제 15 장 상수도 관로 파손사고의 원인분석

강 예 석

15.1 서 론

사고는 여러 가지 기술분야에서 발생하는데, 사고발생의 빈도, 정도, 피해 등은 기술에 따라 상당한 차이가 있다. 위험물을 대상으로 하는 기술이나, 위험이 따르는 기술 분야가 반드시 사고 발생 빈도가 높은 것은 아니다. 위험이 예상되는 기술은 위험을 전혀 없게 하든가 최소한도로 억제하는 안전 대책이 철저한데 이는 안전대책이 없으면 그 기술이 보편화 될 수 없기 때문이다. 결국 위험이 따르는 기술에서의 안전대책은 수레의 두바퀴 중 한바퀴가 아니고, 기술 그 자체와 일체가 되는 것이다.

국민 생활에 필요한 기본적 물자인 물과 에너지를 공급하는 시설로서 수도, 전력, 가스가 있는데. 이중에서도 물은 생명유지가 필요한 것으로서 대체물이 없다는 점에서 다른 두 가지보다 중요성이 높다. 이들 3개의 시설은 공익적 사업으로서 그 사명 공급방법 등에 많은 공통점을 가지고 있다. 그래서 어떠한 사고 때문에 공급이 중단되는 경우 사회에 미치는 영향은 큰 경우가 많다. 이것만으로도 이들 공익적 사업에 대해서 사회는 무사고를 요구하고, 안전성의 향상을 위한 기업측의 노력에 많은 관심을 나타내고 있다. 또한 공익사업자측은 이에 대응할 의무가 있는 것은 당연하다.

가스, 전력은 모두 에너지를 공급하는 것이기 때문에 대체물로서 보완할 수 있는 성격을 갖고 있지만, 수도는 이런 의미에서 대체물이 없는 만큼 공급중단에 의해 발생하는 혼란은 한층 크다고 생각해도 좋다.

또한 공급물의 위험도라는 점에서는 가스, 전력은 물에 비할 바가 아니고, 생명에 위험을 주는 면에서 가스는 전력 이상으로 위험하다. 단지 수도만이 공급물의 위험도가 낮은 것을 대상으로 하고 있는 것이다. 수도는 위험성이 전혀 없는 것이

아니고, 수질상 급성의 독성물질이 함유되어 있는 경우를 생각할 수 있는데, 즉시 인체에 영향을 주는 사태보다 오히려 만성중독이나 전염성 세균에 의해 오염된 경우가 있다. 그러나 이들 위험성도 가스, 전력과 같이 항상 위험성과 표리의 관계에 있다고 하는 긴박감을 동반하는 것은 아니라고 말할 수 있다.

수도관계자가 사고에 대해 안이한 생각을 갖고 있는 것은 지금 기술한 것과 같은 위험도의 차이에 기인한다고 보아도 틀리지 않을 것이다. 수질에 깊은 관심을 갖는 것은 당연하나, 관로의 사고는 신체적인 피해가 없고, 교통장애나 개인재산에 손해를 주는 정도인 경우가 많기 때문에 사고의 예방에 대한 배려는 지금까지 충분했다고는 말할 수 없다.

도시화가 진행되어 생활이 고도화되는 만큼 단수가 사회에 미치는 불편, 혼란과 피해의 정도는 커지는 경향이 있다. 수도도 금후에는 될 수 있는 대로 사고를 적게 하기 위한 특별한 노력이 사회적으로 요구될 것이고, 사고를 줄이기 위해 투자가 증대되고, 이는 결국 수도요금으로 되돌아올 것이다.

본장에서는 여러 사고 예가 있지만 현장에서 가장 많이 발생되는 관로의 사고 사례 예에 대해서 논하기로 한다.

15.1.1 수도사고 원인의 해석

수도에 관한 종래부터의 사고를 분류하고, 그 원인을 분석해 보면 다음과 같다.

① 계획자나 설계자의 수도기술에 대한 지식·경험이 충분하지 않았기 때문에 일어나는 사고

② 계획자나 설계자의 지식·경험은 풍부하나 착오로 계획이나 설계를 잘못하여 발생한 사고

③ 계획설계는 완전했으나 시공자, 공사관리자의 지식, 기능, 경험이 충분하지 못해서 일어나는 사고

④ ③의 시공자, 공사관리자의 자격은 충분하나 착오 때문에 일어난 사고

⑤ 사용기자재는 규격에 맞으나, 규격 그 자체에 문제가 있어 발생한 사고

⑥ 사용한 기자재에 하자가 있어서 발생한 사고

⑦ 항상 실시해야하는 점검을 게을리 해서 발생한 사고

⑧ 천재지변등 불가항력적인 경우나 수도사업자의 주의가 미치지 않는 정전이나 다른 공사 때문에 발생한 사고

①의 사고는 적임자를 계획자나 설계자로 고르면 막을 수 있고, ②의 사고는 담당자 이외의 사람이 검토하면 상당히 줄일 수 있다. 사실 기구가 제대로 갖추어진 곳에서는 이와 같은 체계가 갖추어져 있다. ③,④의 사고는 상당히 많은데, 기술자의 소질을 향상시키기 위한 강습, 시험은 효과 있는 처방이다. 또한 배관에 있어서 수압시험과 같이 기능상의 결함을 즉시 알아차리게 하는 것은 가장 좋은 교육이며, 동시에 사고를 미연에 방지하는 방법이기도 하다.

⑤에 관해서는 다음과 같은 예를 들 수 있다. 급수관용 염화비닐관 중 T자관의 파손이 특히 많은 것은 역학적으로 무리가 있다고 예상되는 T자관이 규정의 치수로는 강도가 부족한데에 원인이 있다. 또한 슬루스밸브나 지수전의 접합부의 패킹에 면사가 인정되는 등 내용연수가 짧은 재질을 인정하는 규격에 문제가 있다.

⑥은 검사를 철저히 하여 방지하고 있는데, 공장에서 합격해도 현장에 반입하기까지 손상을 입는 경우가 있다. 수압조사는 이 손상을 발견하는 유일한 방법이다.

⑦은 논외이지만. 안전대책을 위해 일상적으로 해야하는 점검을 제도화하고 있는가 없는가는 수도사업의 기능에도 큰 관계가 있다. ⑧은 지진, 지반침하 등의 천재는 별도로 하고, 도로내의 매설물은 다른 하수도, 케이블(cable) 등의 매설공사나 포장공사 등에 의해 피해를 받는 경우가 대단히 많다. 이 경우에도 관로의 매설깊이의 확보와 같은 대책을 수도가 충분히 갖추고 있는지의 문제도 있는데, 상당히 많은 사고는 수도자체의 매설깊이를 준수하여 방지해야 한다.

사고 원인은 한가지인 경우도 있으나. 복합적인 경우도 있다. 대체로 사고는 복합적인 원인에 의한 경우가 많은데. 원인이 복합적이기 때문에 피해도 커지는 사례가 많다. 사고의 원인을 하나씩 해결해 나가면 사고를 완전히 없앨 수 있다. 위험이 따르는 기술은 착실히 사고원인을 제거하고 점검과 확인을 시스템(system)화 하여 조금이라고 의심스러운 곳이 있으면 이것을 해결하고 나가는 방법을 취해야만 한다.

사고의 방지는 그 기본이 되는 system을 구축하는 것이 가장 중요하다.

15.1.2 사고 유발 요소

사고의 적접적인 원인에 대해서는 앞 절에 기술하였고, 간접적으로 사고로 이어지는 사고 유발요소는 다음과 같으며, 사고의 근원을 없애기 위해서는 먼저 사고의 직접적인 원인의 배후에 있는 유발요소를 없애는 것이 중요하다.

가. 각종의 무리

: 모든 경우에 무리는 사고의 근원이 되는데, 여기서는 예산, 공기, 공사방법, 유지관리에 대해서 강조하고자 한다.

예산의 무리는 소위 -싼 것을 사서 돈만 버리다- 라고 하는 비유처럼 너무 무리하여 열악한 재료의 매입이나 부실공사로 이어지는 예는 대단히 많다. 손해를 보면서 자재를 싸게 하는 만큼 어딘가에 불량품이던가 불량공사가 잠재해 있다. 그래서 이들 결함이 후에 누수 등의 사고가 되어 그 수리를 위해 많은 공사비와 노력이 소요되는 것이다.

공기의 무리도 우리 나라의 사업에서 항상 일어나는 것인데, 그 대부분은 정치적 이유에 의한 것으로, 책임자 등이 공사를 재촉하는 케이스(case)가 많다. 공기의 무리는 부실공사가 되기 쉬워 경우에 따라서는 구조물에 치명적인 결함을 일으키는 경우도 있다. 기술적으로 무리한 주문에 대해서는 과거의 사례 등을 들어, 이에 의해 발생하는 위험, 손실에 대해서 충분히 이치를 들어 설명하여 납득시키는 것이 절대적으로 필요하다. 수도사고의 예에서도 지대가 높고 평평한 곳에 설치하는 정수장에 들어가는 원수도수용의 지하펌프(pump)실과 이에 이어지는 터널(tunnel)도수로의 시공을 무리하게 서두른 결과 암석이 떨어져 결과적으로 공사가 늦어진 예가 있다.

유지관리의 무리는 능력부족을 인정하면서 오버로드(overload)의 운행을 하는 경우로 수원의 우물물의 수명을 단축시키거나 정수법의 무리 때문에 수질사고를 일으키거나 한다.

나. 기술경시

구미의 수도업체에서는 기술자가 기업체의 장이 되어 있어 운영의 기본적인 사고방식은 기술을 중심으로 하고 있는 것이 일반적이다.

일본에서는 공영기업법의 시행이래 이전의 기술적 운영이 경영중심의 운영으로 바뀌는 경향이 있다. 이 때문에 자칫하면 요금인상의 지연 등으로 기인하는 경영악화 등을 이유로 기술상의 무리를 강요하는 경향이 강하다. 공사비의 절감이 요구되거나 당연히 이루어져야 하는 기술상의 조치가 소홀히 취급되는 등의 예는 수없이 많다. 예를 들면 철관의 방식대책으로서 당연히 실시되어야하는 pH조정은 pH가 낮아도 수질기준에 위반되지 않기 때문에 다액의 지출은 용인되지 않는다는 이유 등으로 일축되는 예가 많은 것 같다.

기술을 경영상의 요청에 맞추는 것이 아니고, 경영을 기술상의 요청에 맞추는 것이 당연한데, 구미의 수도와 우리 나라의 수도는 이 점에 관한 이념에 많은 차이가 있다.

다. 조직, 기구의 불협화

수도 조직이 커질수록 기구가 나누어지는 경향이 있는 것은 다른 일반관청, 회사와 다를 바 없다. 세분화는 전문업무에 충실하다는 점에서 능률 향상에 도움이 되지만, 그 반면 업무의 횡적인 관계가 강하기 때문에 다른 업무와의 사이에 장벽이 생겨 상호간에 연결이 잘 되지 않아 책임을 서로 전가하는 결점이 있다.

설계부문과 시공부문의 유리는 현장사정을 무시한 설계가 많아지고, 현장에서는 설계자의 의도와 무관하게 공사가 진행되는 현상이 발생한다.

설계부문과 시공부문의 인사교류로 상호간의 사정을 깊이 이해하도록 배려해야 한다.

누수 문제도 배수계, 급수장치계, 누수방지의 3개 부문간에 책임을 전가하는 경우가 있는데, 업무의 종적인 관계가 너무 강조되면 이러한 결과가 생기는 것이다.

라. 직원의 사기

직원의 사기가 결과에 미치는 영향은 다른 어떤 요소보다도 크다. 사기가 저하된 무책임한 상태에서 사고가 많아지는 것은 당연하다. 수도를 통해서 주민에게 봉사하는 것에 기쁨을 느끼는 사람과 항상 불만을 갖고 일을 하는 사람사이에는 일의 결과에 대단한 차이가 있다. 사고는 사소한 배려에 태만한 경우에 많이 발생한다.

노동자와 관리자측간의 대립이 격렬한 기업이 융성하는 예가 없는 것처럼 수도에서도 노동의욕이 낮은 곳에는 사고도 많고, 수익률의 향상도 기대할 수 없다.

마. 정치의 개입

책임자의 공사 등에 관한 무리한 주문이 사고로 이어지는 점은 앞에 기술했는데, 자재구입, 상공업무의 선정 등에 관해서도 마찬가지이다. 정치적 개입으로 기술이 천시되면 기술자의 자신감을 상실시켜 책임을 회피하는 결과를 초래하게 된다.

바. 자재 · 공사업자의 선택

자재 · 공사업자를 잘못 선택하면 시공에 결함이 생기기 쉬운 것은 당연하다. 자재는 KIS규격 등이 있으나, 제품 검사가 확실하게 실시되는 것이 중요하다. 칸막이의 접합부패킹과 같이 규격에는 폭이 있어 몇 개의 재료가 허용되어 있으나, 실제 내구성은 우열의 차가 보이는 것도 있으므로, 규격의 범위 내에서 선택은 수밀 구조 [탱크(tank)구조물과 파이프라인(pipe line)] 공사에 숙련된 업자를 선택하는 것이 중요하다. 관로의 볼트(bolt)를 조이는 단순작업도 숙련자가 아니면 시공사의 결함이 발생하기 쉽다.

15.1.3 사고의 방지대책

사고를 방지하는데는 앞에 기술한 사고의 원인이 되는 사항을 제거해 나가면 좋지만, 그 외에 안전확보의 원칙으로서 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

가. 예비 시스템(system)

예비시설을 마련하여 사고 때에 즉시 바꿀 수 있도록 하든가, 평상시에 미리 점검, 보수가 충분히 이루어지도록 한다. 수도는 펌프설비, 염소소독설비에는 이를 철저히 지키고, 여과지도 예비지를 설치하는 경우가 많다. 예비시설은 운전의 오버로드(over load)를 일시적으로 흡수해 주는 좋은 점도 있다.

나. 용장 시스템(system)

용장시스템은 안전을 확보하기 위하여 설비에 별소용이 없는 능력을 일부러 부여하는 방법이다. 별 소용이 없는 능력은 평상시에는 과대투자로 보이지만, 비상시에 그 위력을 발휘해서 그것이 없었다면 사고로 이어지는 것을 구제해 주는 것이다.

사고는 몇 가지의 원인이 복합되어 발생하는 경우가 많은데, 시설의 어딘가에 용장시스템이 있으면 그 부분에서 다른 원인의 영향을 흡수해주기 때문에 큰 일이 일어나지 않는 것이다.

예를 들면 배수지가 6시간 분으로 충분한 경우에도 10시간 분의 정수가 가능하게 하여 수원, 도수, 정수, 송수의 어느 한 부분의 작은 사고에 의한 급수능력의 감소를 일정시간 유지시켜 주기 때문에 응급복구에 시간적으로 여유가 생긴다. 런던의 수도는 배수지의 총 용량은 1일 최대 배수량에 17시간 분이나 갖고 있다. 또한 동 수도의 취수조정용 저수지의 총 용량은 1일 평균 급수량의 100일 분이나 갖고 있다. 이는 침전에 의한 자연 정화와 템즈강의 높은 탁도나 오염, 갈수에 대처할 목적으로 한국의 수도에서 보면 너무나 큰 여유를 갖고 있는 것이 놀랍다.

우리 나라의 수도는 지금까지 너무나 여유가 없는 시설을 많이 만들었기 때문에 좋지 않다. 재원 등에 여유가 없었다는 이유가 있지만 수도의 안전성의 근본이념에는 맞지 않는다고 할 수 있다. 금후에는 모든 시설에 대하여 안전성 향상을 위해 충분한 여유를 갖도록 설계해야 한다.

다. 점검과 확인 시스템(system)

점검과 확인은 사고방지의 대원칙이다. 예를 들면 배관계에서의 수압시험은 안전한 관포설의 실증이 되는 것이다. 점검과 확인을 system으로서 받아들이는 것이 중요하므로, 내규를 만들던가 점검사항을 열거한 검사성적표를 제출시켜 확인하던가 해서 담당자가 자신의 판단으로 살짝 처리할 여지를 없애는 system을 구축해둘 필요가 있다.

15.2 관로 사고지점의 현황조사

15.2.1 개요

관로의 사고 지점은 진입도로 구간 중에 위치하고 있으며, 도로 하면에 매설되어 있는 상수도 관로의 파손에 따라 원활한 교통 흐름에 일부 장해를 주고 상수도의 원활한 공급에 차질을 초래하였다.

본 절에서는 도로침하 및 상수도관로의 파손에 대한 전반적인 이력을 조사하고, 이에 대한 침하현황, 현지 측량에 의한 실제 도로침하량 등의 조사를 비롯하여 이미 촬영된 CCTV의 결과를 판독함으로서 정확한 침하현황을 파악하여 해석시 기초자료로서 활용하는 데 있다.

15.2.2 관로의 추진경위

본 관로의 시설공사는 진입도로가 이미 완공되어 개통된 상태에서 상수도 공급을 위하여 본 진입도로를 관통하여 압입추진공법으로 실시되었다. 상수도관의 관로는 지름 2m의 S.P.강관을 사용하였으며, 관로는 2열을 사용하였고 추진길이는 각각 72m이며 1, 2차로 나누어 1열씩 압입추진하여 시공하였다.

관로를 추진하는데는 반력벽을 먼저 설치하여 그것을 지지대로 해서 6.0m의 강관을 추진하였으며, 이어서 다시 6.0m의 관을 용접하여 연속적으로 강관추진을 실시하였다. 관추진에는 대략 1200~1400ton 정도의 추진력이 필요하였다.

1차로는 상수도관 A관을 먼저 추진하였으며 추진하는데는 반력벽 등의 준비로 대략 2~3개월의 기간이 소요되었다. 추진시에는 토사의 유출에 의한 도로침하 등의 우려가 있어 지하수위를 관저고 이하로 낮추어 시공하려 하였지만, 지하수위가 높아 지하수위를 관저고 이하로 낮추어 시공하는 것은 불가능하였다. 따라서, 관 추진시에는 지하수의 유출과 함께 미립의 토사가 동시에 유출되었으며, 이와 같은 현상은 2차관(이하 B관이라 통칭함)추진시에도 계속 되었다. B관을 추진하는 데는 대략 1개월 가량이 소요되었다.

지하수위를 관저고 이하로 낮추는 문제는 공사기간의 지연을 가져올 우려가 있으며, 이 공사의 지연은 택지개발 인구 유입과 맞물려 상수도의 통수 문제가 급박해짐에 따라 지하수위에 의한 토사유출의 가능성에 대한 문제에도 불구하고 공사가 진행되었다.

B관을 추진하는데 있어서는 관추진 상황이 A관에 비하여 마찰력의 증대 등으로 인하여 추진압이 증가됨으로서 전구간의 관통이 불가능하였다. 따라서, 추진길이 총 72m 중 약 14m 정도를 토구측에서 추진함으로서 중간에서 관이 서로 정확하게 만나지 않아 관내부에 단차가 발생하였다.

A관 및 B관 모두 추진압에 의해 두부가 변형을 일으켜 두부 보강을 실시 관추진을 진행하였다.

15.2.3 도로 침하 이력

도로에 대한 최초의 침하현상은 추진공사 완료 후 일어났으며, 이것은 B관 압입 추진공사중 추진관 위치를 따라 도로상면에 연장 40m, 폭 30m, 침하량 15~18cm 정도의 부분 침하가 발생하였다. 그러나, 더 이상의 침하가 발생하지 않아 아스콘 덧씌우기 공사를 시행한 바가 있다. 이것은 관추진 시공시 지하수위를 낮추기 위한 펌핑에 의해 지하수의 유출과 함께 미세립의 토립자가 동시에 유출됨으로서 발생한 지반침하 현상으로 생각된다.

본 도로의 본격적인 침하는 1년 후 강우시에 도로 횡방향의 균열 및 침하 현상으로부터 비롯되었으며, 도로사면의 붕괴 및 포장도로의 침하로 교통 통행의 장해로 포장 응급복구를 실시하였으며 상수도 응급복구를 실시하였다.

15.2.4 도로 침하 현황

상수도관로 상단의 전체 도로폭 34m, 횡방향 21m~37m 정도의 범위에 있는 도로가 심한 침하를 일으켰다. 침하전의 도로 사면은 약 1 : 1.2 정도였으나 침하 후의 도로 사면은 1 : 5 정도가 되어 도로가 심한 파손을 가져왔음을 알 수 있다. 침하된 지점의 침하정도는 임시 복구공사 등을 수차에 걸쳐 실시하였으므로 총 침하량의 측정은 정확하지 않았다.

침하지점과 인접되어 있는 도로에 대하여 측량결과를 근거로 실재의 도로침하량 조사를 실시하였으며, 이것은 침하지점의 정확한 도로침하량을 간접적인 방법으로 추정하기 위해서이다. 측량에는 도로개설공사시 설치한 하류쪽 500m 떨어진 지점인 교량 위에 설치된 T.B.M.(7.051m)을 기준으로 하였다. 또한, 침하전의 도로 계획고는 도로준공시 작성한 설계 도면 (준공 도면)을 이용하였으며, 이를 실측치와 비교하여 도로침하량을 추정하였다.

침하량의 추정은 도로중앙 부분을 기준으로 하였다. 이 때 공구경계를 기준으로 하여 측량결과를 토대로 20m 간격으로 측점을 설정하였으며, 이들로부터 구한 도로침하량은 표 15.1과 같다.

표 15.1 도로 침하량의 산정

측 점	계 획 고	측 량 결 과	침 하 량
No. 1	12.50	12.39	-0.11m
No. 2	12.18	12.09	-0.09m
No. 3	11.86	11.80	-0.06m
No. 4	11.59	11.46	-0.13m

15.2.5 상수도관로 CCTV 판독결과

상수도관로 2련에 대한 CCTV 판독결과 B관은 맨홀로부터 16m 지점 부근에서 상수도관의 용접 부위가 파손 이탈되어 있으며 부등침하로 보이는 변형이 발생되어

있다. 또한, 파손된 공간으로는 토사 등이 지하수를 동반하여 흘러내리고 있으며 그로 인하여 관의 상부에 큰 공동이 발생되어 있어 경우에 따라서는 함몰될 가능성도 있음을 알수 있다. 또한, 용접부는 맞대기 용접을 실시하였으나 관과 관 사이를 철근 등으로 채워 넣음으로서 용접부의 상태가 불량한 것으로 보였다.

A관의 경우에는 중간 지점에서 윤하중 및 토압으로 인하여 관이 2/3가량이 내려앉아 있고, 파손된 부위로 토사가 유출되어 제기능의 발휘가 불가능한 것으로 판단되었으며, 수돗물의 흐름 또한 불가능한 것으로 관독되었다.

15.2.6 결과 요약

도로침하 및 상수도관로의 현황조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 상수도관로를 추진하는데는 반력벽을 먼저 설치하여 그것을 지지대로 해서 6.0m의 강관을 추진하였으며, 이어서 다시 6.0m의 관을 용접하여 연속적으로 강관추진을 실시하였다. 관추진에는 대략 1200~1400ton 정도의 추진력이 필요하였다.

(2) 상수도관로 추진시 토사의 유출에 의한 도로침하 등의 우려가 있어 지하수위를 관저고 이하로 낮추어 시공하려 하였지만, 지하수위가 높고 공기지연 등의 문제로 지하수위를 관저고 이하로 낮추어 시공하는 것은 불가능하였다.

(3) A관은 한 번에 추진이 가능하였지만 B관을 추진하는데 있어서는 마찰력의 증대 등으로 인하여 추진압이 증가됨으로서 전구간의 관통이 불가능하여 추진길이 총 72m 중 약 14m 정도를 반대방향인 토구측에서 추진함으로서 관중간에 단차가 발생하였다.

(4) 도로에 대한 최초의 침하현상은 B관 추진공사중 추진관 위치를 따라 도로상면에 연장 40m, 폭 30m, 침하량 15~18cm 정도의 부분침하가 발생하였다. 이것은 펌핑에 의한 지하수의 유출과 함께 미세립의 토립자가 동시에 유출됨으로서 발생한 지반침하 현상으로 생각된다.

(5) 본격적인 도로 침하는 호우시기에 일어난 것으로 판단된다. 상수도관로는 용접부위가 상당히 이탈되어 있으며 그 사이로 토사가 유입되어 상수도관로가 막히거나 관의 파손으로 상수도의 유통이 거의 불가능한 상태에 있다.

(6) 측량결과를 근거로 실재의 도로침하량을 조사한 결과 전반적으로 도로건설 당시로부터 현재까지의 침하량은 평균 10cm 정도의 값을 나타내었다.

15.3 관의 파손상태 및 비파괴검사

15.3.1 개요

상수도관로의 파손상태는 상수도관로의 시공상태 및 설계의 타당성을 규명하는데 있어서 매우 중요한 관건이 된다. 상수도관로 추진에는 대략 1200~1400ton의 추진력이 필요하였으며, B관 (2차로 추진한 관) 추진시에는 추진력의 증대로 관의 변형이 증대하여 부득이 양방향으로의 추진이 실시되었고, 추진시 지하수의 유출에 따른 토사의 이동 및 교란이 발생한 것 등을 아울러 고려해 볼 때 관의 파손상태에 대한 정확한 확인 및 점검, 용접부위 조사는 도로침하 및 상수도관로 파손원인을 규명하는데 있어서 매우 중요한 자료를 제공할 것으로 판단된다.

파괴되기 전의 상수도관로 상태는 설계도면과 일치하는 것으로 추정하고 있으나 관이 노출된 상태를 면밀히 조사한 결과 시공 당시에도 설계도면 대로의 공사가 이루어지지 않은 것으로 판단되며, 또한 상수도관로의 무리한 추진에 의한 용접부위 손상과 용접시공상태의 불량 등이 상수도관로의 파손에 상당한 영향을 준 것으로 생각된다. 이와 같은 상황은 상수도관로를 무리하게 압입 추진하는 과정에서 발생한 것으로 판단되며, 게다가 용접부의 불량이 더욱더 큰 침하사고유발을 가져온 것으로 생각된다.

또한 상수도관로의 파괴상태는 구조해석을 하는데 있어서 정확한 정보를 제공함으로서 상수도관로의 파손 원인을 역학적 거동을 통해 판단할 수 있는 계기를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

15.3.2 관의 파괴상태

A관은 모두 13개소의 용접 부위가 있으나 1개소를 제외하고는 모두 파단된 상태

에 있으며 파단되지 않은 1개소도 부분적으로 파괴가 진행되어 있다. 또한, B관의 경우에는 17개소의 용접 부위가 확인되었으며, 그 가운데 5개소는 파단되지 않은 상태이고 나머지 12개소는 모두 파단된 상태로 노출되었다.

A관 및 B관은 모두 상류측으로부터 10~43m 부분과 48~70m 부분은 약 1~2.5m 정도까지 침하되면서 파단되었다. 이 지름이 2m인 상수도관이 가로방향의 길이가 약 2.9m가 됨으로서 약 1m 정도 지름방향으로의 변형을 일으켜 원형관의 모형이 압착된 형태를 이루고 있으며, 인접관의 이격거리가 2m인 점을 감안해 볼 때 A관 및 B관이 파손된 후에는 서로 밀착 근접되어 있음을 알 수 있다.

이것은 B관 시공당시 추진관과 토사의 마찰력 증가로 인하여 추진길이 총 72m 중 약 14m 정도를 토구측(상류측)에서 추진함으로서 발생한 단차임이 확인되었다.

15.3.3 비파괴 검사

가. 방사선 비파괴 시험

용접부위의 건전도 여부를 판단하기 위하여 비파괴검사의 일환으로서 일반적으로 용접부검사에 주로 쓰이는 방사선을 이용한 비파괴검사를 실시하였다. 용접부위 투과시험에 사용되는 방사선은 X선과 γ선이다. X선 및 γ선은 10^{-12}~10^{-6}cm의 파장을 갖는 전자파이며, 물체를 투과하는 능력을 갖는다.

X선 및 γ선이 물체를 투과할 때에는 그 물체에 흡수되는 비율은 투과하는 물질에 따라 다르며, 용접부위 가운데 용입이 부족하거나 공동이 존재할 경우 그 곳을 통과하는 방사선의 세기와 건전한 용접부를 통과하는 방사선의 차이가 발생하게 된다. 이 차가 필름상에서는 농도의 차로서 나타나기 때문에 내부의 모습을 화상으로 관찰할 수가 있다.

나. 선 원

X선의 발생은 일반적으로 X선관(진공관의 일종)에서 필라멘트로부터 발생되는 열전자를 고전압에 의해 가열시켜 타겟트라고 부르는 텅스텐 등의 고융점을 갖는

금속에 충돌시킴으로서 일어난다. 발생하는 X선은 광범위의 파장(에너지) 성분을 갖는 연속스팩트롤이며, 태양으로부터의 백색광이 연속 스팩트롤을 갖고 있는 것을 모방하여 백색 X선이라고 부른다.

X선은 이상과 같이 전기적으로 발생시키기 때문에 인위적으로 관전류(필라멘트에 흐르는 전류)나 관전압(양극 음극사이에 가해지는 전압)을 변화시킴으로서 X선의 세기(선량) 및 투과능을 조정할 수가 있다. 단, 일반 공업용 X선 발생장치에서는 관전류는 3~5mA로 고정되어 있으며, 실제 조정은 전압관과 조사시간에 의해 실시된다.

다. 실험방법

필름 위에 상을 이사하는 작용을 하는 것은 투과선 또는 1차선이라고 부르는 물체내의 전자와 작용하지 않은 X선 만이며, 이 투과선에 의해 선원과 필름사이에 있는 물체가 확대된 투영상으로서 필름 위에 이사되는 것이다. 전자와 작용한 X선은 산란선이라고 불리우며, 파선으로 나타낸 바와 같이 그의 일부도 투과하여 필름위에 달하지만, 상을 형성하는 움직임은 없고 오히려 사진의 콘트라스트를 저하시킨다.

일반적으로 대상물의 한쪽으로부터 X선을 조사하여 반대측에 X선용 필름을 배치하여 실시한다. 필름을 사용할 경우는 투과한 X선에서 직접 필름을 감광시켜 투과사진을 촬영한다.

라. 관의 X선촬영 및 판독 결과

X선 촬영에 의한 비파괴시험은 상수도관로의 용접부위 가운데 가장 건전하다고 생각되는 부분인 상류측에서 8.36m 지점의 B관의 용접 부위를 선택하여 현장에서 실시하였다.

용접결과의 판정은 KS B-0845 「단용접부」에 의해 실시하였으며, 1~2급은 용접상태가 양호한 것으로서 합격 판정될 수 있지만, 3~4등급은 용접 불량으로 판정하고 있다.

본 상수도관로의 사진 판독 결과에 의하면 3개소 모두 4급으로 판정되었으며 이것은 용접이 매우 불량 상태임을 말해 준다.

15.3.4 결과 요약

상수도관로의 파손상태 및 비파괴검사 결과는 상수도관로의 시공상태의 타당성을 규명하는데 있어서 매우 중요한 관건이 된다.

이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 상수도관거는 전체적으로 거의 전 구간에 걸쳐 0.5~2.5m정도 침하되었으며, 파손에 의한 관의 횡방향 변형은 최대 90cm 정도로서 압착된 상태로 인접관과 거의 접해 있다.

(2) 파괴되기 전의 상수도관로 상태는 설계도면과 일치하는 것으로 추정하고 있으나 관이 노출된 상태를 면밀히 조사한 결과 시공 당시에도 설계도면 대로의 공사가 이루어지지 않은 것으로 판단되며, 또한 상수도관거의 무리한 추진에 의한 용접부위손상과 용접시공상태의 불량 등이 상수도관거의 파손에 상당한 영향을 준 것으로 생각된다.

(3) 따라서, 이들 현상은 72m의 상수도관로를 무리하게 압입추진하는 과정에서 발생한 것으로 판단된다.

(4) 용접부위는 A관 및 B관 모두 불량하며 대부분의 용접이음개소는 거의 파단된 상태에 있다.

(5) B관 가운데 건전부위라고 생각되는 위치를 선택하여 3개소에 대해 X선을 이용한 비파괴시험을 실시하였으며, 그 결과 용접부의 용입부족에 의한 용접불량이 심한 것으로 판정되었다.

(6) 관의 파손상태는 구조해석을 하는데 정확한 정보를 제공함으로서 상수도 관로의 파손원인을 역학적 거동을 통해 판단할 수 있는 근거를 제공하는데 유용한 자료가 된다.

15.4 토질조사

15.4.1 개요

본 지역은 한강에 인접하여 있고 타지역에서 보기힘든 연약지반 지역이므로 지반이 연약하고 토질에 따른 사고의 발생이 가장 많으므로 토질조사를 철저히 하였다. 지반침하 진입도로에 대한 기초지반 및 구성상태와 지질을 파악하고, 각 지층의 지지력과 지하수위 등 지질공학적인 기초자료를 수집하여, 구조물의 안전진단을 위한 보다 효율적인 자료를 제공하는데 그 목적이 있으며, 본 조사의 개요는 다음과 같다.

가. 조사내용

(1) 시 추 조 사 (BX Size)	2 공
(2) 표준관입시험 (KS F-2318)	20 회
(3) 지하수위측정	2 회

나. 조사장비

(1) 시추기(회전수세식) YT-75형	1 대
(2) 표준관입시험기구	1 조
(3) 기타 부대장비	1 식

15.4.2 조사 방법

가. 현장조사

본 시추조사를 위한 위치는 좌측 콘크리트 통로 입구로부터 12.3m 떨어진 지표면과 상수도관로 입구 콘크리트 Box에서 21m 떨어진 바닥면의 2개소에 실시되었

다. 본 조사에서는 시추조사, 표준관입시험 및 지하수수위조사 등을 실시하였으며 구체적 실시방법은 다음과 같다.

(1) 시추조사

1) 시추공경은 BX Size (ϕ58.0 mm)로 실시하였다.

2) 공내 붕괴를 방지하기 위하여 비교적 견고한 층까지 Casing을 삽입하였고 그 이하는 이수공법으로 공내를 보호하였다.

3) 시추조사는 매립층 이하 모래자갈층까지 확인하는 것을 원칙으로 하였다.

(2) 표준관입시험

1) 시험은 KS F-2318 규정에 의거하여 63.5kg 중량의 해머를 76cm 높이에서 낙하시켜 N치를 구하였다.

2) 본 시험은 기반암 심도 이전의 모든 층을 대상으로 1.5m 간격으로 실시함을 원칙으로 하였고 지층이 변할시는 심도에 관계없이 실시하였다.

3) 타격회수 N치는 매 15cm 관입하는데 소요되는 타격회수를 측정하는 방법으로 3회 연속 실시하였으며 최초 15cm를 관입하는데 소요되는 타격회수를 N치로 기록하였으며, 타격회수가 50회를 초과할 경우에는 50회까지의 관입심도를 기록하였다.

4) 본 시험을 통해 채취된 시료를 시료병 및 시료상자에 넣어 보관하였다.

(3) 지하수위측정

본 조사지역의 지하수위 측정은 시추공에 나타나는 정수면의 위치를 지표면을 기준으로, 시추종료 후 24~48시간이 경과한 후 측정하였다.

나. 토질 및 암석, 암반의 분류방법

(1) 토질에 대한 분류기준은 현장에서의 육안판별 및 통일분류법(U.S.C.S)에 근거를 두고 분류 하였으며, 기술내용은 토질의 상태 즉 N치를 근거로 점성토의 경우 컨시스턴시(Consistency), 사질토의 경우 상대밀도(Relative Density), 함수상태, 색, 토질명 등이다.

(2) 기반암을 분류하는 기준은 풍화암, 연암, 보통암 및 경암 등으로 구분 할 수 있으며, 암질은 풍화정도, 균열상태, 코아형성 등의 제성질과 현장굴진상태 등의 경험적인 요소를 감안하여 판정하는 것이 바람직하다.

표 15.2 토의 육안적 분류

구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		손가락으로 끈모양으로 꼴 때 (습윤상태)
		건조 상태	습윤 상태	
모 래 (Sand)	개개의 입자의 크기가 판별될 수 있는 입상, 건조상태에서 흩어져 내림	덩어리지지 않고 흐트러짐	덩어리지나 가볍게 건드리면 흩어짐	끈모양으로 꼬아지지 않음
실트질 모 래 (Silty Sand)	입상이나 실트 또는 점토가 섞여서 약간 점성, 모래질의 특성이 우세	덩어리지나 가볍게 건드리면 흩어짐	덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음	끈모양으로 꼬아지지 않음
사 질 실 트 (Sandy Silt)	적당량의 세립자와 소량의 점토를 함유, 실트입자가 반이상, 건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨	덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 부서지면 가루와 같은 감촉	덩어리지며 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 물을 부으면 서로 엉킴	끈모양으로 꼬아지지 않으나 작게 끊어지고 부드러우며 점성이 있음
실 트 (Silt)	세립사와 점토는 극소량 함유하고 실트입자의 함량이 80% 이상, 건조되면 덩어리지나 쉽게 부서져 밀가루 감촉의 가루가 됨	덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며, 물에 젖으면 엉킴	완전히 꼬아지지 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
점 토 (Clay)	건조되면 아주 딱딱한 덩어리가 되며, 건조상태에서 잘 부서지지 않음	덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며, 찰흙상태로 됨	길고 얇게 꼬아지며 점성이 큼

표 15.3 점성토의 Consistency, 일축압축강도와 N 치와 관계

N 치	컨시스턴시 (Consistency)	일축압축강도 $q_u(Kg/cm^2)$
N < 2	매우 연약(Very Soft)	< 0.25
2 ~ 4	연약(Soft)	0.25 ~ 0.5
4 ~ 8	보통(Medium)	0.5 ~ 1.0
8 ~ 15	견고(Stiff)	1.0 ~ 2.0
15 ~ 30	매우 견고(Very Dense)	2.0 ~ 4.0
N > 30	고결(Hard)	> 4.0

표 15.4 사질토의 상대밀도, 내부마찰각과 N 치와 관계

N 치	상대밀도 (%) $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100$		내부마찰각(ϕ^0)	
			Peck	Meyerhof
N < 4	매우 느슨(Very Loose)	0 ~ 20	< 28.5	< 30
4 ~ 10	느슨(Loose)	20 ~ 40	28.5 ~ 30.0	30 ~ 35
10 ~ 30	보통(Medium)	40 ~ 60	30.0 ~ 36.0	35 ~ 40
30 ~ 50	조밀(Dense)	60 ~ 80	36.0 ~ 41.0	40 ~ 45
N > 50	매우조밀(Very Dense)	80 ~ 100	41.0 <	45 <

표 15.5 암반(암석)의 분류기준

암반분류	시추굴진상황	암반의 성질						비고 q_c (Kg/cm²)
		풍화변질상태	균열상태	코아상태	해머타격	침수시험	탄성파속도 (Km/sec)	
풍환암	Metal bit로 용이하게 굴진 가능하며 때로는 무수보링도 가능	암내부까지 풍화진행 암의 구조 및 조직이 남아 있음	균열은 많으나 점토화의 진행으로 거의 밀착상태임	세편상암편이 남아있고 손으로 부수면 가루가 되기도 함 원형코아가 없음	손으로 부서짐	원형보존이 거의 불가능하며 세편상으로 분리됨	< 1.2	125 이하
연암	Metal bit로 용이하게 굴진 가능한 암반	암내부의 일부를 제외하고 풍화진행 장석, 운모등 변질	균열이 많이 발달 균열 간격은 5cm 이하이고 점토협재	암편상~세편상(각력상) 원형코아가 적고 원형복구 곤란	해머로 치면 가볍게 부서짐	세편상으로 분리되고 암괴로 분리됨	1.2 ~ 2.5	125 ~ 400

표 15.6 암반(암석)의 분류기준

암반분류	시추굴진 상황	암반의 성질						비고 q_c (Kg/cm²)
		풍화변질 상태	균열상태	코아상태	함마타격	침수시험	탄성파 속도 (Km/sec)	
보통암	Metal bit로 굴진 가능하나 Diamond bit를 사용하면 코아회수율이 양호한 암반	균열을 따라 다소 풍화진행 장석 및 유색광물은 일부 변색됨	균열이 발달 일부는 점토를 협재함 세편상태로 잘 부서짐 균열간격은 10cm 이내	암편상~단주상 10cm이하 이며 특히 5cm내외의 코아가 많음 원형복원 가능	함마로 치면 탁음을 내고 부서짐	암괴로 분리되나 입자의 분산은 거의 없고 변화하지 않음	2.5 ~ 3.5	400~800
경암	Diamond bi를 사용하지 않으면 굴진하기 곤란한 암반	대체로 신선 균열을 따라 약간 풍화변질됨 암내부는 신선함	균열의 발달이 적으며 균열 간격은 5~15cm 대체로 밀착상태이나 일부는 open됨	단주상~봉사 대체로 20cm이하 1m당 5~6개 이상	함마로 치면 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 튀는 경향을 보임	거의 변화하지 않음	3.5 ~ 4.8	800 ~ 1,200

자료 : 지질조사 표준품셈

15.4.3 조사 결과

가. 시추성과

본 조사지역에 분포하는 기반암은 선캠브리아기의 변성암류인 경기편마암 복합체를 구성하는 편마암으로서 그 상부를 기반암풍화대, 퇴적층 및 매립층이 피복하고 있다. 본 암은 장석을 가장 많이 포함하여, 석영, 운모, 각섬석, 휘석, 석류석 등을 포함한다. 또한 암석이 재결정작용을 받아 운모와 같은 판상의 광물이 평행하게 배열된 엽리가 발달되어 있고, 구성광물의 입자가 커서 편마구조를 나타내고 있으며, 색조는 암회색을 띠고 있다.

본 조사에서는 총 2개소의 시추지점을 선정하여 BX 구경으로 실시하였다.

그 결과 나타난 본 조사지역의 지층구성 상태는 상부에서부터 매립층, 모래질, 실트층, 실트질모래층, 자가모래층의 순으로 확인되었다. 각 지층의 층후 및 심도는 표 15.7의 시추성과표와 같으며 이를 각 지층별로 설명하면 다음과 같다.

표 15.7 시추성과표

구분 / 공번	매립층	모래질 실트층	실트질 실트층	자갈 모래층	계	S.P.T (회)
BH - 1	4.5	2.0	3.2	3.2	15.0	10
BH - 2	2.8	4.2	3.0	3.0	15.0	10
계	7.3	6.2	6.2	6.2	30.0	20

(1)매립층

본 지층은 인위적인 성토에 의해 형성된 지층으로 2.8 ~ 4.5m 정도의 층후로 분포한다. 모래를 주로하여 자갈, 전석 등이 혼재되어 있으며, 표준관입시험 결과 N치는 5회/30cm ~ 17회/30cm 정도로 느슨(Loose) ~ 보통(Medium)의 상대밀도를 보인다.

(2) 모래질 실트층

본 지층은 하천의 유수에 의해 운반, 퇴적된 충적기원의 퇴적층으로서 2.0~4.2m 정도의 층후로 분포한다. 본 층은 세립질 모래 섞인 실트로 구성되며, 부분적으로 얇은 모래층이 협재되어 있다. 표준관입시험 결과 N치는 4회/30cm ~ 14회/30cm정도로 보통(Medium) ~ 견고(Stiff)한 조도를 보인다.

(3) 실트질 모래층

본 지층은 하천의 유수에 의해 운반, 퇴적된 충적기원의 퇴적층으로서 5.0~5.3m 정도의 층후로 분포한다. 본 층은 약간의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되며, 부분적으로 얇은 실트층이 협재되어 있고, 상부는 실트가 다량 포함되어 있다. 표준관입시험 결과 N치는 14회/30cm ~ 25회/30cm 정도로 보통(Medium)의 상대밀도를 보인다.

(4) 자갈모래층

본 지층 역시 하천의 유수에 의해 운반, 퇴적된 충적기원의 퇴적층으로서 본 조사에서는 3.0 ~ 3.2m 정도를 확인하고 시추를 종료하였다. 본 층은 자갈, 모래, 전석이 혼재되어 있으며, 부분적으로 모래층이 협재되어 있다. 표준관입시험 결과 N치는 5회/4cm ~ 50회/2cm 정도로 매우조밀(Very Dence)한 상대밀도를 보이나, 이는 자갈 및 전석의 영향에 의한 과대치로 판단된다.

나. 표준관입시험

개략적인 지반의 지지력과 지층의 분포상태 확인 및 지지층의 심도를 파악하기 위하여 본 시험을 실시하였으며 이를 각 지층별로 요약하면 다음 표 15.8과 같다.

표 15.8 표준관입시험 성과표

지 층	N 치	상대밀도
매 립 층	5 ~ 17	Loose ~ Medium
모 래 질 실 트	4 ~ 14	Medium ~ Stiff
실 트 질 모 래	14 ~ 25	Medium
자 갈 모 래 층	50 이상	Very Dense

다. 지하수 수위측정

측정된 지하수수위는 부지내 지하수수위의 분포상태를 파악하기 위한 자료로 이용하였으며, 각 시추공에서 측정된 정수면의 위치는 다음 표 15.9와 같다.

표 15.9 지하수위 측정 결과

공 번	지 하 수 수 위 (m)	지 층
BH - 1	- 3.2	매 립 층
BH - 2	- 3.0	모래질실트층

15.4.4 결과 요약

본 과업대상인 도로안전진단 지질조사에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 조사지역에 분포하는 기반암은 선캠브리아기의 변성암류인 경기편마암복합체를 구성하는 편마암이다.

(2) 지층분포 상태는 지표로부터 매립층, 모래질 실트층, 실트질 모래층, 자갈모래의 순으로 확인되었다.

(3) 시추조사 결과 나타난 각 지층별 두께는 매립층이 2.8~4.5m, 모래질 실트층이 2.0~4.2m, 실트질 모래층이 5.0~5.3m 정도이며, 자갈 모래층은 3.0m 이상을 확인하였다.

(4) 표준관입시험 결과 나타난 각 지층별 N치는 매립층에서 5~17 범위로, 모래질 실트층에서 4~14 범위로, 실트질 모래층에서 14~25 범위로, 자갈 모래층에서 50이상으로 나타났다.

(5) 시추조사 완료 후 측정한 지하수위는 BH-1번공의 경우 지표로부터 3.2m로 나타났으며, BH-2번공은 3.0m로 확인되었으나, 이는 계절의 변화, 주변 하천수위의 변화 및 강우량 등의 요인에 의해 다소의 변화가 있을 수 있다.

15.5 지반해석

15.5.1 관로주변지반의 토질정수

관로에 작용하는 토압 및 도로의 사면안정 해석을 위하여 다음과 같은 실내 및 현장시험을 실시하였다.

가. 도로 성토체

도로 성토체에 대한 현장 들밀도시험은 도로의 표면에서 1m정도 떨어지고 파괴되지 않은 좌측사면(교량으로부터)에서 실시되었다. 토성시험을 위한 시료를 1차적으로 채취하여 실내시험이 실시되었다. 상수도관로 보수공사를 위한 지반 보링 당시 2차적으로 시료가 채취되어 실내시험을 실시하였는데 1차 시료와 동일한 결과를 얻었다.

(1) 현장시험 - 현장 들밀도시험 3곳

평균건조단위중량, (γ dave) = 1.64 t/m3

평균현장함수비, (ω max) = 9.36 %

(2) 실내시험

- 입도시험 : 토질의 분류(USCS) - 실트질 모래 (SM)
- 다짐시험 : 다짐방법 - A-a 방법

최대건조밀도, (γ dmax) = 1.78 t/m3

최적함수비, (ω max) = 13.1 %

- 전단시험 : 시험방법 - 실내다짐후 포화상태에서 급속전단시험 실시

평균건조단위밀도, (γ dave) = 1.74 t/m3

내부마찰각, (ϕ) = 41.5도

점착력, (c) = 0.1 t/m2

- CBR 시험

나. 관로주변의 모래질 실트층

관로가 위치한 실트층의 경우 1차 보오링시 얻은 교란 시료를 통하여 토성시험을 실시하였고, 전단시험은 근방의 동일한 모래질 실트층에 대하여 불교란 시료를 채취하여 실시하였다. 또한 2차적으로 채집 관로보수공사를 위한 지반 보오링 당시 채취하여 실내시험을 실시하였고, 그 결과는 1차 시료와 동일한 결과를 얻었다.

(1) 실내시험 (1차 시료)

- 입도시험 : 토질의 분류(USCS) - 모래질 실트 (SP-SM)
- 전단시험 : 시험방법 - 비교란시료로 포화상태에서 급속전단시험 실시
  평균건조단위밀도, (γ dave) = 1.24 t/m3
  내부마찰갈, (ϕ) = 33.9도
  점착력, (c) = 0.1 t/m2

(2) 현장시험 - 표준관입시험

시험결과를 기초로 하여 관로해석에 필요한 토질정수를 다음 표와 같이 결정하였다.

표 15.10 지반의 토질정수

	성 토 층	실 트 층	비 고
비중	2.66	2.65	
함수비(%)	9.90	43.00	
초기간극비	0.60	1.14	
건조단위중량 γ_d (t/m^3)	1.66	1.24	
습윤단위중량 γ_t (t/m^3)	1.80	1.75	
포화단위중량 γ_{sat} (t/m^3)	2.00	1.75	
점착력 (kg/cm^3)	0.10	0.10	
내부마찰각 ϕ(°)	38.0	30.00	
통일분류법 USCS	SM	SP-SM	
유효직경 D_{10} (mm)	0.08	0.0029	
액성한계 LL (%)	26.10	NP	
소성한계 PI (%)	2.01	NP	

* 단 매립층에 대해서는 성토층과 동일한 토질정수로 가정

15.5.2 관에 작용한 토압상태

가. 관에 작용하는 토압계산

관에 작용하는 토압은 지반의 종류, 관거의 연성도, 크기 및 매설깊이에 따라 달라서 정확한 토압의 상태를 추정하기는 어려우나, 일반적으로 Marston공식에 의하여 계산할 수 있다. 그림 15.1에서 보는바와 같은 상태의 관거에 작용하는 토압을 Marston 공식에 의하여 나타내면 다음과 같다.

(1) 수직방향토압

관거에 수직방향으로 작용하는 토압은 관의 폭과 매설깊이에 따른 토압감쇠함수 Cd를 통하여 식으로 나타낸다. 즉

수직토압 (Wv) = Cd γt B

여기서, $C_d = \dfrac{1-\exp(-2K_\mu H/B)}{2K_\mu}$

K = 주동토압계수

μ = 관과 지반사이의 마찰계수

H = 관로의 매설깊이

B = 관로의 직경

γt = 지반의 단위중량

(2) 수평방향토압

관거의 작용하는 수평방향토압은 정지토압계수로 나타낼 수 있다. 즉

수평토압 Wp = Ko Wv

여기서, Ko = 정지토압계수

Wv = 수직방향토압

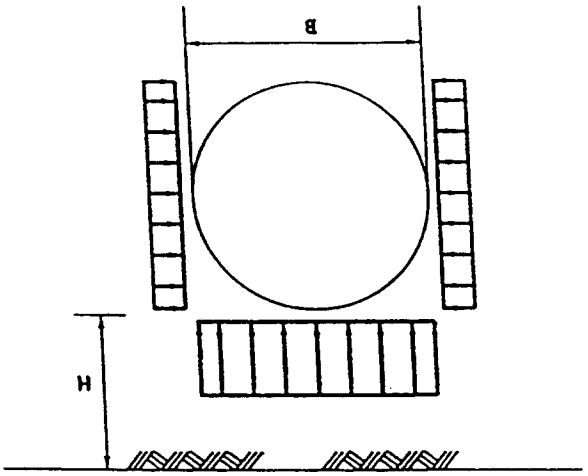

그림 15.1 추진 관로에 작용하는 토압상태

나. 첫 번째 관로 추진시 작용토압상태

첫 번째 관로는 도로 표면으로 부터 10m 깊이에 추진되여, 관로에 작용한 토압은 지반조건에 따라 계산하면 다음과 같다.

(1) 지반조건 - 실트질 모래 (내부마찰각 ϕ = 30°)

$$K = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = 0.33$$

μ = tan ϕ = tan 30° = 0.58

H = 10 m

B = 2 m

그래서 $+C_d = \dfrac{1-\exp(-2K_{\mu}H/B)}{2K_{\mu}}$

$$= \frac{1-\exp(-2\times 0.33\times 0.58\times \frac{10}{2})}{2\times 0.33\times 0.58} = 2.23$$

(2) 수직방향토압

Wv = Cd γ t B = 1.8×2.23×2 = 8.03 t/m2

(3) 수평방향토압

Wp = Ko Wv = (1- sinϕ) Wv = 0.5×8.03 = 4.01 t/m2

(4) 시공에 따른 지반의 거동상태

첫 번째 관로를 추진하는 동안 위에서 계산된 바와 같이 약 8 t/m2 정도의 수직방향 토압과 약 4 t/m2 정도의 수평방향 토압이 관로에 작용하였다고 판단되며, 이는 그림 15.2와 같다. 추진된 관로 주변의 지반은 세사(SP-SM)지반이고, 관로를 추진하는 동안 인접한 농수로의 균열부분을 통해 농수로의 물이 지반으로 흘러들어 지하수 수위를 상승시켜, 관로를 추진하는 동안 관거 전방부에서 약간의 세사가 지하수와 함께 관을 통하여 밖으로 흘러나왔으리라 사료된다. 이 때문에 주변지반이 약간 이완되었으나, 그 당시에는 도로의 안정상태에는 별다른 영향을 주지 않았다고 사료된다.

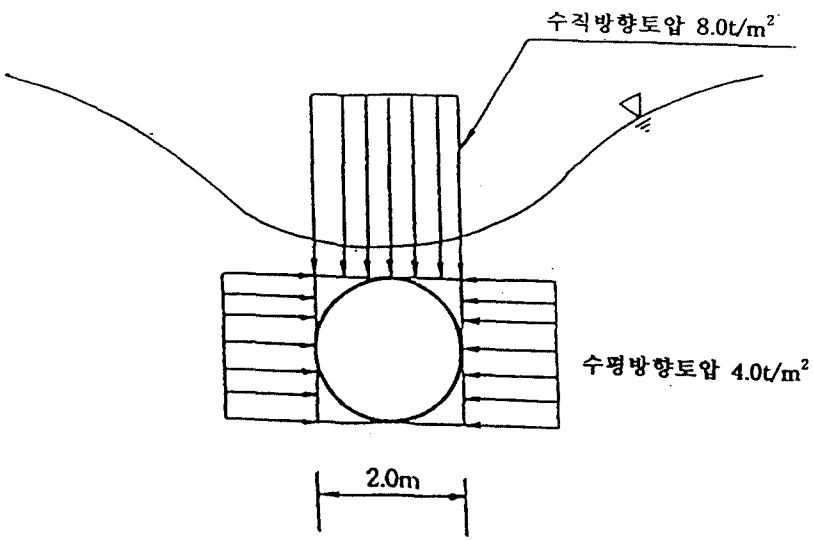

그림 15.2 첫번째 관로 추진시 토압상태

다. 두번째 관로 추진시 작용토압상태

첫번째 관로의 추진이 완료된 후 두번째 관은 첫번째 관로로부터 인접시공 되었다. 이때 관로에 작용하는 토압은 인접시공에 대한 영향을 고려되어야 한다. 인접시공은 관로에 작용하는 토압을 증가시키며, 이를 계산하기 위해서는 식에서 관의 직경 B는 두 관의 직경과 두 관사이의 거리를 모두 포함하여 계산하여야 한다. 즉,

토압계산에 필요한 지반조건은 아래와 같다.

(1) 지반조건 - 실트질 모래 (내부마찰각 ϕ = 30°)

K = 0.33

μ = tan ϕ = tan 30° = 0.58

H = 10 m

B = 두배의 관직경 + 1 = 5 m

γ t = 1.8 t/m3

그래서 $C_d = \dfrac{1-\exp(02\times033\times0.58\times\frac{10}{5})}{2\times0.33\times0.58} = 1.40$

(2) 수직방향토압

Wv = 1.8×1.40×5 = 12.6 t/m2

(3) 수평방향토압

Wp= 0.5×12.6 = 6.3 t/m2

(4) 관로 시공시 실제 작용토압

두번째 관로의 추진시 초기에는 위의 계산에서 보는바와 같이 인접시공으로 인하여 수직방향 토압 약 12.6 t/m2과 수평토압 약 6.3 t/m2이 작용하였다. 인접시공의 영향으로 실제로 관에 작용하는 토압이 증가되어 두번째 관로는 매우 어렵게 추진되었다. 두번째 관로를 추진하기 위해서는 대단히 큰 추진력이 요구되었고, 결국은 관의 압입부 주변에 계속 변형이 발생되어 관로 추진이 중단되었다. 과대한 관로 추진력은 불량 시공된 관의 용접부위를 손상시켰을 가능성이 매우 높다. 또한 두번째 관로를 추진하는 동안 관로의 전방에 있는 세사가 지하수와 함께 관로를 통하여 밖으로 흘러나와 첫번째 관 추진시 보다 더욱 지반을 이완시켜 관로로 부터 도로표면까지 광범위한 침하가 발생하였다. 그 후 두번째 관로는 상류 쪽에서 다시 추진되어 연결되고, 침하된 도로는 복구되어 준공되었다.

이런 경우 지반침하로 인하여 매설깊이에 따른 토압의 감쇠효과를 기대하기 어려워서 사실상 관에 작용한 토압은 도로로부터 관로까지의 전체 매설

깊이 10m에 해당되는 토압이 작용되었다고 사료된다. 즉, 실제 작용최대토압은 다음과 같다.

최대 수직 작용토압 Wv = 1.8 × 10.0 = 18.0 t/m2

최대 수평 작용토압 Wp = 0.5 × 18.0 = 9.0 t/m2

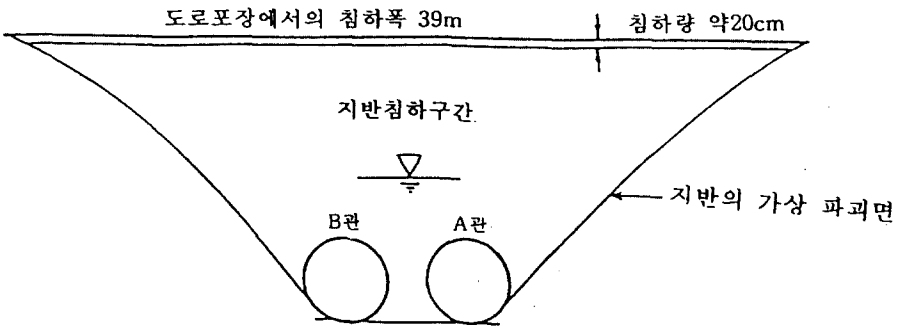

그림 15.3 두번째 관로 추진시 발생된 지반침하구간

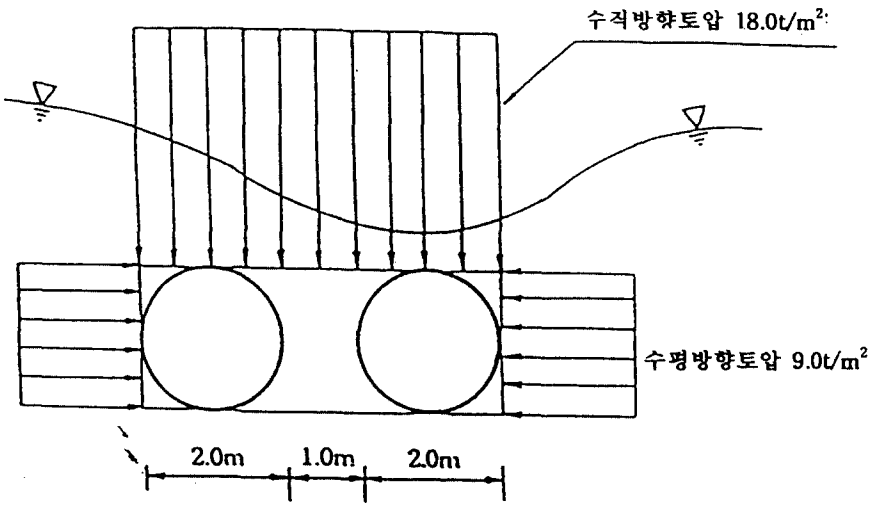

그림 15.4 두번째 관로 추진시 토압상태

라. 관로가 준공되어 파괴되기전의 토압상태

관로가 준공되어 파괴되기 전까지는 관로 및 도로는 안정상태로 있는 것 같이 보였다. 그러나 시간이 지나감에 따라 불량 시공된 용접부위에 과다한 하중이 작용하여 균열이 서서히 발생하였다고 사료된다. 준공 후에도 농수로 균열을 통해 물이 흘러나와 지하수위는 관로의 위쪽에 있어 관로가 파괴되기 전까지 관 용접부위의 균열을 통하여 지하수가 세사와 함께 관내로 계속 유입되었고 이로 인하여 관 주변의 지반은 이완되었다고 판단된다.

이 기간 동안에 본 지역에 내린 강우의 양이 적어 도로가 강우로 인하여 포화되지 않은 상태이어서 관에 작용하는 토압은 더 증가되지 않았다. 비록 관주변의 지반은 이완되었지만 도로가 물로 포화되지 않아 관상부 지반에 응력을 받을 수 있는 아아치 현상이 발생하여 도로는 더 이상의 변형을 하지 않았다고 판단된다.

마. 관로 파괴당시의 토압상태

관로가 파괴되기 시작한 시점은 본 지역에 집중강우가 약 3일에 걸쳐 200mm이상 발생하였던 때이다. 이 강우로 인한 우수는 도로의 사면을 통하여 흘러 들어가 도로의 성토지반을 포화시키기 시작하였고, 도로의 포화로 인하여 도로내의 토압은 증가되었다. 그때 도로 좌측 사면에 있는 상부의 상수도 분기관이 이탈하여 많은 양의 수돗물 물이 큰 압력으로 상수도관로 주변 도로 지반내로 흘러 들어가서 지반의 포화를 가속화하였다. 도로 우측에서는 강우로 인하여 사면 경계면에서 균열이 발생하고 이를 통하여 빗물이 도로 내부로 침투되었다. 또한 계속되는 강우로 인하여 지하수위가 상승하고 도로는 거의 물로 완전히 포화상태가 되었다고 사료된다. 따라서 관로에 작용한 토압은 수압으로 인하여 최대로 증가되었다. 이때 관로에 작용한 최대 작용토압은 다음과 같다.

(1) 최대 수직작용토압

최대 수직작용토압, (Wv) = γ sat H

여기서 γ sat = 상부지반의 포화단위중량(= 2.0 t/m3)

H = 관의 매설깊이(10.0 m)

즉 Wv = 2.0 × 10 = 20 t/m2

(2) 수평방향토압

최대수평작용토압, (Wp) = 0.5 × 20 = 10 t/m2

(3) 지하수위 상승위치

강우로 인한 지하수위는 그림에서 보는 바와 같이 상승하였다. 지하수위 상승속도는 강우지속시간 및 투수계수를 통하여 추측할 수 있다. 즉,

침투속도 (v) = k I

여기서, 투수계수 (k)(cm/sec) = (D10)2

= 0.0822 = 0.0067 cm/sec

또한, 도로의 성토사면 시작점에서 수직방향으로 물의 흐름을 가정하면 동수경사 i 는 1이다. 따라서

침투속도 (v) = 0.0067 cm/sec

강우침투거리 (L) = vT (T = 강우지속시간)

= 0.0067 × 2 day × 24 hr × 60 min × 60 sec

= 1157 cm = 11.6 m

(4) 기초지반의 보일링 현상 검토

보일링 현상의 발생에 필요한 한계 동수경사

$i_c = \gamma \delta / \gamma w = (1.75 - 1) = 0.75$

보일링 현상의 발생깊이

i_c = 수두차 / 발생깊이

최소 발생깊이 = 2 / 0.75 = 2.7 m

평균 발생깊이 = 5 / 0.75 = 6.7 m

위의 계산에서 보는바와 같이 도로가 강우로 인하여 포화됨에 따라 관로에 작용하는 토압도 서서히 증가하였다. 강우의 도달거리는 11.6m로 관로에서 도로면까지의 깊이 10m를 초과하고 있어 도로는 완전 포화되었다고 사료된다.

도로의 완전 포화상태를 기준으로 그림에서 보는바와 같이 수직방향토압이 최대

약 20 t/m2과 수평방향토압이 최대 약 10t/m2이 관로에 작용하였다고 판단된다.

지하수위 상승으로 인하여 발생한 간극수압은 관로 용접부위의 균열을 증대시키고, 많은 지하수와 함께 주변의 세사가 균열을 통하여 누수되었다. 이로인하여 관로 기초지반에는 깊이 2.7m 이상에서 보일링 현상이 발생하여 기초지반의 강도는 급격히 저하되여 지지력을 상실하였다. 따라서 포화로 인한 상부지반의 강도가 저하되고 그리고 주변의 세사유출로 인하여 관 상부의 아아치현상을 약화되어 최대로 증가된 토압이 관로에 작용하였다. 이때 보일링 현상으로 기초지반의 지지력을 상실한 관로는 불량용접으로 인하여 이탈되어 마치 한쪽 만이 입구 콘크리트 box에 고정된 컨트레바빔과 같은 상태가 되었다. 그래서 토압을 견디지 못한 관로는 변형하고 파괴되었으며, 특히 관거의 양쪽 부근은 심하게 변형하여 기초 지반내로 관입되었다.

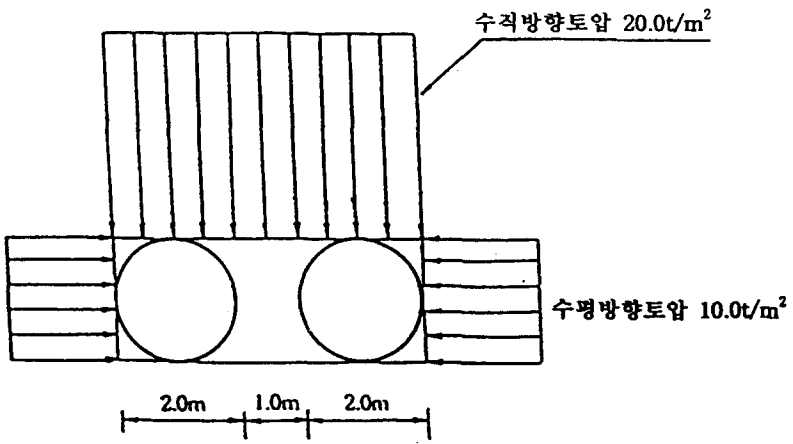

그림 15.5 관로파괴직전의 토압상태

15.5.3 성토사면의 안정검토

성토사면의 안정검토는 Bishop 방법의 Computer 해석을 통하여 검토하였다. 본 사면안정에 대한 해석은 강우로 인한 지반 포화상태를 단계별로 가정하여 도로 내의 지하수의 위치를 4단계로 가정하여 해석하였다. 각 해석 Case별 지하수 위치에 따른 가정은 다음 표 15.11과 같다.

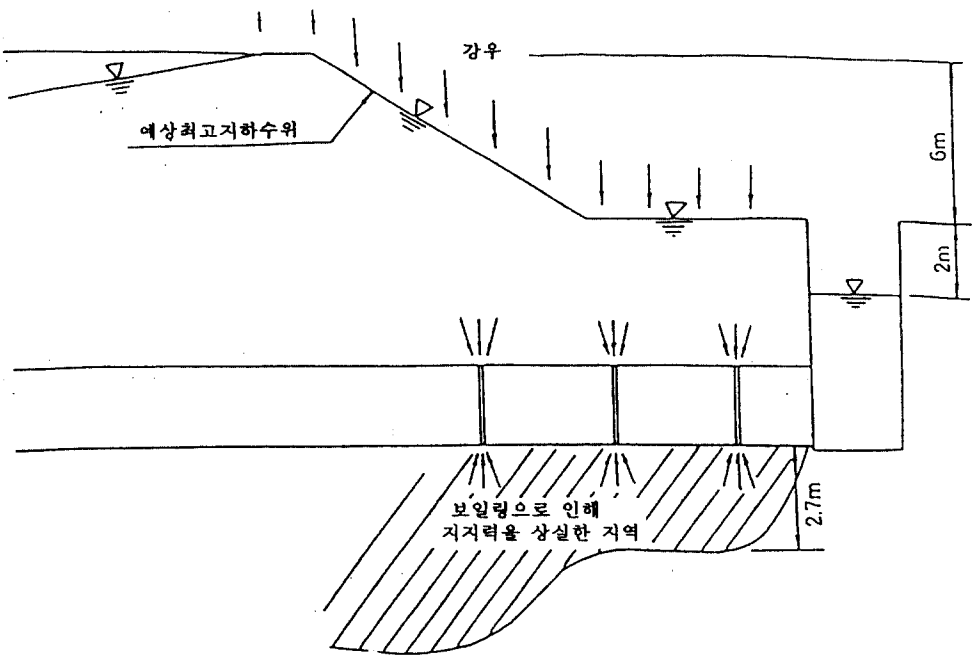

그림 15.6 강우로 인한 지하수위 상승과 보일링 현상발생

표 15.11 Case별 지하수위가정

Case	지하수가정 위치	지반포화가정
1	원 지반선	도로 표면에서 6m 아래 지반
2	도로 성토의 중간	도로 표면에서 3m 아래 지반
3	도로 성토의 2/3	도로 표면에서 1.5m 아래 지반
4	도로 상부면	도로 완전포화

각 Case별 사면해석 결과는 표 15.11에서와 같이 도로가 포화될 경우 사면으로부터 3m 내외에서 가상 파괴면에 대한 안전율이 1 내외로 나타나서 활동파괴에 대한 가능성이 대단히 높은 것으로 나타났다. 이는 지하수 위치가 높을수록 도로 사면으로부터 가상 파괴면까지의 깊이가 깊다.

이 결과에 의하면 지반이 포화됨으로 인한 도로의 사면 부근에서 활동파괴의 가능성이 높으며, 이는 실제의 사면 파괴형태와 유사하다. 특히 좌측 사면의 경우 가상 활동파괴면이 상수도 분기관 일부를 통과하여 지나가도록 되어있어, 사면에 활동파괴가 발생하면서 활동하는 지반이 상수도 분기관에 전단하중으로 작용하여 상수도 분기관의 이탈에 영향을 줄 수 있다고 판단된다.

실제로 도로 사면의 파괴형태는 도로포장면에서 얕은 깊이로 발생하였다. 좌측 사면의 경우 사면파괴면이 상수도 분기관 접합부를 지나가고 있다. 이는 분기관의 파열로 인한 수돗물 물의 높은 수압이 도로의 사면을 밀어내어 사면의 파괴를 유발시킨 것으로 사료된다. 상수도 분기관의 파괴 원인으로는 도로의 침하, 강우로 인한 도로 사면변형, 과다한 대형화물 자동차의 주행등으로 상수도에 과다한 하중이 작용하여 분기관이 이탈하였다고 사료된다. 우측사면의 경우는 실제 사면파괴면이 좌측보다는 깊지 않은 점으로 미루어 보아 강우에 의해 포화된 지반에 많은 대형화물 자동차가 통과하여 사면파괴에 영향을 주었다고 사료된다.

표 15.12 Case별 사면해석 결과평가

Case	사 면 파 괴 가 능 성	안 전 율
1	사면파괴 가능성 없음	1.5
2	사면 끝에서 약 2.0 미터 깊이	1.05
3	사면 끝에서 약 2.8 미터 깊이	1.02
4	사면 끝에서 약 3.35 미터 깊이	0.99

15.5.4 도로의 침하량 검토

본 도로가 축조된 원지반은 주로 연약한 사질토 지반으로 구성되어 있어 도로기

초지반의 침하는 주로 탄성침하로 간주된다. 이러한 기초의 탄성침하는 도로를 축조하는 동안 발생하여 일반적으로 도로가 준공된 후에 큰 영향을 발생시킨다. 이는 근처 콘크리트 암거에 균열이 발생한 것으로 보아 기초지반의 침하가 발생된 것으로 사료된다.

측량결과에 의하면 상수도관로 주변의 도로표면에서 표 15.13과 같이 도로의 침하가 발생된 것으로 나타났다. 이는 주로 도로의 성토된 부분에서 침하가 나타난 것으로 이는 성토시 다짐의 불량이나 많은 대형화물 자동차의 교통량에 의해 발생된 것으로 사료된다. 이러한 침하현상은 아스팔트 포장일 경우 자주 나타난다. 도로의 허용침하량은 시방서 상에 정해진바는 없으나, 이러한 침하가 구조물에 피해를 주지 않아야 한다.

예상도로 침하량은 간단하게 도로를 일차원으로 가정하여 계산할 수 있다. 도로 중앙부의 최대 침하량은 다음 식과 같이 구할 수 있다. 즉, 침하량 S는

S = εa (축방향 변형율) × H (성토높이)

여기서, εa = σv (도로 중심깊이에서의 수직방향응력) / E (변형계수)이다.

도로의 성토높이는 6m이며, 변형계수를 1,000t/m2로 가정하면 침하량은 다음과 같다.

σv = γsat H / 2 = 2.0 × 3.0 = 6.0 t/m2

침하량 $S = \frac{6.0 \times 6.0}{1000} = 0.036m = 3.6cm$

위의 계산된 침하량 3.6cm는 도로의 다짐이 양호하게 시공될 경우 도로전체의 평균 침하량이다. 그러나 표15.13에서 보는바와 같이 준공 후 실측된 도로표면의 침하량은 예상 침하량 보다 크게 나타났다.

15.5.5 결과 요약

본 절에서는 관로의 파괴 원인을 규명하기 위하여 관로의 건설 단계별로 토압의 상태를 검토하였다. 본 관로는 한가지 원인보다는 복합적인 여러 조건들이 작용하였으며 큰 원인은 집중강우와 불량시공으로 인하여 증가된 토압을 관로가 받아내지 못하여 파괴되었다고 사료된다. 단계별 토압증가의 원인에 대한 요약은 다음과 같다.

표 15.13 도로의 실측 침하량

측점	위 치	중심선	좌측선	우측선	평균침하량값 (M)	비 고
No. 1	계획고(M)	12.50	12.24	12.24	-0.18	사고지점 통로 Box
	실측고(M)	12.39	12.03	12.01		
	침하량(M)	-0.11	-0.21	-0.23		
No.2	계획고(M)	12.18	11.92	11.92	-0.14	
	실측고(M)	12.09	11.75	11.75		
	침하량(M)	-0.09	-0.17	-0.17		
No.3	계획고(M)	11.86	11.60	11.60	-0.13	
	실측고(M)	11.80	11.43	11.43		
	침하량(M)	-0.06	-0.17	-0.15		
No.4	계획고(M)	11.39	11.33	11.33	0.17	
	실측고(M)	11.46	11.12	11.15		
	침하량(M)	-0.13	-0.21	-0.18		

가. 관로의 인접시공의 영향

(1) 첫번째 관로 추진시의 지반상태

첫번째 관로를 추진하는 동안 약 8 t/m² 정도의 수직방향토압과 약 4 t/m²정도의 수평토압이 관로에 작용하였다고 판단된다. 추진된 관로 주변의 지반은 세사(SP-SM)지반이고, 관로를 추진하는 동안 농수로 균열을 통해 농수로 물이 지반에 흘러들어 지하수위를 상승시켜, 관로를 추진하는 동안 전방부의 세사가 지하수와 함께 관로를 통하여 밖으로 흘러 나왔다. 이 때문에 주변지반이 약간 이완되었으나, 그 당시에는 도로의 안정상태에는 별다른 영향을 주지 않았다고 사료된다.

(2) 두번째 관로 추진시의 지반상태

두번째 관로를 추진하는 동안 초기에는 인접시공으로 인하여 수직방향토압 약 12.6 t/m²과 수평토압 약 6.3 t/m²이 관로에 작용하였다. 실제로 인접시공의 영향으로 관로에 작용하는 토압이 증가되어 두번째 관로의 추진이 매우 어렵게 진행되었다. 결국은 두번째 관로는 대단히 큰 추진력으로 인한 계속되는 관압입부의 변형 때문에 추진이 중단되었다. 과대한 관로 추진력은 불량 시공된 관로의 용접부위를 손상시켜 쓸 가능성이 매우 높다. 또한 두번째 관로를 추진하는 동안 관로 전방의

세사, 농수로 균열을 통해 흘러나온 물 지하수가 함께 관을 통하여 밖으로 흘러나와 첫번째 관로 추진때 보다 더욱 지반을 이완시켜 관로로부터 도로표면에 까지 광범위한 지반침하가 발생하였다. 그후 두번째 관로는 상류 쪽에서 다시 추진되어 연결되고, 침하된 도로는 복구되어 준공되었다. 이런 경우 지반침하로 인하여 매설에 따른 토압의 감쇠효과를 기대하기 어려워서 사실상 관로에 작용한 토압은 도로로부터 관로까지의 전체 매설깊이 10m에 해당되는 최대 토압 즉 수직토압 18.0 t/m²과 수평토압 9.0 t/m²이 작용하였다고 사료된다.

(3) 관로가 준공되어 파괴되기 전의 토압상태

관로가 준공되어 파괴되기 전까지는 관로 및 도로는 안정상태로 있는 것 같이 보였다. 그러나 시간이 자나감에 따라 불량 시공된 용접부위에 과다한 하중이 작용하여 균열이 서서히 발생하였다고 사료된다. 준공 후에도 농수로의 물은 계속 흘러나와 지하수위는 관로의 위쪽에 있어 준공 후 파괴되기 전까지 관로 용접부위의 균열을 통하여 지하수와 세사와 함께 관내로 계속 유입되었고 이로 인하여 관로 주변 지반은 이완되었다고 판단된다. 이 기간 동안에 본 지역에 내린 강우의 양이 적어 도로가 강우로 인하여 포화되지 않아 관에 작용하는 토압은 더 이상 증가되지 않았다. 비록 관로 주변의 지반은 이완되었지만 도로가 물로 포화되지 않아 관로 상부 지반에 응력을 받을 수 있는 아아치 현상이 만들어져 도로는 더 이상의 변형이 발생하지 않았다.

나. 집중강우로 인한 지반포화와 불량 시공으로 인한 지반이완

(1) 지반포화로 인한 최대토압 작용 (관로 파괴당시의 토압상태)

관로가 파괴되기 시작한 시점은 본 지역에 집주강우가 약 3일에 걸쳐 230mm 이상 발생하였던 때이다. 이 강우로 인해 우수는 도로의 사면을 통하여 흘러 들어가 도로의 지반을 포화시키기 시작하였고, 도로는 포화로 인하여 토압이 증가되었다. 그때 도로 좌측사면에 있는 상수도 분기관이 이탈하여 많은 양의 수돗물이 큰 압력으로 주변 도로지반 내로 흘러 들어가서 지반의 포화를 가속화 하였다. 도로 우측에서는 강우로 인하여 사면 경계면에서 균열이 발생하고 이를 통하여 빗물이 도로 내부로 침투되었다. 또한 계속되는 강우로 인하여 지하수위가 상승하고 도로는 거

의 물로 완전히 포화상태가 되었다고 사료된다. 도로의 완전 포화상태를 기준을 수직방향토압이 최대 약 20 t/m² 과 수평방향토압이 최대 약 10 t/m²이 관로에 작용하였다고 판단된다.

(2) 지하수위 상승으로 인한 지반의 보일링 현상

지하수위 상승으로 인하여 발생한 간극수압은 관로 용접부위의 균열을 증대시키고, 많은 지하수와 함께 주변의 세사가 균열을 통하여 누수되었다. 이로 인하여 관로 기초지반에는 깊이 2.7m 이상에서 보일링 현상이 발생하여 기초지반의 강도는 급격히 저하되어 지지력을 상실하였다. 따라서 포화로 인한 상부지반의 강도가 저하되고 그리고 주변의 세사유출로 인하여 관 상부의 아아치 현상을 약화되어 최대로 증가된 토압이 관로에 작용하였다. 이때 보일링 현상으로 기초지반의 지지력을 상실한 관로는 불량용접으로 인하여 이탈되어 마치 한쪽만이 입구 콘크리트 Box에 고정된 켄트레바빌과 같은 상태가 되었다. 그래서 토압을 견디지 못한 관로는 변형하고 파괴되었으며, 특히 관로의 양쪽 부근은 심하게 변형하여 기초 지반내로 관입되었다.

다. 지반포화의 원인

(1) 강우로 인한 지하수위 상승

지반포화에 대한 가장 큰 원인은 3일에 걸쳐 본 지방 근처에 230mm 이상 발생한 집중호우이다. 강우가 도로의 사면을 통하여 흘러 들어가 도로사면을 포화 시키고 지하수위를 상승시켰다.

(2) 상수도관로 접합부의 이탈로 인한 지반 포화현상의 가속화

좌측사면에 있는 상수도 분기관이 이탈은 지반의 포화를 가속화하고, 결국 사면의 파괴를 유발하였다. 상수도관 이탈 원인 가능성으로는 강우로 인한 사면의 불안정, 대형화물 자동차 주행으로 인한 지반침하, 상수도관 접합부의 불량시공 및 관로 주변 지반의 이완으로 인한 지반침하 등으로 볼 수 있다.

(3) 도로 균열로 인한 강우침투에 따른 지반 포화현상의 가속화

우측 도로사면이 붕괴되기 전에 도로 상부의 사면이 시작되는 부분에서 도

로로 균열이 발생하였다. 빗물은 이 균열을 통하여 도로 내부로 침투되어 지반의 포화를 가속화하였다. 도로균열의 원인 가능성으로는 강우로 인한 사면의 불안정과 대형화물 자동차 주행으로 인한 주변지반의 이완으로 인한 지반침하 등으로 볼 수 있다.

15.6 긴급 복구 공사 검토

15.6.1 기초지반의 지지력 검토

원지반의 N = 10 (교란되지 않은 상태)

관로파괴추 교란 상태의 N = 2 가정

기초에 작용하는 단위 면적당 압력

q = 콘크리트 중량 + 하수의 중량

= 12.4 / 3.3 + 2 = 5.76 t/m^2

가. Bowles의 지지력 공식에 의한 지지력 검토

허용 침하량 2.54cm에 대한 순 허용 지지력

qnet(all) = 1.22 N ((3.28B + 1)/3.28B)2

기초지반이 교란되지 않은 상태의 경우 (N = 10)

qnet(all) = 1.22 (10) ((3.28)(3.3) + 1)/(3.28(3.3)))2

= 1.22 (10) (1.2)

= 14.64 t/m2 > 5.76 OK

기초지반이 교란된 상태의 경우 (N = 2)

qnet(all) = 1.22 (2) ((3.28)(3.3) + 1)/(3.28(3.3)))2

= 1.22 (2) (1.2)

= 2.93 t/m2 < 5.76 NG

나. 기초지반의 보강

지지력 계산에서 보는바와 같이 지반이 교란되지 않은 상태의 경우에는 구조물은 충분한 허용지지력을 갖고 있으나, 실제로 기초지반은 관로의 파괴와 지반의 보일링 현상으로 인하여 심하게 교란되어 있는 상태로 허용지지력이 부족한 상태이다. 따라서 구조물은 기초에 대한 보강이 필요하다.

보강공법으로는 (1) 교란부분을 양질의 재료로 치환하는 방법, (2) JSP 공법으로 보강하는 방법 등이 있다. 본 관로의 기초지반은 연약한 실트질 모래로 구성되어 있고, 교란된 지반의 깊이가 깊어 교란된 전 지반을 굴착하여 치환하기는 공기와 공사비 면에서 어려우리라 사료된다. 한편, JSP공법은 장비가 간단하여 공사지역이 협소한 본 공사의 시공상 적합하다고 판단된다.

또한 농수로의 균열상태가 심하고 이를 통하여 농수로의 물이 굴착부로 유입됨으로써 안정된 보수공사를 진행하기 어렵다고 판단되며, 이에 대한 보강이 필요하다고 생각된다.

15.6.2 임시복구 공사

도로의 침하로 인하여 상수도의 통수가 우선 중요하므로 농로의 통로 Box에 상수도관로 2,000 m/m를 육상에 임시로 거치하여 급수구역에 급수토록 조치를 취하였다.

15.6.3 항구복구 공사

항구복구 공사는 침하된 도로 포장면을 걷어내고 개착(open cut)공법에 의하면 교통통행의 장해가 되므로 곤란하며 또한 추진공법은 현장 여건상 시행할 수 없다.

부득이 공사비는 많이 들지만 가장 안전한 방법인 포장면에 복공판을 깔고 지하에서 토사 굴착 및 지반보강후 상수도관로를 부설하였다.

참 고 문 헌

1. (주) 서광공작, (1985), "수도 관로의 사고 사례와 대책".
2. 서울산업대학교, (1996), "도로붕괴에 따른 일산신도시 진입 안전진단보고서".
3. 石橋多聞, (1982), "상수도의 사고와 대책".
4. 한국수도협회, (1997), "상수도 시설기준".