조 골재. 슬래그와 같이 제조 과정에서 생긴 제품 또는 부산물인 골재 또는 분쇄등의 제조 과정을 통해 최종 형태를 갖추게된 자연 골재

최대 표준 Proctor 밀도. ASTM D698의 표준 방법에 따라 최적의 수분 함유 상태에서 압밀된 토양의 최대 건조 밀도

자연(현장) 토양. 파이프 설치를 위해 굴착한 터파기에서 나온 자연 토양 또는 파이프 및 제방에(embankment) 놓이게 될 토양

개방(open-graded) 골재. 다짐시 골재 입자사이의 빈 공간의 크기가 비교적 큰 입자 크기 분포를 가지는 골재. 빈 공간은 해당 재료 전체 부피에 대한 백분율로 표시된다.

최적 수분 함유량. 표준 다짐 방법(ASTM D698 참조) 적용을 통해 최대 밀도가 얻어졌을 때의 토양 수분 함유량

파이프 존 매설. 베딩, 혼칭 및 초기 되메우기를 포함한 파이프 주변의 모든 되메우기

처리(processed) 골재. 선별, 세척 및 혼합 작업을 통해 특정 입자 크기 분포를 구현한 골재

상대 밀도. ASTM D4253 및 D4254에 준한 시험기관 시험을 통해 얻은 가장 조밀한 상태의 토양 및 가장 고밀도 상태의 토양 대비 실제 토양 밀도에 기초한 여포성(滲胞性) 토양의 밀도(정확한 정의는 ASTM D653 참조)

토양 강성. 주어진 부하에서 발생하는 상대적 변

형 정도를 나타내는 것으로서, 대개 변형 계수 수치로 표시되는 토양의 성질

분리 시공. 초기 되메우기가 서로 다른 두 가지 재료로 구성되거나 서로 다른 두 가지 밀도로 구성될 경우를 일컫는다. 베딩 상단에서 적어도 파이프 직경의 0.5배에 해당하는 깊이까지 이르는 되메우기를 주(primary) 초기 되메우기라고 하고, 주 측 되메우기 상단에서 초기 되메우기의 상단까지의 되메우기를 2차 초기되메우기라고 한다.

6.3 현장(in situ) 토양

공사전에 현장 조건을 이해하는 일은 적절한 사양 및 공사 계획을 준비하는데 매우 중요한 일이다. ASTM D2487 및 D2488에 따른 토양 분류는 현장 조건을 이해하는데 매우 유용하다. 표준 침투력(penetration) 테스트와 같은 다른 테스트들도 토양 강성을 결정하는데 유용하다. 터파기 형상등 실제 시공 조건에 따라 현장 토양 조건은 파이프 설계에 큰 영향을 줄 수도 있다. 이에 자세한 내용은 제 5 장을 참조한다.

지하수 조건을 고려할 때에는 계절에 따른 지하수 수위의 변화 또한 고려해야 한다. 예를 들면, 토양 조사 프로그램이 8월에 실시되었다면, 4월이나 5월에 비해서 지하수 수위가 상당히 낮을 것이다.

6.4 매설 재료

파이프 매설시 사용되는 토양 종류 또는 굴착 후 토양 종류에 대해서는 표 5-3에 자세히 분류되어 있으며, 자연, 제조 및 처리 골재 또한 이에 해당한다. 토양은 표 6-1에서 볼 수 있듯이 다짐시의 토양 강성에 따라서 “강성 범주(SC: stiffness category)”로 분류된다. 토양 SC1은 다짐율이 토양을 의미하며, 이는 주어진 최대 Proctor 밀도 백분율에서 가장 높은 토양 강성을 보여주는 토양 및 최소의 다짐으로 주어진 토양 강성을 제공하는 토양을 의미

한다. SC다음의 숫자가 커질수록 주어진 최대 Proctor 밀도 백분율에서 상대적으로 낮은 토양 강성을 보여주는 토양 및 주어진 토양 강성을 제공하는데 상대적으로 높은 다짐을 필요로 하는 토양을 의미한다. 토양 강성이 매설 파이프에 미치는 영향에 대해서는 제 5 장을 참조한다.

표 6-2에서 강성 범주 및 터파기내 위치에 따른 시공 및 매설 재료 사용과 관련된 권장내용을 볼 수 있다. 일반적으로, SC1부터 SC4에 해당하는 토양은 별도의 언급이 없는 한 권장내용대로 사용해도 되나 SC5 재료는 파이프 존 매설에 사용해서는 안된다.

6.4.1 토양 강성 구분

토양 강성 범주 1 (SC1). SC1 재료는 모래 및 미세토 함량이 낮아서 주어진 밀도에서 최대의 파이프 지지력을 제공한다. 최소 다짐으로 넓은 수분 함량 범위에서 비교적 높은 토양 강성을 얻을 수 있다. 게다가, SC1의 높은 투수성은 수분 조절 능력을 제공하며, 수분이 많은 곳의 매설에 적합하다. 그러나, 지하수 흐름이 예상되는 경우 SC1 재료의 빈 공간으로 주변의에서 미세토가 흘러들 가능성이 있으므로 이에 대비해야 한다. 되메우기용 토양에 대한 내용은 6.5.2 절을 참조한다.

토양 강성 범주 2 (SC2). SC2 재료는 다짐시 비교적 높은 파이프 지지력을 제공한다. 그러나, 빈 공간을 포함하는 재료의 경우 주변으로부터 미세토가 흘러들 수 있으므로 이에 대비해야 한다.

토양 강성 범주 3 (SC3). SC3 재료는 주어진 밀도에서 SC1 및 SC2보다는 비교적 낮은 지지력을 제공한다. 높은 수준의 다짐이 필요하며 수분 함량도 조절되어야 한다. 일단 적절한 밀도가 형성되고 나면 적절한 수준의 파이프 지지력을 제공한다.

토양 강성 범주 4 (SC4). SC4 재료는 사용하기 전 지질공학적 평가가 요구된다. 다짐노력을 최소

화하고 필요한 밀도를 얻기 위해서는 수분 함량을 최적의 상태로 조절해야 한다. 적절히 배치하고 다짐할 경우 SC4 재료도 적절한 수준의 파이프 지지력을 제공할 수는 있으나, 매설 깊이가 깊은 경우, 지표상의 활[동]하중 또는 고에너지 진동다짐기 또는 탬퍼 사용에는 적합하지 않다. 터파기내 수분 조건이 적절한 배치 및 다짐에 방해가 되는 경우 절대 사용해서는 안된다.

Table 6-1 Soil stiffness categories

Soil Group	Soil Stiffness Category ^{*,†}
Crushed rock and gravel with <15% sand ≤ 5% fines	SC1
GW, GP, SW, SP, dual symbol soils containing one of these designations such as GW-GC containing 12% fines or less	SC2
GM, GC, SM, SC with more than 12% fines; and ML, CL, or borderline soils beginning with one of these designations, such as ML/CL, with 30% or more retained on the No. 200 sieve	SC3
ML, CL, or borderline soil beginning with one of these designations, such as ML/MH, with less than 30% retained on the No. 200 sieve	SC4
CH, MH, OL, OH, PT, CH/MH, and any frozen materials	SC5

^{*}Soil stiffness categories group soil types together as a function of the relative soil stiffness developed when compacted to a given level. At any given level of compaction, SC1 soils provide the highest stiffness and SC5 soils provide the lowest stiffness.

[†]The soil stiffness categories are similar but not identical to the soil classes in ASTM D2922. Reprinted with permission from the Annual Book of ASTM Standards, Copyright ASTM, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19380-2959.

6.4.2 되메우기 토양 사용시 고려사항

되메우기 재료의 수분 함량. 상당량의 미세토를 포함하는 되메우기 재료의 수분 함량은 필요한 수준의 배치 및 다짐을 위해서는 정확히 조절되어야 한다. SC3, SC4 및 몇몇 SC2 토양의 수분 함량은 최적값(ASTM D698)에서 +3% 범위내로 조절한다. 특히 파이프 존에서 필요한 밀도를 실현하지 못할 경우에는 과도한 변형이 발생할 수 있으므로, 필요한 수분 함량을 준수하는 일은 재료를 선택하는데 있어서 매우 중요한 기준이 된다. SC1 및 SC2 재료는 투수성이 뛰어나므로 다짐을 위한 수분 조절 작업은 대부분 필요하지 않다.

최대 입자 크기. 파이프 매설 존의 최대 입자 크기는 1 1/2 인치 (40mm) 크기의 체를 통과하는 재료로만 국한된다. 15인치 (375mm) 이하의 작은 직경을 가지는 파이프의 경우에는 배치 및 파이프 벽 손상을 방지하기 위해 이 보다 작은 크기의 재료를 사용해야 한다. 일반적 규칙에 따르자면 최대

입자의 크기가 파이프 벽 두께의 3배를 초과하지 않아야 한다. 각 파이프 제조업체들은 자신들의 파이프에 대해 최대 입자 크기를 정의하고 있다. 최종 되메우기에 돌 및 자갈등이 섞여 있을 경우, 그림 6-1에서 보는 바와 같이 초기 되메우기 두께가 6인치에서 12인치(150mm에서 300mm)사이가 되는지 확인해야 한다.

Table 6-2. Recommendations for installation and use of soils and aggregates for foundation and pipe zone embedment^a

	SC1	SC2	SC3	SC4
General Recommendations and Restrictions	Acceptable and common where no migration is probable or when combined with a geotextile filter media. Suitable for use as a drainage blanket and underdrain where adjacent materials are suitably graded or when used with a geotextile filter fabric (see Sec. 6.5.2).	Where hydraulic gradient exists, check gradation to minimize migration. Clean groups are suitable for use as drainage blanket and underdrain (see Table 5-3).	Do not use where water conditions in trench prevent proper placement and compaction.	Difficult to achieve required soil stiffness (see Sec. 6.5.1). Do not use where water conditions in trench prevent proper placement and compaction.
Foundation	Suitable for replacing over-excavated and unstable trench bottom as restricted above.	Suitable for replacing over-excavated and unstable trench bottom as restricted above. Install and compact in 12 in. (300 mm) maximum layers.	Suitable for replacing over-excavated trench bottom as restricted above. Install and compact in 6 in. (150 mm) maximum layers.	Not suitable.
Pipe Zone Embedment	Suitable as restricted above. Work material under pipe to provide uniform haunch support.		Suitable as restricted above. Difficult to place and compact in the haunch zone.	
Embedment Compaction ^b	Required density typically achieved by dumped placement. Place and work to ensure all excavated voids and haunch areas are filled. Use vibratory or impact compactors.	Minimum density 85% standard. Proctor. Use hand tampers, vibratory, or impact compactors.	Minimum density 90% standard. Proctor. Use hand tampers or impact compactors. Maintain moisture content near optimum to minimize compactive effort.	Minimum density 95% standard. Proctor. Use hand tampers or impact compactors. Maintain moisture content near optimum to minimize compactive effort.

^aSC5 materials are unsuitable as embedment, but they may be used as final backfill as permitted by the engineer.
^bMinimum density based on achieving an E' of 1,000 psi (6,895 kPa). (See Sec. 6.6.2 and chapter 5.)
 Reprinted with permission from the Annual Book of ASTM Standards, Copyright ASTM, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428-2959.

유입. 빈 공간을 포함하는 재료 주위에 미세토가 존재할 경우 지하수 흐름으로 인한 수압 경사 작용으로 인해 미세한 흙이 빈 공간으로 유입될 수 있다. 적절한 방법이나 펌프를 사용해 물의 수위를 조절하는 공사도중, 또는 투수성 지하배수 재료 또는 되메우기 재료가 지하수 수위가 높을 때 배수 경로로 작용할 경우에는 공사후에도 상당한 수준의 수압 경사가 배관의 터파기내에 발생할 수 있다. 현장 경험에 의하면 이러한 형태의 유입은 막대한 파이프 지지력 손실과 결과적으로 설계 제한치를 초과하는 변형을 발생시킬 수 있다. 이러한 유입을

최소화하기 위해서는 매설 재료의 경사 및 상대적인 크기가 주변 재료와 조화를 이루어야 한다. 일반적으로, 상당량의 지하수 흐름이 예상되는 곳에는 유입을 방지할 수 있는 대책이 마련되지 않은 한 SC1과 같이 빈 공간을 많이 포함하는 재료를 주변의 미세토 상부, 하부 및 근처에 배치하는 일은 삼가해야 한다. 예를 들어, 유입이 예상되는 재료와의 경계면에 적절한 토양 필터 또는 토목섬유 필터를 사용하면 유입을 방지할 수 있다.

다음 필터 등급 기준을 사용하면 수압 경사가 있더라도 미세토가 성긴 재료의 빈공간으로 유입되는 일을 제한할 수 있다.

- $D15/d85 < 5$, 여기서 D15는 성긴 재료를 15% (중량기준) 통과시키는 체눈 크기이며, d85는 고운 재료의 85%(중량기준)를 통과시키는 체눈 크기이다.

- $D50/d50 < 25$, 여기서 D50은 성긴 재료를 50%(중량기준) 통과시키는 체눈 크기이며, d50은 고운 재료의 50%(중량기준)를 통과시키는 체눈 크기이다. 성긴 재료가 잘 정의된 경우 이 기준을 적용할 필요가 없다(ASTM D2487 참조).

고운 재료가 중간 또는 높은 수준의 플라스틱 점토 (CL 또는 CH)일 경우, D15/d85 기준대신 다음 기준을 사용할 수 있다: $D15 < 0.02$ 인치 (0.5mm). 여기서, D15는 성긴 재료를 15%(중량기준) 통과시키는 체눈 크기이다.

둘 중 하나의 재료가 겹 등급인 경우에는 앞에서 언급한 기준을 수정해서 사용할 수 있다. 필터 등급 기준에 기초해서 사용하는 재료는 분리를 최소화하는 방식으로 취급 및 배치되어야 한다.

6.5 터파기 굴착

6.5.1 굴착

어떠한 상황에서도 터파기 측면이 무너지지 않는 범위내에서 터파기를 굴착해야 한다. 안전을 위해서는 지역 및 국가 표준에 따라 지지대를 세우

거나 터파기 벽을 경사지게 만든다. 사용 가능한 장비를 통해 안전하게 관리할 수 있는 크기의 터파기만 굴착한다. 터파기는 작업후 가능한 한 빠른 시간내에 다시 메우는데 각 작업일 종료시점마다 메우기를 권장한다. 굴착해낸 흙은 터파기 벽 붕괴의 위험을 줄이기 위해서 터파기로부터 적정거리 떨어진 위치에 둔다.

물 조절. 파이프를 설치하거나 되메우기전 물을 제거하는 일은 매우 중요하다. 경우에 따라 물이 고여 있거나 물이 흐르는 지역에 파이프를 설치해야 하는 경우가 있는데 이번 장에서는 다루지 않는다. 유거수(流水)나 지표면상의 물이 트렌치로 흘러들어가지 않도록 한다.

지하수. 작업 현장에 지하수가 있다면 현장 토양 및 추가 재료의 안정성을 위해서 물을 제거한다. 수위가 파이프 베딩보다 낮도록 유지한다. 펌프, 웰 포인트(well point), 깊은 구멍, 토목섬유, 천공 암거(暗渠) 또는 충분한 두께의 돌 담요를 사용해서 트렌치내의 물을 제거하고 조절한다. 노출된 트렌치 벽면의 진흙 뒷편으로부터의 붕괴를 방지하기 위해서는 굴착시 지하수 수위가 트렌치 바닥보다 항상 낮아야 한다. 파이프를 확실히 고정시키기 위해서 충분한 백필이 제자리에 채워지고 매설이 완료될 때까지 파이프 설치전, 설치도중 및 설치후까지 트렌치내의 물은 적절히 제어되어야 한다(6.7.3 절 참조). 그리고, 토양 지지력의 손실을 방지하려면 미세토 제거 및 현장 토양내의 빈 공간 생성을 최소화할 수 있는 물 제거 방법을 사용해야 한다.

유수(流水). 트렌치 바닥 및 벽, 기초 및 매설 지역의 다른 부분들의 침식을 방지하기 위해서는 지표 배수로 및 지하수로부터 나오는 유수를 제어한다. 트렌치 바닥을 따라 물이 흐르는 일을 방지하기 위해서는 일정 간격으로 댐이나 차단장치 또는 다른 장애물을 설치한다. 파이프가 설치된 후 파이프 및 매설 현장에 다른 악영향이 발생하지

않도록 가능한 빨리 트렌치를 다시 메운다.

물 제어를 위한 재료. 유수를 구덩이나 배수구로 유도하기 위해서 적절한 경사의 재료를 사용한다. 필요에 따라 유수의 흐름을 돕기 위해서는 적절한 경사의 재료나 천공 암거(暗渠)를 사용한다. 주변 으로부터 미세토가 유입되는 일을 최소화하기 위해서는 적절한 배수 재료를 사용한다(6.5.2 절 참조).

최소 트렌치 폭. 트렌치 벽이 안정되게 지지되고 있다면, 혼칭 및 다른 매설 재료를 적절하고 안전하게 배치 및 압밀할 수 있는 공간이 확보되도록 충분한 폭을 형성한다. 단, 필요이상으로 넓게 하지는 않는다. 파이프와 트렌치 벽사이의 공간은 파이프 존에서 사용할 압밀 장비의 폭보다는 넓어야 한다. 트렌치 바닥의 최소폭은 파이프의 외경에 1.25를 곱한 값에 12인치(305mm)를 더한 값이다. 적절한 지지가 없는 불안정한 트렌치의 경우 파이프의 크기 및 강성, 매설 및 현장 토양의 강성, 그리고 커버의 깊이에 따라 안전한 트렌치의 폭이 달라진다. 특별히 설계된 장비를 사용할 경우에는 위에서 언급한 폭보다 좁은 트렌치 폭에서도 만족스러운 파이프 설치 및 매설이 가능하다. 그러한 장비를 사용하더라도 본 설명서의 요구사항을 일관적으로 충족시킬 수 있을 경우에는 엔지니어의 동의하에 최소 트렌치 폭을 줄일 수 있다.

트렌치 벽 지지. 트렌치 시트, 트렌치 잭 및 트렌치 쉴드 및 박스와 같은 지지물들을 사용할 경우에 파이프 설치 전 과정에 걸쳐서 파이프 매설 관련 지지물이 유지될 수 있도록 해야 한다. 시트 뒤쪽의 트렌치 벽으로부터 물이 새어나오지 않도록 시트를 서로 단단히 고정시켜야 한다. 시트 적용이 까다로운 육교, 기존 시설 및 다른 장애물 아래에 위치하는 트렌치 벽에 대해서는 튼튼한 지지물을 사용한다.

현장에 그대로 두어야 할 지지물. 엔지니어가 별도로 지시하지 않는 한 파이프 존에 사용된 시트는 기초 및 매설 재료의 유실을 방지하기 위해서 공사

종료후에도 현장에 그대로 두어야 한다. 시트의 상단부를 잘라내야 할 경우 파이프 크라운보다 1.5ft(0.5m) 높은 위치에서 자른다. 파이프 존 근처의 잘린 시트 및 트렌치 벽을 지지하는데 필요하다면 웰러 및 받침대도 그대로 둔다. 현장에 남겨지는 목재 시트는 구조의 영구 부분으로 취급해서 필요에 따라 생물학적 처리 또는 지하수 위에 설치된다면 부식에 대비한 처리를 수행한다(벌레나 다른 생물학적 개체의 공격으로부터 보호). 어떤 보존재 또는 보호재는 환경 오염 물질이라는 사실에 유념하자. 사용가능한 약품에 대한 내용은 본 설명서에서 다루지 않는다.

이동식 트렌치 벽 지지물. 이동식 트렌치 박스 및 실드를 사용할 경우 설치된 파이프 및 매설 상태를 건드리지 않도록 주의한다. 매설 재료의 무결성을 보장하지 않는 한 파이프 매설 존 상단부의 아래쪽에서는 이동식 지지대를 사용할 수 없다. 지지대를 이동시키기 전에는 매설 재료를 충분한 깊이까지 삽입한 다음 압밀하는 방법으로 파이프를 보호해야 한다. 지지대를 이동시킨 다음 나머지 재료 삽입 및 압밀을 통해서 나머지 매설 작업을 완료한다.

트렌치 벽 지지물 제거. 엔지니어가 파이프 존에 시트 및 다른 트렌치 벽 지지물들을 사용하도록 허용한 경우, 해당 지지물을 제거할 때는 파이프, 기초 및 매설 재료가 손상되지 않도록 주의한다. 지지물을 제거하고 난 빈 자리를 메우고 필요한 밀도를 얻을 수 있을 때까지 압밀 작업을 수행한다. 백필 작업 수행 단계에서 트렌치 벽 지지물을 동시에 제거할 것을 권장하는 바이다.

6.5.2 트렌치 바닥

엔지니어가 지시한 대로 트렌치를 굴착한다. 기초 및 베딩 설치에 대한 지침은 6.7.1 절에 나와 있다.

파이프 하단의 위치보다 적어도 4인치(100mm) 더 깊게 트렌치를 굴착한다. 트렌치 바닥에 1.5인

치(40mm)보다 큰 암봉(岩棚), 바위, 경반(硬盤) 및 다른 단단한 물체 또는 자갈, 잡석, 파편 및 표석(漂石)등이 존재하면 파이프 하단의 위치보다 적어도 6인치(150mm) 더 깊게 트렌치를 굴착하거나 엔지니어의 지시를 따른다.

트렌치 바닥이 불안정하거나 너무 무르다면 엔지니어의 지시에 따라 더 깊이 굴착한다.

특정 파이프 존 매설 재료의 기준을 모두 만족한다면 원래 토양을 베딩 및 초기 백필용으로 사용할 수 있다. 트렌치 형성 방법은 6.7.1 절에 나와 있다.

6.6 파이프 설치

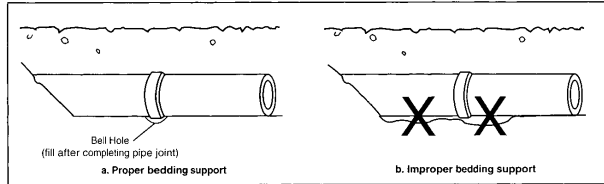
6.5.1 절 및 표 5-3에 분류되어 있는 다양한 종류의 재료들을 기초, 베딩, 혼칭 및 백필로 사용하는데 대한 권고사항은 표 6-2에 나와 있다. 빌딩 기초, 매립지 또는 다른 매우 불안정한 토양과 같이 상당한 침하가 예상되는 지역에 파이프를 설치할 경우에는 특별한 엔지니어링 작업이 필요한데 본 설명서에서는 다루지 않는다.

6.6.1 트렌치 형성

기초 및 베딩. 트렌치 바닥의 상태를 고려해 엔지니어가 지시하는대로 기초 및 베딩을 설치한다. 파이프 동부(胴部)와 조인트등 돌출된 부분을 위한 단단하고 안정적인면서 균일한 베딩을 조성한다(그림 6-2 참조). 별도의 언급이 없는 한 파이프 동부 아래에는 최소 4인치(100mm)의 베딩을 형성하고 확장 벨등 다른 부분에 대해서는 최소 3인치(75mm)의 베딩을 형성한다.

베딩 재료. 일반적으로 베딩 재료는 적절한 순차적 변화와 파이프 지지를 위해서 별도로 준비한 재료를 사용한다. 초기 백필로는 동일한 재료를 사용하는 것이 좋다. 현장의 원래 토양을 백필 재료로 사용하기 위해서는 해당 토양이 초기 백필의 요구사항을 모두 만족해야 한다. 요구사항 만족 여

부에 대한 평가는 파이프 설치 지점에 따라 토양의 조건이 갑작스럽게 변경될 수 있으므로 파이프 설치시 각 지점마다 지속적으로 수행해야 한다.



Source: Owens Corning Engineered Pipe Systems, Brussels, Belgium.
Figure 6-2. Examples of bedding support

바위 및 단단한 물체. 트렌치 바닥에 바위 또는 단단한 물체가 존재할 경우 파이프 아랫쪽에 최소 6인치(150mm) 두께의 베딩을 설치한다. 엔지니어가 필요하다고 판단되면 파이프를 보호하기 위한 다른 조치들도 취한다. 파이프 아랫쪽 물질이 바위에서 보다 부드러운 물질로 갑자기 변경되는 경우에는 서로 다른 침하 특성을 보상하기 위한 적절한 조치를 취해야 한다. 그림 6-3(b)에서 한 예를 볼 수 있으나, 다른 방법들도 가능하다.

불안정한 트렌치 바닥. 불안정하고 무른 조건으로 인해 트렌치 바닥을 더 깊게 굴착한 경우에는 SC1 또는 SC2 재료를 기초로 설치한다. 미세토 유입 및 파이프 지지력 손실을 초래하는 경우에는 적절한 경사의 재료를 사용한다. 표 6-2에 따라서 기초 재료를 배치하고 압밀한다. 조건이 매우 열악한 경우에는 콘크리트 매트를 적용한 파일 및 시트와 같은 특별한 기초를 사용할 수 있다. 적절한 토목섬유를 사용함으로써 무르고 불안정한 트렌치 바닥 조건을 제어할 수 있다.

불균일한 부하. 파이프가 다른 유틸리티 또는 부표면 조적을 가로지르거나(그림 6-3 및 6-4 참조) 콘크리트 적용 파일 및시트와 같은 특수한 기초가 사용된 경우에는 불균일한 부하 및 차등 침하를 최소화해야 한다. 파이프와 불균일 부하가 발생하는 지점사이에 최소 6인치(150mm)의 베딩이나 압

밀 백필을 설치한다.

과굴착. 트렌치 바닥을 의도했던 깊이보다 더 깊이 굴착한 경우에는 동등한 성질의 기초 및 베딩 재료를 사용해 바닥을 메우고 표 6-2에 나와 있는 최소 밀도보다 작지 않은 밀도로 압밀한다.

진흙. 굴착 및 파이프 매설 지역 공사시 트렌치 측벽이 흘러 내린다면, 흘러내린 진흙 및 다른 물체들을 트렌치에서 모두 제거한다.

6.6.2 파이프 배치 및 연결

위치 및 정렬. 필요 높이, 경사 및 정렬 조건에 따라 파이프 및 부속을 트렌치내에 위치시킨다. 파이프 설치전 파이프 베딩에는 적당한 크기의 벨(bell) 구멍을 만들어서 균일한 파이프 지지가 이루어지도록 한다. 파이프 설치후에는 베딩 재료를 사용해 벨 아랫쪽의 빈 공간을 모두 메운다. 파이프의 곡선 정렬이 필요한 특수한 경우에는 각도 “조인트 편향”(축방향 정렬) 및 파이프 굽힘 반경을 설계치내로 유지하도록 주의한다. 파이프는 적절한 기울기의 평평하고 균일한 재료위에 설치되어야 한다. 흙이나 다른 재료를 파이프 진행방향을 따라 단 몇몇 지점에 설치해서 파이프가 특정 기울기를 가지도록 하는 일은 삼가해야 한다. 파이프 설치 작업을 도중에 일시 중단할 경우에는 파이프가 움직이지 않도록 단단히 고정하고 물, 진흙 또는 다른 이물질이 파이프에 유입되지 않도록 파이프 끝을 봉한다.

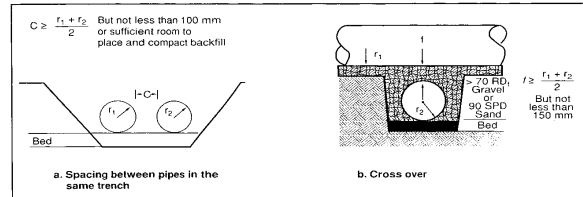
연결. 제조업체의 권고사항에 따라 조인트 부품, 감찰(減擦)유, 그리고 조인트 연결을 수행한다.

엘라스토머 봉인 (개스킷) 조인트. 삽입 중지 위치 표시를 위해 파이프 종단에 표시를 하거나 이미 표시가 되어 있는지 확인한다. 제조업체가 권장하는 방법에 따라 파이프를 특정 방향 및 각에 정렬한 상태에서 스피곳(spigot)을 벨(bell)에 밀어 넣는다. 연결 작업시 파이프 종단을 보호하고 과도한 조립

및 개스킷 분리를 초래할 수 있는 무리한 힘의 사용은 삼가한다. 연결이 제대로 이루어지지 않을 경우 무리한 힘을 사용해 연결을 시도하지 말고 조인트를 분리하고 청소한 다음 다시 연결을 시도한다. 감찰유는 파이프 제조업체가 제공했거나 권장한 것만 사용한다. 각도 “편향”(축방향 정렬)은 제조업체가 권장한 값을 초과하지 않도록 주의한다.

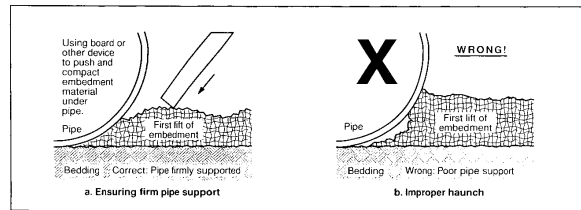
접착제 연결 및 테잎 조인트. 연결을 위해 접착제나 테잎을 사용할 경우 파이프 제조업체의 권장사항을 따른다. 파이프 연결후에는 일정시간동안 이동, 매설 및 이의 해당 파이프 연결 상태를 방해할 수 있는 작업을 삼간다.

사용한다.



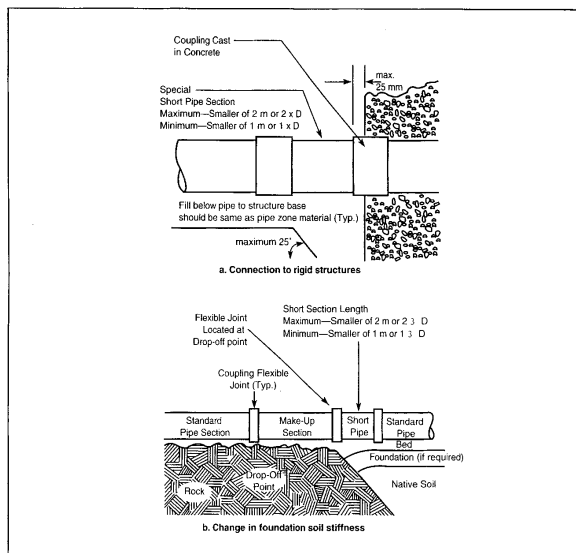
Source: Owens Corning Engineered Pipe Systems, Brussels, Belgium.

Figure 6-4 Adjacent piping systems



Source: Owens Corning Engineered Pipe Systems, Brussels, Belgium.

Figure 6-5 Proper compaction under haunches



Source: Owens Corning Engineered Pipe Systems, Brussels, Belgium.

Figure 6-3 Accommodating differential settlement

6.6.3 파이프 백필 재료 배치 및 압밀

매설 재료를 배치할 때는 파이프를 이동시키거나 손상시키지 않는 방법을 따른다. 가장 먼저 베딩과 파이프 아랫면사이의 혼칭 재료를 압밀한 다음 나머지 파이프 존 매설 부분에 대한 압밀을 수행한다(그림 6-5 참조). 압밀 장비가 파이프에 닿거나 손상시키는 일이 없도록 주의한다. 트렌치에 사용하는 백필 재료에 적합한 압밀 장비와 공법을

미세토를 거의 포함하지 않는 토양의 압밀(미세토가 5%미만인 SC1 및 SC2). 압밀이 필요한 경우 표면판 진동기, 진동 롤러, 또는 내부 진동기를 사용한다. 표면판 진동기 및 진동 롤러를 사용한 경우 압밀된 리프트(lift) 두께는 12인치(300mm)를 초과하면 안된다. 내부 진동기를 사용한 경우에는 내부 진동기 길이를 초과하면 안된다. 밀도 결정(상대적 밀도)은 대개 ASTM D4253 및 D4254에 준해서 이루어진다. 경우에 따라 만일 테스트 결과가 잘 정의된 압밀 곡선을 따를 경우 SW 및 SP 토양의 밀도는 ASTM D698(표준 Proctor)에 의해 결정된다.

미세토를 어느 정도 포함하는 토양의 압밀(미세토가 5~12%인 SC2) 이러한 토양은 미세토를 거의 포함하지 않는 토양처럼 보일 수도 있고 미세토를 상당량 포함하는 토양처럼 보일 수도 있다. 압밀 및 밀도 결정 방법은 보다 높은 밀도를 구현할 수 있는 방법에 기초해야 한다.

미세토를 상당량 포함하는 토양의 압밀(SC3, SC4 및 SC5 [CH 및 MH]). 충격 탬퍼나 sheepsfoot 롤러를 사용해서 압밀을 수행한다. 밀도 결정은 ASTM D698(표준 Proctor)을 따라야 한다. 최대 밀도는 최

적의 수분 함량에서 얻어진다. 수분 함량이 최적 수분치의 2%내에 들 경우 적은 노력으로 주어진 밀도를 구현할 수 있다. 수분 변화와 백분율 압밀을 신속하게 결정할 수 있는 방법이 ASTM D5080에 기술되어 있다. 표준 Proctor 90% 이상의 압밀 수준을 확보하기 위해서는 압밀된 리프트의 두께가 6인치(150mm)를 초과해서는 안된다.

토양 밀도 결정. 현장 토양 및 백필 토양의 밀도는 ASTM D1556, D2167, D2922, D4564, D4914 및 D5030에 준해서 결정된다. 적용가능한 테스트 방법은 토양의 종류, 토양의 수분 함량, 그리고 토양의 최대 입자 크기에 따라 다르다. 토양의 수분 함량은 ASTM D2216, D3017, D4643, D4944 및 D4959에 준해서 결정된다. 핵 밀도-수분 게이지(ASTM D2922 및 D3017)를 사용할 경우 게이지는 게이지 제조업체가 별도로 언급하지 않는 한 현장의 파이프 및 트렌치 근처에서 교정되어야 한다.

최소 밀도. 최소 매설 밀도는 해당 프로젝트 조건의 평가를 바탕으로 엔지니어가 결정해야 한다. 표 6-2에서 권고되고 있는 밀도보다 높거나 낮은 밀도가 적당하다. 표 6-2에 나와 있는 최소 밀도는 토양 반작용 평균 계수 $E'1,000 \text{ psi}(6.9 \text{ Mpa})$ 에 바탕을 두고 있으며, 대부분의 설치 조건에 대해 만족스러운 매설 강성을 제공하기 위한 것이다(E' 의 중요성에 대해서는 제 5 장 참조).

물을 사용한 다지기. 물을 이용해 파이프 매설 지역을 다지는 일(제팅(jetting) 및 진동 포화)은 제어된 조건하에서 엔지니어가 지시한 경우에만 수행한다.

최소 커버. 파이프 손상이나 파이프 매설 지역에 다른 악영향이 없도록 하기 위해서는 파이프 트렌치위로 차량이나 중장비가 운행되기 전에 파이프 상단에 최소한의 백필 깊이를 정의해야 한다. 커버의 최소 깊이는 파이프 직경 및 강성, 토양 종류 및 강성, 그리고 라이브 부하 종류 및 크기와 같은 해당 프로젝트 조건들을 평가한 자료를 바탕으로

엔지니어가 결정한다. 엔지니어링 평가가 불가능할 경우 다음의 최소 커버 요구사항을 사용한다.

표 6-2에 주어진 최소 밀도로 매설 재료가 설치되고 AASHTO H-20와 유사한 라이브 부하가 존재하는 경우 차량 및 중장비가 지나다니기 전에 SC1 매설에 대해서는 적어도 24인치(0.6m)의 커버(파이프 상단으로부터의 백필 깊이)를 사용해야 하며, SC2, SC3 및 SC4 매설의 경우 적어도 36인치(0.9m)의 커버를 사용해야 한다. 그리고, 엔지니어가 승인하지 않는 한 압밀을 위해 hydrohammer를 사용하기 위해서는 적어도 48인치(1.2m)의 커버가 필요하다. 부하가 과도할 경우(즉 크레인, 토목 중장비 및 휠 부하가 AASHTO H-20을 초과하는 차량)의 경우 엔지니어의 판단하에 최소 커버값을 증가시키거나 경사진 릴리프 슬랩과 같은 특수 구조물을 사용해서 파이프에 전달되는 부하를 감소시킬 수 있다.

파이프가 부양(浮揚)될 위험이 있는 경우에는 최소 커버 두께가 파이프 직경과 일치하도록 해야 한다. 빈 파이프의 부력과 파이프상의 토양 수중 중량을 비교하는 실험이 가능하다면, 실험을 통해서 이 최소 두께를 줄일 수도 있다.

6.6.4 연결 및 부속 구조물

맨홀, 경식(硬式) 구조물로의 연결 및 기초 토양의 변화. 맨홀 연결에 사용되는 케이스 파이프의 종단, 앵커 블록 또는 기초 토양의 강성이 변화하는 경우등 차등 침하가 예상되는 경우에는 예상 침하에 대응할 수 있는 유연한 시스템을 적용해야 한다. 구조물의 단면에 가능한 한 가깝게 조인트를 위치시키고 두 번째 조인트는 구조물의 단면으로부터 파이프 직경에 해당하는 위치 또는 두배에 해당하는 위치에 두는 구조를 채택한다(그림 6-3 참조). 예상되는 차등 침하에 대응할 수 있는 유연한 부트를 사용해 파이프를 경식 구조물에 부착하는

것도 한 방법이다. 이외에도 차등 침하에 대응할 수 있는 여러가지 방법들이 있다.

수직 도관. 서비스 연결점, 청소지점 그리고 드롭 맨홀에서 흔히 사용되는 수직 도관의 수직 및 수평 움직임을 방지하기 위해 지지대를 사용한다. 지표 부하 및 침하로 인한 스러스트의 직접적인 전달을 방지하고 주요 라인으로의 연결 지점에 적절한 지지대를 사용한다.

서비스 라인 연결을 위한 파이프 노출. 서비스 라인 연결을 위해 굴착할 경우에는 파이프의 측면에서 흙을 제거하기 이전에 파이프의 상단에서부터 굴착을 시작한다. 기존 라인을 굴착한 후 다시 백필 작업을 수행할 경우에는 적절한 재료 및 공법을 사용해 굴착하기 이전의 상태로 그대로 복구해야 한다.

파이프 캡 및 플러그. 움직임 그리고 이로 인한 테스트 및 서비스 압력하에서의 유출을 방지하기 위해서 캡과 플러그를 단단히 고정시킨다. 파이프 라인의 테스트가 압력하에서 이루어진다면 사용되는 플러그 및 캡은 해당 압력을 안전하게 견딜 수 있도록 설계된 것이라야 한다.

근접 파이프 시스템. 동일한 트렌치내에 평행하게 설치된 파이프는 압밀 장비가 두 파이프사이의 토양을 압밀하는데 문제가 없을 정도의 거리를 두고 설치되어야 한다. 두 파이프사이의 최소 허용 거리는 두 근접 파이프의 반경 평균으로서 4인치(100mm)보다 작아서는 안된다(그림 6-49(a) 참조). 기계 압밀 장비를 사용할 경우 해당 장비의 가장 폭이 넓은 부품보다 6인치(150mm) 더 넓게 파이프간 거리를 확보하는 것이 바람직하다. 파이프와 트렌치 벽사이의 토양을 압밀하는 방식과 동일하게 파이프간 토양을 압밀하는데, 각 파이프의 혼치 영역의 토양을 충분히 압밀할 수 있도록 주의를 기울인다.

한 파이프가 다른 파이프위로 지나갈 경우 두 파이프간 최소 수직 거리는 두 파이프의 반경 평균으로서 12인치(300mm)보다 작아서는 안된다(그

림 6-4(b) 참조). 아래쪽 파이프가 위치하는 트렌치는 SC1 또는 SC2 재료로 백필된 후 최소 90% 표준 Proctor 밀도 또는 70% 상대 밀도로 압밀되어야 한다.

6.6.5 스러스트 블록

스러스트 블록과 관련된 설치 요구사항은 제 7장에서 다룬다.

6.7 현장 모니터링

트렌치 깊이, 경사, 물 조건, 기초, 매설 및 백필 재료, 조인트, 재료 밀도에 대한 설치 요구사항 준수 여부 및 안전성은 계약 문서에 준해서 모니터링되어야 한다. 유출 테스트 사양은 본 설명서에서 다루지 않는다.

편향. 계약 사양 및 제조업체의 권고안에 준해서 설치 과정 전반에 걸쳐 파이프의 편향 수준을 모니터링해야 한다. 편향 측정 프로그램을 프로젝트 조기에 실시함으로써 각 공사 과정이 적절히 이루어지고 있는지 검증할 수 있다. 설치시 허용되는 편향값은 장기 허용 편향을 편향 래그 효과로 나눈 값이다. 필요하다면 압밀시 수직 타원 효과에 대해서도 고려한다.

6.8 계약 문서 권고안

다음의 지침들은 특정 프로젝트의 설치 요구사항을 보다 구체적으로 정의하기 위한 목적으로 계약 문서에 포함될 수 있다. 사양 형식으로 작성된 ASTM D3839도 이와 유사한 지침을 제공한다. 어떤 경우든 엔지니어는 특정 프로젝트의 어플리케이션에 대해 보다 자세한 요구사항을 제공해야 할 필요가 있다.

- 6.5.2 절과 다른 최대 입자 크기
- 매설 및 백필 재료 범주의 사용 관련 제한
- 유입 저항을 위한 매설 재료의 특정 경사값

- 트렌치 방치 제한
- 물제거 및 압거 설계 관련 제한
- 최소 트렌치 폭 요구사항
- 트렌치 벽 지지대 관련 제한 및 구체사항
- 베딩 및 기초 요구사항
- 압밀 방법 관련 제한
- 권고안과 다른 최소 매설 밀도;
백필 밀도 요구사항 (즉, 도로 노반(路盤)의 밀도)
- 최소 커버 요구사항
- 파이프와 종속물사이의 예상되는 상대적 움직임에 대응하기 위한 수직 도관, 배수탑, 그리고 스택 지지대에 관한 구체적인 요구사항. 특히 도관의 열적 움직임 대응을 위한 구체사항
- 맨홀 연결을 위한 구체적 요구사항
- 압밀 및 유출 테스트 방법에 대한 요구사항
- 테스트 방법 및 시간을 포함한 편향 및 편향 측정에 대한 요구사항