

목 차

기술자료

- 개질아스콘의 시공성 및 경제성 연구 1
(건설기술연구소 차장 김덕성, 대리 최정묵, 대리 이재호)
- 지하외벽 거동에 관한 연구 22
(상원구조 소장 강석규, 대리 조영태, 건설기술연구소 대리 정상민)
- 전면고가교량 시공방법 및 수화열 대책 44
(서울산업대학교 토목공학과 교수 조선규, 교수 김은겸,
인천국제공항 여객터미널 전면고가교량현장 소장 박종보)
- 턴키계약공사 클레임 사례 59
(지하철 7-20공구현장 소장 윤창배, 부장 김경호)
- 콘크리트 옹벽의 설계 78
(건설기술연구소 기사 김호비)
- 지반의 개략적인 현장조사 및 시험 89
(토목설계팀 대리 김태경, 기사 이성석)

기술단신

- 건설관련 KS 목록 106

개질아스팔트 콘크리트의 시공성 및 경제성에 관한 연구

건설기술연구소 토목차장 김덕성

토목대리 최정목

토목대리 이재호

1. 서 론

우리나라의 계절적인 특성인 여름철 고온에 의한 아스팔트 포장체의 온도 상승으로 교통량이 많은 도심 구간의 포장은 물론, 중차량이 많이 다니는 주요 간선 도로의 경우 지세, 강우, 기온의 변화, 강우량 등의 환경적인 요인과 교통량, 중차량 구성비 등 교통 특성에 따른 매우 다양한 문제등으로 도로의 파손과 소성변형이 발생되고 있는 실정이고, 이 결과로 발생하는 소성변형등은 차량통행의 불편과 교통사고의 원인이 되며, 도로포장의 수명단축과 이에 도로 유지보수에 드는 비용이 매년 증가되고 있습니다.

따라서 도로 이용자에게 쾌적하고 안전한 도로를 지속적으로 제공하기 위해 기존 아스팔트를 대체하여 성능을 개선한 개질재 아스팔트에 대한 관심이 날로 증대되고 있는 실정이며, 이에따라 기존 아스팔트의 문제점을 보완하여 개발되어 시험 시공되고 있는 개질 아스팔트에 대한 기본 data를 마련하여 당사 시공전 현장에서 경제적이고 우수한 품질의 포장공사를 수행할 수 있도록 하고자 하였다.

2. 기존아스팔트 콘크리트의 문제점

2.1 기존아스팔트의 분류 및 성상

2.1.1 아스팔트 분류

아스팔트는 크게 천연 아스팔트와 석유 아스팔트로 대별되고 있다. 이 중 우리나라에서는 천연 아스팔트가 있지 않기 때문에 도로포장에서는 석유 아스팔트가 사용되고 있으며, 도로포장용 아스팔트로서 아스팔트 유제와 커트백 아스팔트가

사용되고 있다. 특히 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷한 지역에서 아스팔트의 사용은 온난지역의 중교통도로에서는 안정성 측면에서 침입도가 낮은 것을 사용하고 한냉지역에서는 균열 및 시공성을 고려하여 비교적 유연한 침입도 80~100을 사용한다. 따라서, 기존아스팔트는 침입도 80~100인 컷백 아스팔트를 사용하고 있으나 최근에는 교통량의 증가, 차량의 대형화에 의한 아스팔트 포장의 바퀴자국(Rutting)을 방지하기 위하여 침입도 60~70인 컷백 아스팔트를 사용하기도 한다.

2.1.2 아스팔트 콘크리트의 요구특성

아스팔트 혼합물이 갖추어야 할 성질은 아래와 같으며, 이러한 성질을 갖추기 위하여 아스팔트 배합시 고려해야 할 특성은 [표 2-1]과 같다.

- 1) 교통 차량이 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있는 노면을 만들 수 있는 것
- 2) 혼합물 자체의 수명이 길 것

[표 2-1] 아스팔트 혼합물에서 요구되는 특성

요구되는 특성	내 용
안정성	유동이나 변형을 일으키지 않는 것
인장강도	하중응력이나 온도응력에 대응하는 인장강도를 발휘할 것
피로 저항성	교통하중의 반복에 의해 혼합물의 품질이 저하하지 않는 것
가요성	노상, 기층의 침하시 균열을 일으키지 않고 순응하는 것
미끄럼저항성	미끄러지지 않는 표면조직을 갖는 것
내마모성	Spike Tire나 Tire Chain 등에 의해 마모되지 않는 것
내구성(내후성, 내수성)	기상변화나 물 등의 영향으로 혼합물의 품질저하가 없는 것
불투수성	표면수가 포장체에 침투되지 않는 것
시공성	시공이 용이할 것

2.1.3 아스팔트 콘크리트의 성상에 따른 분류

1) Filler(석분)

아스팔트 혼합물 채움재로서 사용되는 석분은 석회암분말, 시멘트 또는 화성암류를 분쇄할 때 발생하는 광물성 성분을 집진한 것을 사용하며, 먼지, 진흙, 유기물, 덩어리진 미립자가 함유되어 있지 않은 것이어야 한다. 채움재의 역할을 대별하면 다음과 같다.

가) 굵은 골재간의 틈을 채워 아스팔트의 소요량을 감소 : Void Filler 효과

나) 아스팔트와 일체가 되어 혼합물의 안정성, 인성, 내마모성, 내노화성 등 품질을 개선 : Stiffener 효과

2) 포장용 골재

아스팔트 포장용 골재로는 부순돌, 부순자갈, 자갈, 슬래그 및 모래등이 사용되며, 일반적으로 골재의 품질이나 입도는 포장의 성상에 큰 영향을 주나 골재는 산지에 따라 성상이 다르므로 사용에 신중을 기해야 한다. 아스팔트 혼합물에서는 골재가 차지하는 체적이 75% 이상되기 때문에 골재의 특성이 혼합물에 미치는 영향은 절대적이다. 따라서 골재의 특성에 대한 검토가 필수적이며, 골재에 필요한 성질은 다음과 같다.

가) 재질이 균등할 것

나) 포장의 목적에 따라 적당한 입도를 가질 것

다) 내구성, 내마모성이 우수한 석질이고 특히 표층용은 마모가 잘 안되고 미끄럼 저항이 클 것.

라) 입도, 먼지, 유기물 등을 유해량 이상으로 함유하지 않을 것

마) 납작하고 길쭉한 형상의 입자를 함유하지 않을 것

바) 아스팔트와 부착성이 클 것

아스팔트 혼합물용 골재는 부착성이 커야 되는데 이것은 골재와 아스팔트 피막 사이에 물이 침투하여 아스팔트 피막이 벗겨지는 박리 현상이 일어나 포장파손을 가중시키기 때문이다. 이 박리현상은 골재와 물의 부착성이 골재와 아스팔트와의 부착성보다 클 때 발생한다. 일반적으로 이 부착성은 산성암보다는 염기성암 쪽이, 산성암보다는 분출암 쪽이 우수하다. 아스팔트 혼합물용 모래는 천연모래와 인공모래를 사용한다. 천연모래는 산모래, 강모래와 바닷모래 등이 있으며 인공모래는 암석과 호박돌을 파쇄하여 만든 것을 말한다.

3) 아스팔트

도로포장으로 주로 사용되는 액체 아스팔트에는 아스팔트 유제와 컷백 아스팔트가 있다. 도로 포장용 아스팔트의 품질규정은 [표 2-2]과 같다.

가) Cut Back Asphalt

아스팔트를 가열, 용해하여 여기에 휘발성의 석유유분을 용제로 넣어 기계로 혼합하여 만든 것으로 SC, MC, RC 등이 여기에 속한다.

나) 아스팔트 유제

가열 용해한 아스팔트와 온도를 높인 유화액을 유화기에 넣어 세계 교반해서 아스팔트 입자를 될 수 있는 한 미세한 입자로 유화액중에 분산화시켜서 만든다. 유화액에는 유화제 외에 분리, 분해를 조절하는 안정제도 가미한다. 유제가 분해되면 물은 증발하고 아스팔트만 남아서 경화한다. 또한 사용된 유화제에 따라서 Cation계, Anion계, 비 ion계로 분류된다.

[표 2-2] 도로포장용 아스팔트(KS M 2201)

항 목	AC 40 50	AC 60 70	AC 85 100	AC 120 150	AC 200 300
침입도(25°C, 100g, 5초)	40 50	60 70	85 100	120 150	200 300
인화점(CoC(주), °C)	230이상	230이상	230이상	220이상	180이상
신도(25°C, 5cm/min)(cm)	100이상	100이상	100이상	100이상	-
박막가열후 침입도 비 (원침입도에 대하여 %)	55이상	52이상	47이상	42이상	37이상
박막가열후 신도 (25°C, 5cm/min)(cm)	-	50이상	75이상	100이상	100이상
사염화탄소가용분(%)	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

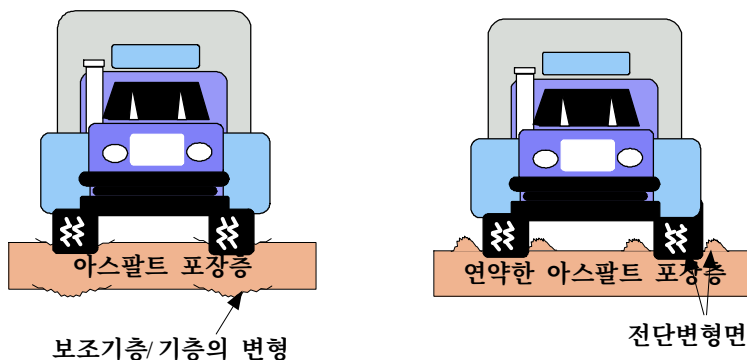
2.2 기존 아스팔트 콘크리트의 문제점

기존 아스팔트 도로는 안전한 차량주행과 원활한 수송능력을 확보하기 위하여 기존의 침입도를 기준으로 한 품질규정으로 설계, 포장되어 왔으나, 최근 급격한 산업화로 인하여 차량의 증가와 대형화가 이루어지면서 정체구간의 확대와 기존 도로에 대한 문제점이 발생하여 차량통행의 불편과 교통사고의 원인, 도로수명단축에 의한 사회간접자본의 증가 등을 가져오게 되었다. 이러한 기존도로의 문제점으로 가장 많이 대두되는 것들은 다음과 같다.

2.2.1 소성변형

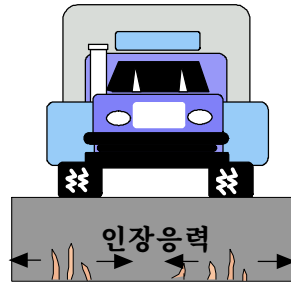
혼합물의 공극율, 골재입도, 아스팔트 품질, 교통조건 및 기후 등 다양한 원인에 의하여 발생하는 전단파괴 현상으로, 국내에서는 최근 3 4년동안 소성변형이 아스팔트 포장파손의 주 원인이 되고 있다.

이러한 변형의 원인으로는 고온에서 아스팔트 점도 감소와 골재의 맞물림 불량, 과다한 교통량으로 인한 하중재하와 혼합물의 낮은 공극율을 들수 있다.



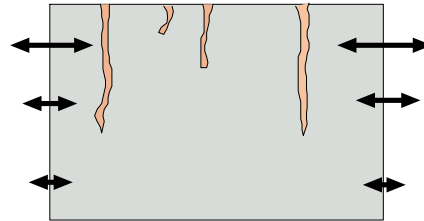
2.2.2 피로균열

포장체에 가해지는 반복하중에 의해 발생하는 균열로서 하중과다로 인한 포장하부 인장균열과 아스팔트 노화로 인한 원인에 의해 발생된다.



2.2.3 저온균열

겨울철 온도저하로 인해 포장체의 상부로부터 발생하는 균열로서 온도변화에 따른 팽창·수축으로 인한 신축성 저하와 아스팔트 유연성 부족으로 발생한다.



2.3 기존아스팔트 콘크리트의 파손원인

아스팔트 도로의 파손형태로는 소성변형과 균열이 있으며, 그밖에 밀림, 차바퀴 눌림, 패임, 플러싱, 마모, 라벨링등이 있으며, 형태별 파손원인은 다음과 같다.

2.3.1 균열

아스팔트 포장의 설계는 표층에 교통하중의 반복으로 인해 피로 균열이 발생하지 않도록 각층의 두께를 결정하지만 피로 균열 외에도 다양한 요인에 의해 여러 가지의 균열이 발생되고 진전되어 간다.

균열의 발생 요인으로서는 차량 하중의 반복 외에 온도 저하, 기층 보조기층에서의 전단 저항능력의 부족, 노상, 또는 노상 하부에서의 지반의 이동 등 표층 아래층의 지지력 변화에 따라 다양하게 발생될 수 있다. 아스팔트 포장에 발생하는 균열은 균열 그 자체가 해로운 것이 아니라, 균열을 통해 침투된 물에 의해 포장 파손이 가속화되기 때문에 문제가 되는 것이다. 균열이 발생되면 균열 틈으로 물이 침투하게 되고 기층이나 보조기층 또는 노상에 물이 침투하게 되면 입상 재료의 전단 저항력이 떨어져 변형이 유발되어 포장의 주요 기능인 평탄성이 저하된다.

1) 거북등 균열(Alligator Crack)

가) 파손형상

- ① 포장체 표면에 발생한 균열들이 서로 연결되어 마치 거북등과 같은 형상

나) 파손원인

- ① 피로 파괴(균열)의 일종

- ② 포장 단면 부족 또는 포장의 하부층 또는 노상이 불안정하여 과도한 표면처짐으로 인해 발생
- ③ 불안정한 지지력은 포화된 입상 기층 또는 노상에서 발생



<그림 2-1> 거북등 균열



<그림 2-2> 단부 균열

2) 단부균열(Edge Crack)

가) 파손형상

- ① 길어깨가 없는 포장체에서 발생하는 파손으로 포장체의 단부에서 약 30cm 정도 떨어져서 세로 균열이 생기는 것
- ② 세로 균열로부터 길어깨쪽으로 가로 방향 균열이 발생하는 경우

나) 파손원인

- ① 길어깨가 없는 포장에서 포장 단부의 지지력이 부족하여 발생
- ② 균열이 발생된 부분의 하부 지지력이 약하거나 하부가 침하되어 추가로 발생
- ③ 배수의 불량, 동결 융해, 주변 지반의 건조로 인한 수축 등

3) 시공 균열(Lane-Lane Crack)

가) 파손형상

- ① 차로와 차로 사이의 접합부를 따라 종방향 분리가 발생한 균열
- ② 시공 시기가 다른 곳에서 발생

나) 파손원인

- ① 인접 기존 포장에 이어 대어 포장할 때 혼합물의 다짐 부족 등에 의한 밀도저하에 따라 아스팔트의 산화가 촉진되어 골재 탈리가 발생하여 유발
- ② 시공 당시 포장체의 포설 온도, 골재 분리, 텍 코우트 관리가 제대로 시행되지 않았거나 지반이 불안정한 경우



<그림 2-3> 시공 균열



<그림 2-4> 세로 방향 균열

4) 세로 방향 균열

가) 파손형상

- ① 차선과 나란한 방향으로 발생한 균열로 약간 지그재그의 형태를 갖는 균열

나) 파손원인

- ① 세로 방향 시공 이음 불량, 낮은 온도 또는 아스팔트의 경화에 기인한 아스팔트 표층의 건조 수축
- ② 노상의 절성토 경계부에서의 부등 침하 등
- ③ 이른 봄 등 포장 상태가 약한 시기에 중교통 하중에 의한 과도한 처짐과 포장 두께의 부족 등

2.3.2 소성변형

아스팔트 포장의 설계에서는 표층에 가해진 교통 하중이 포장체를 통해 노상에 가해졌을 때 노상의 변형이 허용 한도를 넘지 못하도록 포장의 두께를 결정하고 있다. 그러나 소성 변형은 포장을 구성하는 하나 이상의 층에서 압밀 또는 전단 변형이 발생함으로써 발생하고 최근 큰문제로 대두되고 있다.

소성변형에는 코루게이션과 쇼빙이 있으며 이들은 차량 하중의 불연속으로 인해 발생하며 연속적으로 발생할 수도 있고, 부분적으로 발생할 수도 있으며 러팅과 함께 복합적으로 발생할 수도 있다.

1) 러팅(Rutting)

가) 파손형상

- ① 아스팔트 포장체의 표면이 차륜 통과 위치를 따라 골이 패인 것처럼 함몰되어 있는 형상

- ② 포장체의 압밀 또는 교통 하중에 의해 표층 또는 한 개 이상의 하부층이 옆으로 거동을 일으키는 형상

나) 파손원인

- ① 적합하지 못한 배합설계
- ② 다짐 부족 및 잘못된 시공
- ③ 부적합한 재료등에 의한 아스팔트 혼합물의 내유동성 부족 등



<그림 2-5> 러팅



<그림 2-6> 코루게이션

2) 코루게이션(Corrugation)

가) 파손형상

- ① 아스팔트의 표면이 물결 모양의 형상을 나타내는 것

나) 발생장소

- ① 주로 차량이 정지하거나 출발하는 장소 또는 하향 구배의 언덕에서 브레이크를 사용하는 곳, 커브가 심한 구간, 과속 방지턱과 같이 차량에 충격을 주는 시설이 있는 곳 등에서 발생한다.

다) 발생원인

- ① 통상 아스팔트 층의 안정도가 부족한 곳에서 발생.
- ② 아스팔트 함량이 너무 많거나, 세골재의 비율이 너무 많거나, 연한 아스팔트를 사용하였을 때 나타남
- ③ 아스팔트가 습기를 많이 함유하고 있거나, 기름으로 인한 오염 또는 유화 아스팔트나 커트백 아스팔트를 사용할 때 공기량이 부족하여 발생

2.3.3 탈리(Disintegration)

탈리란 아스팔트 포장에서 표층의 일부분이 떨어져 나가거나 골재 결합이 느슨해지는 것을 의미하며 원인으로서는 아스팔트 혼합물의 아스팔트 양의 부족, 혼합

물의 불량, 물의 침투 혹은 다짐 부족 등을 들 수 있다. 파손형상으로는 라벨링, 포트홀, 박리, 노화 등으로 구분할 수 있다.

1) 포트홀(Pot Hole)

가) 파손형상

- ① 그릇모양의 구멍이 다양한 크기로 <그림 2-7>과 같이 포장체에 부분적으로 발생한 현상을 말한다.

나) 파손원인

- ① 아스팔트의 양이 적거나 아스팔트 층의 두께가 얇은 경우, 기층의 파손, 배수 불량으로 발생
- ② 기층과 표층 사이에 있는 택 코우트가 불량한 경우. 특히, 여름철 장마 기간의 비로 인해 많이 발생한다.

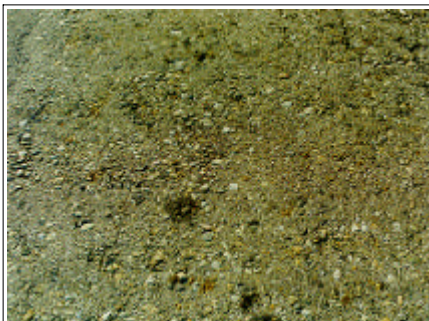
2) 라벨링(Raveling)

가) 파손형상

- ① 세립 골재가 떨어져 나가고, 점차로 마마 자국과 같은 현상.
- ② 파손이 진전될수록 점차로 큰 골재들이 떨어져 나가며, 결국에는 포장체 표면이 거칠어지는 현상<그림 2-8>

나) 파손원인

- ① 다짐의 부족
- ② 겨울철의 박층시공, 오염된 골재 또는 분리될 가능성이 있는 골재의 사용
- ③ 아스팔트 양의 부족, 아스팔트의 과열 등의 원인.



<그림 2-7> 포트홀



<그림 2-8> 라벨링

2.3.4 미끄럼 저항 감소

포장 노면의 미끄럼 특성은 교통 사고와 밀접한 관계가 있다. 또한 최근 교통량의 증가와 함께 중량화 되어 노면의 마모는 가속화되고 차량의 주행 속도는 점

차 증가하여 보다 높은 미끄럼 저항이 요구되고 있는 실정이다. 노면의 미끄럼 특성에 영향을 미치는 여러 요소들 중에서 가장 중요한 것은 포장체의 표면 조직이다. 포장체의 표면 조직은 일반적으로 미세 조직과 조면 조직으로 구분된다. 이들 사이의 명확한 구분은 없고 보통 0.5mm의 요철을 기준으로 한다. 일반적으로 미세 조직은 모르타나 골재 입자 자체의 거칠기에 따라, 조면 조직은 골재 입자 사이의 간격에 따라 결정된다. 아스팔트 포장에서 미끄럼 저항이 감소하는 이유는 블리딩이나 골재의 마모에 의해서 발생된다.

1) 블리딩 또는 플러싱(Bleeding 또는 Flushing)

가) 파손형태

- ① 포장체의 구성 성분 중 아스팔트가 위로 올라와 표면에 아스팔트 막의 형태로 나타나는 현상

나) 파손원인

- ① 표층에 아스팔트의 양이 많거나 혼합물의 공극율이 적을 때 발생
- ② 부적절한 표면 처리, 많은 양의 프라임 코우트, 텍 코우트 등
- ③ 교통량이 많은 경우 표층이 압밀되어 아스팔트가 표층 위로 올라오는 경우



<그림 2-9> 아스팔트 블리딩

3. 개질아스팔트 콘크리트의 종류

3.1 개질아스팔트의 종류 및 성상

3.1.1 개질아스팔트

개질아스팔트는 일반 아스팔트의 성능을 개선하기 위하여 각종 혼화제 즉 개질제 (Modifier) 를 첨가한 아스팔트 및 포장을 통칭하는데 사용되고 있다.

개질아스팔트의 종류에는 고무, 수지 등의 고분자 재료를 첨가해서 감온성을 개선시킨 고무수지 혼합 아스팔트, 블로잉 조작(가열한 공기를 불어넣는 조작)에 의해 감온성을 개선시킨 세미 블로잉(Semi-blown) 아스팔트 및 촉매제를 이용한 개질아스팔트 등의 다양한 종류가 있다.

3.1.2 개질재의 요구특성

기존 아스팔트 혼합물의 내구성 및 내유동성을 향상시킬 목적으로 스트레이트 아스팔트에 일정량을 첨가하여 아스팔트의 물성을 개선 시키고 변형과 균열발생 등의 문제점을 극복하기 위한 개질재의 요구특성은 다음과 같다.

- 1) 플랜트에서 혼합이나 다짐시 취급성이 용이하도록 고온에서 낮은 점도를 가질 것.
- 2) 소성변형 방지를 위해 공용온도에서 높은 Stiffness를 유지할 것.
- 3) 동절기 온도균열 방지를 위해 공용온도에서 낮은 Stiffness를 유지할 것.
- 4) 바인더와 골재간의 접착성이 우수할 것.

3.1.3 개질재 성상에 따른분류

1) Filler

필러는 골재의 파쇄나 스크리닝 과정에서 집진되는 광물성분이다. 현재 많이 사용되고 있는 카본블랙이나 Sulphur와 같은 물질도 필러와 같은 역할을 한다. 필러의 역할은 다음과 같다.

- 가) 공극을 채워 최적 아스팔트 함량을 감소시킴
- 나) 시방에 만족하는 골재입도 조정
- 다) 안정도 증대
- 라) 아스팔트와 골재간의 접착력 증진

일반적으로 필러 함유량이 증가하면 최적 아스팔트 함량은 감소하고 밀도와 안정도는 증진되나, 과도한 필러의 투입은 최적 아스팔트 함량하에서 VMA를 감소시켜 내구성 있는 혼합물을 만드는데 지장을 초래한다. 또한 골재 비표면적을 증진시켜 아스팔트 피막두께가 감소된다. 필러의 적정투입량은 아스팔트 중량의 0.6 ~ 1.2배 정도이다. 석회는 주로 스트리핑 방지효과를 위해 사용되며, 매우 미세한 입자로 구성된 카본블랙은 박리현상의 방지와 산화작용의 저지 효과를 기대 할 수 있다.

2) Extenders

1973년 유가파동으로 인해 아스팔트의 가격이 상승하자 FHWA(Federal Highway Administration)에서는 sulphur와 lignin을 아스팔트와 부분적으로 대체하려는 시도를 하였다. sulphur는 비금속 화합물질로서 아스팔트에 첨가한 경우 점도를 낮추어 주는 역할을 한다. 상온에서는 노란색의 결정체이며, 116°C 이상에서 용융된다. 현재는 아스팔트 가격하락으로 인해 경제성을 상실하여 거의 사용되지 않고 있다.

3) Polymers

폴리머란 작은 분자들이 화학적으로 연쇄적으로 결합하여 매우 큰분자량을 가진 물질로 된 것이다. 서로 다른 특성을 가진 분자가 중합되면 새로운 성상의 물질이 될 수 있다. 예를 들어 Polystyrene은 딱딱하고 부스러지기 쉬운 플라스틱인 반면 Polybutadiene은 부드럽고 고무탄성적인 성질을 갖는다. 이 두 가지 물질이 불규칙하게 결합하면 매우 다른 성상의 중합체가 된다. 폴리머는 공학적으로 광범위한 특성을 가질수 있는데 일반적으로 elastmer (rubber)와 plastomer(plastic)의 두가지 범주로 나눌 수 있다.

가) Elastomer 또는 rubber 계열

- ① 천연고무
- ② styrene-butadiene rubber(SBR)
- ③ styrene-butadiene styrene Block Co-polymer(SBS)
- ④ styrene-isoprene-styrene(SIS),
- ⑤ polychloroprene latexes
- ⑥ crumb rubber modifiers(CRM)

등의 개질재가 있다. 이러한 계열의 개질재는 응력에 대한 저항성이 크며, 응력이 제거되면 원래 형상으로의 복원성이 좋다.

나) plastomers 또는 plastic 계열

- ① polyethylene
- ② polypropylene
- ③ ethyl vinyl acetate(EVA)
- ④ poly vinyl chloride(PVC)
- ⑤ ethylene propylene(EPDM)
- ⑥ polyolefins

등의 개질재가 있다. 이 계열의 개질재는 강성이 크고 견고해서 변형 저항성이 우수하며, 하중재하시 강도 발현성이 좋지만 일단 변형이 생기면 균열이 발생하기 쉽다. elastomer 계열의 개질재를 첨가하였을 경우에는 일반적으로 유연성과 회복탄성이 증가하고, plastomer계열의 경우에는 포장의 강성도를 증진 시킨다.

4) Rubber 계열

Rubber계열의 개질재를 사용하는 목적은 고온에서는 좀 더 단단하고 상온에서는 피로 균열에 저항 할 수 있도록 탄성을 향상시키며, 저온에서는 온도균열 방지를 위해 stiffness가 상승하는 것을 억제하기 위함이다.

SBR은 흰색의 액상물질로서 아스팔트와 혼합하면 수분이 증발하고 고형분만 남게된다. 적정 첨가량은 고형성분 기준으로 아스팔트 함량의 중량대비 2 ~ 3% 정도이다. SBS는 고체상태의 알갱이로서 적정 함유량은 아스팔트 함량의 3 ~ 5% 정도이며, 177 ~ 193°C의 고온에서 아스팔트와 혼합되며 고효율의 혼합장비가 필요하다. 재생 고무분말은 주로 페타이어에서 얻어지며 아스팔트와의 혼합방법에 따라 건식과 습식 제조법으로 나눌 수 있다.

습식방법은 골재와의 혼합전에 아스팔트와 고무분말을 미리 혼합하는 것으로 일반적으로 아스팔트와의 중량대비 18 ~ 26%를 넣고 191 ~ 218°C의 온도에서 1시간 내지 2시간 동안 혼합하게 된다. 건식방법은 골재와 고무분말을 미리 혼합하는 것으로 골재와 중량대비 3 ~ 5%를 넣는다.

5) Fibers

Fiber는 아스팔트 혼합물의 인장강도와 부착력을 증진시키는 역할을 한다. 또한, 기존 아스팔트 혼합물에 draindown 문제가 없이 아스팔트 함량을 높일 수 있다. 이것은 개립도 혼합물이나 SMA와 같은 경우 매우 중요한 문제이다. 두꺼운 아스팔트 피막으로 인해 내구성을 증진시킬 수 있게 된다.

아스팔트 혼합물 보강을 위해 사용되는 polypropylene fiber는 10mm 정도의 길이로 일반적으로 혼합물 중량대비 0.3% 정도가 혼합된다. 혼합시 온도는 fiber가 녹아 내리지 않도록 149°C 이하로 하여야 하며, dry 상태에서 10초, wet 상태에서 35초 정도의 혼합시간을 둔다. polyester fiber는 일반 혼합물 생산온도에서 녹지 않기 때문에 비교적 가열 아스팔트 혼합물에 안정적으로 사용할 수 있다. fiber의 길이는 0.5 ~ 13mm 정도로 다양하며 적정 혼합량은 혼합물 중량대비 0.15 ~ 0.4% 정도이다. Mineral fiber는 유럽에서 밀입도, 개립도, SMA 혼합물에 사용된다. SMA의 경우 적정 혼입량은 전체 혼합물 중량의 0.4% 정도이다. 그러나, Mineral fiber는 인체에 유해하기 때문에 사용에 제약이 따른다. Cellulose fiber 역시 유럽에서 SMA 등에 draindown 현상을 방지하기 위하여 사용되며, 미국에서도 많은 사용 실적이 있다. SMA의 경우 적정 혼입량은 전체중량 대비 0.3% 정도이다.

6) Hydrocarbons

Hydrocarbons 종류의 개질재는 재생포장(RAP)에 사용하는 혼합물의 노화를 원래상태로 어느정도 복원하기 위한 Recycling agents와 큰 교통하중을 받는 지역의 포장재료에 대한 물리적 특성 개선을 위한 Hardening agents로 나눌 수 있다.

가) Recycling agents

- ① softening agents : 노화된 아스팔트의 점도 감소효과
(Asphalt flux oils, Lube stock, Lubricating oil, Slurry oil)
- ② Rejuvenating agents : 노화된 아스팔트의 물리화학적 특성의 복원
(Lube extracts, Extender oils)

나) Hardening Agents

- ① Resin : 큰 교통하중을 받는 지역의 포장재료에 대한 물리적 특성개선
(Gilsonite)
- ② Trinidad Lake Asphalts

3.2 개질아스팔트 개량효과

개질아스팔트의 개량효과는 기존의 Binder에 개질재를 첨가하여 물리화학적 성능개선 및 저장성을 개량한 고분자 개질아스팔트, 금속촉매를 이용하여 AP를 화학

[표 3-1] 도로포장용 개질아스팔트의 분류

개질재 종류		제품의 분류	개질재 효과				
			러팅	피로 균열	저온 균열	습윤 손상	산화
1. 필러 계열		석분 석회가루(Lime) 포틀랜드 시멘트 플라이 애쉬 카본블랙 유황	■ ■ ■ ■ ■				■ ■
2. Extender 계열		유황 Lignin	■	■	■	■	
3. 폴리머 계열	고무계열	천연고무					
	■ 천연고무	SBR (Styrene-Butadiene-Rubber)	■		■		
	■ 합성고무	SBS (Styrene-Butadiene-Styrene)	■	■	■		
	■ Block Copolymers	CRM (페타이어 재생고무)	■	■	■		
	■ 재생고무						
합성제품 계열		고무계열과 플라스틱계열의 혼합물					
4. 섬유계열		자연제품 ■ Rock Wool 인공제품 ■ 폴리프로필렌 ■ 폴리에스터 ■ 유리섬유	■ ■ ■ ■				
5. 탄화수소 계열		아스팔트 재생재 천연 아스팔트 길소나이트	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	

적으로 산화시켜 AP의 경도를 증가시킨 화학적 개질아스팔트, AP를 고온에서 산소와 접촉시켜 강제 산화시켜 침입도를 감소시키고 소성변형에 대한 저항성을 향상시킨 산화 개질아스팔트, 천연 AP를 첨가 물리적으로 혼합생산한 천연 AP혼합에 의한 개질재로 분류할 수 있으며, 각종류별 개질재의 개량효과는 다음과 같다.

3.3 개질아스팔트 콘크리트 현황조사

기존의 개질아스팔트 콘크리트의 문제점을 파악코저 개질아스콘 시공현황을 각종류별로 파악하여 이를 지역적 및 교통량, 기후조건 등을 고려하여 현장조사 계획을 수립하였으며, 그 조사항목은 교통량의 정도, 차량지체도, 표면박리상태, 시공접합부상태등을 조사하였으며 그 결과는 [표 3-2]와 같다.

[표 3-2] 개질아스팔트 현장조사 현황

개질재 종류	조사 대상 개소	교통량			중교통량			차량 지체도			표면박리상태			시공접합부 상태		
		상	중	하	상	중	하	상	중	하	양호	보통	불량	양호	보통	불량
PMA	7	5	2	-	4	2	1	-	3	3	2	5	-	5	2	-
SMA	1	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	1	-
Gilsonite	4	1	3	-	2	2	-	-	2	2	1	3	-	3	1	-
CRM	2	2	-	-	2	-	-	-	2	-	2	-	-	1	1	-

* PMA : Polymer Modified Asphalt (고분자 개질 아스팔트)

SMA : Stone Mastic Asphalt (천연섬유,셀룰로이스 파이버 첨가)

Gilsonite : Gilsonite HMA Modifier (길소나이트 가열 혼합 첨가제 첨가)

CRM : Crumb Rubber Modifier (고무아스팔트)

4. 결 론

기존 아스팔트 콘크리트의 파손원인 및 그 파손 방지대책에 대하여 검토하고, 기 시공되고 있는 개질아스팔트의 종류 및 성상, 현황조사, 개질아스콘의 동태파악 조사, 실내시험 등을 실시하여 그 결과를 바탕으로 기존 개질아스팔트 콘크리트에 대하여 시공성, 안정성, 경제성 등에 대한 비교검토를 실시하였으며 그 검토 결과는 다음과 같다.

4.1 기존아스팔트 콘크리트

기존 아스팔트 콘크리트는 기존의 침입도를 기준으로한 품질규정으로 설계, 시공되어왔으나 최근 급격한 산업화로 인하여 차량의 증대 및 대형화가 이루어지면서 소성변형, 피로균열, 저온균열 등의 파손이 발생되어 이에 대한 방지대책이 요구되고 있는 실정이며, 그 파손방지대책은 다음과 같다.

- 1) 아스팔트
 - 가) 개질 아스팔트 사용
 - 나) 현재 사용중인 AP-3를 AP-5로 대체사용
 - 다) 품질규격개정(침입도기준 → 공용성등급(PG등급))
- 2) 혼합물
 - 가) 최종 공극율 4% 유지한 배합설계(공용 2 3년후)
 - 나) 자연모래 사용량의 제한 및 조골재 사용량 증대
 - 다) 편장석 사용규제
 - 라) 실측을 통한 이론 최대밀도값 적용으로 적정 AP함량 결정
 - 마) 일정한 골재의 간극율 유지로 과도한 아스팔트 피복두께방지

4.2 개질 아스팔트 콘크리트

개질 아스팔트의 종류 및 성상, 개질 아스팔트의 개량효과, 개질 아스팔트 콘크리트의 현황조사 및 개질 아스콘 동태파악조사결과는 다음과 같다.

- 1) 개질재의 요구특성
 - 가) 플랜트에서 혼합이나 다짐시 취급성이 용이하도록 고온에서 낮은 점도를 가질 것
 - 나) 소성변형방지를 위해 공용온도에서 높은 stiffness를 유지할 것
 - 다) 동절기 온도 균열방지를 위해 공용온도에서 낮은 stiffness를 유지할 것
 - 라) 바인더와 골재간의 접착성이 우수할 것
- 2) 개질 아스팔트 개량효과

[표 4-1] 개질재 종류에 따른 개량 기대효과

개질재 종류	개질재 개량 효과				
	러팅	피로 균열	저온 균열	습윤 손상	산화
길소나이트(Gilsonite HMA Modifier)	○			○	
슈퍼팔트(Polymer Modified Asphalt)	○	○	○		
고무아스팔트(Crumb Rubber Modifier)	○	○	○		
S.M.A(Stone Mastic Asphalt)	○				

3) 개질아스콘 동태파악 조사결과

기존의 개질아스팔트 콘크리트의 문제점을 파악코저 개질아스콘 시공현장을 각 종류별로 파악하여 이를 지역적 및 교통량, 기후조건 등을 고려하여 현장 조사 계획을 수립하였으며, 그 조사항목은 교통량의 정도, 차량의 지체도, 표면박리상태, 시공접합부 상태 등을 조사하였으며 그 중에서도 소성변형(Rutting)에 대하여 중점적으로 점검을 실시하였다.

개질아스콘 동태파악 세부조사항목에 대한 분석결과 금번 연구의 중점사항인 소성변형 항목에 대해서는 SMA > PMA > Gilsonite > CRM 의 순으로 양호한 것으로 판단되었으며 전체항목에 대한 평가는 PMA > Gilsonite > CRM > SMA 순으로 양호한 것으로 판단되었다.

[표 4-2] 개질아스콘 시공현황 평가표

세부평가항목	PMA	SMA	Gilsonite	CRM	비 고
시공접합부	○	×	◎	△	◎ : 양호 ○ : 보통 △ : 불량 × : 극히 불량
표면박리	△	×	○	◎	
Ravelling	◎	×	△	○	
Bleeding	△	◎	○	×	
Patching	◎	◎	○	◎	
Potholes	◎	◎	○	◎	
Rutting	○	◎	△	×	
Settlement	◎	◎	◎	◎	
Corrugation	◎	◎	◎	◎	
Crack Sealing Deficient	◎	◎	◎	◎	
Wheel Track	◎	◎	◎	◎	
Transverse or Block	◎	◎	◎	○	
Longitudinal Joint	○	△	×	◎	
Edge Random	◎	◎	◎	◎	

4.3 배합설계 및 시험성과분석

기존 아스팔트 콘크리트 및 개질 아스팔트 콘크리트의 배합설계에 따른 시험성과분석은 밀도, AP 용적율, 공극율, 포화도, 마찰안정도, 흐름값, 동적변형량, 동적안정도, 라벨링 등에 대하여 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 개질아스콘 배합설계기준

[표 4-3] 개질아스콘 혼합물의 품질기준에 따른 최적AP함량

배합설계 구분		슈퍼페이브 배합설계				C.R.M 배합설계	S.M.A 배합설계
개질재 명		AP-3	AP-5	Gilsonite	P.M.A	C.R.M	S.M.A
개질재 투입 비율		-	-	10%	PG(76-22)	20%	4.5%
품 질 기 준	입도기준	슈퍼 페이브 입도				갭입도	S.M.A 입도
	안정도(Kg)	없음				없음	500 이상
	공극율(%)	4 기준				3 ~ 6	2.5 ~ 4
	포화도(%)	교통량적용:75 ~ 80 과다:65 ~ 78				75 ~ 85	75 이상
	골재간극율(%)	14이상				18이상	18이상
	AP함량 기준표	없음				없음	6 % 이상
	다짐회수	50회(75회)				50회(75회)	50회(75회)
최적 AP 함량 (O.A.C)		4.6 %	4.6 %	4.9 %	7.3 %	4.8 %	6.7 %

2) 시험성과분석결과

기존아스콘 및 개질아스콘의 실내시험 결과를 평가하기위한 평가항목 및 기준은 다음과 같이 정하였다. 밀도, 안정도, 동적안정도는 그 값이 클수록 평점을 작게하여 1 ~ 12까지 부여하였으며, 흐름값, 변형량, 라벨링, 최대변형량은 작을수록 평점을 작게하여 1 ~ 12까지 부여하여 평점합계 치가 작을수록 우수한 특성을 나타내는 것으로 평가하였다.

평가결과 밀입도 19mm 입도분포 특성을 갖고있는 기존아스콘은 SP > SG > SS > S2 > S1 > SC의 순으로 양호한 것으로 나타났으며, 슈퍼 페이브 입도를 갖고 있는 개질아스콘의 경우는 MP > MS > MG > M2 > M1 > MC의 순으로 양호한 것으로 나타났다.

이상의 시험성적을 바탕으로 검토한 결과 중요한 사항은 개질재의 첨가로 인해 동적안정도 (소성변형에 대한 저항)가 증대되지만, 입도분포 특성이 동적안정도 증대에도 밀접한 관계가 있음을 알수 있었으며, 개질아스팔트의 소성변형 저항 효과는 SMA > PMA > Gilsonite > CRM의 순으로 효과가 있는 것으로 나타났다.

[표 4-4] 기존아스콘 및 개질아스콘 실내시험평가표

구 분		아스콘 종류	밀도	마찰 안정도	흐름값	변형량	동적안 정도	라벨링	최대변 형량	평가 합계	우선 순위
기 존 아 스 콘	밀입도 19㎜ +AP3	S1	1	6	6	10	10	8	11	52	5
	밀입도 19㎜ +AP3	S2	1	4	5	11	11	9	10	51	4
	밀입도 19㎜ +AP3	SG	6	2	3	9	9	3	6	38	2
	밀입도 19㎜ +AP3	SC	7	9	6	12	12	1	12	59	6
	밀입도 19㎜ +AP3	SP	1	1	7	4	4	6	1	24	1
	밀입도 19㎜ +AP3	SS	9	12	1	8	8	5	5	48	3
개 질 아 스 콘	슈퍼페이브 입도+AP3	M1	2	7	4	7	7	7	8	42	5
	슈퍼페이브 입도+AP3	M2	3	8	2	5	5	10	7	40	4
	슈퍼페이브 입도+AP3	MG	5	5	6	3	3	12	3	37	3
	슈퍼페이브 입도+AP3	MC	8	11	5	6	6	4	9	49	6
	슈퍼페이브 입도+AP3	MP	4	3	4	2	2	11	2	28	1
	슈퍼페이브 입도+AP3	MS	10	10	8	1	1	2	4	36	2

4.4 개질아스팔트의 시공성 및 경제성

개질아스팔트 콘크리트의 시공성에 대한 분석은 각 개질 아스팔트 콘크리트의 생산상의 유의점 및 시공상의 유의점, 장단점 및 개선점에 대하여 검토하였으며, 경제성에 대한 검토는 실내시험결과의 동적안정도(회/mm)로 공용기간을 산정하였으며, 신설후 공용기간 10년기준 경제성에 대하여 비교·검토하였다.

4.4.1 개질아스콘의 시공성

개질아스팔트 콘크리트의 시공성에 대한 검토결과 개질아스콘은 일반아스콘에 비하여 소성변형 저항성증대, 균열저항성 증가, 내구성 증가, 소음감소 및 미끄럼 저항성의 증가, 우천시 수막현상 감소 등의 우수한 성질이 있는 반면에 초기공사비 증대 및 생산에서 시공까지의 골재 및 개질재의 재료관리, 온도관리, 다짐관리 등 품질관리에 어려운 점이 많아 생산에서 시공까지 철저한 품질관리계획에 의하여 수행되어야 소기의 목적을 달성할 수 있는 것으로 판단되었다.

4.4.2 개질아스콘의 경제성

동적안정도 시험결과에 따른 공용성 산정결과 기존아스팔트에 대해서는 S1, S2, SC 재료가 1.1~1.3년으로, SG 재료가 4.6년, SS 재료가 6.1년, SP 재료가 14.9년으로 나타나 개질재가 첨가된 제품의 공용기간이 더 큰 것으로 계산되었다.

계산결과 개질재가 첨가되지 않은 일반 아스콘의 경우 공용개시후 1~2년안에 소성변형에 의한 파손이 발생할 수 있을 것으로 판단되었다. 개질아스팔트에 대한 공용기간 산정결과는 M1, MC 재료가 6.2~7.3년으로, M2 재료가 11.1년, MG 재료가 16.8년, MP 재료가 17.1년, MS 재료가 18.9년으로 계산되어 기존의 아스팔트보다 소성변형에 대한 저항성이 매우 큰 것으로 계산되었으며, 기존아스콘 혼합물과 대비하여 소성변형 저항에 따른 공용기간이 약 5.6~14.6배나 큰 것으로 계산되었다.

특히 일반 아스팔트에 골재입도만 변형시킨 M1, M2가 S1, S2보다 약 7배정도의 공용기간이 증대되는 것으로 계산되어 기존 아스콘의 입도를 조정하여야 할 필요가 절실한 것으로 판단되었다.

[표 4-5] 기존 및 개질아스콘 공용기간의 산정결과

구 분			동적안정도 DS(회/mm)	L	W	V	T	D(mm)	공용기간 (년)
기 존 아 스 팔 트	밀입도 19mm+AP3	S1	435	2000	3	0.9	0.005	20	1.3
	밀입도 19mm+AP5	S2	413	"	"	"	"	"	1.2
	밀입도 19mm+Gilsonite	SG	1540	"	"	"	"	"	4.6
	밀입도 19mm+CRM	SC	379	"	"	"	"	"	1.1
	밀입도 19mm+PMA	SP	4981	"	"	"	"	"	14.9
	SMA(13mm)	SS	2025	"	"	"	"	"	6.1
개 질 아 스 팔 트	슈퍼페이브입도+AP3	M1	2080	2000	3	0.9	0.005	20	6.2
	슈퍼페이브입도+AP5	M2	3715	"	"	"	"	"	11.1
	슈퍼페이브입도+Gilsonite	MG	5624	"	"	"	"	"	16.8
	CRM(겉입도 19mm)	MC	2427	"	"	"	"	"	7.3
	슈퍼페이브입도+PMA	MP	5727	"	"	"	"	"	17.1
	SMA(13mm)	MS	6342	"	"	"	"	"	18.9

[표 4-6] 신설후 공용기간 10년기준 경제성 비교표

(1a당)

구 분	일반 아스콘	GILSONITE	CRM	PMA	SMA
Overlay 기준	2.5 년	5.0 년	5.0 년	5.0 년	5.0 년
신설 비용	495,025	542,377	916,850	623,100	752,350
유지보수 비용	5,589,700	2,889,554	3,638,500	3,051,000	3,309,500
계	6,084,725	3,431,931	4,555,350	3,674,100	4,061,850
증감률	기준	43.6% 절감	25.1% 절감	39.6% 절감	33.2% 절감

개질 아스콘이 초기포장 비용은 개질재의 종류에 따른 기존아스콘대비 9.6% 85.2%로 높은 것으로 계상되었으나, 10년간의 경제성을 평가할 경우 전체 투자비는 일반 아스콘 대비 25.1% 43.6% 까지 절감할 수 있는 것으로 평가되었다.

또한 공용기간 및 초기공사비, 10년 후의 유지보수비 등을 따져볼 때 개질아스팔트는 Gilsonite > PMA > SMA > CRM 의 순으로 경제성이 있는 것으로 계산되었다.

지하외벽 거동에 관한 연구

상원구조 소장 강석규

상원구조 대리 조영태

건설기술연구소 대리 정상민

1. 서 론

지하외벽의 구조형식은 각층 바닥에서 지지되는 1방향벽체로 설계하는 방식과 토압이 과다하거나 건축계획상 벽두께의 제약이 따를 경우 적당한 간격으로 버팀기둥을 설치하거나 층 중간에 수평보를 보냄으로써 2방향벽체로 설계하는 방식 등 크게 두가지 방식으로 구분할 수 있다.

일반적으로 1방향해석과 2방향해석의 구분은 슬래브의 경우와 같이 벽체의 높이에 대한 길이의 비($\lambda = L/H$)에 의해서 구분하는데, 긴 변이 짧은 변의 2배 이상 되는 경우에는 1방향해석, 2배 이하인 경우에는 2방향해석으로 설계를 적용하고 있다. 여기서 일반적으로 벽체와 버팀기둥의 강성에 대한 개념은 고려하지 않고 간과하고 있다. 동일한 평판요소로 구분되는 슬래브와 굳이 비교하자면, 일반적인 보-슬래브 시스템은 슬래브의 강성에 비해 보의 강성이 매우 크므로 보 자체가 충분히 슬래브의 지지점 역할을 하기 때문에 일반적으로 위에서 언급한 1방향해석이나 2방향해석의 개념을 적용한 약산설계가 가능하다. 그러나, 지하외벽의 경우는 토압과 수압에 의한 하중이 매우 커서 벽체자체의 두께가 두꺼워 버팀기둥과의 강성차이가 작기 때문에 버팀기둥은 벽체의 지지점역할을 제대로 발휘하지 못하고 오히려 벽체의 거동에 따라가는 형상을 보인다. 따라서 지하외벽과 같이 벽체의 두께가 두꺼워 버팀기둥과의 강성차가 많이 나지 않는 경우 일반적으로 슬래브에서 적용하는 1방향해석과 2방향해석을 벽체에 그대로 적용하면 실제 작용 외력의 흐름에 적합한 철근보강이 되지 못하므로 문제가 발생할 소지가 많다는 것이다.

본 연구에서는 버팀기둥에 의해 지지되는 벽체에 토압이 작용할 경우에 대해 3차원 평판해석을 하여 벽체와 버팀기둥의 강성비에 따라 변하는 벽체분담 외력의 흐름과 버팀기둥이 분담하는 작용외력을 분석하고, 이를 1방향해석과 2방향해석에 따른 작용외력의 값과 비교, 분석하여 그 차이를 증명함으로써 기존 설계법에 대한 문제점을 제시하고자 한다. 실제로 토압을 받는 지하외벽 구조체에 균열

이 발생하는 등 많은 문제점을 나타내고 있어 지하외벽의 지지조건을 고려한 구조 해석 결과를 비교 검토하여 균열 발생 원인을 분석한 후 설계 단계에서 균열 발생을 최소화시키는 데 그 목적이 있다.

2. 지하외벽의 일반사항

2.1 지하외벽 작용하중

2.1.1 횡방향 토압계수

벽체에 작용하는 토압은 주동토압, 수동토압 및 정지토압의 3가지로 대별할 수 있다.

1) 주동토압계수

$K_A = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right) - \frac{2c}{\gamma h} \tan \left(45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right)$ 이 되며, 점착력이 없는 토질에서는 $c=0$ 이므로 주동토압계수는 다음과 같다.

$$K_A = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi} \quad \text{여기서, } \Phi \text{는 흙의 내부마찰각이다.}$$

2) 수동토압계수

$K_P = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right) + \frac{2c}{\gamma h} \tan \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right)$ 이 되며,

점착력이 없는 ($c=0$) 토질에서는

$$K_P = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right) = \frac{1 + \sin \Phi}{1 - \sin \Phi} \quad \text{이 된다.}$$

따라서 점착력이 없는 상태에서는 $K_P = 1/K_A$

즉, 주동토압계수와 수동토압계수는 서로 역수관계를 가지게 된다.

3) 정지토압계수

팽창도 수축도 하지 않은 정지상태에서도 횡방향으로 토압이 작용한다. 지하 외벽의 경우가 여기에 속하는데, 이러한 자연상태에서 수평압력의 수직압력에 대한 비를 정지토압계수라 하며 K_0 로 표시한다. 정지토압계수는 탄성론에 의한 평면변형도 상태에서 횡변형도를 영으로 하여

$$K_0 = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{\nu}{1 - \nu} = 1 - \sin \Phi \quad \text{이 된다. 이 식에서 } \nu \text{는 포아송비이다.}$$

2.1.2 벽체에 작용하는 토압

토압의 계산에서 벽체의 유효높이 H 와 지면으로부터의 유효깊이 h 는 흙의 점

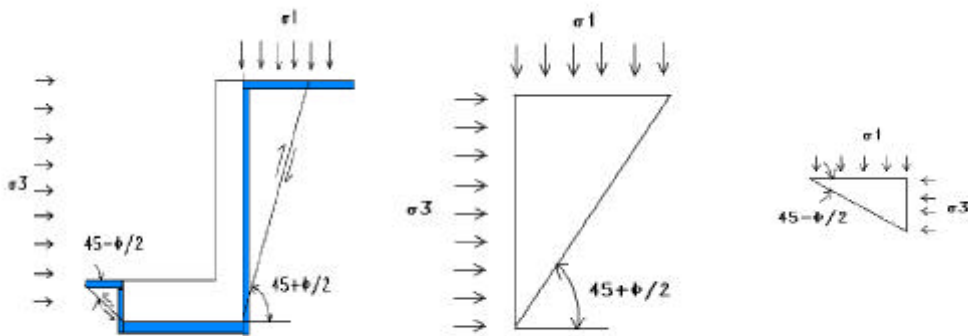
착력에 따라 다음과 같이 계산된다.

$$H = H_0 - \frac{2c}{\gamma} \tan \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$h = h_0 - \frac{2c}{\gamma} \tan \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right)$$

위의 식에서 H_0 는 실제 벽체의 수직높이이고, h_0 는 지면으로부터의 임의의 깊이이다. γ 은 흙의 단위체적중량이고, c 는 흙의 점착력을 나타내며 점착력이 없는 흙에서는 $c=0$ 으로 한다. 벽체의 수평방향 단위폭에 작용하는 토압의 합력은

$P = \frac{1}{2} K \gamma H^2 + K_s H$ 이며, 임의의 깊이 h_0 에서 벽체의 단위면적에 작용하는 토압은 $p = K \gamma h + K_s$ 이다. 여기서 K 는 토압계수이고, s 는 상재하중이며 상재하중이 없을 경우 $s=0$ 이다.



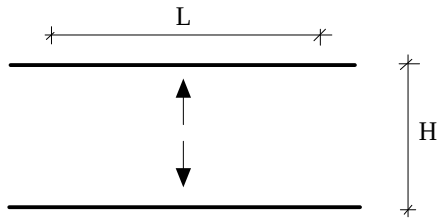
<그림 2-1> 토압을 받는 벽체 <그림 2-2> 주동토압상태 <그림 2-3> 수동토압상태

지하층외벽은 지하층 바닥간에 의해 횡방향 이동이 구속된 상태로 흙의 압력에 따른 변위가 허용되지 않으므로 정지상태로 상정하여 정지토압을 적용하며, 지하층 외벽이 도로에 면한다던가 할 경우 적정한 상재하중을 고려하여야 하는데, 이 경우 모두 토질역학에 근거하여 토층별로 작용하는 토압을 적정히 평가하여 설계에 반영하여야 한다.

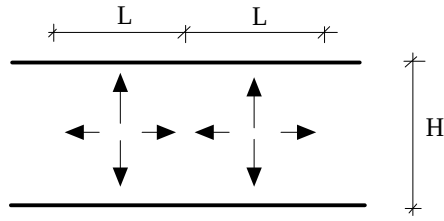
2.2 지하외벽 구조형식

지하외벽의 구조형식은 각층 바닥에서 지지되는 1방향벽체로 설계하는 방식과 토압이 과다하거나 건축계획상 벽두께의 제약이 따를 경우 적당한 간격으로 버팀기둥을 설치하거나 층 중간에 수평보를 보냄으로써 2방향벽체로 설계하는 방식

등 크게 두가지 방식으로 구분할 수 있다.



<그림 2-4> 1방향벽체와
작용외력의 흐름



<그림 2-5> 2방향벽체와
작용외력의 흐름

2.3 지하외벽 해석방법

2.3.1 1방향해석에 의한 방법

벽체의 높이에 대한 길이의 비($\lambda = L/H$)가 2.0 이상이 되는 경우, 즉 벽체길이
가 높이의 2배 이상 큰 경우에는 각 층의 바닥슬래브가 지점인 수직방향 1방향
해석을 적용하는데, 이 경우 수직철근량은 산출된 모멘트값에 의해 결정되고, 수평
철근량은 벽체의 최소철근비로 건조수축과 온도변화에 대한 배근만을 고려하는
것이 일반적이다. 벽체의 두께는 대개 1방향해석에 의한 전단력값에 의해 결정된
다. 벽체의 높이에 대한 길이의 비($\lambda = L/H$)가 0.5 이하인 경우, 즉 벽체높이가 길
이보다 2배 이상 큰 경우에 버팀기둥이 지점인 수평방향 1방향해석을 적용하고
버팀기둥은 벽체에서 전달되어오는 하중에 저항할 수 있도록 설계한다.

2.3.2 2방향해석에 의한 방법

긴 변이 짧은 변의 2배 이하인 경우에 적용하는데, 벽체는 각 층의 바닥슬래브
와 벽체의 버팀기둥의 4변이 모두 지점이 되는 2방향해석을 적용하여 해석에 의
해 산출된 모멘트값에 의해 수직, 수평철근량을 결정하고, 벽체의 두께는 대개 산
출된 전단력값에 따르게 된다.

벽체의 높이에 대한 길이의 비($\lambda = L/H$)가 0.5 이상 2.0 이하가 되는 경우가 이
범위에 속하지만, 본 연구에서는 벽체의 높이에 대한 길이의 비($\lambda = L/H$)가 1.0 이
상 2.0이하인 경우, 즉 벽체높이보다 길이가 큰 경우만을 연구범위로 제한하였다.

2.3.3 3차원 평판해석에 의한 방법

벽체의 단면을 판요소의 작은 셀들의 조합으로 생각하고 유한요소로 이상화하

여 3차원평판해석을 하는 방법으로 실제와 가장 가까운 데이터를 얻어낼 수 있지만, 자료준비 및 해석에 많은 시간을 필요로 할 뿐 아니라 판의 해석 자체가 복잡하기 때문에 이에 대한 충분한 이론적 지식을 갖추고 있어야 하므로 모든 경우의 벽체를 이 방법에 의존하는 것은 간단한 일이 아닐 것이다.

이상에서 살펴본 바와 같이 지하외벽을 설계하는 방법에는 여러 가지가 있지만 각각 장단점들을 지니고 있기 때문에 해석의 목적에 따라 최적의 방법을 선택하는 것이 중요하다.

3. 구조해석

3.1 해석조건 및 방법

- 1) 연구대상 : 벽체의 상부는 바닥슬래브에 의해 지지되고 하부는 기초에 의해 고정되어있는 1개층 벽체.
- 2) 연구범위 : 벽체높이에 대한 길이의 비($\lambda = L/H$)가 1.0 ~ 2.0의 범위로 하며, $\lambda < 1.0$ 의 범위는 연구대상에서 제외하였다.
- 3) 가정사항 : 지하외벽은 벽체상부에서 내려오는 벽체 축하중과 수압은 없는 것으로 가정하였으며, 횡방향 토압하중만을 받는 것으로 가정하여 해석하였다.
- 4) 토압산정 : 정지토압계수를 사용하여 토압하중을 $q = 1.7 \times K \times \gamma \times H + 1.7 \times K \times s$ 의 공식을 사용하여 산출하였다. 흙의 내부마찰각은 30° , 점착력은 없는 것으로 가정하였다.

$$K = \text{정지토압계수} (= 1 - \sin 30^\circ = 0.5)$$

$$\gamma = \text{흙의 단위체적당 중량} (= 1.8 \text{ t/m}^3)$$

$$H = \text{벽체높이(m)}$$

$$s = \text{상재하중} (= 1.0 \text{ t/m}^2)$$

가) $H = 3.0 \text{ m}$ Model의 경우

$$q_1 = 1.7 \times K \times s = 1.7 \times 0.5 \times 1.0 = 0.85 \text{ t/m}^2$$

$$q_2 = q_1 + 1.7 \times K \times \gamma \times H = 0.85 + 1.7 \times 0.5 \times 1.8 \times 3.0 = 5.44 \text{ t/m}^2$$

나) $H = 5.0 \text{ m}$ Model의 경우

$$q_1 = 1.7 \times K \times s = 1.7 \times 0.5 \times 1.0 = 0.85 \text{ t/m}^2$$

$$q_2 = q_1 + 1.7 \times K \times \gamma \times H = 0.85 + 1.7 \times 0.5 \times 1.8 \times 5.0 = 8.5 \text{ t/m}^2$$

5) 1방향해석방법

DESIGN-A 프로그램을 사용하여 하단부는 고정단, 상단부는 회전단으로 하

여 수직방향 1방향해석을 수행하여 작용외력을 산출하였다.

6) 2방향해석방법

모멘트계수법을 사용한 2방향해석 프로그램을 사용하여 좌, 우, 하단 3변은 고정단, 상단 1변은 회전단으로 하여 2방향해석을 수행하여 작용외력을 산출하였다.

7) 3차원평판해석방법

가) 벽체의 길이와 높이비에 따른 모델을 선정한다. 벽체의 높이는 $H=3.0m$ 와 $5.0m$ 를 기준으로 하였고, 각 높이에 대하여 $\lambda=1.0, 1.25, 1.5, 2.0$ 의 길이/높이비의 조건에 맞추어 아래의 해석모델과 같은 8가지의 모델을 선정하였다.

나) 벽체는 3스팬 연속벽체이고, 그 중 가운데 스패의 벽체에 대해서만 고려하였다.

다) 모델링에 있어서, 벽체셀 하나의 크기를 수직, 수평방향으로 30 60cm 정도로 하여 분할하였고, 기둥면과 벽체하단부 등 위험단면의 위치에서는 산출되는 작용외력의 오차를 줄이기 위하여 2cm의 작은 크기로 분할하였다.

라) 벽체의 두께는 $t=300mm$, 버팀기둥의 폭은 $b=500mm$ 를 기준으로 하였으며, 버팀기둥의 depth는 벽체강성에 대한 버팀기둥강성의 비율($I_c/I_w=0.5, 1.0, 2.0, 5.0$)에 맞춰 산정하였다. 벽체두께는 작용외력에 대한 벽체설계가 가능토록 고려한 두께는 아니며, 다만 벽체와 버팀기둥의 강성비에 따른 작용외력의 분배율만을 고려기 위한 것이다.

마) 콘크리트의 탄성계수 $E = 2.1 \times 10^6$
 t/m^2 , 포아송비 $\nu=0.167$ 을 적용하였다.

바) 지점조건은 벽체와 버팀기둥의 하단부는 고정단, 상단부는 회전단으로 설정하였다.

사) 각 모델에 대하여 벽체의 두께에 따른 버팀기둥의 강성을 4가지 경우로 가정하여 MIDAS - GEN으로 해석한 후 모멘트와 전단력 등 작용외력을 산출하였다.

[그림 3-1] 1방향 해석

아) 해석모델

Model 1 = $H \times L = 3.0m \times 3.0m (\lambda = 1.0)$

Model 2 = $H \times L = 3.0m \times 3.75m (\lambda = 1.25)$

[그림 3-2] 2방향 해석

Model 3 = $H \times L = 3.0\text{m} \times 4.5\text{m}$ ($\lambda = 1.5$) Model 6 = $H \times L = 5.0\text{m} \times 6.25\text{m}$ ($\lambda = 1.25$)

Model 4 = $H \times L = 3.0\text{m} \times 6.0\text{m}$ ($\lambda = 2.0$) Model 7 = $H \times L = 5.0\text{m} \times 7.5\text{m}$ ($\lambda = 1.5$)

Model 5 = $H \times L = 5.0\text{m} \times 5.0\text{m}$ ($\lambda = 1.0$) Model 8 = $H \times L = 5.0\text{m} \times 10.0\text{m}$ ($\lambda = 2.0$)

- 벽체 길이/높이비 $\lambda = L/H$ - 벽체 강성 $I_w = \frac{L t^3}{12}$

- 버팀기둥 강성 $I_c = \frac{b d^3}{12}$

- 각 모델에 대하여 $I_c/I_w = 0.5, 1.0, 2.0, 5.0$ 의 네가지 경우로 해석
자) 해석결과를 비교 분석한다.

[그림 3-3] 3차원 평판해석

3.2 해석모델별 결과

3.3 작용외력의 값

각 모델별로 1방향해석과 2방향해석, 그리고 3차원 평판해석을 수행하여 산출한 작용외력을 다음과 같이 정리하였다.

[Model 1]

SIZE				H × L= 3.0m×3.0m(λ=1.0)				WALL THK.= 300mm		
METHOD				3- DIMENSION ANALYSIS				1- WAY ANALY SIS	2- WAY ANALY SIS	UNIT
FN				W3- 11	W3- 12	W3- 13	W3- 14			
L / W				0.5	1.0	2.0	5.0			
COL SIZE				500×433	500×545	500×687	500×932			
M O D E L	W A L L	V E R	TOP	-	-	-	-	-	-	
			CENT	1.29	1.10	0.94	0.79	1.77	0.48	t.m/m
			BOTT	2.91	2.62	2.35	2.08	3.71	1.86	t.m/m
		H O R	END	0.17	0.34	0.51	0.69	-	1.67	t.m/m
			CENT	0.42	0.48	0.54	0.59	-	0.61	t.m/m
	C O L U M N	CENT	1.63	2.38	3.11	3.87	-	4.03	t.m	
		BOTT	2.84	3.94	4.94	5.81	-	6.63	t.m	
SHE AR	WALL(VER)			6.40	6.13	5.86	5.61	7.10	-	t/m
	COLUMN			3.74	4.91	6.08	7.39	-	9.29	t

[Model 2]

SIZE				H × L= 3.0m×3.75m(λ =1.25)				WALL THK= 300mm		
METHOD				3- DIMENSION ANALYSIS				1- WAY ANALY SIS	2- WAY ANALY SIS	UNIT
FN				W3- 21	W3- 22	W3- 23	W3- 24			
E / I _w				0.5	1.0	2.0	5.0			
COL SIZE				500×466	500×587	500×740	500×1004			
M O D E L 2	W A L L	V E R	TOP	-	-	-	-	-	-	
			CENT	1.39	1.26	1.15	1.05	1.77	0.76	t.m/m
		H O R	BOTT	3.10	2.91	2.74	2.58	3.71	2.46	t.m/m
			END	0.28	0.49	0.69	0.88	-	2.00	t.m/m
	COLUMN	CENT	0.45	0.52	0.59	0.65	-	0.63	t.m/m	
		CENT	1.93	2.74	3.51	4.28	-	4.03	t.m	
		BOTT	3.26	4.42	5.41	6.21	-	6.63	t.m	
		SHE AR	WALL(VER)			6.69	6.56	6.43	6.31	7.10
COLUMN			4.14	5.38	6.59	7.86	-	9.29	t	

[Model 3]

SIZE				H × L= 3.0m×4.5m(λ=1.5)				WALL THK= 300mm			
METHOD				3- DIMENSION ANALYSIS				1- WAY ANALY SIS	2- WAY ANALY SIS	UNIT	
FN				W3- 31	W3- 32	W3- 33	W3- 34				
E / I _w				0.5	1.0	2.0	5.0				
COL SIZE				500×495	500×624	500×786	500×1067				
M O D E L 3	W A L L	V E R	TOP	-	-	-	-	-	-		
			CENT	1.48	1.39	1.32	1.26	1.77	1.09	t.m/m	
			BOTT	3.26	3.16	3.04	2.95	3.71	2.93	t.m/m	
			H O R	END	0.36	0.60	0.80	0.98	-	2.06	t.m/m
				CENT	0.45	0.51	0.56	0.61	-	0.47	t.m/m
	COLUMN		CENT	2.17	3.01	3.75	4.50	-	4.03	t.m	
			BOTT	3.59	4.75	5.68	6.39	-	6.63	t.m	
SHE	WALL(VER)			6.88	6.82	6.77	6.73	7.10	-	t/m	
AR	COLUMN			4.47	5.73	6.91	8.12	-	9.29	t	

[Model4]

SIZE				H × L= 3.0m×6.0m(λ=2.0)				WALL THK= 300mm			
METHOD				3- DIMENSION ANALYSIS				1- WAY ANALY SIS	2- WAY ANALY SIS	UNIT	
FN				W3- 41	W3- 42	W3- 43	W3- 44				
E / I _w				0.5	1.0	2.0	5.0				
COL SIZE				500×545	500×687	500×865	500×1174				
M O D E L 4	W A L L	V E R	TOP	-	-	-	-	-	--		
			CENT	1.61	1.58	1.56	1.54	1.77	1.48	t.m/m	
			BOTT	3.46	3.42	3.40	3.37	3.71	3.62	t.m/m	
	L O R	H O R	END	0.48	0.71	0.90	1.06	-	2.33	t.m/m	
			CENT	0.41	0.45	0.48	0.50	-	0.34	t.m/m	
	COLUMN		CENT	2.53	3.35	4.04	4.72	-	4.03	t.m	
			BOTT	4.09	5.18	5.98	6.50	-	6.63	t.m	
SHE	WALL(VER)			7.04	7.04	7.04	7.05	7.10	-	t/m	
AR	COLUMN			4.98	6.23	7.33	8.42	-	9.29	t	

[Model 5]

SIZE				H × L= 5.0m×5.0m($\lambda=1.0$)				WALL THK.= 300mm		
METHOD				3- DIMENSION ANALYSIS				1-WAY ANALY SIS	2-WAY ANALY SIS	UNIT
FN				W5- 11	W5- 12	W5- 13	W5- 14			
I / I _w				0.5	1.0	2.0	5.0			
COL SIZE				500×513	500×646	500×814	500×1105			
M O D E L T	W A L L	V E R	TOP	-	-	-	-	-	-	
			CENT	5.35	4.58	3.84	3.18	7.20	1.98	t.m/m
			BOTT	12.38	11.15	9.98	8.85	15.41	7.85	t.m/m
		H O R	END	1.20	2.03	2.93	3.83	-	6.87	t.m/m
			CENT	1.77	2.03	2.27	2.51	-	2.49	t.m/m
	COLUMN		CENT	11.05	16.24	21.31	26.45	-	27.80	t.m
			BOTT	19.98	28.12	35.70	42.60	-	45.70	t.m
	SHEAR	WALL(VER)			16.44	15.80	15.18	14.58	17.96	-
	COLUMN			14.86	20.60	26.37	32.45	-	38.40	t

[Model 6]

SIZE				H × L= 5.0m×6.25m(λ=1.25)				WALL THK= 300mm		
METHOD				3- DIMENSION ANALYSIS				1- WAY ANALYSIS	2- WAY ANALYSIS	UNIT
FN				W5- 21	W5- 22	W5- 23	W5- 24			
I / I _w				0.5	1.0	2.0	5.0			
COL SIZE				500×553	500×696	500×877	500×1190	S	S	
M O D E L T	W A L L	V E R	TOP	-	-	-	-	-	-	
			CENT	5.73	5.18	4.68	4.21	7.20	3.13	t.m/m
			BOTT	13.13	12.31	11.56	10.86	15.41	10.29	t.m/m
		H O R	END	1.65	2.73	3.75	4.70	-	8.20	t.m/m
			CENT	1.89	2.17	2.44	2.68	-	2.59	t.m/m
			COLUMN		CENT	13.17	18.85	24.14	29.30	-
	BOTT	23.13			31.71	39.29	45.88	-	45.70	t.m
	SHEAR	WALL(VER)			17.09	16.76	16.46	16.18	17.96	-
	COLUMN			16.84	23.03	28.88	34.80	-	38.40	t

[Model 7]

SIZE				H × L= 5.0m×7.5m($\lambda=1.5$)				WALL THK=300mm			
METHOD				3- DIMENSION ANALYSIS				1-WAY ANALY SIS	2-WAY ANALY SIS	UNIT	
FN				W5- 31	W5- 32	W5- 33	W5- 34				
I / I _w				0.5	1.0	2.0	5.0				
COL SIZE				500×587	500×739	500×932	500×1265				
M O D E L T	W A L L	V E R	TOP	-	-	-	-	-	--		
			CENT	6.12	5.76	5.45	5.17	7.20	4.50	t.m/m	
			BOTT	13.81	13.30	12.86	12.47	15.41	12.22	t.m/m	
		H O R	END	2.05	3.22	4.25	5.17	-	8.43	t.m/m	
			CENT	1.87	2.13	2.35	2.55	-	1.90	t.m/m	
			COLUMN		CENT	14.83	20.68	25.91	30.84	-	27.80
		BOTT			25.56	34.21	41.51	47.47	-	45.70	t.m
		SHEAR	WALL(VER)			17.54	17.41	17.30	17.20	17.96	-
	COLUMN			18.49	24.78	30.51	36.09	-	38.40	t	

[Model 8]

SIZE				H × L= 5.0m×10.0m(λ=2.0)				WALL THK= 300mm		
METHOD				3- DIMENSION ANALYSIS				1- WAY ANALY SIS	2- WAY ANALY SIS	UNIT
FN				W5- 41	W5- 42	W5- 43	W5- 44			
I / I _w				0.5	1.0	2.0	5.0			
COL SIZE				500×646	500×814	500×1025	500×1392			
M O D E L T	W A L L	V E R	TOP	-	-	-	-	-	-	
			CENT	6.65	6.53	6.42	6.34	7.20	6.11	t.m/m
			BOTT	14.64	14.48	14.35	14.24	15.41	15.10	t.m/m
		H O R	END	2.62	3.80	4.74	5.54	-	9.51	t.m/m
			CENT	1.70	1.87	2.00	2.11	-	1.39	t.m/m
			COLUM N	CENT	17.37	23.16	27.92	32.27	-	27.80
		BOTT	29.29	37.63	44.01	48.74	-	45.70	t.m	
	SHEAR	WALL(VER)			17.91	17.92	17.93	17.94	17.96	-
	COLUMN			21.12	27.32	32.55	37.45	-	38.40	t

4. 해석결과에 대한 비교 분석

4.1 휨모멘트에 대한 분석

4.1.1 벽체 수직방향 중앙부 모멘트(VER.CENT.)

벽체강성에 대한 버팀기둥강성이 클수록 벽체 수직방향 중앙부 모멘트는 감소한다. 버팀기둥 강성이 크면 작용 외력의 흐름이 강성이 큰 버팀기둥쪽으로 흐르게 되어 벽체수직방향의 모멘트는 감소하고 수평방향의 모멘트가 증가하게 되어 2방향거동을 하게 되며, 반대로 버팀기둥 강성이 작으면 작용외력이 버팀기둥쪽으로 보다는 슬래브와 기초가 지지점이 되는 수직방향으로 흐르게 되어 벽체 수직방향의 모멘트는 증

가하고 수평방향의 모멘트가 감소하여 수직방향 1방향거동을 하게 된다.

표1은 가정한 모델에 대하여 1방향해석과 2방향 해석의 작용외력에 대한 평판 해석에 따른 작용외력의 비율을 정리한 것이며, H=3.0m 모델과 H=5.0m 모델의 비율의 차이는 미소하므로 따로 구분하지 않았다.

① 버팀기둥강성에 따른 평판해석 작용모멘트를 서로 비교해보면, 표에서 보는 바와 같이 $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체는 $I_c/I_w=0.5$ 에서 1.0, 2.0, 5.0으로 버팀기둥의 강성

을 증가시킬 경우 각 단계에서 벽체 수직방향 중앙부 모멘트는 1방향 해석값에 대하여는 각각 10%, 10%, 8%씩 감소하였고, 2방향 해석값에 대하여는 39%, 35%, 32%씩 감소하였다.

$\lambda=1.25$ 인 벽체의 경우는 1방향 해석값에 대하여는 각 단계에서 6~8%정도 감소하였고, 2방향 해석값에 대하여는 13~17%정도 감소하였다.

$\lambda=1.5$ 인 벽체의 경우는 1방향 해석값에 대하여는 각 단계에서 4~5%정도 감소하였고, 2방향 해석값에 대하여는 5~8%정도 감소하였다.

$\lambda=2.0$ 인 벽체의 경우는 1방향 해석값에 대하여는 각 단계에서 1~2%정도 감소하였고, 2방향 해석값에 대하여는 1~2%정도 감소하였다.

위에서 보면 버팀기둥의 강성을 증가시키면 벽체 수직방향 중앙부모멘트가 감소하는 것을 볼 수 있는데, 벽체높이에 대한 길이비(λ)값이 작은 벽체일수록 그 영향이 큰 것으로 나타났다.

② 평판해석 작용모멘트에 대한 1방향해석과 2방향해석 작용모멘트를 비교해보면, $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체의 경우, 버팀기둥과 벽체의 강성차이에 따라 1방향해석으로 설계하는 경우에는 수직방향 중앙부모멘트가 평판해석모멘트보다 27~55% 크게 산출되어 과대설계가 되고, 2방향해석으로 설계하는 경우에는 63~169% 작게 산출되어 과소설계가 되는 것을 볼 수 있다. 그래프1과 그래프2에서 보면 λ 값이 커질수록 전체적인 과대, 과소의 오차는 줄어들고, $\lambda=2.0$ 의 경우는 1방향해석이나 2방향해석 모두 과대, 과소의 오차가 10%안팎인 것으로 나타났다.

[표1] 벽체 수직방향 중앙부 모멘트(VER.CENT.)

길이/높이비 강성비	1-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율				2-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율			
	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$
$I_c/I_w=0.5$	73%	80%	85%	92%	269%	183%	136%	109%
$I_c/I_w=1.0$	63%	72%	80%	90%	230%	166%	128%	107%
$I_c/I_w=2.0$	53%	65%	76%	89%	195%	151%	121%	105%
$I_c/I_w=5.0$	45%	59%	72%	88%	163%	138%	116%	104%

4.1.2 벽체 수직방향 하단부 모멘트(VER.BOTT.)

벽체강성에 대한 버팀기둥의 강성이 클수록 벽체 수직방향 하단부 모멘트는 감소한다.

그 이유는 수직방향 중앙부 모멘트에서 언급한 것과 같으며, 다만 수직방향 중앙부 모멘트보다 그 감소비율이 작음을 알 수 있다.

표2는 가정한 모델에 대하여 1방향 해석과 2방향해석의 작용외력에 대한 평판해석에 따른 작용외력의 비율을 정리한 것이며, $H=3.0m$ 모델과 $H=5.0m$ 모델의 비율의 차이는 미소하므로 따로 구분하지 않았다.

① 버팀기둥강성에 따른 평판해석 작용 모멘트를 서로 비교해보면, 표에서 보는 바와 같이 $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체는 $I_c/I_w = 0.5$ 에서 1.0, 2.0, 5.0으로 버팀기둥의 강성을 증가시킬 경우 각 단계에서 벽체 수직방향 하단부 모멘트는 1방향 해석값에 대하여는 각 단계에서 7 8% 정도 감소하였고, 2방향 해석값에 대하여는 14 15%정도 감소하였다.

$\lambda=1.25$ 인 벽체의 경우는 1방향 해석값에 대하여는 각 단계에서 5 6%정도 감소하였고, 2방향 해석값에 대하여는 6 8%정도 감소하였다.

$\lambda=1.5$ 인 벽체의 경우는 1방향 해석값에 대하여는 각 단계에서 2 3%정도 감소하였고, 2방향 해석값에 대하여는 3 4%정도 감소하였다.

$\lambda=2.0$ 인 벽체의 경우는 1방향과 2방향 해석값 모두에 대하여 각 단계에서 1%정도 감소하였다.

위에서 보면 버팀기둥의 강성을 증가시키면 벽체 수직방향 하단부모멘트가 감소하는 것을 볼 수 있는데, 벽체높이에 대한 길이비(λ)값이 작은 벽체일수록 그

영향이 큰 것으로 나타났다.

② 평판해석 작용모멘트에 대한 1방향해석과 2방향해석 작용모멘트를 비교해보면, $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체의 경우 버팀기등과 벽체의 강성차이에 따라 1방향해석으로 설계하는 경우에는 벽체 수직방향 하단부모멘트가 평판해석모멘트보다 20~43% 크게 산출되어 과대설계가 되고, 2방향해석으로 설계하는 경우에는 13~57% 작게 산출되어 과소설계가 된다. 그래프3과 그래프4에서 보면 λ 값이 커질수록 전체적인 과대, 과소의 오차는 줄어들고, $\lambda=2.0$ 의 경우는 1방향해석이나 2방향해석 모두 평판해석모멘트보다 8%이내의 범위에서 크게 산출된 것을 볼 수 있다.

[표2] 벽체 수직방향 하단부 모멘트(VER.BOTT.)

길이/높이비 강성비	1-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율				2-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율			
	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$
$I_c/I_w=0.5$	80%	85%	89%	94%	157%	127%	112%	97%
$I_c/I_w=1.0$	72%	79%	86%	93%	142%	119%	109%	96%
$I_c/I_w=2.0$	64%	75%	83%	93%	127%	112%	105%	95%
$I_c/I_w=5.0$	57%	70%	81%	92%	113%	106%	102%	94%

4.1.3 벽체 수평방향 단부 모멘트(HOR.END.)

벽체강성에 대한 버팀기등의 강성이 클수록 벽체 수평방향 단부모멘트는 증가한다.

그 이유는 이미 앞에서 언급한 바와 같이 버팀기등의 강성이 크면 작용외력이 강성이 큰 버팀기등쪽으로 흐르게 되어 벽체 수직방향의 모멘트는 감소하고 수평방향의 모멘트가 증가하게 되어 2방향거동을 하게 되며, 반대로 버팀기등의 강성이 작으면 작용외력이 버팀기등쪽으로 흐르지 않고 슬래브와 기초가 지지점이 되는 수직방향으로 흐르게 되어 수직방향의 모멘트는 증가하고 수평방향의 모멘트가 감소하여 1방향거동과 같이 작용하게 되기 때문이다.

표3은 가정한 모델에 대하여 2방향해석의 작용외력에 대한 평판해석에 따른 작용외력의 비율을 정리한 것이며, H=3.0m 모델과 H=5.0m 모델의 비율의 차이가

다소 있음을 볼 수 있다.

① 버팀기둥강성에 따른 평판해석 작용 모멘트를 서로 비교해보면, 표에서 보는 바와 같이 $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체는 $I_c/I_w = 0.5$ 에서 1.0, 2.0, 5.0으로 버팀기둥의 강성을 증가시킬 경우 각 단계에서 벽체 수직방향 하단부 모멘트는 2방향 해석값에 대하여 H=3.0m 모델은 각 단계에서 10

11% 정도 증가하였고, H=5.0m 모델은 12 13%정도 증가하였다.

$\lambda=1.25$ 인 벽체의 경우는 2방향 해석값에 대하여 H=3.0m 모델은 각 단계에서 9 11%정도 증가하였고, H=5.0m 모델은 11 13%정도 증가하였다.

$\lambda=1.5$ 인 벽체의 경우는 2방향 해석값에 대하여 H=3.0m 모델은 각 단계에서 9 12%정도 증가하였고, H=5.0m 모델은 10 14%정도 증가하였다.

$\lambda=2.0$ 인 벽체의 경우는 2방향 해석값에 대하여 H=3.0m 모델은 각 단계에서 7 10%정도 증가하였고, H=5.0m 모델은 8 12%정도 증가하였다.

위에서 보면 버팀기둥의 강성을 증가시키면 벽체 수평방향 단부모멘트가 증가하는 것을 볼 수 있는데, 벽체높이에 대한 길이비(λ)값이 작은 벽체일수록 그 영향이 조금 크지만 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

② 평판해석 작용모멘트에 대한 2방향해석 작용모멘트를 비교해보면, $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체의 경우, 버팀기둥과 벽체의 강성차이에 따라 2방향해석으로 설계하는 경우에는 H=3.0m 모델의 경우 벽체 수평방향 단부모멘트가 실제작용모멘트보다 59 90% 크게 산출되어 과대설계가 되고, H=5.0m 모델 역시 44 82% 크게 산출되어 과대설계가 됨을 알 수 있다. 그래프5와 그래프6에서 보면 λ 값이 커질수록 전체적인 과대, 과소의 오차는 조금 줄어들지만, 여전히 54% 79%, 42% 72%정도 크게 산출되는 것을 볼 때, 벽체 수평방향 단부의 설계는 전반적으로 과대설계가 됨을 나타내고 있다.

[표3] 벽체 수평방향 단부 모멘트(HOR.END.)

길이/높이비 강성비	2-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율(H=3.0m)				2-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율(H=5.0m)			
	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$
$I_c/I_w=0.5$	10%	14%	17%	21%	18%	20%	24%	28%
$I_c/I_w=1.0$	20%	25%	29%	31%	30%	33%	38%	40%
$I_c/I_w=2.0$	31%	35%	39%	39%	43%	46%	51%	50%
$I_c/I_w=5.0$	41%	44%	48%	46%	56%	57%	61%	58%

4.1.4 벽체 수평방향 중앙부 모멘트(HOR.CENT.)

벽체강성에 대한 버팀기둥의 강성이 클수록 벽체 수평방향 중앙부 모멘트는 증가한다.

그 이유는 앞에서 언급한 내용과 같이 작용하중의 수평방향 분담율이 커지기 때문이다.

표4는 가정한 모델에 대하여 2방향 해석의 작용외력에 대한 평판해석에 따른 작용외력의 비율을 정리한 것이며, H=3.0m 모델과 H=5.0m 모델의 비율의 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

① 버팀기둥강성에 따른 평판해석 작용 모멘트를 서로 비교해보면, 표에서 보는 바와 같이 $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체는 $I_c/I_w=0.5$ 에서 1.0, 2.0, 5.0으로 버팀기둥의 강성을 증가시킬 경우 각 단계에서 벽체 수평방향 중앙부 모멘트는 2방향 해석값에 대하여 H=3.0m 모델은 각 단계에서 8~10% 정도 증가하였고, H=5.0m 모델은 9~11% 정도 증가하였다.

$\lambda=1.25$ 인 벽체의 경우는 2방향 해석값에 대하여 H=3.0m 모델은 각 단계에서 9~12% 정도 증가하였고, H=5.0m 모델은 9~11% 정도 증가하였다.

$\lambda=1.5$ 인 벽체의 경우는 2방향 해석값에 대하여 H=3.0m 모델은 각 단계에서 11

13%정도 증가하였고, H=5.0m 모델은 10 14%정도 증가하였다.

$\lambda=2.0$ 인 벽체의 경우는 2방향 해석값에 대하여 H=3.0m 모델은 각 단계에서 6 11%정도 증가하였고, H=5.0m 모델은 8 14%정도 증가하였다.

위에서 보면 버팀기둥의 강성을 증가시키면 벽체 수평방향 중앙부모멘트가 증가하는 것을 볼 수 있는데, 벽체높이에 대한 길이비(λ)값에 별다른 관계가 없이 비슷하게 증가한 것으로 나타났다.

② 평판해석 작용모멘트에 대한 2방향해석 작용모멘트를 비교해보면, $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체의 경우, 버팀기둥과 벽체의 강성차이에 따라 2방향해석으로 설계하는 경우에는 H=3.0m 모델의 경우 수평방향 중앙부모멘트가 평판해석모멘트보다 3 31% 크게 산출되어 과대설계가 되나, λ 값이 커질수록 오히려 평판해석모멘트보다 작게 산출되어 $\lambda=2.0$ 의 경우에는 21% 47%정도 과소설계가 됨을 알 수 있고, H=5.0m 모델의 경우도 비슷한 비율의 결과를 나타내고 있다.

[표4] 벽체 수평방향 중앙부 모멘트(HOR.CENT.)

길이/높이비 강성비	2-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율(H=3.0m)				2-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율(H=5.0m)			
	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$
Ic/Iw=0.5	69%	71%	96%	121%	71%	73%	98%	122%
Ic/Iw=1.0	79%	83%	109%	132%	82%	84%	112%	136%
Ic/Iw=2.0	89%	94%	119%	141%	91%	94%	124%	144%
Ic/Iw=5.0	97%	103%	130%	147%	101%	103%	134%	152%

4.1.5 버팀기둥 중앙부 모멘트

벽체강성에 대한 버팀기둥의 강성이 클수록 버팀기둥 중앙부 모멘트는 증가한다. 그 이유는 앞에서 언급한 것과 같이 버팀기둥의 강성이 크면 작용외력이 강성이 큰 버팀기둥쪽으로 흐르게 되어 버팀기둥이 분담하는 하중이 커지게 되며, 반대로 버팀기둥의 강성이 작으면 작용외력이 버팀기둥쪽으로 흐르지 않고 슬래브와 기초가 지지점이 되는 수직방향으로 흐르게 되어 버팀기둥이 분담하는 하중이 작아지기 때문이다

다.

표5는 각 모델에 대하여 2방향해석의 작용외력에 대한 평판해석에 따른 작용외력의 비율을 정리한 것이며, H=3.0m 모델과 H=5.0m 모델의 비율의 차이는 미소하므로 따로 구분하지 않았다.

- ① 버팀기둥강성에 따른 평판해석 작용모멘트를 서로 비교해보면, 표에서 보는 바와 같이 $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체는 $I_c/I_w=0.5$ 에서 1.0, 2.0, 5.0으로 버팀기둥의 강성을 증가시킬 경우 각 단계에서 버팀기둥 중앙부 모멘트는 2방향 해석값에 대하여 각 단계에서 18~19% 정도 증가하였고, $\lambda=1.25$ 와 1.5, 2.0 모델들은 17~21% 정도 증가하는 것으로 나타났다.
- ② 평판해석 작용모멘트에 대한 2방향해석 작용모멘트를 비교해보면, $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체의 버팀기둥의 경우, 버팀기둥과 벽체의 강성차이에 따라 2방향해석으로 설계하는 경우의 버팀기둥의 중앙부모멘트는 평판해석모멘트보다 4%~59% 크게 산출되며, 버팀기둥의 강성이 벽체강성보다 5배이상일 경우 평판해석모멘트와 거의 같거나 오히려 다소 작게 산출되고, 버팀기둥의 강성이 작은 경우는 37%~59%정도 크게 산출되어 과대설계가 되고, λ 값이 커질수록 전체적인 과대, 과소의 오차는 다소 줄어든다.

[표5] 버팀기둥 중앙부 모멘트(COLCENT.)

길이/높이비 강성비	2-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율			
	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$
$I_c/I_w=0.5$	41%	48%	54%	63%
$I_c/I_w=1.0$	59%	69%	75%	83%
$I_c/I_w=2.0$	77%	87%	93%	100%
$I_c/I_w=5.0$	96%	106%	112%	117%

4.1.6 버팀기둥 하단부 모멘트

벽체강성에 대한 버팀기둥의 강성이 클수록 버팀기둥의 하단부 모멘트는 증가

한다. 그 이유는 앞에서 언급한 것과 같다.

표6은 가정한 모델에 대하여 2방향 해석의 작용외력에 대한 평판해석에 따른 작용외력의 비율을 정리한 것이며, H=3.0m 모델과 H=5.0m 모델의 비율의 차이는 미소하므로 따로 구분하지 않았다.

① 버팀기둥강성에 따른 평판해석 작용 모멘트를 서로 비교해보면, 표에서 보는 바와 같이 $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체는 $I_c/I_w=0.5$ 에서 1.0, 2.0, 5.0으로 버팀기둥의 강성을 증가시킬 경우 각 단계에서 버팀기둥 하단부 모멘트는 2방향 해석값에 대하여 각 단계에서 14 ~ 17% 정도 증가하였고, $\lambda=1.25$ 와 1.5, 2.0 모델들은 11 ~ 19% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

② 평판해석 작용모멘트에 대한 2방향 해석 작용모멘트를 비교해보면, $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체의 버팀기둥의 경우, 버팀기둥과 벽체의 강성차이에 따라 2방향 해석으로 설계하는 경우의 버팀기둥의 하단부모멘트는 평판해석모멘트보다 9% ~ 56% 크게 산출되며, 버팀기둥강성이 벽체강성보다 5배이상일 경우 평판해석모멘트와 거의 같으나, 버팀기둥의 강성이 작은 경우는 37% ~ 56% 정도 크게 산출되어 과대설계가 되고, λ 값이 커질수록 전체적인 과대, 과소의 오차는 조금 줄어든다.

[표6] 버팀기둥 하단부 모멘트(COLBOTT.)

길이/높이비 강성비	2-WAY ANALYSIS 작용모멘트에 대한 평판해석 작용모멘트의 비율			
	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$
$I_c/I_w=0.5$	44%	50%	55%	63%
$I_c/I_w=1.0$	61%	68%	74%	80%
$I_c/I_w=2.0$	77%	84%	89%	93%
$I_c/I_w=5.0$	91%	97%	100%	93%

4.2 전단력에 대한 분석

4.2.1 벽체 하단부 전단력

벽체강성에 대한 버팀기둥의 강성이 클수록 벽체하단부 전단력은 감소한다. 그 이유는 이미 앞의 내용들에서 언급한 것과 같다.

표7은 가정한 모델에 대하여 1방향 해석의 작용외력에 대한 평판해석에 따른 작용외력의 비율을 정리한 것이며, $H=3.0\text{m}$ 모델과 $H=5.0\text{m}$ 모델의 비율의 차이는 미소하므로 따로 구분하지 않았다.

① 버팀기둥강성에 따른 평판해석 작용모멘트를 서로 비교해보면, 표에서 보는 바와 같이 $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체는 $I_c/I_w=0.5$ 에서 1.0, 2.0, 5.0으로 버팀기둥의 강성을 증가시킬 경우 각 단계에서 벽체 하단부 전단력은 2방향 해석값에 대하여 각 단계에서 3~4% 정도 증가하였고, $\lambda=1.25$ 와 1.5, 2.0 모델들은 0~2% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

② GEN 해석 작용모멘트에 대한 2방향

해석 작용모멘트를 비교해보면, $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체의 경우, 버팀기둥과 벽체의 강성차이에 따라 1방향해석으로 설계하는 경우의 벽체하단부 전단력은 GEN 해석 전단력보다 9%~20% 크게 산출되어 과대설계가 되며, λ 값이 커질수록 과대의 오차는 조금 줄어들고, $\lambda=2.0$ 의 경우에는 1방향해석의 값과 동일함을 알 수 있다. 또한 이미 여러번 언급한 것처럼 버팀기둥강성이 클수록 하중의 흐름이 버팀기둥 쪽으로 작용하여 버팀기둥의 전단력이 증가하는 대신 벽체 하단부 전단력은 오히려 감소하는 것을 알 수 있다.

[표7] 벽체 하단부 전단력

길이/높이비 강성비	1-WAY ANALYSIS 작용전단력에 대한 평판해석 작용전단력의 비율			
	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$
$I_c/I_w=0.5$	91%	95%	98%	100%
$I_c/I_w=1.0$	87%	93%	97%	100%
$I_c/I_w=2.0$	84%	92%	96%	100%
$I_c/I_w=5.0$	80%	90%	96%	100%

4.2.2 버팀기둥 하단부 전단력

벽체강성에 대한 버팀기둥의 강성이 클수록 버팀기둥 하단부 전단력은 증가한다. 그 이유는 이미 앞의 내용들에서 언급한 것과 같다.

표8은 가정한 모델에 대하여 2방향 해석의 작용외력에 대하여 평판해석에 따른 작용외력의 비율을 정리한 것이며, $H=3.0m$ 모델과 $H=5.0m$ 모델의 비율의 차이는 미소하므로 따로 구분하지 않았다.

- ① 버팀기둥강성에 따른 평판해석 작용모멘트를 서로 비교해보면, 표에서 보는 바와 같이 $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체는 $I_c/I_w=0.5$ 에서 1.0, 2.0, 5.0으로 버팀기둥의 강성을 증가시킬 경우 각 단계에서 버팀기둥 하단부 전단력은 2방향 해석값에 대하여 각 단계에서 13 ~ 16% 정도 증가하였고, $\lambda=1.25$ 와 1.5, 2.0 모델들도 모두 13 ~ 16% 정도 증가하는 것으로 나타났다.
- ② 평판해석 작용모멘트에 대한 2방향해석 작용모멘트를 비교해보면, $\lambda=1.0$ 인 정방형 벽체의 버팀기둥의 경우, 버팀기둥과 벽체의 강성차이에 따라 2방향해석으로 설계하는 경우의 하단부전단력은 평판해석전단력보다 17% ~ 60% 크게 산출되어

과대설계가 되며, 버팀기둥의 강성이 작을수록 오차가 더 크고, λ 값이 커질수록 그러한 오차는 전체적으로 다소 줄어드나 $\lambda=2.0$ 의 경우에도 5~45%정도 전단력이 크게 산출되는 것을 알 수 있다.

[표8] 버팀기둥 하단부 전단력

길이/높이비 강성비	2-WAY ANALYSIS 작용전단력에 대한 평판해석 작용전단력의 비율			
	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.25$	$\lambda=1.5$	$\lambda=2.0$
$I_c/I_w=0.5$	40%	45%	48%	55%
$I_c/I_w=1.0$	54%	59%	64%	69%
$I_c/I_w=2.0$	67%	73%	77%	82%
$I_c/I_w=5.0$	83%	88%	91%	95%

5. 연구결론

지금까지 지하벽체에 대하여 1방향해석과 2방향해석, 그리고 3차원 평판해석에 의한 작용외력값을 비교함으로써 기존 설계방법에 대한 문제점을 제시하였다. 지하외벽을 설계하는 경우 종종 고려치않고 무시되는 버팀기둥과 벽체의 강성비에 따라 작용외력의 분담율이 서로 달라지므로, 설계시에 강성에 대한 개념을 반영하지 않고 벽체 길이/높이비에 따라서만 1방향 또는 2방향해석으로 가정하여 설계할 경우 하자발생의 원인이 될 수 있다.

결과분석에서 보았듯이 버팀기둥과 벽체의 강성비에 따른 3차원 평판해석에 의한 작용외력값과 1방향해석, 2방향해석에 따른 작용외력값에는 큰 편차가 있으므로, 이러한 조건들을 고려하지 않고 어느 한가지 방법으로 가정하여 설계한다는 것은 무리가 있으나, 모든 벽체설계를 3차원 평판해석에만 의존하는 것도 경제적인 방법은 아닐 것이다. 본 연구에서 채택한 해석모델이 엄밀한 해석적 측면에서 보면 다소 문제점이 없는 것은 아니나, 1방향해석, 또는 2방향해석 후에 표1에서 표8까지의 실험치에 의한 비율을 계수로 적용한다면 3차원 평판해석을 수행하지 않고서도 근사한 작용외력의 값을 추정할 수 있을 것이라고 생각되며, 아래와 같은 제한조건이 있으므로 보다 일반적인 설계적용을 위하여는 더 체계적이고 정밀한 연구가 수행되어야 할 것이다.

표1에서 표8의 비율에 의한 계수는 다음 조건에 맞는 연속벽체에만 적용할 수 있다.

1. 벽체높이에 대한 길이의 비($\lambda=L/H$)가 1.0이상 2.0이하인 경우에 적용한다.
2. 3연속 이상의 연속벽체 중 내부SPAN의 벽체에만 적용한다.

3. 벽체의 하부는 강성이 큰 기초에 의해 고정되고, 벽체 상부는 불연속 회전단으로 슬래브에 의해 지지되어 있어야 한다.
4. 작용하중은 횡방향 토압하중이며, 벽체상부 연직하중과 수압하중은 없어야 한다.

참고문헌

1. 대한건축학회, 철근콘크리트 구조설계기준, 1995. 1.
2. 대한건축학회, 구조계획, 1997. 1.
3. 김상식, 철근콘크리트 구조설계, 1997. 1.
4. 기술경영사편집부, 흙과 기초의 설계계산연습, 1997. 10.
5. 이상덕, 토질역학, 1998. 2.

인천국제공항 여객터미널 전면고가교량 시공방법 및 수화열 대책

인천국제공항 여객터미널 전면 고가교량공사 소장 박종보
서울산업대학교 토목공학과 교수 조선규
서울산업대학교 토목공학과 교수 김은겸

1. 서 론

본 구조물은 인천국제공항을 대표적으로 상징하는 여객터미널과 교통센터의 중간에 위치하고 있으며, 입국 및 출국 여객의 쾌적한 통행 조건을 제공하고, 원활한 물류 수송 기능 확보는 물론, 주변 건물과의 미적 조화를 도모하기 위한 미관 설계가 요구되었다.

이와 같은 관점에서 교각의 형상은 하단 부분이 원형이며 상부쪽으로 올라가면서 미려한 곡선을 이루도록 설계되어 있으며, 또한 교량 슬래브 하면은 2방향 아치형상을 가지는 미려한 곡선을 도입하여 입출국 여객으로 하여금 인간과의 친화적인 구조가 되도록 설계가 수행되었다. 이러한 설계조건을 수용하기 위하여 시공에 앞서 미학적인 관점에서 미려하고 환경 친화적인 콘크리트 구조물의 표면 확보 및 미려한 곡선유지, 매스콘크리트로 인한 콘크리트의 수화열에 의한 균열발생을 방지하기 위한 대책 등이 실내 실험 및 현장 실험 등을 통하여 수립되었다.

콘크리트의 표면관리를 위해서는 배합설계에서 배려해야 할 사항을 비롯하여, 사용 거푸집의 재질 선정이 중요하며, 이들은 수화열에 의한 온도균열제어와도 관련성이 있다. 즉, 수화열을 최소화하기 위해서는 배합설계시 소요의 설계기준강도를 발현하는데 필요한 시멘트량을 최소화해야 하며, 거푸집은 콘크리트 내외부 온도차를 줄이기 위해 단열성이 있는 거푸집을 사용해야 한다.

콘크리트 표면의 단열성을 확보하기 위해서는 목재거푸집이 효과가 있는 반면, 콘크리트의 미려한 면관리를 위해서는 강재거푸집의 사용이 바람직하다. 따라서, 시공에 적용된 거푸집은 콘크리트 표면의 질감을 높이기 위하여 강재거푸집을 사용하였으며, 교량 하면의 2방향 아치 형상이 미려하게 나타나도록 하기 위해 외국 전문업체에 의뢰하여 특수하게 제작하였다.

본 구조물은 상부와 하부구조를 부정정력, 건조수축 및 온도변화 등의 영향을

고려하여 분리형 구조형식을 취하였으며, LRB(Lead Rubber Bearing)교좌장치를 사용하여 내진저항성을 증가시켰다.

콘크리트의 배합은 실내시험 및 현장시험을 통해 콘크리트 표면관리 및 수화열 차원을 고려하여 선정하였으며, 콘크리트의 설계기준강도는 $f_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$, 배합강도는 $f_{cr} = 480 \text{ kgf/cm}^2$ 을 목표로 하였다. 교량 슬래부는 PSC구조로서 설계기준강도가 크고 단면의 두께가 0.95 ~ 2.8m로 변하고 있는 복잡한 형상을 가지는 매스콘크리트이며, 수화열에 의한 온도균열 발생의 위험이 매우 높은 조건을 지니고 있다. 이에 대한 대책을 수립하기 위해 [5종시멘트]와 [1종시멘트+pipe cooling] 방법을 적용하여 3차원 유한요소해석을 실시하였다. 또한, 이 결과를 입증하기 위하여 $3\text{m} \times 3\text{m} \times 2.8\text{m}$ 의 크기를 가지는 대형 시험체를 2체 제작하여 pipe cooling 및 균열발생 제어에 대한 효과를 검토하였다. 그 결과 본 구조물에 대해서는 [1종시멘트+pipe cooling] 방법이 5종시멘트를 사용하는 것보다 온도균열을 제어하는데 효과가 있는 것으로 나타났다.

Pipe Cooling에 사용된 Cooling Pipe는 지름 25mm의 스테인레스 주름관을 사용하였으며, 배관 간격은 50 ~ 60cm이다. 쿨링수의 온도는 15°C이며, 2일간 연속적으로 파이프쿨링을 실시하였다. 현재 총 27개 경간 가운데 20개 경간의 시공이 완료된 상태이며, 수화열에 의한 온도균열은 전혀 발생되지 않았다.

2. 거푸집 선정 및 제작 거치

2.1 실험대상 콘크리트면의 종류

거푸집을 떼어냈을 때 콘크리트 면은 평활하여야 하며, 친근감 및 습윤감이 있는 것을 목표로 거푸집 재질을 선정하였다. 이를 달성하기 위해서는 일본 名古屋大學에서 1997년에 연구된 콘크리트 면관리를 위한 거푸집을 선정 방법 및 그 결과를 활용하였다. 이 연구에 의하면, 시험에는 총 17개의 콘크리트 시험체($90\text{cm} \times 90\text{cm}$)를 제작하여 사용하였으며, 시험에 사용된 콘크리트 면은 다음과 같은 7종류로 구분하고 있다.

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| (1) 수지도장 거푸집면(No.3,4,7) | (2) 강재 거푸집면(No.5) |
| (3) 삼나무판 거푸집면(No.6) | (4) 합판 거푸집면(No.1,2) |
| (5) 모르타분 씻어내기 마무리면(No.17) | (6) 의장 마무리면(No.10,12,16) |
| (7) 쫓아내기 마무리면(No.8,9,11,13,14,15) | |

2.2 콘크리트면의 평가방법

원거리(50m) 및 근거리로부터 시각적 평가 실시를 위하여 다음과 같은 3가지 인자분석 평가척도를 사용하였다. 또한, 콘크리트면의 촉각적 평가는 평활도 하나의 인자로 나타낼 수 있으며, 평가방법은 콘크리트 면을 직접 만지면서 실시하였다.

- (1) 평활도 : 콘크리트 표면의 거칠고 매끄러운 정도
- (2) 친근감 : 쾌감이나 불쾌감을 나타내는 정도로서 부드럽게 느껴지는 정도
- (3) 습윤감 : 콘크리트 표면의 건조나 습윤의 정도

2.3 시험결과

2.3.1 시각적 평가

1) 원거리(<그림 2-1>)

콘크리트 면을 원거리에서 평가할 경우 평활도는 수지도장 거푸집면(No.3,4,7), 강재 거푸집면(No.5), 삼나무판 거푸집면(No.6) 및 합판 거푸집면(No.1,2) 등에서 상당히 좋은 결과를 보이고 있으며, 습윤감은 어느 경우나 보통 정도의 상태를 나타냈다.

2) 근거리(<그림 2-2>)

콘크리트면을 근거리에서 평가할 경우 평활도에 있어서는 수지도장 거푸집면(No.3,4,7), 강재 거푸집면(No.5) 및 합판 거푸집면(No.1,2) 등의 경우가 양호하나 친근감에 있어서는 의장처리를 한 경우가 다소 양호한 것으로 나타났다.

2.3.2 촉각적 평가

콘크리트면을 촉각적으로 평가하는 데는 평활도 하나의 인자로 나타낼 수가 있고, 친근감이나 습윤감은 표현이 거의 불가능하다는 사실을 알 수 있다. 촉각적인 평가에 있어서 평활도는 합판 거푸집면, 수지 및 강재 거푸집면의 경우가 양호한 것으로 나타났다(<그림 2-3>).

2.4 사용 거푸집의 제안

본 고가 교량의 경우 거푸집을 제거한 이후 콘크리트 표면은 평활하면서 광택을 유지해야 한다는 과업지시서에 의거할 때, 사용 거푸집은 거푸집을 제거하였을 경우 시각적인 측면에서나 촉각적인 측면에서 평활한 콘크리트 면을 얻어야 한다. 이를 만족시키기 위해서는 앞에서 논의한 바와 같이 강재 거푸집, 수지거푸집 또는 합판거푸집 등을 사용하는 것이 바람직하다.



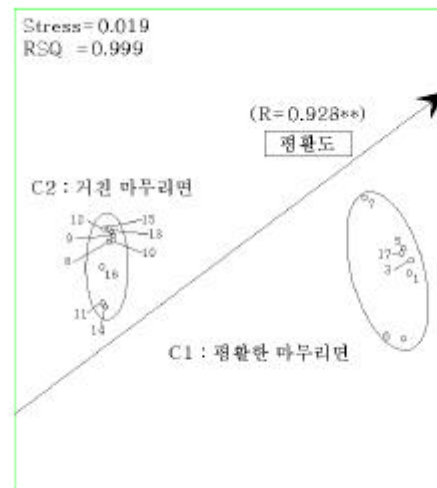
<그림 2-1> 원거리평가



<그림 2-2> 근거리평가

합판거푸집은 열전달율이 비하여 적으므로 수화열 대지만, 반복사용에 의한 거푸집 상으로 인하여 평활한 콘크리트에는 불리한 점이 많다.

수지 거푸집의 경우에는 한 거푸집 표면의 손상으로부터 면관리에 문제점 등이 나타나기 때문에, 본 구조물의 면관리에 집으로서의 강재거푸집을 사용하는 것이 합리적이라고 판단하여 공사에



<그림 2-3> 측각적평가

3. 배합설계

3.1 배합설계의 조건 검토

3.1.1 콘크리트 배합조건

교량슬래브 콘크리트의 배합설계조건으로 굵은골재최대치수는 25mm이며, 수화열 억제를 위해단위수량을 감수시킬 목적으로 고성능감수제를 사용하였다. 콘크리트

트의 슬럼프치는 시공이 가능한 범위 내에서 보다 낮은 슬럼프치를 갖는 콘크리트를 사용하는 것도 좋다고 판단하여 12cm로 하였다. 또한 공기량은 4.5%로 계획하여 시공하는 것으로 하였다

3.1.2 설계기준강도와 배합강도

교량슬래브는 PS콘크리트 구조로서 재령 28일설계기준강도는 $f_{ck} = 400\text{kgf/cm}^2$ 이고, 조기에 프리스트레스를 도입하기 위해 소정의 강도를 확보를 확보하기 위해 재령 7일 강도 $f_7 = 320\text{kgf/cm}^2$ 가 되도록 배합설계를 실시하였다.

본 공사에서는 우수한 배치 플랜트에서 품질관리가 잘 되는 레미콘이 생산되므로, 콘크리트 압축강도의 변동계수를 10%로 정하여 증가계수는 1.2를 적용하였으며, 따라서 콘크리트 배합강도는 480kgf/cm^2 로 정하였다.

3.2 사용재료

시멘트는 쌍용양회에서 생산한 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트(1종시멘트)와 내황산염포틀랜드시멘트(5종시멘트)를 사용하였다. 잔골재는 해사와 부순모래(신불도産)를 중량비 7 : 3의 비율로 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 25mm의 부순돌(신불도産) 사용하였다. 화학혼화제는 단위수량을 최소화하기 위하여 고성능감수제 및 고성능AE감수제로서 나프탈렌계 및 폴리카르본산계를 사용하였다.

3.3 레미콘 배합

배합은 실내실험과 현장시험을 통하여 실시하였으며, 그 결과 얻어진 레미콘 배합은 [표 3-1]에 나타난 바와 같으며, 에지테이터 트럭에 의한 현장실험 결과는 [표 3-2]와 같다.

[표 3-1] 레미콘 배합비

고성능 (AE) 감수제 종류	목표 슬럼프 (cm)	목표 공기량 (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m^3)							
				물	시멘트	잔골재		굵은 골재	고성능 (AE) 감수제	AE제 (g)	AE 감수제 (g)
						해사	부순 모래				
폴리 카르본 산계	17	5.0	45	150	375	562	242	992	3.0	11.25 (C×0.003%)	-
나프탈 렌계	17	5.0	43	160	400	523	225	1001	3.0	-	40.0 (C×0.01%)

[표 3-2] 에지테이터 트럭에 의한 현장실험결과

고성능 (AE)감수 제 종류	슬럼프 (cm)				공기량 (%)				압축강도 (kgf/cm ²)		
	믹싱 직후	30분 경과	60분 경과	90분 경과	믹싱 직후	30분 경과	60분 경과	90분 경과	7일	10일	28일
폴리카르 본산계	18.5	18.0	16.0	16.0	4.5	5.5	5.5	5.5	(0분) 324 (30분) 308 (60분) 314 (90분) 324	364 - - -	409 410 391 403
나프 탈렌계	16.5	16.0	12.5	9.5	5.9	6.3	6.5	6.5	(0분) 298 (30분) 278 (60분) 268 (90분) 268	317 - - -	390 357 345 335

주) 콘크리트 온도 : 27°C , 실내온도 : 23°C

4. 수화열 대책

4.1 실험체 모델 해석 및 제작

4.1.1 시험체의 개요

고가교량 슬래브의 수화열에 의한 온도균열 제어대책을 수립하기 위하여 예비실험 계획을 수립하였으며, 예비실험에는 수화열 제어 효과를 확인하기 위하여 대형시험체를 제작하였다.

「인천국제공항 여객터미널 전면 고가교량 설계보고서」에 의하면 고가교량 상부슬래브의 수화열 제어대책의 방안으로서 제1안은 [1종시멘트+pipe cooling], 제2안은 「4종시멘트(벨라이트계)」의 사용을 제시하고 있다.

이 보고서에 의하면 수화열에 의한 균열제어 대책에는 구조물 형상 및 여러 가지 조건상 재료적 측면의 접근방안(제2안)이 유리할 수도 있으나, 촉박한 공정 및 현장 사이로, B/P 여건, 공사비 측면을 고려할 때 cooling pipe 배관 등에 의해 다소 시공이 복잡해지더라도 제1안을 건의하는 것으로 되어 있다.

본 연구에서는 설계서에서 제안하고 있는 2개안과 5종시멘트(내황산염시멘트)의 사용에 대하여도 검토하는 것으로 계획하였다. 해석에서는 이상의 3가지 경우

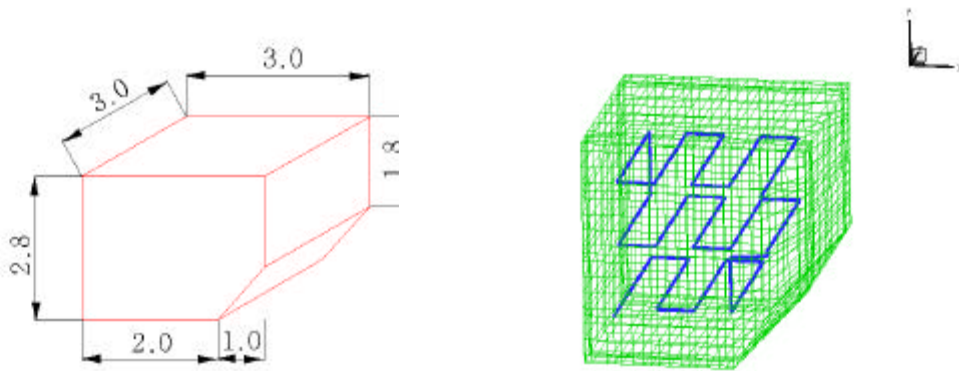
[표 4-1] 시험체 제작 계획

수화열 저감방법	온도 해석	응력 해석	시험체 제작	비고
1종시멘트	○	○	-	Pipe cooling 효과 검토용
1종시멘트 + pipe cooling	○	○	1체 제작	쿨링파이프 배관 시험체 제작
4종시멘트	○	○	1체 제작	검토 후 1종류 시멘트 선정 시험체 제작
5종시멘트	○	○		

의 시험체 모두를 검토하였으며, 그 결과에 따라 시험체 제작은 [1종시멘트+pipe cooling], [5종시멘트]의 2가지 경우로 국한하였다. [표 4-1]은 이들에 대한 상황을 정리한 것이다.

4.1.2 시험체의 형상

시험체는 2체로 구성되며 1체는 [1종+pipe cooling] 시험체이고, 또 1체는 [4종시멘트] 또는 [5종시멘트] 시험체 가운데 하나를 선택하였다. 그림 4는 시험체의 단면형상을 나타낸 것이며, <그림 4-2>는 Cooling Pipe의 배관 상태를 나타낸 것



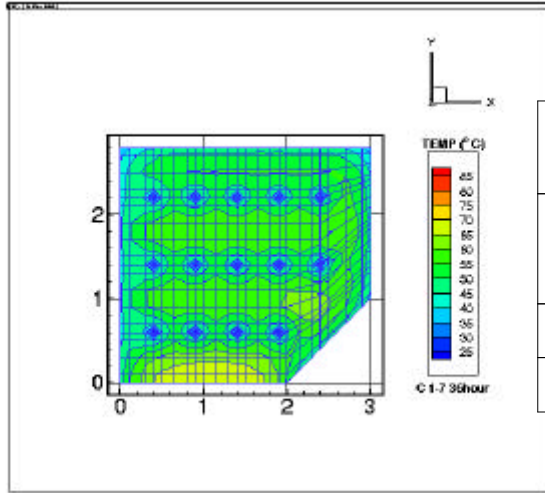
<그림 4-1>에서 시험체의 높이 2.8m는 슬래브의 가장 두꺼운 부분을 묘사한 것이며, 오른쪽 경사진 부분의 단면형상은 슬래브의 변단면부를 형상화한 것이다. 특히, 변단면부를 둔 목적은 그림 5와 같이 cooling pipe를 배관할 경우 경사면에서의 쿨링에 대한 사각부분이 발생할 가능성이 있기 때문이며, 이 부분에서의 온도균열의 발생 여부를 시험을 통해 확인하고자 한 것이다.

4.1.3 수화열 해석결과 및 검토

1) 온도해석결과

<그림 4-3>은 수화열이 최대가 되는 시점인 재령 15일에서의 온도해석 결과를 나타낸 것이다. 이 때의 시험체 내부에서의 최대온도상승량은 61.5°C로서 Non Pipe Cooling 시험체의 79°C에 비하여 무려 17.5°C의 온도저감 효과를 얻고 있다. [표 4-2]의 온도해석결과 균열발생확률이 가장 적은 시험체는

[1종+pipe cooling]시험체이며, 최저목표균열지수 0.7을 기준으로 할 경우 적합한 시험체는 [1종+pipe cooling] 및 [4종시멘트]의 경우이다.



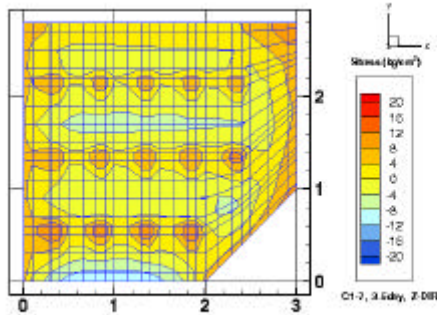
[표 4-2] 온도균열지수와 균열발생확률

사용 시멘트	파이프 쿨링조건	최대 온도 (°C)	온도 차 (°C)	I_{cr}	균열발 생확률 (%)
1종	non pipe cooling	79.0	30.4	0.49	96
	pipe cooling	61.5	18.3	0.82	68
4종	-	59.8	21.4	0.70	84
5종	-	70.7	26.7	0.56	93

2) 응력해석결과

<그림 4-4>는 재령 3.5일에서의 Pipe Cooling 시험체에 대한 온도응력해석 결과를 나타낸 것이다. Cooling Pipe 주변에서는 인장응력이 발생하고 있으며, 최대값은 15.3 kgf/cm^2 정도이다. [표 4-3]은 [표 4-2]에서 제시한 4가지 경우에 대한 온도응력해석 결과를 나타낸 것이다. 목표온도균열지수 0.7을 초과하는 시험체는 온도해석결과와 동일하게 [1종+pipe cooling] 및 [4종시멘트]를 사용한 시험체이다. 그러나, 4종시멘트를 현장에 적용할 경우 조기강도 발현이 지연되어 공사기간이 길어질 우려가 있어 시험체 제작에 적용하지 않는 것으로 정하였다. 5종시멘트의 경우에는 온도균열지수가 0.65로서 목표치 0.7에 미달하고는 있지만, 강도발현이 1종시멘트와 유사하고 사용실적이 많아 시험체를 제작하여 수화열 제어 효과를 판단하는 것으로 계획하였다.

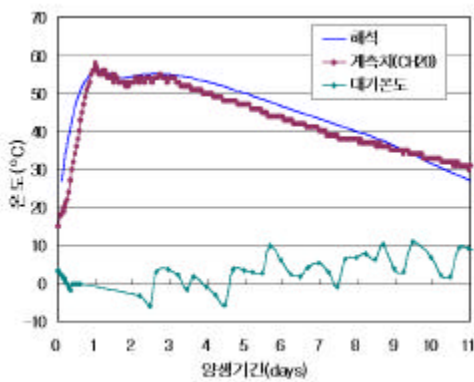
[표 4-3] 시험체 응력해석 결과



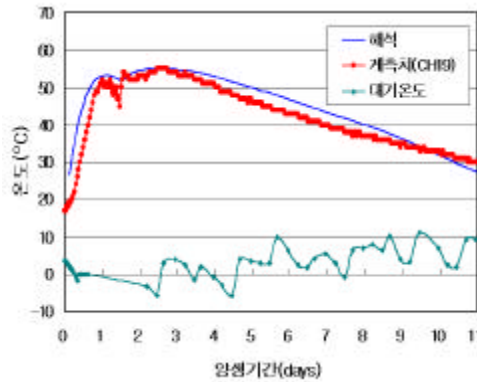
파이프 쿨링조건	인장 강도 (kg/cm^2)	인장 응력 (kg/cm^2)	I_{cr}	균열발 생확률 (%)
1종+파이프쿨링무	12.1	22.5	0.54	94
1종+파이프쿨링	13.1	15.3	0.85	63
4종	14.5	18.5	0.78	74
5종	13.1	20.2	0.65	88

4.1.4 수화열계측 및 균열조사

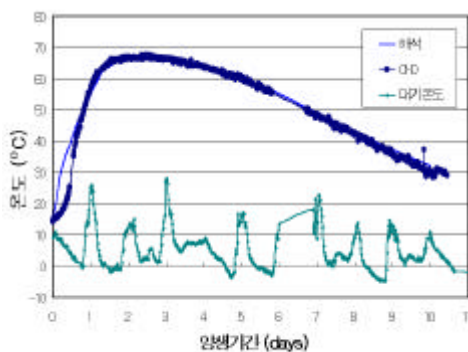
<그림 4-5(A)>는 [1종시멘트+pipe cooling] 시험체에서 수화열이 가장 높은 곳에서의 콘크리트 온도이며, <그림 4-5(B)>는 쿨링파이프 사이에서의 수화열에 의한 콘크리트 온도를 나타낸 것이다. <그림 4-6(A)>는 [5종시멘트] 시험체에 대한 수화열이 가장 높은 곳에서의 콘크리트 온도이며, <그림 4-6(B)>는 경사진 단면 부근에서의 콘크리트 온도를 나타낸 것이다. 이들 그림으로부터 해석치와 계측치는 서로 잘 일치하고 있으며, 냉각수의 쿨링을 정지한 시점인 재령 36시간에서의 콘크리트 내부의 수화열에 의한 온도거동을 잘 표현하고 있다. 또한 [1종+pipe cooling] 시험체는 [5종시멘트] 시험체 보다 최대 온도를 10°C이상 저감시켜 pipe cooling에 의한 온도제어 효과가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한, 시험 완료 후 재령 15일 시점에서 균열조사를 실시하였으며, 그 결과 [1종+pipe cooling] 시험체는 균열이 전혀 발생되지 않았으며, 5종시멘트를 사용한 경우에는 벽체 2개소에서 0.1mm 정도의 수직균열이 발생되었다.



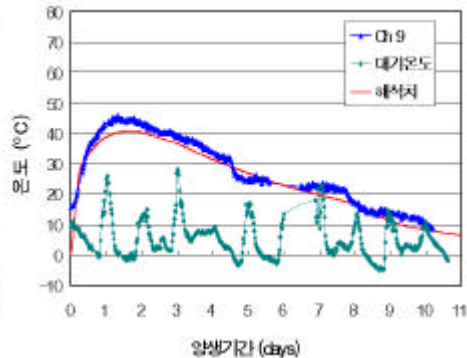
<그림 4-5(A)> [1종+pipe cooling]
시험체



<그림 4-5(B)> [1종+pipe cooling]
시험체



<그림 4-6(A)> [5종시멘트] 시험체



<그림 4-6(B)> [5종시멘트] 시험체

4.2 슬래브 온도균열 제어대책

4.2.1 수화열 해석 방법

[1종시멘트+pipe cooling]은 시험체 시험결과에서 확인한 바와 같이 슬래브 시공에 가장 적합한 수화열 제어대책 수단이지만, Cooling Pipe 배관간격을 50cm로 할 경우 슬래브의 철근배근 및 쉬스관 배치 등과 복잡하게 겹쳐져 시공성이 저하될 우려가 있으므로 [5종시멘트]에 대하여도 검토를 실시하였다.

수화열 해석에는 1개 지간을 Cooling Pipe 배관에 의해 18~22개의 블록분할(이 블록은 6Type으로 구분됨)하였으며, 1 loop의 Cooling Pipe 배관 길이는 150m 이하가 되도록 하여 수화열해석을 실시하였다. 그러나, [5종시멘트]를 사용하는 경우에는 유한요소 mesh수가 적어 지간의 1/2 또는 전 지간을 하나의 블록으로 간주하여 수화열해석을 실시하였다.

4.2.2 수화열해석 결과 및 검토

1) 온도해석 결과

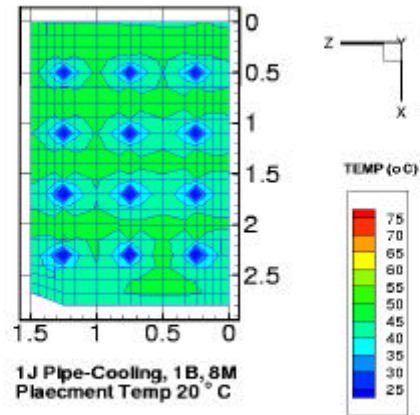
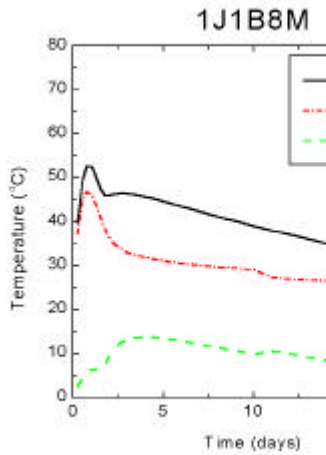
가) [1종시멘트+pipe cooling]의 경우

<그림 4-7>은 Type I에 대한 온도해석 결과를 나타낸 것이며, 그림 11은 재령 3일에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 그림 10으로부터 콘크리트 내 외부의 최대온도차는 15.7°C이며, 온도균열지수는 0.96으로서 온도균열발생 확률이 낮음을 알 수 있다.

<그림 4-8>은 Cooling Pipe 횡단면에 대한 온도분포로서, Cooling Pipe 부근에서의 온도는 30~45°C 정도이며 파이프로부터 멀어질수록 온도는 점점 상승하고 있다.

나) [5종시멘트]를 적용하는 경우

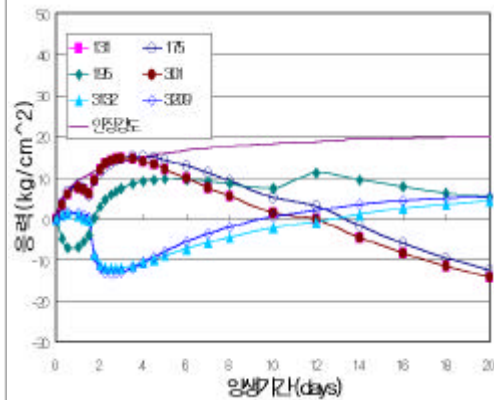
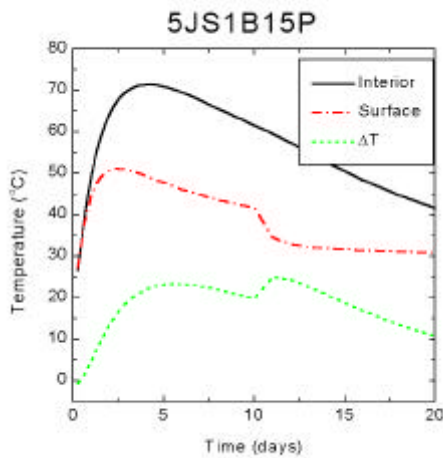
<그림 4-9>는 BR4-① 블록에 대해 [5종시멘트]를 사용하여 증기양생을 실시한 경우의 온도해석 결과를 나타낸 것이다. 증기양생에는 양생온도를 30°C로 하고 그 지속시간 10일간으로 하였으며, 콘크리트 치기온도는 15°C이다. 이 그림에서 초기재령에서의 콘크리트 내외부 최대 온도차는 23.4°C이며 온도균열지수는 0.64가 되어 균열발생확률이 증가하고 있다.



온도이력

(1종+pipe cooling, Type I, 치기시기 8월)

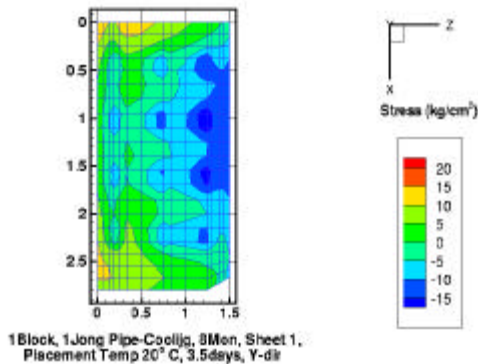
(1종+pipe cooling, Type I, 치기시기 8월)



경우 응력해석에 의한 온도균열지수는 0.91 0.94로서 목표값인 0.9를 초과하고 있으며, Type IV의 경우도 온도균열지수가 1.32 1.41로 상당히 큰 값을 나타내고 있다.

나) 5종시멘트를 사용하는 경우

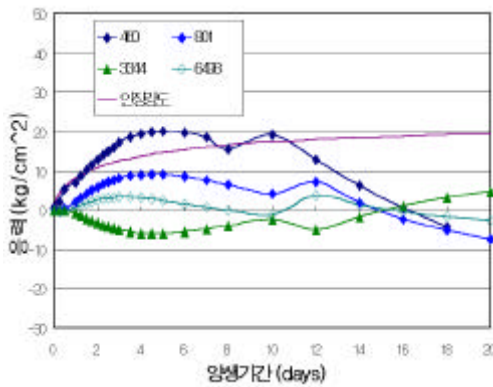
<그림 4-12>는 양생기간에 따른 온도응력 이력을 나타낸 것이다. 수화열에 의한 콘크리트 표면의 인장응력은 20 kgf/cm^2 이며, 온도균열지수는 0.74로 평가되었다. [표 4-5]는 온도해석결과를 총괄한 것으로서 5종시멘트를 사용하는 경우, 치기온도를 15°C 로 하더라도 BR4-① 및 ②블럭에서의 온도균열지수는 0.57 0.74로서 목표치 0.9에 미달하고 있다. 또한, 콘크리트 치기온도를 10°C 로 할 경우 BR4의 온도균열지수는 0.80 0.84정도로서 목표치 보다 작다. 더욱이 콘크리트 치기온도 10°C 는 현장 사정을 고려할 때 pre-cooling에 의한 비용의 과다로 본 구조물에서는 적용하지 않는 것으로 하였다.



(1종+pipe cooling, Type I, 치기시기 8월)

표 4-4] [1종시멘트+pipe-cooling]시
응력해석 결과

치기 시기 (월)	대기 온도 ($^\circ\text{C}$)	양생방법	응력해석 (kgf/cm^2)		온도균 열지수 (I_{cr})
			인장 강도	인장 응력	
1	-2.4	증기양생 시트1장	8월 준함.		-
2	-0.6				-
3	4.2	시트 2장	13.9	15.0	0.92
4	9.8	Airbag 1장	13.9	14.7	0.94
5	15.7	시트 2장	13.9	15.1	0.92
6	20.4	시트 1장	13.9	15.3	0.91
7	24.6		8월 준함.		-
8	25.7		13.1	14.2	0.92
9	20.9	시트 1장	6월 준함.		-
10	14.3	시트 2장	5월 준함.		-
11	7.5	시트 2장 Airbag 1장	4월 준함.		-
12	0.2	증기양생	8월 준함.		-
Type IV	3	4.2 시트 2장	13.9	10.5	1.32
	8	25.7 시트 1장	13.1	9.3	1.41



<그림 4-12> 양생기간별 콘크리트의 온도이력
(5종, BR4-①, 증기양생)

[표 4-5] [5종시멘트] 적용시 응력해석 결과

치기 온도 (°C)	양생방법	해석 부위	응력해석 (kgf/cm^2)		온도균열지수 (I_{cr})
			인장강도	인장응력	
10	증기양생 10일간 30°C 양생시트 1장	①	14.3	18.5	0.84
		②	14.7	23.3	0.80
15		①	14.7	20.0	0.74
		②	14.3	24.9	0.57

5. 파이프쿨링 현장 적용

5.1 쿨링파이프 배관

교량슬래브 수화열 해석에서는 컴퓨터의 수치해석 능력 등을 감안하여 1개의 지간을 여러 개의 블록으로 나누었으나, 실제의 시공에서는 슬래브 두께를 4단으로 구분하여 Cooling Pipe를 배관하였다.

[표 5-1]은 1개 경간에 대한 cooling pipe 배관길이를 나타낸 것으로서 Cooling Pipe 1 loop의 최대 길이는 150m가 된다. 또한 각 단의 loop수는 1단 26개, 2단 14개, 3단 및 4단은 각각 6개이며, Cooling Pipe 총 배관길이는 29개 경간에 대하여 82,913.4m가 된다. Cooling Pipe의 배치는 단면 두께가 2.8m인 부위에서는 4단으로 배치하고, 0.95m인 부위는 2단으로 배치하였다. Cooling pipe의 수평간격은 $50 \pm 10cm$, 수직간격은 $60 \pm 10cm$ 로 하고 구조물의 연직평면 연단과의 이격거리는 $50 \pm 10cm$, 파이프 배관 평면에서의 구조물과의 이격 연단거리는 $30 \pm 5cm$ 로 하여 pipe cooling에서 사각부분이 발생하지 않도록 하였다.

5.2 파이프쿨링

[표 5-2]는 Pipe Cooling의 조건을 나타낸 것이며, [표 5-3]은 수화열 계측관리치를 나타낸 것이다. 시공중에는 규정된 콘크리트 치기온도, 대기온도, 냉각수 온도 및 유량 등이 허용치 내에 들도록 상시 감시체계 구축하였다.

[표 5-1] Cooling pipe loop별 배관길이(m)

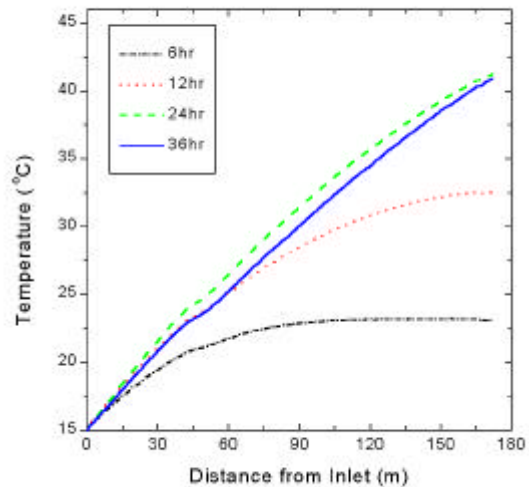
cooling pipe loop 번호	1블럭 26.9m의 경우				cooling pipe loop 번호	1블럭 26.9m의 경우			
	1단	2단	3단	4단		1단	2단	3단	4단
①	141.1	121.5	53.6	24.4	⑪	-	134.8	-	-
②	141.1	130.5	97.7	34.8	⑫	-	-	-	-
③	141.3	121.5	-	-	⑬	-	-	-	-
④	141.2	121.0	60.8	29.3	⑭	139.1	-	-	-
⑤	141.1	-	109.2	41.2	⑮	139.2	-	-	-
⑥	141.1	-	-	-	⑯	139.4	-	-	-
⑦	105.2	-	-	-	⑰	139.3	-	-	-
⑧	-	135.4	-	-	⑱	139.1	-	-	-
⑨	-	145.3	-	-	⑲	139.1	-	-	-
⑩	-	135.4	-	-	⑳	103.9	-	-	-
총 계	3,387.6m								

온도계측결과 계측온도가 허용치를 초과하는 경우에는 Cooling Pipe의 냉각수 온도, 통수 유량 및 콘크리트 표면의 시트양생 방법 등을 조정하여 균열발생을 억제하였다. 수화열에 의한 온도계측은 15일 동안 실시하였으나, 어느 경우라도 계측결과 콘크리트 표면과 내부의 온도차가 15℃ 이하로 될 때까지 파이프쿨링을 계속하였다.

[표 5-2] 파이프 쿨링 조건

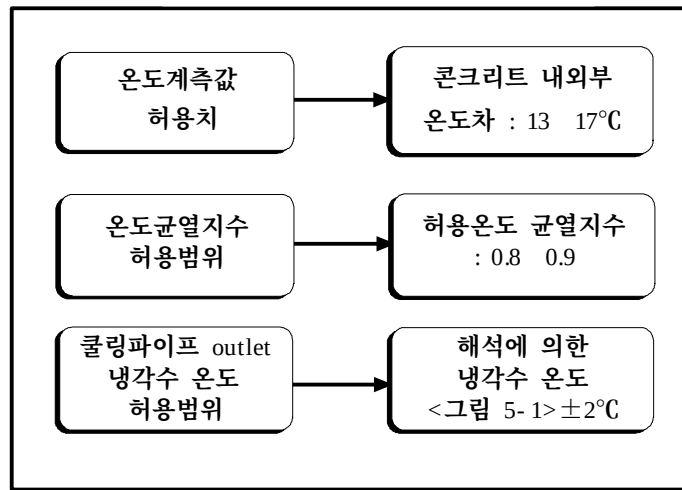
쿨링 조건	
Stainless steel 주름관의 통수유량	12±1
Cooling pipe inlet에서의 냉각수 온도(℃)	15±2
Pipe cooling 실시기간(hr)	48±2

Ty 1, Block 4, August



온도 계측 관리치

[표 5-3] 계측관리치



6. 결론

- 1) [1종+pipe cooling]을 실시할 경우, Type I의 온도응력 해석에 의한 균열지수는 0.91 ~ 0.94로서 목표값인 0.9를 모든 경우 초과하고 있으며, Type IV도 1.32 ~ 1.41로서 수화열에 의한 유해한 균열은 발생하지 않을 것으로 판단된다.
- 2) 5종시멘트를 사용할 경우 콘크리트의 치기온도를 15°C로 낮추더라도 BR4-① 블록의 온도균열지수는 0.74, BR4-② 블록은 0.57로서 목표 온도균열지수 0.9에 크게 미달하고 있다.
- 3) 따라서, 상부슬래브와 같이 매시브하고 또 사용 시멘트량이 많은 구조물의 경우 Pipe Cooling을 실시할 경우 수화열에 의한 온도균열 발생을 억제하는데 매우 유효한 방법임이 제시되었다.
- 4) 본 연구결과를 현장에 적용하여 Pipe Cooling을 실시한 결과 수화열에 의한 온도균열발생은 전혀 없었으며, 현재까지 총 27개 경간 중 20개 경간의 시공이 완료된 상태에 있다.

턴키계약공사 클레임 사례

지하철 7-20공구 현장소장 윤 창 배

토목부장 김 경 호

1. 서 론

1998년 2월 S시의 지하철건설공사 시공자중 설계·시공일괄입찰(턴키)방식으로 공사를 수행중인 6개사가 S시에 대하여 약 3천억원에 해당하는 클레임을 제기하였다. 이를 두고 주요일간지는 우리나라 최초·최대의 공식적 대 정부 건설클레임이라 하여 상당한 지면을 할애하였고, 건설업체, 학계 및 기타 연구계에서 그 추이와 결과에 대하여 관심을 가지고 지켜보았다.

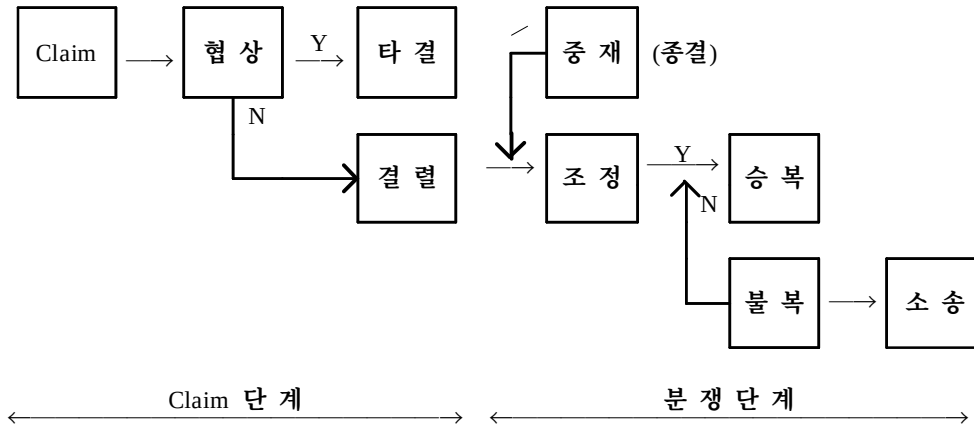
건설사업 계약후 아무런 분쟁없이 원만하게 사업을 마무리 하는 것은 발주자나 계약자 모두에게 바람직하겠지만, 건설사업 특성과 발주자 절대적 우위의 계약 상황에서는 발주처와의 분쟁이 피할 수 없게 되어있다. 1997년 1월 WTO 협정가입 국에 국내시장이 개방되어 선진국 기업과의 경쟁이 예상되는 지금 기존계약의 수직적인 관행과 관습을 타파하고, 수평적 관계로 계약의 기본구조가 변화해야하며, 이를 위해서는 우리 건설기술자의 의식전환과 건설계약 분쟁에 관한 많은 지식이 필요하다고 판단되는 바, 본고에서는 클레임과 분쟁에 대한 기본이해와 클레임 사례를 통해 클레임의 문제점과 그 대책을 기술코져 한다.

2. Claim 일반

2.1 클레임의 정의

Claim이란 공사 수행중 당초 계약내용에 포함되지 않았던 사안의 발생으로 직접 혹은 간접적으로 입게되는 손실에 대한 보상청구(Request for Compensation)이며, 즉 쉽게 표현하면 우리가 흔히 발주처에 제출하는 설계변경반영요청이라 할 수 있다. 하지만 설계변경 반영요청시 우리는 일반적으로 사전에 그 지급여부와 개략적인 금액을 인지하고 있지만, Claim은 계약적인 개념을 넘어 관행적으로 설계에 반영되지 않았던 사안에 대해 설계반영 요청하는 것으로 인식되고 있다.

Claim은 일반적으로 분쟁(Dispute) 이전에 시공사와 발주처의 상호합의로써 해결 즉, 협상에 의한 타결(Settlement by Negotiation)을 뜻하며, 상호합의가 결렬이 되면 그 후속단계로 제3자의 조정(Mediation)이나 중재(Arbitration) 혹은 소송(Litigation)으로 진행될 수 있으며 이 단계를 통틀어 분쟁(Dispute)이라 한다.



2.2 Claim 처리절차

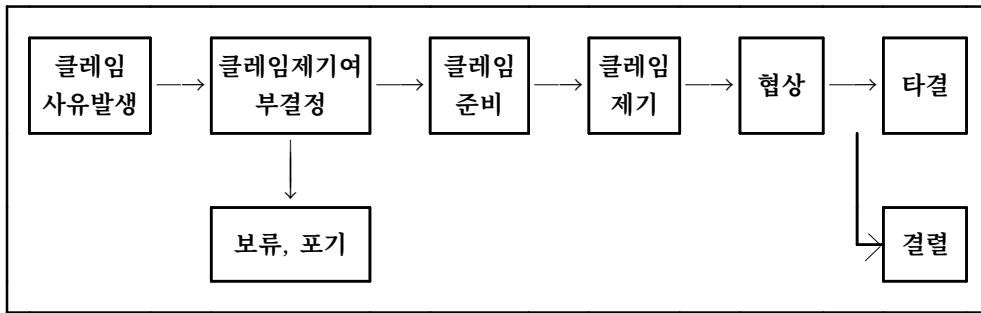
2.2.1 제규정

우리나라에서의 클레임 및 분쟁에 대한 처리절차는 「공사계약일반조건」 제51조와 「기술용역계약일반조건」 제36조에서 규정하고 있어 이를 인용한다.

제 51조(분쟁의 해결)

1. 계약의 수행중 계약당사자간에 발생하는 분쟁은 협의에 의하여 해결한다.
2. 분쟁이 발생한날부터 30일 이내에 제1항의 협의가 이루어지지 아니할때에는 다음 각호에서 정하는 바에 의하여 해결한다.
 - 1) 관계법률의 규정에 의하여 설치된 조정위원회 등의 조정 또는 중재법에 의한 중재기관의 중재에 의한다.
 - 2) 제1항의 조정에 불복하는 경우에는 발주기관의 소재지를 관할하는 법원의 판결에 의한다.
3. 계약상대자는 제1항 및 제2항의 규정에 의한 분쟁기간중 공사의 수행을 중지하여서는 아니된다.

2.2.2 클레임 처리절차



1) 클레임 준비

클레임 사유가 파악되면 적기에 발주처(갑리자)에게 통지하여야 한다. 이 통지를 클레임에서는 클레임을 제기한다고 하며 그 첫단계의 작업이 문서화(Documentation)이다. 클레임 서류에는 ① 클레임 사유 ② 클레임의 법적·계약적 근거 ③ 종전 청구사실이 있었던 경우(단서조항 등) 관련서류 번호 ④ 증빙 또는 보완서류 등과 함께 전문가/변호사 등의 보고서/의견서 등을 첨부할 수 있다.

2) 클레임의 제출

클레임 서류는 적법한 기관에 정해진 기간안에 제출하여야 한다. 적법한 기관이라 함은 계약 상대방을 뜻하는 바, 발주처 중에는 각기 클레임을 조정하는 기구를 설치한 곳이 있으므로 이를 이용한다. 우리나라의 경우 계약문서에서 클레임 제출시한을 규정하고 있지 않으므로, 특수조건 또는 계약기간내 등의 시한에 따른다.

3) 클레임의 처리

시공사는 책임은 있으나 권한이 없는 발주처 대행기관 책임감리사 보다는 실제권한을 가진 계약 당사자 발주처에 클레임을 제기하게 된다. 그러나 발주처는 접수된 클레임을 다시 책임감리원에게 검토하도록 지시를 내리는 것이 일반적이므로, 클레임에 대한 1차 조정자는 책임감리사가 된다. 발주처의 이익을 대변한다고 할 수 있는 감리사가 1차 조정인이 된다는 점은 문제가 있다고 판단된다. 책임감리사는 발주처의 눈치를 보느라 소신보다는 발주처에게 유리한 방향으로 검토하여 발주처를 더욱 부정적인 방향으로 유도할 수 있기 때문이다. 그러나, S시 지하철건설본부는 제3의 조정인이 다수 참여한 위원회를 별도로 결성하여 클레임 검토시 본 위원회의 자문을 받은 바, 매우 고무적인 것이라 생각되어 소개한다.

■ 클레임조정자문위원회

■ 위 원 장 : 건설본부 차장

- 위 원 : - 클레임 전공 교수 1인
 - 발주처 공정관리부장 1인
 - 조달청 계약관련 공무원 1인
 - 건설업계 클레임 전문가 2인
 - 건설기술연구원의 클레임 전문가 1인
 - 건설클레임 전문 변호사 1인
 - 건설 협회 1인

(발주처가 위촉한 자문위원들의 판단이 클레임 항목별 검토시 발주처의 보상지급 여부 결정에 어느 정도는 영향을 준 것으로 판단된다.)

4) 협 상

가) 발주처는 제출된 클레임을 검토한 후 상대방과 협상절차 여부의 결정은 발주처의 재량이지만, 클레임의 전제는 쌍방간의 협상에 의한 타결을 도모 하는데 있으므로 이와 같은 절차를 갖는 것은 당연한 수순이라고 할 수 있다.

나) 협상자는 분야별 전문요원과 최종결정권자 또는 그 권한을 위임받은 사람이 반드시 포함되어야 한다. 협상 중 계약상대자가 수시로 제시하는 제안에 대하여 즉각적인 응답과 결정이 가능하게 하기 위함이며, 발주처는 최종 결정권자가 협상에 참여하는 경우가 쉽지 않고 의사결정 기간이 긴 경우가 많으므로 이를 감안하도록 한다.

2.3 클레임의 후속단계

모든 분쟁에 있어 최선의 해결책은 협상에 의한 타결이라는데 이견이 없으리라 생각된다. 협상에 의한 타결은 여타의 방법과는 달라 당사자간 직접적인 접촉에 의하여 해결되므로 시간과 비용을 절감할 수 있음은 물론 상호관계에도 손상을 미치지 않는다. 그러나, 협상이 결렬되는 경우에는 제3자의 조력이나 결정에 의지할 수밖에 없으며 그 후속단계는 바로 조정, 중재 및 소송 등이 된다.

1) 조정(Mediation)

협상이 당사자간의 합의에 의하여 종결되는 것이라면 조정은 제3자에 의하여 종결이 유도된다는 차이점이 있다. 이 중재와 조정은 유사하나 양자는 다음으로 구별된다.

가) 중재는 중재인을 분쟁당사자가 직접 선정하거나 그렇지 않은 경우에는 협

오 중재인에 대한 중재기피권이 있다. 조정은 분쟁당사자에게 조정인의 선정이나 기피권이 없다.

나) 조정인(Mediator)은 사안에 대한 결정권이 없으며, 단지 분쟁당사자의 화해를 유도하지만 중재인(Arbitrator)은 결정권이 있을뿐만 아니라, 그 결정은 최종적이며 구속력이 있다(중재결정의 강제성). 건설산업 기본법에 의거한 건설분쟁 조정위원회가 좋은 조정기관의 예이다.

2) 중재(Arbitration)

중재나 조정 또는 소송 모두가 분쟁당사자 스스로 타결정에 이르지 못할 때 제3의 기관이 타결을 유도하거나 판정한다는 점에서 유사성이 있다. 중재는 당사자의 합의에 의하여 분쟁을 법관 이외의 사인인 제3자의 판단에 맡겨서 자주적·최종적으로 해결하는 방법으로 법에 의한 판단이라기 보다는 분쟁 내용에 전문지식을 가진 사인(사계의 전문가, 학자, 기업인, 변호사 등)의 경험과 식견에 의한 판단으로서, 사안의 전후관계를 보다 실정에 맞게 규명할 수 있는 제도임.

2.4 국내 건설분쟁 해결의 문제점

1) 인식의 결여

국내 계약에서 발주자와 시공자는 발주자 우위의 상호 불평등한 계약관계를 맺게 된다. 항상 발주처가 우월한 위치에서 계약이 이루어지므로써 Claim사안 발생시 발주처의 의도에 의한 자체 해결의 경우가 대부분이며, 일반적으로 시공사는 클레임을 포기하게 된다.

2) 향후 공사시의 불이익 우려

시공사가 현실적으로 가장 두려워하는 부분이다. 따라서 발주처의 대응을 분산시키고 그 Claim 효과를 고양시키기 위해서는 공동연합 Claim이 효과적이다.

3) 클레임 지식의 결여

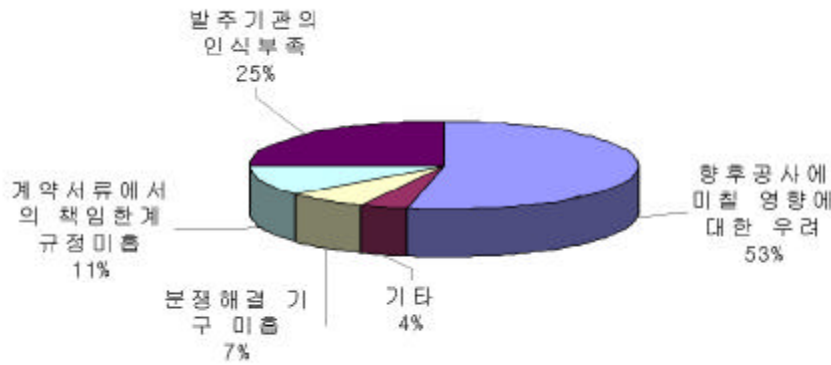
국내에서는 Claim 처리에 관한 사항을 법률적인 문제로 생각하는 경향이 있어 해외공사중의 경험자들 및 건설분쟁 해결 전문가의 노력과 함께 현실정에 맞는 Claim 대책과 계약 제도에 관한 검토/연구와 아울러 Case-Study가 절대적으로 필요하다.

4) 계약조건

계약조건에 분쟁조정에 필요한 내용이 고려되어 있지 않다.

→ 발주처 및 시공자에 계약전문가가 부족하다

건설기술연구원에서 조사한 「클레임을 제기 못하는 이유」를 인용한다.



<그림 2-1> 클레임을 제기하지 못하는 이유

5) 분쟁해결 기관

우리나라의 건설분쟁 처리 제도는 '90년 「건설업법」에 의한 「건설분쟁 조정 위원회」가 가동되기 전에는 '66년에 제정된 「중재법」 또는 사법절차에 따라 처리되었으나 인식 부족으로 활성화되지 못하였고, 또한 조정기구에도 많은 문제점이 있다.

첫째, 분쟁당사자중 어느 한쪽이 조정에 응하지 않을 경우, 조정 진행이 불가능하고, 중재기능이 없어 분쟁처리기구 역할을 해내지 못한다.(실제로 '98.11월 다수의 시공사가 D공사를 상대로 지수조정을 산출시 외화표시 기계경비 지수산출에 대하여 건설분쟁조정위원회에 조정을 신청하였으나 D공사는 건설산업기본법상 불응권을 핑계로 조정신청에 응하지 아니하였음)

둘째, 건설분야는 매우 복잡한 프로세스로 이루어져 있어 비건설 전문가는 도면, 시방서, 공법 등을 이해할 수 없어 전문성이 결여되어 있다.

셋째, 건설관련 변호사가 없다.

6) 설계용역회사의 기술력 부족

엔지니어링 능력 부족으로 설계도서 자체에 문제점이 내포되어 있는 경우가 대부분이다.

7) 협상단의 구성

- 시공사 : 현장소장이 권한을 위임받아 최종결정하는 것이 대부분이며,
- 발주처 : 일반적으로 최종결정권자가 나오지 않고, 타발주기관 또는 조달청이 발주한 인접공구 등의 사례 및 형평을 고려하여 결정이 지연

3. 클레임 사례분석

설계·시공 일괄입찰(Turn-Key) 방식으로 계약한 6개사는 입찰 또는 계약당시 및 공사의 수행중 예기치 못했던 상황의 변화, 턴키계약의 경험이 없는 발주처 및 발주처우위의 계약관계등 시공사에게 책임이 없는 사유로 많은 재정적 손실이 발생되었다. 1년여에 걸친 담당자들의 사전준비와 각사 본부장급 임원의 회의를 거쳐 당사의 발의로 클레임 제기를 전격적으로 결정하였고, 이때 건설클레임 전문Consulting 회사의 자문을 받아 Documentation을 준비 클레임을 진행시켰다. 클레임 대상 항목 및 시공자와 발주처가 각기 검토한 내용중 일부를 인용한다.

3.1 Claim 발생요인

3.1.1 불명확한 계약서류

계약문서의 불비와 관련한 도면과 시방서의 오류, 누락, 해석의 모호등 불완전한 사항이 있는 경우이다. (참조 : 공사계약 일반조건 제19조 2)

3.1.2 불가항력의 사항

불가항력(Acts of God)적 사유란 태풍, 홍수, 기타 악천후, 지진, 화재 등 계약당사자의 통제범위를 초월하는 사태의 발생등 계약당사자 누구의 책임에도 속하지 아니하는 경우를 말하며, 이로 인한 손해는 발주처에서 분담한다. (참조: 공사계약 일반조건 제32조)

3.1.3 현장여건의 상이

- 1) 건설공사에 있어 현장여건(Site Conditions)은 단순히 건설공사 현장 그 자체만으로 제한하는 것이 아니라 아래와 같이 광범위하게 이해되어야 한다.

첫째 : { 자연적 여건 : 지질/지반조건, 지하수
 인위적 여건 : 상하수도관, 가스관, 전력/통신케이블, 통신구 등
 둘째 : { 지상여건 : 건축물, 전신주, 가로등
 지하여건 : 지하매립 시설물

셋째 : 건설현장 그 자체, 즉 부지상태만을 뜻하는 것이 아니라 현장진입로, 우회로, 사무실 부지 등이 포함된다.

- 2) 시공자의 현장조사 의무 검토

- 턴키현장의 경우 발주처가는 자신이 제공한 지질조사 보고서의 정확성을 책임지지 않는다며, 계약자(시공사)에게 현장조사의 의무가 주어진다. 그러나

경험있는 시공자가 예측할 수 없던 이질적 여건은 클레임의 사유가 된다.(일반적으로 50~100m 마다 실시되는 보링로그를 통하여 지질조건을 추정하나 건축물 등으로 인해 현실적으로 지질조사 불가능한 경우도 있고, 매 10m마다 보링한다고 하여도 지질조건을 완벽하게 알 수도 없다.)

- 인위적인 지하지장물 즉, 상하수도관, 통신케이블 등은 매설현황도와 위치 및 시설물의 종류가 상이한 경우가 빈번하며 시간적으로나 현실적으로 조사
 - 확인이 불가능한 것으로 클레임 대상이 된다.

3) 공사범위의 변경

계약에 대한 변경, 법령에 변경요인 즉, 발주처의 지시 및 요구 공사의 범위가 확대되는 경우이다.

3.2 항목별 클레임 사안 요약

(금액단위 : 백만원)

순위	항 목 별	건수	청구액	비율	비 고
1	불가항력 사유에 의한 손해 ■ 시공중 집중호우로 작업장으로 우수유입에 따른 피해 ■ 시공중 집중호우로 주변상가 및 주택피해	9	530	0.2	
2	공사범위의 변경 ■ 지반보강 ■ 임시작업구 신설 ■ 가시설물 추가 보강	25	18,140	6.1	
3	요구조건의 변경 ■ 터널 방수공법 변경(비배수→배수) ■ 대단면 터널 시공방법 변경 ■ 개착구간 발파변경 ■ 터널굴착 패턴(굴진장 0.3→0.5M) 변경 ■ 환기구 위치 변경	12	32,271	10.9	
4	공기단축	1	189	0.1	
5	타계약자와의 간섭 ■ 터널 경계부 단면 변경	5	1,792	0.6	
6	운반거리의 변경 ■ 사토장의 변경으로 토공 운반거리 변경	5	10,545	3.5	
7	중앙건설심의위원회 요구	11	13,623	4.6	

8	민원사항 경찰청에서 계약자 부담으로 신호등 교체 지시	19	2,826	1.0	
9	법령 등의 변경 콘크리트 표준시방서 개정 가스 안전관리 강화 준공도서 제출내용 변경 레미콘 규격변경(Slump 12→15cm) 개착구간 방수쉬트 품질기준 변경 폐기물처리 관련 법령의 변경 공사보험 관련규정의 변경 시공상세도의 작성 국공채 매입방법의 변경	11	22,925	7.7	
10	지하지장물 처리 민원에 의거 굴착패턴 변경 및 추가 지반공사	5	2,993	1.0	
11	부지사용료 지장물 도면과 대장이 현장 실체상태와 상이	4	2,061	0.7	
12	예산책정상의 과실로 손해 입찰시 예산액을 과소하게 제시하여 저가수주(적정예산액과의 차액에 대한 손실)	6	188,163	63.6	

3.3 항목별 검토 내용

항 목	시공사 요구 내용	검토의견(본부+자문위원)
1. 불가항력 사유에 의한 손해 공구 개착 작업장 홍수 피해 ₩33,099,300	집중호우로 인하여 하수관의 월류 및 노면수 유입으로 정거장 침수피해 일반조건 제13조(설계변경으로 인한 계약금액의 조정)제1항, 제17조(일반적 손해 및 천재지변등 불가항력에 의한 손해) 제2항, 특별시방서 제2.10.5항 (설계변경시 공사비증감) 제3호 및 「대형공사 특례규정」 제15조 제항에 의하여 천재지변 불가항력적인 사유에 의한 시공사의 추가비용은 본부가 부담	수방대비 미비에 따른 피해로 천재지변이라 볼 수 없음. 4.2 공사계약특수조건(II) 제16조(지상 및 지하지장물) 계약자는 공사 수행에 직접적인 지장을 주거나 공사로 인해 시설의 기능 및 안전에 문제가 된다고 판단되는 경우 각종 지상 및 지하이설물의 이설 여부 및 공사방법 등을 계획 수립시행하여야 하며, 이에 소요되는 제반비용은 계약자 부담으로 되어 있음

2. 공사범위의 변경 ■ ▲▲▲공구 - ■ ▲▲정거장 - ■ ▲▲지반 보강 - ₩418,849,000	- ■ ▲▲정거장은 당초설계시 엄지말뚝과 토류판 및 토류벽 콘크리트로 설계되어있었으나 지반보강 작업지시에 의해 지반보강 시공 - 입찰안내서 설계.시공 조건 5.2.3 토목 2.라.5) 설계변경시 공사비 증감 - 발주자의 책임있는사유(공사범위의 변경, 요구조건의 변경,공기의 단축, 용지보상지연 등으로 시공 방법의 변경 , 타계약자의 간섭으로 인한 부득이한 변경등)나 천재지변 등으로 인하여 설계를 변경한 경우 실시공 물량을 고려 공사비 증감이 가능하다	- ■ ▲▲정거장 주변 구조물에 영향을 미칠 것을 고려하여 보강 실시 - 입찰안내서 공사계약특수조건 (II) 16조에 의거 계약자 부담으로 시행 - 16조 제1항 계약자는 공사장 및 공사의 영향을 받는 인근지역의 각종지상 및 지하시설물을 조사 확인하고 이의 체계적인 유지,관리 계획을 수립 시행하여야 하며, 이에 소요되는 제반비용은 계약자 부담으로 한다.
3. 요구조건의 변경 ■ ▲▲▲공구 - 터널굴착 - 패턴의 변경 - ₩2,077,992,000	- ■중심위 요구에 의한 변경■ 실시 설계시보다 중심위의 요구에 의하여 터널의 지보패턴이 조정되었음. - 예) PD-5 → PD-4 - PD-4 → PD-3 - 중심위 지적사항에 대한 비용 부담 - ① Turn-Key 계약의 입찰금액 산정은 통상 입찰안내서, 발주처가 제공한 지장물 현황 등을 근거로 입찰자 자신이 작성한 설계서에 따르는 것이며, - ② 적격심사과정에서 적격치 않을 경우 배제되거나 가격경쟁의 기회가 주어지지 않음 - ③ 그러므로 설계사항을 변경하는 것은 설계상의 하자 또는 결함을 시정하거나 추가비용이 발생하지 아니하는 경미한 경우를 제외하고는 소위 설계변경에 해당되므로 본 Pattern 변경에 의한 추가비용은 발주기관이 부담해야 하며,	- 입찰안내서 공사입찰 유의서 제10조(입찰도서의 평가) 제11조(낙찰자의 결정)에 의거 중앙건설기술심의회위원회의 지적사항을 수정, 보완하는 조건으로 계약되었으므로 설계변경 반영은 불가한 것으로 사료됨.

	④ 또한 공사목적물의 품질을 향상하거나 일반적인 기준 이상으로 내구성이나 안정성을 보강하는 것도 소위 설계변경 등을 요구하는 것이므로 이에 대한 보상을 요구함	
4. 법령 등의 변경   공구 - 가스안전관리 기준의 강화 - ₩21,530,000	- '95.4 대구지하철 공사현장의 도시가스사고 이후 가스발생 위험 장소에 가스누설 탐지기 및 가스 차단장치 의무화 - 법령등의 변경에 의하여 시공자에게 추가비용이 발생하였을 경우 시공자의 책임사항이 아니므로 설계변경 대상이며, 그 시점은 시공자가 입찰서를 제출한 날로부터 변경된 법령을 대상으로 해야함	- 입찰안내서 공사계약특수조건 (II) 제16조(지상 및 지하장애물)에 의거 제반비용은 계약자 부담사항으로 설계변경 반영은 곤란하다고 사료되나 계약이후 법령제도 지침이 변경되었으므로 설계변경 가능
5. 운반거리의 변경   -  공구 - 사토장의 변경 - ₩2,070,113,000	- 당초 설계시 사토장(L=10km)이 폐쇄로 L=20km로 변경되어 추가 비용이 발생되었음. - 당초의 운반거리가 시공자의 책임이 아닌 사유로 변경된 경우 그 추가비용은 발주자 부담 - 일반조건 제13조(기타 계약내용의 변경으로 인한 계약금액의 조정) - 재정경제원 회계125-348('89.9.23)	- 특별시방서 1.1.10 사전조사 입찰안내서 5.2(설계.시공조건), 5.2.3(토목) - 공사조건, 사전조사와 관련된 제반사항을 철저히 조사하여 시공과정에서 발생될 것으로 예상되는 문제점에 대하여 대책강구 및 소요비용은 계약자 부담
6. 중심위 요구 사항   -  공구 - 설계도서의 변경 - ₩116,000,000	- 중심위 요구사항중 설계결함에 대한 보완사항이 있다고 하더라도 이는 [공동수급 협정서] 분담 방식에 의거 시공사의 책임이 아니므로 추가비용은 1차적으로 발주처 부담 - 설계결함 요구 → 설계자 부담 - 공사목적물의 향상 → 본부부담	- 입찰안내서 4(공사계약특수조건) 4.1공사계약특수조건(I) 제14조(공동계약시 책임의 한계) 계약이행의 모든 책임은 건설업 면허사(공동수급 대표자)에게 있다. 4.2 공사계약특수조건(II) 제7조(설계도서의 작성 및 제출) 입찰안내서 2. 공사입찰유의서 제10조(입찰도서의 평가) 11조(낙찰자의 결정) 중심위 지적사항을 보완하는 조건으로 계약되었으므로 설계변경 반영 불가함

7. 민원사항 ■ □-□□공구 - 영아APT ₩ 49,858,000 - ■■■정거장 ₩ 76,000,000 - 기타민원 ₩ 519,960,000 - 계 ₩ 645,818,000	- 시공자가 법령이나 표준시방서 등에 일치하여 공사를 수행하였음에도 불구하고, 불가피하게 발생한 민원사항에 대한 처리비용을 설계변경 요구	- 입찰안내서 공사계약특수조건 (II)제16조(지상 및 지하지장물), 제21조(소음,진동) ①계약자는 공사장 및 공사의 영향을 받는 인근지역의 각종 지상 및 지하지장물을 조사, 확인하고 이의 체계적인 유지, 관리계획을 수립시행하여야 하며, 이에 소요되는 비용은 계약자 부담
8. 지하지장물 처리 ■ □-□□공구 - 인위적 지장물의 보강 및 이설 - ₩310,642,000 ■ □-■■■공구 - 인위적 지장물의 보강 및 이설 (통신Cable) - ₩1,277,503,000	- 지장물 현황도에 명시되지 아니하였거나 설계와 상의 입찰당시 시공자의 조사, 확인과정에서 그를 인지하지 못한 지장물 - 설계에 미명시된 지장물 보호 - 관계기관 요구에 의한 지장물 - 도시가스관 기타 지장물 이설 - 통신구 Cable 이설은 국가의 주요 통신망으로 입찰준비시 통신구 내부의 조사가 불가능하였음	- 입찰안내서 공사입찰 유의서 제18조(지반조사) 및 제19조(측량 및 지장물 조사) - 공사계약 특수조건(II) 제16조(지상 및 지하지장물)에 의거 지반조사의 책임이 시공사에 있고 기존 조사자료의 정확성과 신뢰도를 스스로 확인하여야 하며, 필요시 추가자료의 조사에 대한 책임이 계약자에게 있으므로 설계변경 반영 곤란하다고 판단됨 - 통신구는 사전조사시 구조물은 조사되었으나 내용물은 국가기밀사항으로 조사할 수 없으므로 이설시 해당부서에 이설 요청 후 이설비용을 받아 설계반영
9. 부지사용료 ■ □-■■■공구 - 부지사용료 및 도로점용료납부 - ₩611,474,000	- 도로법 제44조(점용료 징수의 제한) 또는 국유재산법 제26조(사용료의 면제)의 규정에 의하여 당해 공사에 필요한 도로 또는 국공유지의 점용 또는 사용에 있어서는 점용료 또는 사용료가 면제되어야 함.	- 입찰안내서 공사계약특수조건 (II) 제3조(발주자 제공사항)에 발주자는 계약자의 원활한 업무수행을 위하여 공사를 위한 용지수용 또는 보상 등을 통한 용지확보를 하여야 하므로 설계 변경이 가능함

10. 예산책정상의 과실로 인한 손실 ■ □-■□□공구 ₩55,675,000,000 ■ □-□□공구 ₩34,989,000,000	- 입찰당시 회계예산법령이나 국가계약법령에 의하면 장기계속공사의 경우 입찰금액이 예산액보다 많을 때는 예산액의 범위내로 입찰금액을 조정하도록 되어 있는 바, - 시공자는 입찰당시 입찰공고문에 기재된 예산액을 기준으로 입찰금액을 연산으로 조정할 수밖에 없었음. - 이로 인하여 예산책정상의 과실이 없었을 경우 시공자가 누릴 수 있는 적정이윤 창출의 기회가 원칙적으로 차단됨 - 공구별로 공사수행의 여건 및 공사 내용에 따라 다소간의 차이는 있을 수 있으나 km 당 공사예산액이 ■-□□공구에 비하여 58% 수준(■-■□□공구), 70%수준(■-■□□공구)에 불과하고, - Turn-Key 경험이 지하철에 전무했던 것을 고려하면 발주상 중대한 과실이 있었음이 명백하므로 - ■-□□ 공구의 km 당 예산을 기준으로 당공구의 예산을 계산하여 시공자의 낙찰율(예산액에 대한 당초계약금액 비율)을 곱한 금액과 당초계약금액의 차액을 요구함.	- 공사현장의 여건, 시공의 난이도, 적정 작업조건을 감안하여 시공사에서 입찰금액을 산정하였으며, 입찰시 시공사의 적정이윤 창출이 불합리하였다고 판단되었을 경우 입찰을 하지 않았으면 되었을 것이므로 예산 책정상의 과실로 인한 손실 보상은 설계변경이 불가할 것으로 사료됨 - 설계·시공 일괄입찰공사의 기본 개념에 위배됨 - 예산책정은 해당공사에 대한 하나의 기준이지만 입찰에 구속되는 것이 아님.
11. 공기단축 ■ ■-■□□공구 - 공덕정거장 출입구 공사 시기 단축 - ₩188,600,000	- 5호선 6호선이 승환되는 ■□□정거장의 출입구 #2(마포대교 방향)를 5호선의 개통시기(96.6월)에 맞추어 완공토록 지시받고 변경된 공정계획에 따라 이를 수행하였으므로 추가 비용 요청 - 특수시방서 제2-10.5항(설계변경시 공사비의 증감) 제3호에 따라 증액가능	- 5호선 개통시기에 맞추어 가설 철재 Box 및 건축마감공사를 시행하였으므로 변경금액 대상이며, 추가비용에 대하여는 재산상 결정하여야 할 것으로 사료됨

12. 타자와의 간섭으로 인한 변경 ■ ■ ■ 공구 - ■ ■ ■ 공구 공덕사거리 유치선하수거 이설 ₩1,380,000,000 - ■ ■ ■ 공구 xx정거장 추가 작업 ₩256,450,000	- 기설치된 5호선의 가시설 철재하수거를 사용하도록 되어 있었으나, 5호선 구조물 공사지연으로 임시물돌리기 Box 설치등 공덕동 사거리 및 유치선 구간 Box를 분리시공 비용 요청 - 인접공구 및 기존현장(개통구간 포함)과의 행작업 및 수방대책으로 가벽설치 하수거 구간 경계지점의 단면조정에 따른 추가비용 반영	- 지장물 이설여부 및 공사방법 판단은 계약조건에 의한 계약자 부담사항이므로 반영 불가 - 가벽설치는 실시설계전 사전 인지의 사항으로 반영 곤란 - 옹벽설치는 5호선 되메우기 공정지연으로 당초설계의 H-PILE 토류벽 공법을 변경시행하였으므로 옹벽설치 공사비는 반영하되 당초설계 토류벽 공사비는 삭제
--	--	---

3.4 클레임 결과

1) 발주처의 최종검토금액

(금액단위 : 백만원)

청구내용	청구금액	최종통보금액	대비	비 고
■ 불가항력적인 사유에 의한 손해배상 등 11개 항목	107,895	5,394	5.0	
■ 예산책정상의 과실로 인한 손해(1개 항목)	188,163	-	-	
계	296,058	5,394	1.8	

■ 최종통보금액 : 클레임 조정자문회의 결과 시공사에 통보된 금액

■ 클레임 제기 6개사 합계임.

- 2) 최종통보금액중 63%가 당사 지분이며, 기타 5개사에는 1억 10억을 발주처에서 제시하였음
- 3) 당사는 몇가지 항목의 추가 협상을 성공하고 예산책정상의 과실로 인한 손해를 제외하고 본 클레임에서 제기된 항목에 관해 발주처와 합의를 도출하였음.

3.5 턴키공사 연합클레임의 의의

- 1) 국내 최초·최대의 공식적인 대정부 건설 클레임이다.

건설클레임의 효시가 되어 각 건설업체와 건설기술자에 용기를 주게 되었으며, 이를 이후로 각 발주처로 연합클레임 및 개별 클레임이 파급되었다.

- 2) 한국적 턴키계약의 문제점을 지적하여 개선이 되도록 하는 도화선이 되었다.
 - 설계단계, 입찰, 설계변경 제도 등의 변경을 유도

- 3) 분담 이행방식의 문제점 노출로 공동이행방식으로 전환하는 계기

공동수급업체의 구성원은 계약상의 의무 이행에 대하여 분담내용에 따라 각자 책임을 지도록 하고 있어 설계상의 문제로 인하여 시공상에 발생하는 후속피해(Consequential Loss)는 설계자가 부담하여야 함. 또한, 공동수급 업체의 구성원은 발주자에 대한 계약상의 의무이행에 대하여 책임을 지는 것이지 계약자 상호간에 책임을 지는 것이 아님. 따라서 설계상의 문제로 인한 시공상의 추가 비용에 대하여 시공자는 발주처에 그 보상을 청구하며, 발주처는 설계자에 대하여 구상권을 행사해야 한다는 해석이 강하게 제기되었다.

이와 같이 설계상의 책임한계에 관한 문제를 본 클레임에서 제기하여 추후 발주되는 턴키계약은 공동이행 방식으로 발주될 예정이다.

- 4) 발주처와 시공사의 의식 전환

발주처는 우월적인 지위를 이용 계약외의 작업을 구두 또는 서면으로 지시하고도 설계변경에 반영하지 않는 것이 다반사였으나, 시공사의 클레임을 고려 서면지시로 설계에 반영하는 등의 변화를 유도 하였으며, 시공사 또한 서면 지시나 설계변경 유무를 더욱 확인하여 작업 여부를 결정하게 되었다.

4. 클레임 합의사항의 일방적 파기에 대한 검토

클레임은 시공사가 제기한 부분을 발주처가 검토하고시공사와 협의를 거쳐 상호 합의하면 계약에 포함되어, 기성을 지급하면 완전히 종결된다. 하지만, 클레임 종결 후 발주처가 클레임 화해계약 부분을 일방적으로 시공사에 파기통보 할 수 있는가 하는 문제이다. 다시 말해서, 클레임 진행중 발주처는 계약서, 관계법규등을 검토하고 화해계약 하였으나, 추후 이런 자신들의 결정에 오류가 있었다는 명분으로 기지급되어 종결된 클레임 부분 기성을 환수하려고 하는 경우이다.

반드시 클레임을 제기한 경우가 아니더라도 발주처가 계약후 기성까지 지급한 경우에도 환수하는 경우가 빈번하므로 이에 대한 대응방안을 검토한다.

4.1 계약의 원칙에 의한 검토

클레임이 제기되어 쌍방간의 협상에 의하여 화해계약이 되었다면 계약의 원칙을 존중하여야 한다. 일반적으로 계약은 제의(offer)되어야 하고, 그에 대한 수락

(Corresponding Acceptance)이 존재해야 하며, 계약의 당사자는 자신의 책임과 의무를 다하여야 한다. 물론 이 개념은 관행 또는 법적환경에 따라 구체적으로 정립될 수 있다. 계약의 원칙에 관한 현행 법규는 아래와 같다.

「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률」 제5조 ①항

“계약은 상호 대등한 입장에서 당사자의 합의에 따라 체결되어야 하며, 당사자는 계약의 내용을 신의성실의 원칙에 따라 이를 이행하여야 한다.”

4.2 법리적인 검토 (변호사 의견)

계약당사자간에 화해계약이 이루어진 사항에 대하여 발주처는 이루어진 합의가 민법 제733조(화해의 효력과 착오)의 규정에 의한 착오인 것으로 하여 그 합의를 취소하려는 경우 설령 발주처가 시공자와의 화해당시 착오가 있었다 하더라도 민법 제109조(착오로 인한 의사표시)의 규정에 의하면, 착오가 표의자의 중대한 과실로 인한 때에는 취소하지 못하도록 하고 있음. 입찰안내서, 공사계약 특수조건 및 일반조건을 발주처가 직접 작성하였음에도 불구하고 발주처가 이를 알지 못한 상태에서 화해계약에 이르게 되었다는 사실은 표의자의 중대한 과실에 해당한다고 아니할 수 없음. 따라서 발주처의 화해계약 일방적인 취소통보는 부당함.

5. 클레임 및 분쟁억제를 위한 제도 검토

건설공사 현장에서는 여러 가지 유형의 건설분규와 클레임이 반드시 발생한다. 전통적으로 발주처 우위의 계약관계를 수립해왔던 우리로서는 클레임건이 발생하면 발주처와의 관계와 회사의 이익추구 사이에서 딜렘머에 빠질 수 밖에 없다. 클레임은 Zero Sum Game 즉, 우리가 승리하면 발주처는 상대적으로 피해를 보기 때문에 상호간에 불신감이 증가하는 등의 문제가 발생하므로 가급적이면 발생치 않도록 노력해야 한다. 이를 위해서는 제도의 개선과 시공사의 철저한 관리가 필요하다.

5.1 계약자의 자세 및 역할

- 1) 계약서류의 숙지와 이해
- 2) 업무범위 해석은 철저하고 논리적이며 문서로 시행한다. 계약내역에 없는 일을 하는 경우 반드시 발주처의 서면확인 과정과 기록을 남기도록 한다.
- 3) 클레임 제기시 계약당사자의 책임이 아니라는 객관적인 사실 증거와 수치적

해석이 나올 수 있어야 함.

4) 계약행위에 대한 의식의 전환이 필요

전통적인 계약방식과 관행에 대한 인식의 변화와 클레임이 정당한 권리라는 의식 전환이 있어야 함.

5.2 제도의 개선(턴키계약을 중심으로)

5.2.1 발주단계

1) 적절한 턴키대상공사의 선정

공사규모보다는 공사의 성격이나 기술수준을 감안하여 결정 요망

2) 적정공사예산 확보 및 안정적인 예산 지원

실적공사비에 입각한 공사비 산출기법 개발하여 예산이 과소책정되는 일은 없도록 해야 함

3) 수요기관의 역할 강화

당해공사의 특성이 반영한 설계심의 및 입찰계약이 이루어지도록 수요기관에 턴키발주 여부의 결정권을 부여하고, 설계적격심의회 심의위원의 일원으로 참여토록 함.

5.2.2 설계업체와 시공업체간 공동도급 방식의 개선

1) 설계업체의 책임한계

실시설계도서 작성에 국한하지 말고 턴키공사 수행과정 전체에 걸친 설계변경과 관련된 부분으로 확대 필요

2) 설계·시공 통합효과를 위한 공동이행방식

설계업체의 영세성을 감안하면 현실적으로 시공업체와의 공동이행방식은 쉽지 않다. 따라서 설계와 시공을 동시에 1개업체가 수행하는 방식도 검토할 필요 있음(시공업체의 건축설계업 진입도 허용하여 E/C화 추진).

5.2.3 설계도서 작성 및 설계심의 과정

1) 적정한 설계기간의 확보

2) 설계심의의 공정성 확보

3) 설계비 보상의 적정화

5.2.4 입찰계약 절차상의 개선 방안

1) 실시설계전 착공 가능토록 입찰계약절차 개선

Turn-Key의 장점인 Fast Track방식을 도입하기 위해 기본설계 입찰단계에서 낙찰자를 선정하여 계약을 체결하고, 곧바로 공사착공에 들어가도록 함. (실시설계후 착공하여도 보완설계를 하느라 공기지연 및 재설계비 발생)

5.2.5 계약금액 조정제도의 개선 방안

1) 물가변동 시점

터키공사는 입찰공고에서 계약체결까지 약 1년이 소요되므로 물가변동에 따른 가산일을 계약일로 하는 것은 부적절하며, 입찰일을 가산일로 하는 것이 바람직

2) 설계변경에 따른 계약금액 조정제도의 개선

총액고정가격(Fixed lump sum price)하에서 계약금액의 증액을 허용하지 않는 것이 원칙이나, 발주처의 귀책사유, 천재지변 등 불가항력적인 경우를 탄력적으로 적용하여 설계변경을 하용해야 함.

6. 결 언

이제 국내건설 사업은 발주자 우위의 불평등한 계약 관행과 제도가 지속될 수 없도록 모든 건설인들의 의식구조가 개선되어야 한다. 현장에서 발주처와 직접 대면하고 있는 우리 건설종사자들은 대발주처 관계의 악화방지 및 기존의 관행에 의한 약간의 설계변경을 위해 클레임의 권리를 포기해온 사실을 인정해야 한다. 클레임의 진정한 의도는 당해 건설사업을 성공적으로 완수해야 한다는 것이고, 사업이 성공해야 모두 승자가 되는 것이라 판단되는 바, 클레임이 계약자와 발주처 모두가 승자가 되는 win-win Game으로 완료하려면 상호 신뢰감이 형성되도록 우리 계약자측에서 많은 노력을 기울여야 한다.

마지막으로, 우리 건설기술자들이 클레임의 기초가 되는 계약서의 이해와 클레임 Documentation에 미숙하므로 클레임 전문컨설팅회사의 자문을 받아 클레임을 진행하는 것이 효과적이며, 클레임 서류 작성은 법리적인 검토 및 전문지식을 요하는 작업이므로 본사 차원에서 법무팀 등을 활용 클레임 전문요원으로 구성된 별도의 총괄 관리조직을 운영하는 것도 클레임 해결을 위한 좋은 방안으로 판단된다.

■ 참 고

당해 현장의 발주처에서 작성한 「클레임 최소화 방안」의 결론부를 인용한다.

- 상호 신뢰감 조성(삼위일체 : 본부, 감리단, 시공사)
- 마음자세 정립 → 평생 내가 살 집을 건축업자에게 도급을 주었을 경우의 자세
 - 공정 역클레임 : 기한내 미준수 손실 보상 청구등
 - 품질 역클레임 : 재시공, 시공사 교체
 - 안전 역클레임 : 손실보상 청구등
- 클레임을 최대한 현장관리의 수단으로 활용
 - 목적물별 특수조건(공기준수 요구 권리)
 - 고품질 요구 권리(공사중단, 재시공등)
 - 안전 및 시민불편 최소화 요구 권리(시정, 제재등)
- 공사 지장요인 신속 적기 해결 노력
 - 예측 문제점 사전 파악 조치
- 항시 클레임을 염두에 둔 업무처리

콘크리트 옹벽의 설계 (I)

건설기술연구소 토목기사 김호비

1. 서 론

옹벽은 토압에 저항하는 가장 일반적인 구조물로서 도로, 철도, 하천, 운하, 항만, 호안, 방조제, 교대 등 용지의 제한에 따른 토지의 최적이용을 목적으로 사용한다. 예를 들어 도로 혹은 택지가 건설되는 경우, 절토나 성토가 실시되는데 지형 및 환경조건에 따라 사면구배를 확보할 수 없는 경우가 있다. 이와 같이 공사의 안전성, 경제성, 시공성, 용지의 절약 등에서 안정구배보다 급한 구배로 절·성토를 실시할 경우 토압은 발생하며, 옹벽은 이를 받쳐주기 위해 적용된다.

옹벽은 건설현장이라면 흔히 접할 수 있는 구조물이다. 그러나 정확한 이해 없이 옹벽을 설계·시공할 경우, 대형사고로 연결될 수 있다.

옹벽에 작용하는 하중은 자중, 재하중(사하중, 활하중), 지진에 의한 관성력 등 여러 가지가 있으나 옹벽을 설계하는데 지배적인 하중은 토압이며, 수압의 경우 옹벽이 침수되지 않는 한 옹벽배면의 물은 배수시설에 의해 충분히 배수되는 것으로 가정하기 때문에 보통 고려의 대상이 되지 않는다. 따라서 옹벽의 안정성, 경제성을 판단하는데는 토압을 어떻게 정확히 추정하는가 하는 것이 매우 중요하다. 현재 설계를 위해 사용되는 토압이론은 여러 가지가 있으나 설계당사자조차도 이에 대한 정확한 이해 없이 적용하여 설계하는 경우가 비일비재하다.

본고에서는 총 2회로 나누어 1회에서는 옹벽의 일반사항과 옹벽에 작용하는 토압에 대해 기본적인 사항을 중심으로 서술하고 2회에서는 특수한 경우의 토압 산정방법, 옹벽의 설계를 위한 이론적 접근방법 및 외적, 내적 안정검토, 옹벽의 배수대책에 대해 정리해 보도록 한다.

2. 콘크리트 옹벽의 일반사항

2.1 콘크리트 옹벽의 구조형식

콘크리트 옹벽은 일반적인 형식과 특수한 형식으로 구분할 수 있다. 일반적인 형식은 중력식, 반중력식, 켄틸레버식, 부벽식 옹벽을 말하며 특수한 형식으로는

선반식, 상자형, H형, U형 옹벽 등 매우 다양하다.

옹벽의 형식은 시공현장의 상황, 경제성, 시공성 및 건설완료 후의 유지관리 등을 종합적으로 고려하여 현장의 실정에 맞는 가장 적절한 형식을 선정해야 하는데 이러한 사항은 옹벽의 높이에 의해 큰 영향을 받는다. 옹벽의 종류별 높이의 범위를 살펴보면 [표 2-1]과 같다.

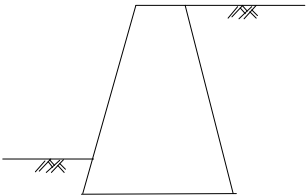
[표 2-1] 일반적인 형식의 옹벽 종류별 높이 범위(일본토질공학회, 1977)

옹 벽 종 류	옹 벽 높 이 (m)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
중 력 식															
반 중 력 식															
캔 틸 레 버 식															
뒷 부 벽 식															
앞 부 벽 식															

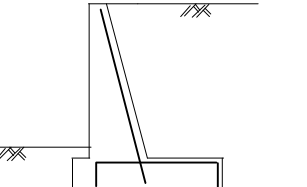
2.2 콘크리트 옹벽의 종류별 특징

옹벽은 지형, 지반의 상태, 성토하는 높이, 용지, 시공조건, 구조물의 중요도 등에 따라 사용, 분류되고 있다.

2.2.1 중력식 옹벽(Gravity Retaining wall)

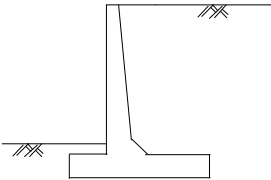
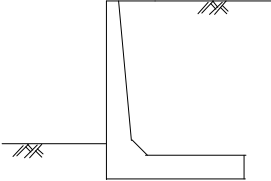
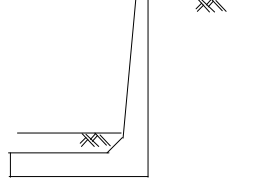
	· 작용토압에 대해 자중으로 안정을 유지함 · 벽체와 저판사이에 발생하는 인장응력을 철근없이 콘크리트의 허용인장력으로 저항하기 때문에 토압이 큰 사면에서는 설치하지 않는 것이 좋음 · 저판하부에 매우 큰 압력이 작용하기 때문에 지반이 약한 곳에는 적용이 곤란함 · 주로 2~4m의 높이에서 사용됨
---	--

2.2.2 반중력식 옹벽(Semigravity Retaining Wall)

	· 중력식 옹벽에서의 벽체와 저판사이에 발생하는 인장응력을 철근으로 보강하는 형식으로 중력식보다는 단면을 작게 할 수 있기 때문에 지반의 지지력이 다소 작은 곳에서는 사용이 가능함 · 주로 2~4m의 높이에서 사용됨
---	---

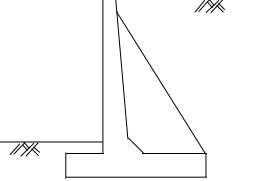
2.2.3 캔틸레버식 옹벽(Cantilever Retaining Wall)

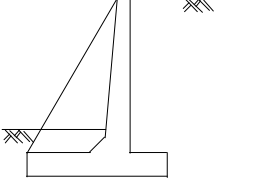
벽체와 가상배면 사이의 토사를 자중으로 이용하는 철근콘크리트 옹벽(역L형 옹벽은 해당되지 않음)으로서 내구성 측면에서 중력식 옹벽이나 반중력식 옹벽에 비해 다소 떨어지나 다른 형식에 비하여 통상의 높이(4~8m)에서 가장 많이 사용되고 있는 형식이다.

	· 일반적으로 높이 4~6m에서 가장 많이 사용되는 형식임 · 옹벽 높이 4~8m에서 가장 경제적인 · 전면벽 및 저판은 캔틸레버보로 설계함 · 주로 3~8m 높이에서 사용됨
	· 벽체면에 경계가 접해 있어서 옹벽의 앞굽설치가 불가능한 경우에 사용됨 · 연직벽 하단에 큰 응력이 작용하게 되어 구조안전상 역 T형 옹벽에 비하여 불리하며 비경제적인 · 전면벽 및 저판은 캔틸레버보로 설계함 · 주로 3~8m의 높이에서 사용함
	· 부지경계 외부지반이 부지내보다 높을 경우에 사용함 · 전면벽 및 저판은 캔틸레버보로 설계함 · L형 옹벽보다 단면이 커져야 하므로 비경제적인

2.2.4 부벽식 옹벽(Counterforted Retaining Wall)

옹벽의 높이가 6~10m 이상이 되면 토압이 크게 증가하여 캔틸레버식 옹벽으로서는 단면이 매우 커져 경제성이 떨어진다. 이를 해결하기 위하여 벽체 전면 또는 후면에 부벽을 설치하여 연직벽 및 저판의 단면을 줄이는 형식이다.

	· 벽체 배면에 부벽을 설치하는 형식임 · 부벽은 T형보로, 전면벽 및 저판은 고정된 연속슬래브로 설계함 · 주로 6~10m 이상의 높이에서 사용함
---	--

	· 지형상 제약으로 옹벽배면에 터파기가 불가능한 경우, 뒷부벽식 옹벽 대신에 사용함 · 부벽은 구형보로, 전면벽 및 저판은 고정된 연속슬래브로 설계함 · 뒷부벽식 옹벽에 비해 구조적으로 불리하며 비경제적임 · 주로 6 ~ 10m 이상의 높이에서 사용함
---	---

3. 콘크리트 옹벽에 작용하는 토압

3.1 변위에 따른 토압의 종류

토압이란 단위면적당 흙이 구조물에 가하는 힘을 말한다. 토압의 크기는 1)흙의 강도정수 2)흙-구조물간의 변형의 크기와 특성 3)접지면의 상호작용에 의해 좌우된다. 옹벽의 경우, 옹벽단면 설계시 하중으로 적용하는 토압은 옹벽과 배면토사와의 경계면에 작용하는 힘이다.

토압은 배면토의 경사각에 크게 관계된다. 배면토의 경사각이 배면토의 안식각에 따라 완전한 벽면에는 토압이 작용하지 않는다. 그러나 배면토의 경사각이 안식각보다 커지면 이미 배면토사 자체로 안정을 유지할 수 없게 되며 안식각을 초과하는 부분의 흙은 활동하게 되고 활동방지를 위해 벽체를 설치한 경우, 이 흙이 벽면에 토압으로 작용한다. 모래의 경우, 안식각은 내부마찰각과 같다고 생각할 수 있고 내부마찰각이 큰 흙일수록 벽면에 작용하는 토압이 작은 것은 쉽게 상상할 수 있을 것이다.

구조물에 작용하는 토압은 3가지가 있는데, 토압은 구조물과 흙의 상대적인 변위에 따라 크기가 달라진다.

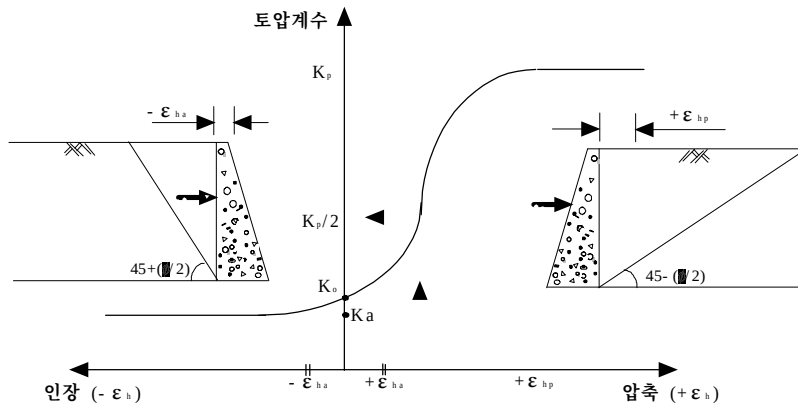
[표 3-1] 변위에 따른 토압의 종류

토압의 종류	정 의
정 지 토 압	흙이 정지상태(수평방향의 변위가 일어나지 않는 상태)에 있을 때의 토압
주 동 토 압	구조물이 뒤채움흙에 의해 밀렸을 때 뒤채움흙이 팽창하면서 파괴될 때의 토압 (토체의 상태 : 정지→인장)
수 동 토 압	구조물이 뒤채움흙에 의해서 밀렸을 때 구조물 전면의 흙이 압축되면서 파괴될 때의 토압 (토체의 상태 : 정지→압축)

옹벽에 작용하는 수평토압은 흙의 자중에 의해 발생하며 이는 수평유효응력을 연직유효응력으로 나눈 값으로 정의되는 토압계수에 의해 구할 수 있다.

변위에 따른 토압의 종류에 따라 토압계수도 3가지로 나눌 수 있으며 정지토압상태(탄성평형상태)에서의 토압계수를 정지토압계수, 주동 및 수동토압상태(소성한계상태)에서의 토압계수를 주동, 수동토압계수라 한다.

지반의 변형상태별 토압계수의 변화를 살펴보면 <그림 3-1>과 같고 흙의 종류별 주동 및 수동상태의 변위는 [표 3-2]와 같다.



<그림 3-1> 지반의 변형상태별 토압계수의 변화

[표 3-2] 흙의 종류별 주동 및 수동상태의 변위 Canadian Geotechnical Society, 1992

흙의 종류	벽체의 회전변위 (Y/H)		수동변위/주동변위
	주동상태의 변위	수동상태의 변위	
조밀한 사질토	0.001	0.02	20
느슨한 사질토	0.004	0.06	15
견고한 점성토	0.010	0.02	2
연약한 점성토	0.020	0.04	2

※ Y=수평변위, H=벽체높이

<그림 3-1>에서 알 수 있듯이 흙이 정지토압상태에서 수동, 또는 주동토압상태가 되려면 반드시 변위를 수반해야 한다. 이 때 수동토압은 토체가 가질 수 있는 최대의 토압상태이며 주동토압은 토체가 가질 수 있는 최소의 토압상태이고 이를 소성평형상태(혹은 소성파괴상태)라 한다. 그렇다면 왜 "옹벽은 여러 단계의 토압상태 중 가장 작은 주동토압을 이용하여 설계를 할까"하는 의문이 생긴다.

옹벽의 경우, 벽체의 변위가 일어나지 않는다면 벽면에는 정지토압이 작용하겠지만, 실제로 옹벽은 상단이 자유단이므로 뒤채움흙은 토압에 의해 약간의 인장변위가 발생하며 [표 3-2]에 의하면 지반이 주동토압상태에 도달하기 위한 수평변위는 대단히 미소하여 벽체에 발생하는 인장변위보다 작으므로 주동토압을 적용하여 설계한다.

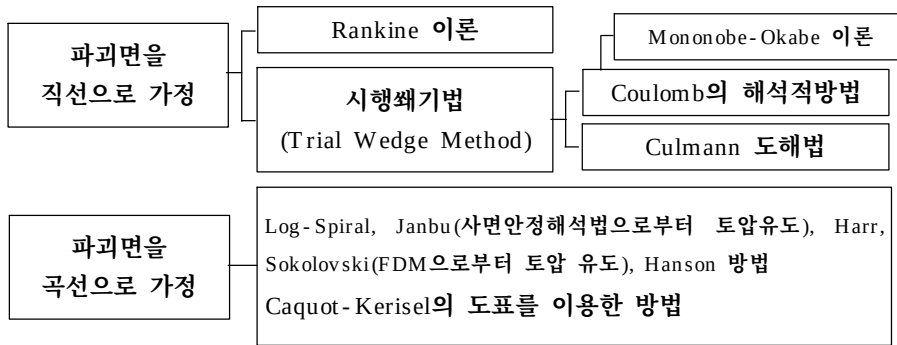
그러나 옹벽의 설계에 주동토압을 사용한다는 사실에 대해 松尾는 "만약 주동토압을 사용하여 설계한 옹벽이 정지토압에 견딜 수 없는 경우에는, 주동측에 대한 벽체의 변위→토압의 감소→토압의 회복→벽체의 재변위의 반복이 생긴다"고 말하였다. 즉 정지토압에 견딜 수 없는 옹벽에 일단 변위가 발생하면 그것은 결국 구조물계로서의 옹벽의 파괴된다는 것을 시사한다. 따라서 기본적으로 『옹벽의 설계는 정지토압을 기준으로 하여 정지토압에 견디는 옹벽을 만든다는 점을 목적으로 할 필요가 있다』고 서술하였다. 그러나 정지토압에 관해서는 미해명부분이 많이 남아 있으며 벽면의 기울기, 배면성토구배의 영향 등을 평가하는데까지는 이르지 못하였다. 한편 주동토압은 옹벽의 설계토압으로서 옛날부터 사용해 왔으나, 설계시점에서 뒤채움흙의 전단강도정수를 작게 평가(예를 들면 점착력 무시)하고 외적안정 평가시에 안전율을 줌으로서 이제까지 특별한 문제가 생기지 않았으며 경험적으로 타당성이 실증되었다. 이러한 점에서 일반적인 옹벽에 대해서는 주동토압으로 설계하게 되었다.

그러나 수평변위를 전혀 허용하지 않는 구조물(대단히 견고한 암반상에 설치하는 옹벽, 지간(span)의 길이를 엄격히 유지해야 하는 교량의 교대, 지중매설암거, 건물의 지하벽 등)은 정지토압을 적용하여 설계하여야 한다.

반면 옹벽 설계시 옹벽전면의 수동토압은 일반적으로 고려하지 않는다. 그 이유는 <그림 3-1>에서 보는 바와 같이 옹벽배면이 주동토압상태에 도달하더라도 옹벽전면은 수동토압상태에 도달할 정도의 압축변위가 발생하지 않을 뿐만 아니라 옹벽전면의 흙은 옹벽시공후 도로의 보조기층 시공을 위한 터파기, 관로매설을 위한 터파기 등으로 인해 없어질 우려도 있다. 그러나 부득이 수동토압을 가산해야 하는 경우, <그림 3-1>에 근거하여 수동토압의 반정도만 작용한다고 본다.

3.2 토압이론

흙의 변위가 없을 때 작용하는 정지토압은 지표면이 수평(∞)이고 흙이 균질한 상태에 있는 지반내의 연직유효응력과 수평유효응력의 비로부터 정지토압계수를 산정하여 구할 수 있다. 그러나 주동 및 수동토압의 산정방법은 가정조건에 따라 여러 가지 이론이 있으며 이를 분류하면 <그림 3-2>와 같다.

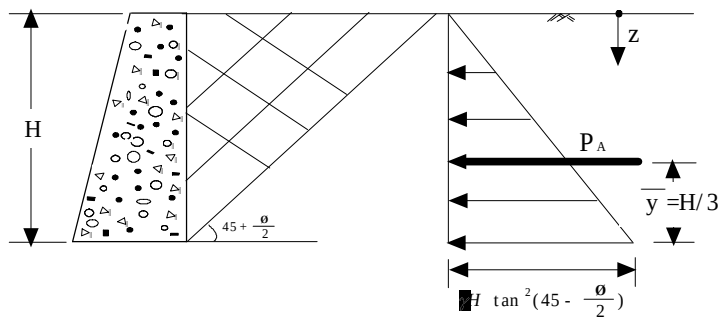


<그림 3-2> 토압산정을 위한 토압이론

<그림 3-2>의 토압이론 중 현재 주로 사용되고 있는 토압이론에 대하여 주동 토압 산정방법을 중심으로 서술하도록 한다.

3.2.1 Rankine 토압이론

1856년 Rankine은 흙을 중력만이 작용하는 균질하고 등방인 반무한체로 보고 흙과 옹벽사이의 마찰력이 없다고 가정하여 지반이 소성평형상태에 있을 때의 지반내 응력을 구하였다.



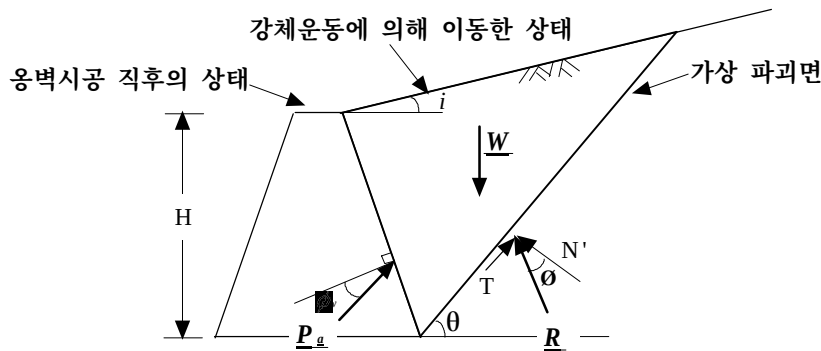
<그림 3-3> Rankine 토압이론에 의한 흙의 파괴상태와 주동토압

옹벽이 하단을 중심으로 회전하여 뒤채움흙에 충분히 변위가 발생하여 소성평형상태가 되고, 옹벽과 흙사이의 마찰이 전혀 없다면 이 때 옹벽에 가해지는 토압은 Rankine의 주동토압이 된다. 그러나 실제 옹벽의 벽체와 뒤채움흙 사이의 마찰은 존재(대략 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ 정도, $\frac{1}{3}$ =뒤채움흙의 내부마찰각)하므로 거친 벽체에 작용하는 주동토압은 Rankine 주동토압보다 작은 반면, 수동토압은 더 크므로 Rankine의 토압이론은 안전측이라 할 수 있으며 계산방법이 간단하므로 유용하게

사용할 수 있다.

3.2.2 Coulomb 토압이론(흙쌓기이론의 해석적방법)

실제 토압에 대한 최초의 이론은 1773년, 성을 축조하는 기술자인 Coulomb이 발표하였으며 기본 모식도는 <그림 3-4>와 같다.



<그림 3-3> Coulomb 토압이론에 의한 주동토압

Coulomb은 다음과 같은 5가지 가정하에 흙쌓기이론을 이용, 해석적 방법에 의해 토압을 구하였다.

- 1) 옹벽뒤채움흙의 파괴면은 직선이다.
- 2) 흙의 점착력은 0이다.(점착력에 대해 신뢰하지 않음)
- 3) 흙쌓기의 모멘트 평형조건에 대해 무시한다.(모멘트 평형은 만족하지 않음)
- 4) 뒤채움흙은 강소성모델(Rigid Plastic Model)에 의해 변형한다.(흙쌓기 자체는 변형이 없는 강체이며, 흙은 소성평형에 도달한 상태로서 <그림 3-3>에서 흙쌓기가 내적 변형없이 흙의 자중에 의해 강체운동을 하여 반력인 P_a 와 R 이 발생한 상태임)
- 5) 뒤채움흙의 경사는 일정하다.

Coulomb은 이와 같이 벽면마찰각을 고려하여 흙쌓기이론에 의해 자중(w)의 크기와 방향, 토압(P_a)의 방향, 벽면에 작용하는 활동력의 반력(R)의 방향을 찾은 후 힘의 3각형 폐합조건에 의해 sine법칙을 이용하여 주동토압의 식을 구하여 이를 활동면의 방향을 나타내는 θ 에 대해 미분하여 극대값을 구함으로써 파괴면을 구한 후 주동토압을 해석적방법에 의해 수식화하였다. 이때 토압의 분포는 삼각형이 되며 흙의 내부마찰각(ϕ)이 배면경사각(i)보다 작은 경우는 토압산정이 불가능하다. Coulomb 토압이론은 벽면마찰각에 따라 토압의 크기가 상당히 변하는데 ,

이러한 벽면마찰각의 국내규정을 살펴보면 [표 3-3]과 같다.

[표 3-3] 벽면마찰각의 대표값

도로교 표준시방서 (1996, 건설교통부)	$\mu_w = \mu/3$
옹벽표준도작성연구종합보고서 (1998, 건설교통부)	중력식 옹벽 : $\mu_w = (2/3)\mu$ 그 외 옹벽 : $\mu_w = \mu/3$

※ 지진시 벽면마찰각 등의 좀 더 자세한 사항은 참고문헌을 살펴보기 바람
해외규정 등은 McCarthy(1982), NAVFAC(1982) 등을 참조하기 바람

Coulomb 주동토압의 경우, 최근 해외 문헌에 의하면 실무에 적용가능한 이론으로 나타나고 있다. 그러나 Coulomb 수동토압은 파괴면이 실제와 매우 다르고 수동토압의 크기도 옹벽에 불안정측으로 산정되므로 옹벽설계시 Coulomb의 수동토압은 사용하지 않는 편이 낫다.

3.2.3 Rankine 토압이론과 Coulomb 토압이론의 차이점 및 한계성

Rankine 토압이론과 Coulomb 토압이론의 비교 및 특성은 [표 3-4]과 같다.

[표 3-4] Rankine 토압이론과 Coulomb 토압이론의 비교 및 특성

토압이론	Rankine 토압이론	Coulomb 토압이론
비교	· 벽체와 뒤채움흙 사이의 벽면마찰을 무시한 소성론에 의한 이론으로서, 소성평형상태에서의 뒤채움흙의 활동은 벽배면에 의하여 발생하지 않는다고 봄 · 토압의 작용방향은 항상 지표의 경사와 평행이고 연직한 벽면에 작용하는 토압이므로 Coulomb 토압과 같은 벽배면의 경사나 벽면과 뒤채움흙 사이의 마찰을 고려할 수 없음	· 벽체와 뒤채움흙 사이의 벽면마찰을 고려한 흠뻐기방법에 의한 토압이론으로서, 소성평형상태에서 뒤채움흙은 벽배면을 따라 활동한다고 봄 · 토압의 작용방향은 지표경사에 관계없이 μ_w (벽면마찰각) 방향으로 작용시킴
특성	· 지표면이 수평일 경우, Rankine 토압은 연직토압이 없으나 Coulomb 토압은 벽면마찰각(μ_w) 만큼 경사지게 작용하여 토압의 연직성분이 있으므로 옹벽의 안정성 판단에 중요한 차이가 있으며, 주동토압의 경우, Coulomb 수평토압이 Rankine 수평토압보다 절대값이 작으므로 이러한 점에서 Coulomb 토압이론에 의한 옹벽설계는 옹벽의 단면을 줄이는 효과가 있음 · Rankine의 주동토압을 10% 정도 감소시키면 $\mu_w > 0$인 경우, Coulomb의 수평주동토압과 거의 같은 값을 가지며, 10% 정도 증가시키면 $\mu_w < 0$인 경우, Coulomb의 수평주동토압과 거의 같음	

실제 Rankine 및 Coulomb 토압이론은 주동토압에서는 이론치와 실제값의 차이가 25% 이내이므로 실용상 문제가 없으나, 수동토압에서는 특히 Coulomb 토압이론의 경우, 실용상 차이가 매우 크므로 설계시 사용하지 않는 것이 좋으며 특히 $\frac{H_w}{H} > \frac{1}{3}$ 일 때 수동토압은 신뢰할 수 없다. 그러나 가장 일반적으로 사용되고 있는 Coulomb 토압이론도 뒤채움흙의 지표경사가 일정하지 않고 복잡하거나, 가상 활동면 이내에서 사면구배가 변할 경우에는 해석적방법에 의해 수식화된 Coulomb 토압이론을 적용할 수 없기 때문에 흠뻐기방법에 의한 시행뻐기법에 의해 토압을 구해야 한다.

Coulomb 토압이론은 자중(W), 벽면에 작용하는 활동면의 반력(F), 토압(P_a)의 힘의 평형조건으로부터 구하나 3힘이 동점평면력계(힘이 한점에서 만나는 상태로 서 모멘트 평형조건이 만족되는 힘의 상태)라는 역학상의 원칙이 밝혀지지 않고 있고 Rankine 토압이론도 뒤채움흙이 아래쪽으로 경사져 있으면 토압은 벽면에 대하여 위쪽으로 향하게 되어 실제와는 불합리하다. 또한 Coulomb과 Rankine 토압이론은 토압분포를 직선으로 가정하지만 곡선분포를 하는 경우가 있으며, 벽체가 연성일 경우, 전토압의 작용점을 구하기 곤란한 점 등, 아직 규명되지 못한 부분이 많이 있다.

3.2.4 시행뻐기법(Trial Wedge Method- 흠뻐기이론)

흠뻐기이론을 해석적방법에 의해 공식화한 Coulomb의 토압이론은 뒤채움흙의 경사가 일정하지 않은 경우에 대한 토압산정이 불가능하다.

시행뻐기법이란, Coulomb의 토압이론에서 토압계산공식 유도시 흠뻐기방법의 원점으로 돌아가서 옹벽배면토체내의 흠뻐기 부분에 수평면과 임의의 경사면을 이루는 수개의 활동파괴면을 가정하여 이 활동면에 대한 3각형 힘의 폐합조건으로부터 토압을 여러 차례 구하여 이 중 최대치가 시행뻐기법에 의한 주동토압이 된다. 결국 뒤채움흙의 경사가 일정한 경우, Coulomb의 토압이론에 의해 산정된 주동토압과 시행뻐기법에 의해 산정된 주동토압은 완전히 같은 값을 나타낸다.

Culmann의 도해법의 경우, 시행뻐기법과 같은 이론으로 토압을 산정하는데 토압산정방법을 도식화함으로써 여러번의 어려운 수계산 없이 도식적으로 토압을 산정할 수 있는 간편화된 방법이다.

3.2.5 파괴면을 곡선으로 가정한 경우의 토압이론(Sophisticated Method)

실제 옹벽 배면토체 파괴활동면의 형상은 주동토압의 경우, 옹벽뒤채움 하단부분이 전단응력에 의해 활동면이 곡선의 형태를 나타낸다. 그러나 직선의 활동면이

실제와 비교적 잘 일치하며 벽면마찰각만 적절히 선택한다면 토압의 합력은 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 수동토압의 경우, 기존의 파괴면을 직선으로 가정한 경우의 토압이론과는 매우 상이하며 수동토압 또한 매우 다른 값을 나타낸다. 특히 $\frac{1}{2} \gamma H^2$ (벽면마찰각)의 값이 $\frac{1}{2} \gamma H^2$ (뒤채움흙의 내부마찰각) 3 보다 크면 실제 토압과는 현저한 차이를 보이며 직선으로 가정한 토압과 비교하여 지나치게 큰 값으로 계산되어 불안전측이 된다.

토체의 파괴면의 형상을 대수나선(Log-Spiral)과 직선의 조합으로 가정하여 산정한 경우, 실제에 더욱 근접한 토압산정이 가능하다. 또 한가지 장점은 파괴면에 작용하는 토압의 합력이 자중, 반력과 함께 동점평면력계를 이룸으로서 모멘트 평형이 만족된다는 것이다. Caquot, Kerisel(1948)은 파괴면을 대수나선과 직선과의 조합으로 가정했을 때의 토압을 도표로 제시해 주었고 이 도표는 적용성이 매우 뛰어난 것으로 평가받고 있다.

<참 고 문 헌>

1. 김상규(1996), "토질역학 - 이론과 응용", 청문각.
2. 건설교통부(1997), "구조물 기초 설계기준", pp. 256 301.
3. 건설교통부(1998), "옹벽표준도작성 연구용역 종합보고서".
4. 대한토목학회(1996), "도로교 표준시방서", pp. 51 54.
5. 대한토목학회(1996), "콘크리트 표준시방서", pp. 308 315.
6. 대한토목학회(1999), "콘크리트 표준시방서", pp. 231 235.
7. 장두식(2000), "콘크리트 옹벽 설계요령" 거벽엔지니어링(주).
8. 탐구문화사(1994), "토압을 받는 구조물의 설계와 시공".
9. 탐구문화사, "옹벽설계법과 계산예" pp. 1 58.
(일본도로협회, 옹벽·칼버트·가설구조물공지침(1986)을 토대로 한 번안서적)
10. Braja M Das(1995), "Principles of Foundation Engineering 3rd Edition", IT P publication, pp. 273 351
11. Canadian Geotechnical society(1992) "Canadian Foundation Engineering Manual " 3rd Edition pp. 377 384, 429 438
12. HONGKONG(1982), "GUIDE TO RETAINING WALL DESIGN", Geotechnical Control Office Civil Engineering Services Department .

지반의 개략적인 현장조사 및 시험

토목설계팀 토목대리 김태경

토목기사 이성석

1. 개 요

대부분의 건설공사는 미지의 지반(자연지반 및 인위적 지반)을 대상으로 실시되므로 경제성과 안정성 및 원활한 시공성을 확보하기 위해서는 충분한 사전 계획과 조사가 이루어져야 한다. 또한 최근의 구조물 형식이 고층화, 대형화되는 경향이 있어 합리적인 현장조사의 필요성은 더욱 절실하게 요구되고 있다. 그러나 지반조사에 대한 인식부족 및 예산편성시의 소홀함에 치우쳐 만족할 만한 조사성과를 얻지 못하는 경우가 비일비재한 상태이다. 따라서 본 기술논고는 지반조사에 대한 현장기술자 및 담당자의 이해를 돕고자 하는 목적으로 쓰여졌으며 알기 쉽고 빠르게 적용할 수 있는 기술적 접근을 시도하였다.

2. 현장조사 및 시험의 종류

현재까지 가장 일반적으로 사용하고 있는 조사방법으로는 시추조사를 들 수 있으며 근래 들어 계속 조사방법이 개발되고 있어서 시추조사 이외도 지반조건을 확인 할 수 있는 방법이 여러 가지 있다. 또한 각각의 현장조사와 병행하여 현장 시험 및 실내시험이 이루어지기도 한다. 각 현장의 실정에 부합되는 조사, 시험의 채택이 기술자의 몫이라 할 수 있으며 조사 및 시험의 종류를 도표로 정리하면 다음의 [표 1], [표 2], [표 3]과 같다. 세부적인 내용 및 유용성은 다음절에 기술하였다.

3. 현장조사

3.1 지표지질조사

흔히 조사의 방법 중 소홀히 취급하여 생략하기 쉬우나 조사의 큰 흐름을 잡

을 수 있는 꼭 필요한 단계라 할 수 있다. 건설공사에 대한 조건으로 작용하는 지질특성 및 지질재해를 고려한 타당성 평가를 할 수 있으며 구조물 건설 최적지를 선정할 수 있다. 수계를 형성하는 골짜기를 파악하여 정성적인 수리평가를 할 수 있고 터널공사시 산세 및 지세를 파악하여 편도압 및 응력분포를 예측 할 수도 있으며 도로사면 공사시 주절리 및 연속성 등을 평가할 수 있다.

[표 1] 현장조사

항 목	방 법	적용지반	성 과	특 성
지표지질조사	답사, Clinocompass	흙, 암	분포지반, 노두, 침하, 사면	지질도, 암종, 시대구분, 구조대, 주향 · 경사
시굴조사 (Test Pit)	삽, 곡괭이 백호우	흙, 풍화암 (절토, 토취 장)	육안판단 Block시료 Bulk시료	토양변화율, 심도 1-2m → γ, C, ψ (사면안정) → 다짐, C.B.R
핸드오거보링 (H.A.B)	Auger 회전	성토, 연약지 반	연속지층 교란시료	심도 2-3m (5m) 점토, 지하수위위, 사질토, 자갈콘관
시추조사	Percussion Rotary Auger	흙, 암 흙, 암 자갈, 암:×	지층구성, 연경도, 상대밀도, 시료 (교란, 불교란, 암 반)채취, 현장시험 병행	BX (63.5mm, 41.2mm) NX (76.2mm, 53.9mm) Metal Bit Diamond Bit Single · Double · Triple Tube Core barrel
자연시료채취 (U/D)		주로 점성토	자연시료채취 (불교란시료)	Thin wall sampler Foil sampler Denison sampler
물리탐사 (지구물리탐사, 지표탐사)	탄성파탐사 전기탐사 (전기비저항) 음파탐사	흙, 암	층구성, 약대	리퍼빌리티, 광역, 빠르 게, 지하수, 공동, 접지 · 전기방식, 수면하지 층 구조 (※ 시추조사와 병행)
물리검층 (공내검층, 속도검층)	Down hole Up hole Cross hole	흙, 암	V_p, V_s	G, E, ν (동적특성)

[표 2] 현장시험

항 목	방 법	적용지반	성 과	특 성
들밀도시험	모래치환법 (Core 절삭법, 고무막 법)	5cm 이하 흙	자연상태, 느 슨한 상태, 단 위중량	L, C 값
현장투수시험	수위회복법 관측정법 압력주수법(수압시험, Lu 시험)	흙 흙 암반	투수계수 투수계수 Lu치, K	P-Q 관계도
원위치시험 (Sounding)	표준관입시험(SPT : Standard Penetration Test)	1cm 정도이 상 자갈층 제외한 토질	N치 교란시료채취 층구분	보정(토질, 길이, 상재압) 교란시료채취 점성토 신뢰성 결여
	정적콘관입시험 (S.C.P.T) 휴대용콘관입시험 화란식콘관입시험 피조콘관입시험 (3성분 콘관입시험)	주로 점성토	점착력(C) 선단지지력 주면마찰력 간극수압	지반개량효과판단 심도별연속시험 시료채취불가
	동적콘관입시험 (DCPT : Dynamic Cone Penetration Test)	주로 사질토	$N_6 = 1.15N$	SPT에 비해 연속적임 시료채취불가 시추조사보완
	Vane 전단시험	점성토	점착력	지반개량효과판단 과대측정→PI보정 연속적이지 못함 초연약, 예민비, 시료채취불가
재하시험 ① 연직 ② 수평	평판재하 말뚝재하 공내재하	흙, 암반 흙, 암반 흙, 암반	지지력, K_v 지지력 E, K_0	지층파악, Scale effect 정재하, 동재하, SPLT 공벽유지, 수직도

[표 3] 실내시험

구 분	성 과	이 용	구 분	성 과	이 용
1) 토성시험					
함수비	ω	상태판단 $\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + \omega}$	CBR	CBR	포장두께 다짐관리 (암, 호박돌)
비 중	G(Gs)	단위중량 $e = \frac{G_s}{\gamma_d} \gamma_w - 1$ $n = \frac{e}{1 + e} \times 100\%$ $G \cdot W = S \cdot e$	압 밀	C_c, m_v C_r, e C_v P_c	침하량 침하소요시간 OCR 투수계수($k = C_v \cdot m_v \cdot \gamma_w$)
액성한계 소성한계	LL, PL, PI	흙분류 역학특성 추정	입도(체 · 입도분석)	NO.4, NO.200 D_{10}, D_{30}, D_{60}	흙분류 역학특성 추정
일축압축	q_u, E_s, γ_t	$c = \frac{q_u}{2}$ 연경도 ($q_u = \frac{N}{8}$) 예민비	삼축압축	UU : C_u CU : ψ_u $\overline{cu} : \overline{c}, \overline{\psi}$ CD($\overline{cu}$) A, B γ_t, E_s	$\psi=0$ 해석 강도증가율 유효응력해석 ΔU 압밀상태판 단, 포화도 관리
직접전단	c, ψ γ_t	(삼축포함해서) 토압계산, 지지력계산, 사면안정, 연약지반	투 수	정수위:사질토 변수위:점성토	침투유량계산
다 짐	$\gamma_d - \omega$ OMC, γ_{dmax}	상대밀도, 다짐도(다 짐관리) 토량변화율			
2) 암석시험					
암석일축 압 축	$\sigma_c(S_t)$ ν, E_s	RMR, 발파구분 지지력, 변형해석	삼축압축	c, ψ	기초, 터널, 사면
인 장	σ_t	Mohr원	절리면 전 단	ψ	기초, 터널, 사면
점하중	$I_{s(50)}$	일축압축강도추 정 (임의의 시료)	(암반)초기 지압측정	응력해방법 수압파쇄법 AE법	K_0
3) 동적시험 : 초음파, 공진주, 반복삼축압축, 반복단순전단, 반복비틀전단 ⇒ E, G, ν : 진동하중에 의한 기초지반거동 해석					
4) 재료시험 : 비중 및 흡수율, 마모, 안정성, 피막박리, 체가름, 배합설계					
5) 기 타 : 유기물함량(중크롬산법, 강열감량법), 팽창성(팽윤, Swelling), 비화 · 열화(slaking)					

3.2 시험굴 조사 (Test pit)

일반적으로 인력굴착에 의한 상부토층의 상태를 파악하기 위한 현장시험이며 1m×1m의 넓이로 2m 가량 굴착해 나가면서 심도별 지층의 logging과 함께 현장 시험을 실시한다. 절토 예상지역 및 토취장을 상대로 하여 들밀도시험을 병행하며 이때 얻어지는 토량환산계수(C.L값) 및 현장단위밀도를 이용하여 유용토의 토적량 계산 및 다짐의 정도를 파악 할 수 있다. 또한 이때 채취된 Bulk(현장 흙덩어리) Sample을 이용하여 실내 다짐시험을 실시하여 CBR 시험을 병행 할 수도 있다.

3.3 시추조사

현장에서 가장 일반적으로 널리 사용되는 현장 조사법으로서 그 용도와 적용 범위는 상당히 광범위하며 간략적인 개요 및 조사방법은 다음과 같다.

3.3.1 개 요

시추조사는 다음과 같은 사항을 규명하기 위하여 실시한다.

- 지층의 물리적, 공학적 특성 측정
- 지하수 분포상태 규명

3.3.2 규격화된 시추조사 방법

시추조사는 시추기를 사용하여 표준관입시험과 시료채취를 병행하는 방법으로 실시하며, 조사구경은 연약지반의 역학적 특성 및 자연시료(U/D) 채취를 위하여 NX규격(76mm)으로 실시하거나 개략적인 지층파악을 위해서는 BX규격(64mm)으로 실시한다. 조사심도는 조사목적에 따라 상이하며 구조물 기초의 경우 지지층까지, 연약지반의 경우 연약지층 이하까지의 조사심도가 요구되며 세부적인 내용은 각각의 관련규정에 의해 실시한다.

시추작업과 병행하여 지층의 상대밀도와 구성성분을 파악하기 위하여 지층이 변하거나 또는 동일지층의 경우라도 1.5m 간격으로 표준관입시험을 한국산업규격(KS F2318)에 규정된 방법에 의거 연속성 있게 실시한다. 표준관입시험 과정에서 채취된 교란시료는 현장에서 육안에 의한 흙의 분류를 실시하여 주상도에 기재한 다음 후일의 참고를 위하여 시료상자에 넣어 보관한다.

연약층의 역학적 특성을 판명하기 위하여 연약지층이 발견될 시에는 시추구경을 4"로 증가시키고 3" Thin Wall Tube 가 부착된 Hydraulic Piston Sampler를 사용하여(KS F2317) 자연시료를 채취하며, 채취된 시료는 함수비가 변하지 않도록 Tube의 양단을 파라핀(Paraffin)으로 밀폐한 후 시험실로 운반하여 토성 및 역

- 시험을 실시한다. 지하수위는 시추조사가 완료된 후 24시간 이상이 경과한 후에
- 공에 대하여 안정된 지하수위를 측정한다.



<사진 3-1> 시추장비 및 시추광경

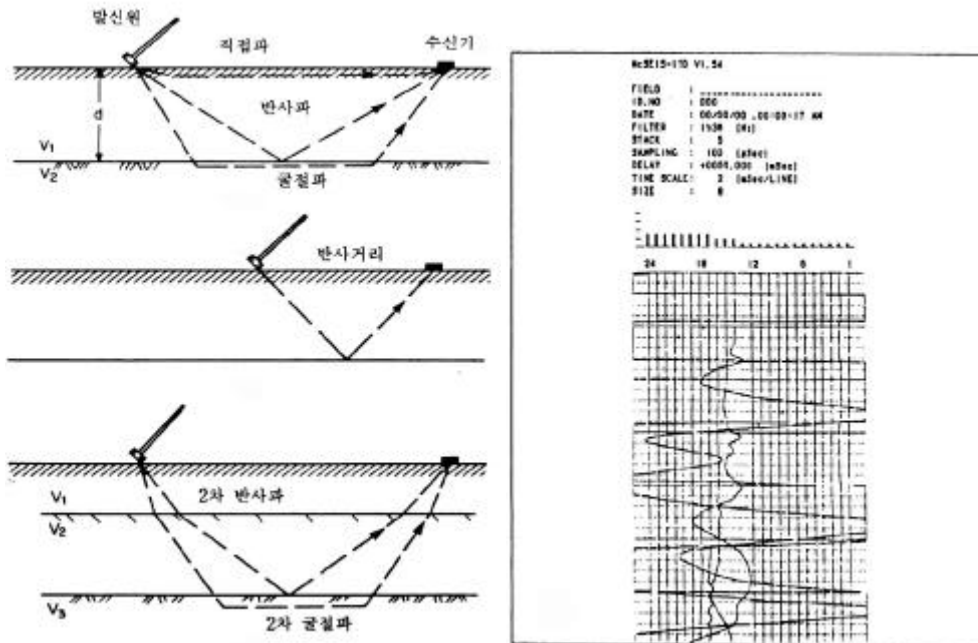


<그림 3-1> 스플릿 베럴 샘플러

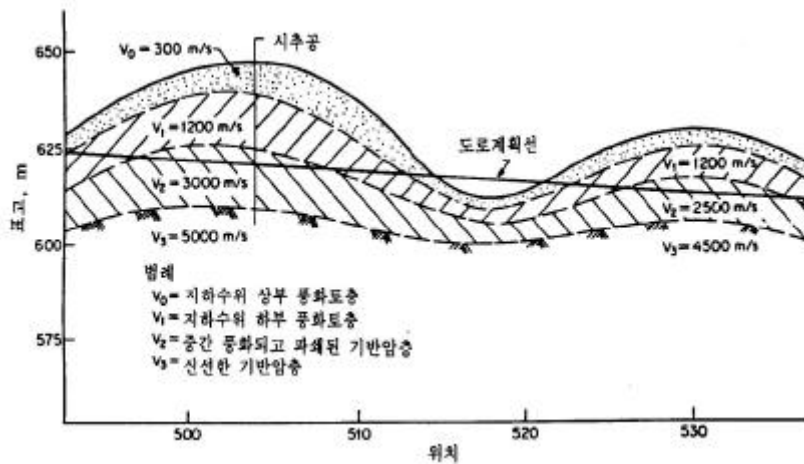
3.4 탄성파 탐사

3.4.1 탄성파탐사 개요

지표상에 있는 한 발신원에서 탄성파는 지층 내부를 통과하여 전달되는데, 이 과정에서 매질이 변할 경우 탄성파는 굴절되거나 반사된다. 이와 같이 굴절되거나 반사되어 다시 지표로 돌아나온 탄성파를 수신하는 방법으로 탄성파탐사를 실시한다. 탐파에 대한 자세한 내용은 생략하기로 하고 간략한 그림으로 대신 한다.



실제 현장에서 얻어지는 각 파형별 원시 데이터는 앞의 그림과 같고 이를 이용한 주시곡선에 의해 아래와 같은 지층을 나눌 수 있다.



4. 현장시험

4.1 들밀도시험 (In-place density test)

- KS F2311-91 ASTM D1886-90 AASHTO 191-86b

현장에서 건조밀도를 측정하여 상대다짐도(Relative Compaction)를 검사한다. 현장의 Test pit(시험굴)에서 실시하며 모래치환법, 고무막법, 절삭법 등이 있으나 모래치환법이 가장 일반적으로 사용된다.

4.2 현장투수시험

- KS F2322 ASTM D2434 AASHTO T215 DIN18130T1

지반의 투수성은 흙의 구조골격에 따라서 달라지며 시료를 불교란 상태로 채취하기가 거의 불가능하기 때문에 실내투수시험으로는 실제의 현장투수계수를 구하기가 매우 어렵다. 특히 사질토는 비교란 상태로 채취하기가 거의 불가능하여 실내시험으로는 현장투수계수를 구할 수 없다. 따라서 현장시험을 통해서만 신뢰성 있는 투수계수를 구할 수 있다. 그러나 현장투수시험은 많은 시간과 비용이 소요되므로 현장여건과 지반상태 및 시험방법을 숙지한 후에 실시하여야 한다.

현장투수시험은 지하수위가 높은 곳에서는 양수시험, 반대로 지하수위가 낮은 곳에서는 주수시험을 행한다. 또한 지하수위의 흐름상태에 따라 정상상태 시험과 비정상상태 시험으로 구분한다. 시험방법은 관련 문헌을 참고 바란다.

4.3 원위치시험

4.3.1 표준관입시험 (Standard Penetration Test)

- KS F2318-91 ASTM D1586-84

표준관(Spoon-Split-Barrel 외경 5.1cm, 길이 81cm)이 부착된 rod 를 현장에 미리 굴착된 시추공에 넣고 이것을 해머(무게 63.5kg, 낙하고 76cm)로 타격하여 관입시킨다. 표준관의 관입량이 30cm될 때까지의 해머의 낙하횟수(N-값)를 측정한다. 교란시료를 채취할 수 있고 대략적인 지하수위를 측정하는 등 현장시험으로는 가장 널리 이용된다.

- ① 시험심도를 확인하고 해머(무게 63.5kg, 낙하고 75cm)를 자유낙하시켜 예비 타격(관입량 15cm)시험을 한 다음 본타시험을 한다. 관입량 30cm를 전 15cm, 후 15cm로 나누어 타수를 기록한다. 다만 관입량 30cm 미만에서 50회 이상이면 타격을 중단하고 50/ 관입량(cm)으로 적는다.
- ② Split-barrel을 회전시켜 교란시료를 채취하여 회수한다. 이때 시료의 종류 색깔 특징 등을 기록한다.
- ③ 시료를 병에 넣어 시추일시/번호/심도 등을 기록한 표를 붙이고 상자에 넣어 보관한다.

4.3.2 정적 콘 관입시험

- D3441

콘 관입시험은 로드와 콘 저항체를 부착하고 지반에 삽입한 상태에서 관입이나 인발 또는 회전시키면서 그 저항을 측정하여 토층의 분포나 지지력 등을 조사하는 사운딩(Sounding)의 일종이다. 이러한 사운딩은 현장의 본래 위치(깊이)에 있는 흙에 대해서 측정하기 때문에 원위치 시험으로서의 신뢰성이 높다. 측정심도가 한정되지만, 보링을 하지 않으므로 간단하고 적은 비용으로 실시할 수 있다. 깊이 방향으로 연속적으로 측정하여 지층의 강성도, 성토의 다짐상태, 지층의 배열, 지반개량효과, 압밀에 의한 강도증가 등을 판정할 때에 적용할 수 있다. 또한 지표부근에서 실시하여 교통량하중의 영향에 의한 trafficability를 판정할 수 있다.

콘관입시험의 결과는 콘의 치수와 표면상태를 확인해야 한다. 또한 콘은 흙

입자 등에 의해 표면이 마모되거나 손상되지 않을 만큼 충분히 강성이 큰 재료로 된 정품만을 사용하여야 한다.

콘 관입시험은 다음의 두 가지 방법으로 나뉘어진다.

- 정적 콘관입시험
- 동적 콘관입시험

4.3.3 동적 콘관입시험

■ D3441

- ① 로드의 끝에 콘을 부착시키고 지표면에 수직으로 시험위치에 세운다.
- ② 63.5kgf의 햄머를 75cm 높이에서 자유낙하시킬 때 콘이 30cm 관입되는데 소요되는 타격횟수를 구한다.
- ③ 콘이 소요깊이에 관입될 때까지 매 30cm 관입에 필요한 타격횟수를 기록한다. 이때의 장비의 손상을 방지하기 위하여 10cm 관입시 타격횟수가 20회를 초과하면 타격을 중지한다. 소요깊이가 6m를 넘을 때는 로드의 마찰영향이 크므로 안정액을 이용하여야 한다.

4.3.4 베인 전단시험(Vane Test)

■ KS F2342-91 ASTM D2573-78

Rod에 부착된 축에 날개 4개를 +자형으로 조립한 기구를 점성토 지반에 관입하여 회전시키면 지반이 원통형으로 파괴된다. Vane이 지반을 스치면서 파괴되는 과정에서 Vane의 회전축 각도와 회전모멘트(Torque)를 실측하여 흙의 전단저항력을 구한다. 시험방법은 관련 문헌을 참고 바란다.

4.4 재하시험

재하시험에는 평판재하시험, pile 재하시험 등이 있으며 각각에 대한 개요 및 시험과정은 다음과 같다.

4.4.1 평판재하시험

■ KS F2444-95 ASTM D1194-87 ASTM D1196-78

현장의 시험위치에 설치한 강성재하판을 단계적 하중을 가해서 침하량을 측정한 자료에서 지반의 전단파괴유형, 극한 및 항복지지력, 지반반력계수, 변형계수 등을 구한다. 다만, 건물의 기초지반과 도로에 대해서 별도로 규정되어 있으나 시험기구와 해석방법이 거의 같다.

4.4.2 말뚝 정재하시험

- KS F2445-92 ASTM D1143-87

시공된 말뚝머리에 정하중을 단계적으로 증가 또는 감소시키고 하중지속 시간에 따른 침하량을 측정해서 하중-침하량, 침하량-시간, 시간-하중 관계를 해석해서 말뚝의 극한 및 항복 지지력을 구한다. 하중재하 방법은 연약재하 시험(ASTM D1143-87), 인발시험(ASTM D3689-90), 수평재하시험(ASTM D3966-90)이 있으며 단일 Cycle과 다중 Cycle이 있다.

4.4.3 말뚝 동재하시험

- KS F2439 ASTM D3689

정적 말뚝 정재하시험은 말뚝설계하중의 2배 이상의 사하중을 필요로 하므로 시간과 비용이 막대할 뿐만 아니라 극히 제한된 수의 말뚝만을 시험할 수밖에 없는 단점을 가지고 있다. 이것을 극복하고자 1964년 Case Western University에서 정하중 재하시험을 대신하여 간편한 방법으로 말뚝의 지지력을 알 수 있는 말뚝 동재하시험(DPT :Dynamic Pile Load Test)방법을 연구 개발하였다.

이렇게 연구 개발된 동적재하시험은 특히 설계하중이 큰 해양 구조물의 기초 말뚝에 정하중시험을 대신하여 널리 사용하게 되었다. 동적재하시험에서는 각 타격시마다 계측 값을 측정하여 그 계측 값으로 시공 중인 말뚝과 해머에 관한 자료를 얻을 수 있다.

동재하시험에서는 큰 하중을 가하지 않고 비교적 작은 충격하중을 가하고 시간에 따른 파의 속도와 변형률을 측정하고 소위 CASE방법, CAPWAP방법 등으로 해석하여 말뚝의 지지력을 구한다.

5. 실내시험

실내시험에는 다음과 같은 항목이 있으며 설계 및 시공에 필요한 제반 토질정수 및 특성을 파악하기 위해 꼭 필요한 수행과정이다.

실내시험 자체만으로도 그 분량이 방대하므로 본고에서는 종류와 결과치만을 나열하고 추후에 기술논고 하기로 한다.

- ① 함수비시험 (KS F2306 BS1377 ASTM D2216 AASHTO T265)
 - Water Content (W_n)
- ② 비중시험 (KS F2308 BS1377 ASTM D854 DIN 18124)
 - Specific Gravity (G_s)
- ③ 액·소성시험 (KS F2303 BS1377 ASTM D423 AASHTO T89)
 - Liquid Limit (LL), Plastic Limit (PL), Shrinkage Limit (SL)
- ④ 입도분석시험 (KS F2301 KS F2302 BS1377 ASTM 421, 422)
 - Sieve Analysis (조립토), Hydraulic analysis (세립토)
- ⑤ 일축압축시험 (KS F2314 BS1377 ASTM D2166 AASHTO T208)
 - unconfined strength q_u (in UU condition)
- ⑥ 삼축압축시험 (KS F2346 BS1377 ASTM D2850 AASHTO T226)
 - UU Test, CU Test, CD Test
 - Confined shear strength C_{uu} C_{cu} C_{cd}
 - angle of internal friction ψ
- ⑦ 직접전단시험 (KS F2343 BS1377 ASTM D3080 AASHTO T236)
 - confined shear strength C_u
 - angle of internal friction ψ
- ⑧ 투수시험 (KS F2322 ASTM D2434 AASHTO T215)
 - permeability (K)
- ⑨ 다짐시험 (KS F2312 BS1377 ASTM D698 AASHTO T99)
 - Optimum water Content (W_{opt})
 - Maximum dry density (γ_{dmax})
- ⑩ 압밀시험 (KS F2316 BS1377 ASTM D2435 AASHTO T216)
 - Void ratio (e)
 - Coef. of compressibility (a_v)
 - Volumetric compressibility (M_v)
 - Coef. of consolidation (C_v)
 - permeability (K)
 - Compression index (C_c)

6. 현장별 유용한 조사 및 시험적용

많은 종류의 조사 및 시험을 모두 시행할 수 있다면 여러 가지 지반조건 및 형상, 특성 등을 정량적으로 파악할 수 있으나 비용, 시간적인 면에서 현실상 어려움이 있으므로 꼭 필요한 조사 및 시험을 각 현장별 상황에 맞게 적용한다면 가

장 합리적이고 경제적인 조사 시험이 될 수 있다. 각 현장별로 타당한 현장 조사 및 시험은 다음과 같다.

6.1 신설도로 현장

6.1.1 조사범위

- ① 상세한 지반의 토층구성 상태, 분포범위
- ② 지지층 및 암반의 깊이
- ③ 흙 및 암반에 대한 구체적인 물리적, 역학적 성질
- ④ 지하수위, 지하수량 등의 지하수에 대한 거동

6.1.2 조사항목

① 핸드오거보링

성토지역이나 연약지반을 대상으로 하여 지층의 구성 상태와 연약지반의 분포범위를 파악하기 위하여 250m 간격으로 지표면 아래 2-3m 정도의 심도로 실시한다.

② 시추조사

지반의 성층상태 및 기반암의 암질변화 등을 파악하기 위하여 실시하며 조사 심도는 다음과 같다.

- 연약지반 : 퇴적층 하부 지반에서 1.0m 깊이까지
- 절토부 : 종단계획고하 1.0m 깊이, 도중에 경암층 도달후 1.0m까지(횡방향 조사시)
- 교량부 : 경암층 도달후 1.0m까지, 풍화암 10m까지
- 터널부 : 터널계획고 까지 (위치는 입구, 중앙부, 출구 최소 3개소 이상)

③ 표준관입시험

시추작업과 병행하며 지층이 변하거나 또는 동일 지층이라도 1.5m 간격으로 토층의 상대밀도 또는 연경도(Consistency), 토층구성상태를 파악하기 위하여 실시하며 이때 채취된 시료중 대표적인 시료는 물성시험에 이용한다.

④ 시험굴조사

계획노선의 절토지역과 토취장 후보 지역을 대상으로 하여 250m 간격으로 조사한다. 시험굴 조사는 성토재료로서의 사용가능성 여부 및 도로 노반재료로서의 적합성 여부, 성토재의 다짐특성 등을 파악하기 위하여 실시하며 시험굴 조사시 현장들밀도 시험을 병행하여 실시한다.

⑤ 자연시료채취

지반의 역학적 특성을 규명하기 위하여 연약한 점토층($N < 6$)에 대하여 sampler에 의한 불교란시료를 채취한다.

⑥ 동적 콘관입시험

교량구조물 좌, 우측에 한 개소씩 지중의 동적응력 파악 및 원위치 전단강도를 측정하기 위하여 실시한다.

⑦ 탄성파탐사

터널설치 지역에 대하여 암반, 심도, 파쇄대나 단층의 존재유무 등 지하 지질구조를 조사하기 위하여 실시한다.

⑧ 공내수평재하시험

터널의 변형해석에 이용되는 암반의 탄성계수, 내압강도 등 터널의 설계에 필요한 자료를 얻고자 실시한다.

⑨ 재료원조사

도로건설에 사용되는 포장용골재 구조물용 골재 및 성토재료의 공급계획 및 매장량을 추정하기 위하여 하천골재, 석산골재, 토취장 지역에 대한 조사를 실시한다.

⑩ 토질시험 및 암석시험

각 토질의 물리적, 역학적 특성을 파악하고 설계에 필요한 토질정수를 산정하기 위하여 실내시험을 실시한다.

6.2 토취장 및 사토장 조사방법

6.2.1 토취장

① 개략조사

- 각 후보지 별로 1개소 정도 auger boring을 실시후 시료를 채취한 후 토질시험을 실시
- 지형도, 항공사진, boring 결과로부터 토취 가능량 산정

② 본조사

- 개략 조사에서 선정된 토취장에 대하여 토층구성을 위한 조사 및 실내시험을 실시
- 약 5000m^3 에 1-3개소씩 보링을 실시
- 광범위한 지역에 대해서는 물리탐사를 실시
- 시험굴, 보링에 의하여 시료 채취후 함수비, 입도, 연경도, 다짐시험 실시
- 건설기계의 교통성(Trafficability) 확보 여부에 대한 검토 실시

6.2.2 사토장

- ① 사토 후에는 택지 또는 공장 용지 등으로의 이용여부에 맞춰 주변환경 보전 및 방재에 대한 대책을 수립해야 한다.
- ② 불량토의 사토장인 경우에는 시공중 및 시공후의 토사 유출이나 붕괴 등의 위험성 등에 대한 대책이 요구됨
- ③ 사전 배수 및 기존 수로의 대체를 확실히 한다.
- ④ 반입로 및 현장내 운반로의 계획 및 유지보수에 주의하고 매립인 경우에는 성토의 배수도 고려한다.

6.3 지하철 공사구간

6.3.1 시추조사

- 시추간격 : 100m 마다 실시(지층변화시 추가)
- 시추규격
 - * 개착구간 : BX(mm)
 - * 터널예상구간 : NX(mm)
- 시추심도
 - * 개착구간 : 경암 1m 또는 암층이 확인되지 않을 경우 지지층 5m 까지
 - * 터널구간 : 계획고 하부 1m 또는 암층이 확인되지 않을 경우 계획고 하부 5m까지

6.3.2 물리탐사

시추조사의 미비점을 보완하기 위하여 지질학적인 위험요소가 내포된 지역을 대상으로 전기비저항 탐사를 실시한다.

6.3.3 현장 원위치시험

- ① 표준관입시험
- ② 지하수위 측정

시추완료후 48시간 경과후에 측정(굴착공사시 차수 및 배수공법을 선정하기 위함)
- ③ 현장투수시험

토사층 및 packer 설치가 불가능한 연암층 파쇄대의 투수성을 파악하기 위하여 실시
- ④ 수압시험

터널구간에 대하여 기반암층의 투수성을 파악하기 위하여 single packer system으로 실시

⑤ 공내 횡방향 재하시험

터널구간에 대하여 터널변형해석을 하기 위하여 실시

⑥ 공내 탄성파 시험

구조물 하부 통과구간이나 기존 지하철 노선과 인접한 지역에 대하여 지진 등 동역학적 지반특성을 규명

6.3.4 실내시험

① 토질시험

- 물성시험 - 역학시험

② 암석시험

- 일축 압축강도 시험
- 인장강도 시험
- 골재 품질시험
- 삼축 압축강도 시험
- 절리면 전단강도 시험

6.4 연약지반

6.4.1 개략조사

① 목적

현장 답사에서 선정한 연약지반의 대표적인 지점의 심부까지 사운딩 및 보링을 실시하여 지반의 성층상태와 토층의 성질을 조사하여 설계, 시공의 기본적인 방침 결과 자료를 얻기 위하여 실시한다.

② 조사항목

- 사운딩(표준관입시험, 동적관입시험, 베인 전단시험)
- 보링
- 자연시료채취 및 표준관입시험에 의한 교란시료채취
- 현장원위치 시험(투수시험, 각종 재하시험)
- 실내토질시험(물성시험, 역학시험)

6.4.2 정밀조사

① 개략조사 내용분석 및 보완조사

② 실시설계 수준의 빈도로 조사

③ 조사항목은 개략조사와 같음

6.5 사면

6.5.1 개략조사

1) 자료조사

- ① 지질도, 문헌 등에 의한 조사지역의 개략적인 지질구조나 암질을 파악
- ② 지형도, 항공사진으로부터 산사태 지형이나 단층, 파쇄대 등을 확인
- ③ 지형도로부터 원지반의 자연구배를 측정
- ④ 조사대상 인접부근의 사면 붕괴 등에 대한 자료수집

2) 지표지질 : 지표조사 결과를 검토해서 상세조사의 위치나 빈도를 결정하기 위하여 실시

- ① 지표지질조사 : 지질조사(주향, 경사, 절리의 방향과 규모, 단층파쇄대의 규모), 암질(암의 분류, 풍화의 정도, 경·연 등)조사, 용출수 및 배수상태 조사, 애추나 풍화도의 분포상태 등을 조사
- ② 붕괴형태조사 : 붕괴부분에 대하여 측량을 한후 붕괴면의 위치, 범위 등을 표시한 붕괴도(평면도, 횡단면도)를 작성한 후 균일지반의 위치, 용수지점의 위치를 기입한다.

6.5.2 상세조사

1) 보링 조사 : 대상지반의 깊이방향의 지질, 활동면의 위치를 조사하기 위하여 실시

- ① 보링조사는 붕괴지의 상, 중, 하부에 한 공씩하고 붕괴하지 않은 지점에 한 공을 실시
- ② 시추조사내용
 - 보링코아를 채취하고 암종, 암질(경·연, 풍화도) 또는 토질을 조사한다.
 - 표준관입시험을 실시하고 현 위치에서의 강도를 구한다.
 - 지하수위를 측정하고 용수를 조사한다.

2) 시험굴조사(Test pit) : 조사내용으로

- 흐트러지지 않은 시료채취 : 단위체적중량, 입도시험, 일축압축, 삼축압축 시험 실시
- 공내관찰 : 지층의 주향, 경사, 활동면의 위치 등을 확인한다.

3) 동태관찰

대부분의 산사태는 붕괴전후에 변위를 수반하게 되므로 이 변위의 경시적 변화를 측정하고 그 후의 안정을 추정하여 대책공법 검토시 기본자료로 활용하고 측정방법은 다음과 같다.

- ① Landsliding : 2점간의 변위량 및 변위속도를 연속해서 측정하는 계기이다.
 - ② 변위말뚝 : 말뚝의 수평, 수직의 이동량을 측량해서 지반의 변위를 구함.
 - ③ 경사계 : 경사계는 사면에 매설하여 수평변위를 측정한다.
 - ④ 간극수압계 : 간극수압곡선으로 유효응력을 검토한다.
- 4) 기타조사 : 필요한 경우에 물리탐사 및 현장전단시험을 실시한다.

건설관련 한국산업규격 목록

현장의 공사수행 및 시험업무에 참고가 되도록 KS F(토건)의 규격 목록을 수록합니다.

일반구조

- F 1001 토목 제도 통칙
- F 1002 도로 및 포장용 재료의 정의
- F 1003 토질 역학에 관한 용어 및 기호의 정의
- F 1004 콘크리트 용어
- F 1005 지반용 섬유 용어
- F 1010 건축물의 부위별 성능 분류
- F 1501 건축 제도 통칙
- F 1502 창호 기호
- F 1503 건축 모듈 정합 원칙 및 기준
- F 1504 건축용 내외장 재료 관계 용어
- F 1505 건축 구성재의 기본 공차 및 치수 정하기
- F 1507 건축물의 용도별 단독 정화조의 처리 대상 인원 산정 기준
- F 1508 건축 모듈 정합 관련 용어
- F 1510 건축 구성재의 모듈 정합을 위한 우선 치수
- F 1513 건축용 내력 벽판의 표준 모듈 호칭 치수
- F 1514 건축용 내력 바닥판의 표준 모듈 호칭 치수
- F 1515 건축물 창호의 모듈 치수 정합
- F 1517 건축용 이동 칸막이 구성재의 표준 모듈 호칭 치수
- F 1518 건축용 보드류의 표준 모듈 호칭 치수
- F 1519 목재의 제재 치수
- F 1520 공장 제품 계단의 표준 치수
- F 1521 공장제품 난간의 설치 기준
- F 1523 주택용 주방 설비의 정합 치수
- F 1525 건축 모듈 정합 설계 기준

- F 2010 개수로의 유량 측정방법
- F 2101 구조물의 침하 측정방법
- F 2102 흙의 간극수압 측정방법
- F 2103 흙의 PH 값 측정 방법
- F 2104 강열 감량법에 의한 흙의 유기물 함유량 시험 방법
- F 2121 지반용 섬유의 샘플링 방법
- F 2122 지반용 섬유의 두께 측정방법
- F 2123 지반용 섬유의 무게 측정방법
- F 2124 지반용 섬유의 인장강도 시험방법
- F 2125 지반용 섬유의 파열강도 시험방법
- F 2126 지반용 섬유의 유효 구멍 크기 측정방법
- F 2127 지반용 섬유의 인열강도 시험방법
- F 2128 지반용 섬유의 수직 투수성 시험 방법
- F 2129 방화 셔터의 검사 표준
- F 2130 구조물의 설계 기본-지붕의 적설 하중 측정방법
- F 2131 자동차 정비 공장 및 주차장 건물의 바닥에 가해진 하중 결정 방법
- F 2150 구조용 실대재의 휨 시험방법
- F 2151 침엽수 구조 용재의 육안 등급 구분 방법
- F 2152 침엽수 구조 용재의 허용 성질 결정 방법
- F 2483 보의 절편에 의한 폴리에스테르레진 콘크리트의 압축강도 시험방법
- F 2484 폴리에스테르 레진 콘크리트의 사용 가능 시간 측정방법

시험, 검사, 측량

- F 2200 목질 판상재의 밀도 측정방법

F 2201	목재의 시험 방법 통칙		가로 인장 강도 시험 방법
F 2202	목재의 평균 나이테 간격 함수율 및 밀도 측정 방법	F 2234	폴리스티렌 강화 목모 시멘트판의 밀도 및 표면 중량 측정방법
F 2203	목재의 수축률 시험 방법	F 2235	창호의 차음 시험 방법
F 2204	목재의 흡수량 측정 방법	F 2236	문세트의 모래주머니에 의한 내충격성 시험방법
F 2205	목재의 흡습성 시험 방법	F 2237	창호의 개폐력 시험 방법
F 2206	목재의 압축 시험 방법	F 2238	외여단이문의 면내 변형 시험방법
F 2207	목재의 인장 시험 방법	F 2239	창호의 손잡이대 강도 시험방법
F 2208	목재의 휨 시험 방법	F 2240	유리섬유 강화 플라스틱의 시험방법 통칙
F 2209	목재의 전단 시험 방법	F 2241	유리 섬유 강화 플라스틱의 인장 시험 방법
F 2210	목재의 갈라짐 시험 방법	F 2242	유리 섬유 강화 플라스틱의 휨 시험방법
F 2211	목재의 충격 휨 시험 방법	F 2243	유리 섬유 강화 플라스틱의 압축 시험방법
F 2212	목재의 경도 시험 방법	F 2244	유리 섬유 강화 플라스틱의 섬유 함유율 측정방법
F 2213	목재의 내후성 시험 방법	F 2245	유리 섬유 강화 플라스틱의 공동률 측정방법
F 2214	목재의 못뽑기 저항 시험 방법	F 2246	유리 섬유 강화 플라스틱의 층간 전단 시험방법
F 2215	목재의 마모 시험 방법	F 2247	유리 섬유 강화 플라스틱의 가로 전단 시험방법
F 2216	나무벽돌 접착제의 접착 강도 및 그 접착공법의 접착강도 시험방법	F 2248	유리 섬유 강화 플라스틱의 면내 전단 시험방법
F 2217	천정용보드류 접착제의 접착강도 및 그 접착공법의 접착강도시험 방법	F 2249	유리 섬유 강화 플라스틱의 바콜 경도 시험방법
F 2218	벽용 보드류 접착제의 접착 강도 및 그 접착공법의 접착강도 시험 방법	F 2256	건축물의 불연구조부분의 방화시험방법
F 2219	목재의 가압식 방부 처리 방법	F 2257	건축구조부분의 내화시험방법
F 2220	목재의 가열 침지식 방부처리방법	F 2257-1	건축구조부재의 내화시험방법 - 일반 요구사항
F 2221	건축용 보드류의 충격 시험 방법	F 2257-4	건축구조부재의 내화시험방법 - 수직 내력 구획 부재의 성능조건
F 2222	주택용 조립식 욕실의 표준 모듈 호칭 치수	F 2257-5	건축구조부재의 내화시험방법 - 수평 내력 구획 부재의 성능조건
F 2223	주택용 복합 새니터리 유닛	F 2257-6	건축구조부재의 내화시험방법 - 보의 성능 조건
F 2224	주택용 수납 벽체 시스템	F 2257-7	건축구조부재의 내화시험방법 - 기둥의 성능 조건
F 2226	주택용 배관 유닛	F 2258	건축물 목조부분의 방화 시험방법
F 2227	목재의 크리프 시험 방법		
F 2228	목재의 착염성 시험 방법		
F 2229	폴리스티렌 강화 목모 시멘트판의 염소 이온 함유량 측정 방법		
F 2230	폴리스티렌 강화 목모 시멘트판의 시험 조건		
F 2231	폴리스티렌 강화 목모 시멘트판의 치수 및 직각도 측정 방법		
F 2232	폴리스티렌 강화 목모 시멘트판의 휨 강도 시험 방법		
F 2233	폴리스티렌 강화 목모 시멘트판의		

- F 2260 목조 건축물 방화용 시멘트 모르타르 바름 공법
- F 2262 미장용 시멘트 모르타르 시험방법
- F 2263 건축용 보드류의 휨 시험 방법
- F 2268 건축용 방화문의 방화 시험 방법
- F 2269 지붕의 방화 시험 방법
- F 2271 건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법
- F 2273 조립용 판 및 그 구조 부분의 성능 시험방법
- F 2274 건축용 합성수지재의 촉진 노출 시험방법
- F 2275 경첩의 반복 개폐 시험 방법
- F 2276 주택용 냉난방 유닛의 급탕 출력 평가 시험방법
- F 2277 주택용 단열재의 단열성능 시험 방법
- F 2278 창호의 단열성 시험 방법
- F 2279 주택용 설비 유닛의 전기 절연 시험방법
- F 2280 주택용 설비 유닛 치수 측정 방법 통칙
- F 2281 주택용 설비유닛의 보수/수리교체에 필요한 작업공간의 적정성 시험방법 통칙
- F 2282 주택용 설비유닛의 누설 시험방법
- F 2283 주택용 설비유닛의 배수 시험방법
- F 2284 주택용 설비유닛의 연소 장치에 대한 안정성 시험방법
- F 2285 주택용 설비유닛의 진동시키기 시험 방법
- F 2286 주택용 설비유닛의 소음 출력 측정방법
- F 2287 주택용 설비유닛의 강도 및 내구성 시험방법
- F 2288 주택용 설비유닛의 보온·단열 시험방법
- F 2289 주택용 위생 설비유닛의 방습 및 방수 시험 방법
- F 2290 주택용 배관유닛의 모듈 호칭치수
- F 2291 주택용 냉난방 유닛의 모듈 호칭치수
- F 2292 창호의 기밀성 시험 방법
- F 2293 창호의 수밀성 시험 방법
- F 2294 창호의 구조적 성능 시험 방법
- F 2295 창호의 결로 방지 성능 시험 방법
- F 2296 창호의 내풍압성 시험 방법
- F 2297 창호의 성능 시험 방법 통칙
- F 2298 건축 공사용 용접 및 용단 불꽃에 대한 난연성 시험방법
- F 2299 건축물 부재의 정상 상태에서의 단열성능 시험방법 (가열상자에 의한 방법)
- F 2300 유리 섬유 단열재의 단열성능 시험방법
- F 2301 흙의 입도시험 및 물리 시험용 시료 조제 방법
- F 2302 흙의 입도 시험 방법
- F 2303 흙의 액성 한계 시험 방법
- F 2304 흙의 소성 한계 시험 방법
- F 2305 흙의 수축 정수 시험 방법
- F 2306 흙의 함수량 시험 방법
- F 2307 흙의 표준 관입 시험 방법
- F 2308 흙의 비중 시험 방법
- F 2309 흙의 씻기 시험 방법
- F 2310 도로의 평판 재하 시험 방법
- F 2311 현장에서 모래 치환법에 의한 흙의 단위 중량 시험방법
- F 2312 흙의 다짐 시험 방법
- F 2314 흙의 일축 압축 시험 방법
- F 2315 흙의 원심 함수 당량 시험 방법
- F 2316 흙의 압밀 시험 방법
- F 2317 얇은 관에 의한 흙의 시료 채취 방법
- F 2318 스플릿 배럴 샘플러에 의한 현장 관입시험 및 시료 채취 방법
- F 2319 오거 보링에 의한 토질조사 및 시료 채취 방법
- F 2320 노상토 지지력비(CBR) 시험방법
- F 2322 흙의 투수 시험방법
- F 2323 기계적 흙다짐기의 검정 방법
- F 2324 흙의 공학적 분류 방법
- F 2325 흙 시멘트의 휨 강도(단순보의 3등분점 하중법) 시험방법
- F 2326 휨 강도 시험에 사용된 공시체에 의한 흙 시멘트의 압축강도 시험

방법		용 혼합물	
F 2327	흙 시멘트 혼합물의 시멘트 함유량 시험방법	F 2350	역청 포장 혼합물의 시료채취방법
F 2328	흙 시멘트의 압축 강도 시험방법	F 2351	역청 혼합물의 압축강도 시험방법
F 2329	시험실에서 흙시멘트의 압축/휨강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법	F 2352	다져진 역청 혼합물의 부착에 대한 수분의 영향 시험방법
F 2330	다져진 흙 시멘트 혼합물의 습윤 및 건조 시험방법	F 2353	다져진 역청 혼합물의 겉보기 비중 시험방법
F 2331	흙 시멘트 혼합물의 함수량과 밀도 관계 시험방법	F 2354	원심 분리에 의한 포장용 혼합물의 역청 함유량 시험방법
F 2332	다져진 흙 시멘트 혼합물의 동결융해 시험방법	F 2355	역청 골재 혼합물의 피막 박리 시험방법
F 2333	세립토의 함수량 관입 저항 시험방법	F 2356	가열 혼합, 가열 포설의 역청 포장 혼합물용 혼합 플랜트의 구비조건
F 2334	캘리포니아 반죽 다짐기에 의한 역청 혼합물 공시체 제작 방법	F 2357	역청 포장 혼합물용 골재
F 2335	빔기구에 의한 역청 혼합물의 변형에 대한 저항력 및 점착력 시험방법	F 2360	역청 골재 혼합물의 입자 피막 정도 시험방법
F 2337	마샬 시험기를 사용한 역청 혼합물의 소성흐름에 대한 저항력 시험방법	F 2363	역청 표면 처리용 재료의 사용량
F 2338	비행장 및 도로 포장의 평가와 설계를 위한 흙과 가요성 포장의 반복 평판 재하 시험방법	F 2364	다져진 역청 혼합물의 공극률 시험방법
F 2339	비행장 및 도로 포장의 평가와 설계를 위한 흙과 가요성 포장의 비반복 평판 재하 시험 방법	F 2365	역청 포장용 혼합물로부터 역청의 정량 추출 시험방법
F 2340	사질토의 모래 당량 시험 방법	F 2366	역청 포장 혼합물의 이론적 최대 비중 시험방법
F 2341	흙의 입도 및 물리적 성질 시험용 젖은 시료 조제 방법	F 2367	다져진 역청 포장용 혼합물 시료의 두께(또는 높이)측정 방법
F 2342	점성토의 현장 베인(VANE) 전단 시험 방법	F 2368	콘크리트 포장용 신축 이음 채움재 시험방법
F 2343	압밀 배수 조건에서 흙의 직접 전단 시험 방법	F 2369	도로 보수용 상온 역청 혼합물
F 2345	비점성토의 상대 밀도 시험 방법	F 2371	과립상 단열재의 밀도 시험 방법
F 2346	3축 압축 시험에서 점성토의 비압밀, 비배수 강도 시험방법	F 2372	역청 포장 혼합물 속의 함수량 및 휘발성 증류액 시험 방법
F 2347	고무 박막 방법에 의한 흙의 현장 밀도 시험방법	F 2401	굳지 않은 콘크리트의 시료 채취 방법
F 2348	링 배럴에 의한 흙 채취 방법	F 2402	포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법
F 2349	가열 혼합, 가열 포설 역청 포장	F 2403	콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법
		F 2405	콘크리트의 압축 강도 시험 방법
		F 2406	콘크리트 양생용 재료의 보수 능력 시험방법
		F 2407	콘크리트의 휨 강도 시험 방법(단순보의 중앙점 하중법)

- F 2408 콘크리트의 휨 강도 시험 방법(단순보의 3등분점 하중법)
- F 2409 굳지 않은 콘크리트의 단위 용적 중량 및 공기량 시험 방법(중량방법)
- F 2411 굳지 않은 콘크리트의 썩기 분석 시험방법
- F 2412 콘크리트 코어의 길이 측정 방법
- F 2413 휨 강도 시험한 공시체로 콘크리트의 압축 강도를 시험하는 방법
- F 2414 콘크리트의 블리딩 시험 방법
- F 2416 경화된 콘크리트의 시멘트 함유량 시험방법
- F 2418 콘크리트 중의 펄스속도 시험방법
- F 2419 폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법
- F 2421 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법(공기실압력방법)
- F 2422 콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도 시험방법
- F 2423 콘크리트의 인장 강도 시험 방법
- F 2424 모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험방법
- F 2425 시험실에서 콘크리트 시료를 만드는 방법
- F 2426 주입 모르타르의 압축 강도 시험 방법
- F 2427 굳지 않은 콘크리트의 반죽질기 시험방법(비비는 방법)
- F 2428 진동식 반죽 질기 측정기에 의한 콘크리트의 유동성 시험 방법
- F 2429 콘크리트의 마모 저항 시험 방법
- F 2430 관능검사에 의한 흙의 분류 방법
- F 2431 프리팩트 콘크리트의 압축강도 시험방법
- F 2432 주입 모르타르의 컨시스턴시 시험방법
- F 2433 주입 모르타르의 블리딩율 및 팽창률 시험방법
- F 2435 시멘트 모르타르 및 콘크리트에서 도려낸 공시체의 길이 변화 시험 방법
- F 2436 관입 저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법
- F 2437 공명 진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수, 동 전단탄성계수 및 동 푸아송비 시험 방법
- F 2438 콘크리트 원주공시체의 정탄성 계수 및 푸아송비 시험방법
- F 2440 콘크리트 조적재의 시료 채취 및 시험방법
- F 2441 철근의 부착에 의한 콘크리트 비교 시험방법
- F 2442 직육면체에 의한 콘크리트의 2축 압축 시험방법
- F 2444 확대기초에서 정적하중에 대한 흙의 지지력 시험방법
- F 2445 축하중에 의한 말뚝침하 시험방법
- F 2446 표면 건조 포화 상태의 공시체를 사용하는 다져진 역청 혼합물의 겉보기 비중 및 밀도 측정 방법
- F 2447 벽돌과 점토 타일 시료 채취 및 시험방법
- F 2449 굳지 않은 콘크리트의 용적에 의한 공기량 시험방법
- F 2451 건축용 시멘트 방수재 시험 방법
- F 2452 굳지 않은 콘크리트의 반죽질기의 시험방법(다짐도 방법)
- F 2453 콘크리트의 압축 크리프 시험방법
- F 2454 원심력으로 다져진 콘크리트의 압축강도 시험방법
- F 2455 믹서로 비빈 콘크리트 중의 모르타르와 굵은 골재량의 변화율(차) 시험방법
- F 2456 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법
- F 2459 기포 콘크리트의 겉보기 비중, 함수율, 흡수율 및 압축강도 시험방법
- F 2460 기포 콘크리트의 길이 변화 시험 방법
- F 2461 경량 질연 콘크리트의 압축강도 시험방법
- F 2462 구조용 경량 콘크리트의 단위 중량 시험방법

F 2463	가열판에 의한 재료의 열 전도율 시험방법	F 2511	골재에 포함된 잔 입자 (0.08mm 체를 통과하는) 시험방법
F 2465	모포형 또는 타면형 열 절연 물질의 두께와 밀도 측정 방법	F 2512	골재 중에 함유되는 점토 덩어리량의 시험방법
F 2466	결빙 방지 약품에 노출된 콘크리트 표면의 박리 저항 시험 방법	F 2513	골재에 포함된 경량편 시험 방법
F 2468	경량 콘크리트 골재의 불순물 시험방법	F 2514	모르타르의 압축강도에 의한 잔 골재 시험방법
F 2469	철근 콘크리트 우수 및 오수받이의 압축강도 시험방법	F 2515	골재 중의 염화물함유량 시험방법
F 2470	콘크리트 생산 관리용- 굵은 골재의 표면수 시험방법	F 2516	굵기 정도에 의한 굵은 골재의 연 석량 시험방법
F 2471	콘크리트의 신축이음에 쓰이는 미리 성형된 채움재의 시험방법(돌출 없이 탄력 있는 형식)	F 2517	암석의 인성 시험 방법
F 2474	폴리머 시멘트 모르타르의 슬럼프 시험방법	F 2518	석재의 흡수율 및 비중 시험 방법
F 2475	굳지 않은 폴리머 시멘트 모르타르의 단위 용적 무게 시험방법	F 2519	석재의 압축 강도 시험 방법
F 2476	시험실에서 폴리머 시멘트 모르타르를 만드는 방법	F 2523	골재에 관한 용어의 정의
F 2477	폴리머 시멘트 모르타르의 강도 시험방법	F 2525	도로용 부순 골재
F 2480	폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법	F 2526	콘크리트용 골재
F 2481	폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법	F 2527	콘크리트용 부순 골재
F 2482	폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법	F 2528	비포장 도로용 흙·골재 재료
F 2501	골재의 시료 채취 방법	F 2529	구조용 경량 잔 골재의 비중 및 흡수율 시험방법
F 2502	골재의 체가름 시험 방법	F 2530	석재
F 2503	굵은 골재의 비중 및 흡수율 시험 방법	F 2531	경량 굵은골재의 부입률 시험방법
F 2504	잔 골재의 비중 및 흡수율 시험 방법	F 2532	역청 표면 처리용 부순 골재, 부순 슬래그 및 골재
F 2505	골재의 단위 용적 중량 및 공극률 시험방법	F 2533	구조용 경량 굵은 골재의 비중 및 흡수율 시험방법
F 2507	골재의 안정성 시험 방법	F 2534	구조용 경량 골재
F 2508	로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모 시험방법	F 2535	도로용 철강 슬래그
F 2509	잔 골재의 표면수 측정 방법	F 2538	콘크리트 포장 및 구조용 신축 이음 채움재
F 2510	콘크리트용 모래에 포함되어 있는 유기 불순물 시험방법	F 2539	경화된 경량 절연 콘크리트의 압축강도 시험용 공시체의 제조 및 시험방법
		F 2540	콘크리트 양생용 액상피막 형성제
		F 2541	굵은 골재의 파쇄 시험 방법
		F 2544	콘크리트용 고로 슬래그 골재
		F 2545	골재의 알칼리 잠재 반응 시험방법(화학적 방법)
		F 2546	시멘트와 골재의 배합에 따른 알칼리 잠재반응 시험방법(모르타르 봉 시험방법)
		F 2547	콘크리트 골재용 탄산염암의 알칼리 잠재 반응 시험방법

- | | | | |
|--------|---|--------|--|
| F 2548 | 콘크리트용 골재의 암석 분류 시험방법 | F 2801 | 콘크리트 원주 공시체를 성형하기 위한 몰드 |
| F 2549 | 시멘트와 골재의 배합에 따른 잠재적인 부피 변화 시험방법 | F 2803 | 보온 보랭 공사의 시공 표준 |
| F 2550 | 골재의 함수율 및 표면수율 시험방법 | F 2805 | 간향실 내의 흡음률 측정 방법 |
| F 2551 | 절연 콘크리트용 경량 골재 | F 2806 | 플로어 힌지 및 도어 클로저의 여닫기 시험방법 |
| F 2553 | 골재의 시료 분취 방법 | F 2807 | 공기 조화·환기 설비의 풍량 측정 방법 |
| F 2556 | 표면 처리된 외벽용 도자기 타일·외벽용 벽돌·견고한 조적재 | F 2808 | 실험실에서의 음향 투과 손실 측정 방법 |
| F 2560 | 콘크리트용 화학 혼화제 | F 2809 | 건축물의 현장에 있어서 음압 레벨차의 측정 방법 |
| F 2561 | 철근 콘크리트용 방청제 | F 2810 | 건축물의 현장 바닥 충격음 측정 방법 |
| F 2562 | 콘크리트용 팽창제 | F 2811 | 건축 재료 및 구성 부품의 마모 시험방법(회전 원반의 마찰과 타격에 의한 바닥 재료의 마모 시험방법) |
| F 2563 | 콘크리트용 고로 슬래그 미분말 | F 2812 | 건축 재료 및 구성 부품의 마모 시험방법(낙사법) |
| F 2570 | 콘크리트용 잔 골재의 모래 당량 시험방법(콘크리트 생산 공정 관리용) | F 2813 | 건축 재료 및 구성 부품의 마모 시험 방법(연마지법) |
| F 2571 | 원심력에 의한 잔 골재의 표면수율 시험방법(콘크리트 생산 공정 관리용) | F 2814 | 관내법에 의한 건축 재료의 수직 입사 흡음률 측정 방법 |
| F 2572 | 아스팔트 콘크리트 재생 골재 | F 2815 | 배연 설비의 검사 표준 |
| F 2573 | 콘크리트용 재생 골재 | F 2818 | 수화 시멘트와 콘크리트 시험에 사용되는 습윤 용기·습윤실 및 저수조 |
| F 2574 | 도로 보조 기층용 재생 골재 | F 2819 | 건축용 얇은 재료의 난연성 시험 방법 |
| F 2602 | 바닥의 미끄럼 시험방법(흔들이식) | F 2820 | 플라스틱 건축재료의 옥외 노출 시험방법 |
| F 2603 | 옥내 환기량 측정방법(이산화탄소법) | F 2821 | 플라스틱 건축 재료의 내후성 평가 방법 |
| F 2604 | 건축용 외벽 재료의 내동해성 시험방법(동결 융해법) | F 2822 | 방화 댐퍼의 방연 시험 방법 |
| F 2605 | 건축용 내장 보드류의 내습성 시험방법 | F 2823 | 피복재 입힌 배관의 열 성능 측정 방법 |
| F 2606 | 건축용 외벽 보드류의 내수성 시험방법 | F 2824 | 차양의 일사 차폐 계수 간이 시험 방법 |
| F 2607 | 건축재료의 투습성 측정 방법 | F 2825 | 골재의 알칼리 실리카 반응성 신속 시험방법(콘크리트 생산 공정 관리용) |
| F 2608 | 건축재료의 선팽창률 측정 방법 | F 2826 | 욕조의 성능 시험 방법 |
| F 2609 | 건축재료의 물흡수계수 측정방법 | | |
| F 2620 | 건축용 피막 재료의 바탕 불연속 부에서의 내피로성 시험방법 | | |
| F 2630 | 문세트의 비틀림강도 시험 방법 | | |
| F 2631 | 문세트의 연직재하 시험 방법 | | |
| F 2632 | 문세트의 개폐반복성 시험 방법 | | |
| F 2633 | 자동문 개폐장치의 시험 방법 | | |
| F 2701 | 경량기포콘크리트 블록(ALC블록) | | |

F 2827 콘크리트 생산 공정 관리용 시험
방법-콘크리트 압축 강도의 조기
판정 시험방법(온수 양생법)

재료 및 부재

F 3002 건축용 방화 목재
F 3003 건축용 방화 덧문
F 3005 가압식 크레오소트유 방부 처리
침목
F 3020 침엽수 구조용재
F 3021 구조용 집성재
F 3022 목재 집성판
F 3023 핑거 조인트 목재
F 3101 보통 합판
F 3103 플로어링 보드
F 3104 파티클 보드
F 3106 특수 가공 치장 합판
F 3107 천연 무늬 치장 합판
F 3108 창문의 목재 틀재
F 3109 문 세트
F 3110 콘크리트 거푸집용 합판
F 3111 무늬목 치장 합판 플로어링 보드
F 3113 구조용 합판
F 3114 마루판용 합판
F 3117 창 세트
F 3118 수장용 집성재
F 3119 목재 단판 적층재
F 3122 가압식 방부 처리 마루틀재
F 3123 플로어링 블록
F 3124 난연 목재
F 3125 폴리스티렌 강화 목모 시멘트판
F 3126 치장 목질 플로어링 보드
F 3127 내장용 플라스틱 치장 보드류
F 3200 섬유판
F 3204 건축용 유성 코킹 재
F 3210 치장용 석면 시멘트 판
F 3211 지붕용 도막 방수재
F 3212 나무 벽돌 부착용 접착제
F 3213 벽판 부착용 접착제
F 3214 천장용 보드류 접착제
F 3215 건축용 개스킷

F 3216 건축용 발포체 개스킷
F 3217 벽지용 전분계 접착제
F 3218 비닐계 바닥재용 접착제
F 3219 플라스틱 폼 보드용 접착제
F 3501 역청 포장용 채움재
F 3503 흙음 재료
F 3504 석고 보드 제품
F 3507 석고 플라스터
F 3508 돌로마이트 플라스터
F 3510 점토 기와
F 3513 경량 골재 마무리 도장재
F 3514 석고판용 못
F 3517 패널용 페이퍼 코어
F 3701 펄라이트
F 3702 질석
F 4001 보도용 콘크리트판
F 4002 속빈 콘크리트 블록
F 4004 콘크리트 벽돌
F 4005 콘크리트 및 철근 콘크리트 L 형
F 4006 콘크리트 경계 블록
F 4007 콘크리트 양생용 시이트재
F 4008 콘크리트 전선관
F 4009 레디믹스트 콘크리트
F 4010 철근 콘크리트 플룸 및 벤치 플룸
F 4011 철근 콘크리트 케이블 트로프
F 4012 하수도용 콘크리트 맨홀 블록
F 4014 우수거 뚜껑
F 4015 철근 콘크리트 조립담 구성재
F 4016 철근 콘크리트 U 형
F 4019 철근 콘크리트 조립 흙 막이
F 4020 철근 콘크리트 조립식 암거 블록
F 4021 철근 콘크리트 널 말뚝
F 4023 철근 콘크리트 근가
F 4029 가압 시멘트판 기와
F 4030 목편 시멘트판
F 4031 펄프 시멘트판
F 403 건축용 실링코킹재의 용도별 성능
F 4034 속빈 프리스트레스트콘크리트패널
F 4035 기성 테라조
F 4037 형틀 시멘트 블록
F 4038 치장 시멘트 블록
F 4039 현장 타설용 기포 콘크리트
F 4040 단열 모르타르

F 4041	시멘트계 자기 수평 모르타르	F 4519	경첩
F 4052	방수 공사용 아스팔트	F 4520	발사 타입 장식못
F 4202	프리스트레스트 콘크리트 슬래브 (더블 T형)	F 4521	건축용 턴버클
F 4207	프리스트레스트 콘크리트 침목 (PC)	F 4522	루프 드레인 (평 지붕용)
F 4208	콘크리트 널 말뚝	F 4523	법랑 원통
F 4301	원심력 철근 콘크리트 말뚝	F 4524	창호용 호차
F 4303	프리텐션 방식 원심력 PC 말뚝	F 4525	강철제 도어용 철물
F 4304	프리텐션 방식 원심력 PC 전주	F 4527	황동 논슬립
F 4306	프리텐션 방식 원심력 고강도 콘 크리트 말뚝	F 4528	휴지걸이
F 4307	프리텐션 방식 진동 PC 말뚝	F 4529	수건걸이
F 4401	무근 콘크리트관 및 철근 콘크리 트관	F 4530	황동 줄눈대
F 4402	진동 및 전압 철근 콘크리트관	F 4531	배수전
F 4403	원심력 철근 콘크리트관	F 4533	피벗 힌지
F 4405	코어식 프리스트레스트콘크리트관	F 4534	새시용호차(창문 바퀴) 및 부속물
F 4406	프리스트레스트콘크리트 실린더관	F 4535	천장용 알루미늄제 루버
F 4408	소켓 철근 콘크리트 관	F 4536	창호용 알루미늄합금제 방충망
F 4409	원심력 유공 철근 콘크리트관	F 4551	와이어 라스
F 4414	철근 콘크리트 L 형 용벽	F 4552	메탈 라스
F 4416	콘크리트 적층 블록	F 4601	돌망태
F 4417	도로용 철근 콘크리트 측구	F 4602	강관 말뚝
F 4419	보차도용 콘크리트 인터로킹 블록	F 4603	H형강 말뚝
F 4420	교량 지지용 탄성 받침	F 4604	열간 압연 강 널말뚝
F 4421	프리캐스트 콘크리트용 플라스틱 스페이서	F 4605	강관 시트 파일
F 4422	철근 콘크리트 유개 벤치 플룸	F 4708	염기성 탄산마그네슘 보온재
F 4423	철근 콘크리트 L 형 플룸	F 4714	발수성 펄라이트 보온재
F 4424	교량 지지용 포트 받침	F 4715	얇은 나무리용 벽 바름재
F 4504	레버 텀블러 함 자물쇠	F 4716	시멘트계 바탕 바름재
F 4505	도어 클로저	F 4717	석면슬레이트 · 목모시멘트 합성판
F 4509	경량 서터	F 4720	목모 시멘트판
F 4510	방화 서터	F 4722	조립용 콘크리트 벽판
F 4511	창호용 레일	F 4724	건축용 철강제 벽판
F 4512	건축용 턴버클 볼트	F 4725	조립용 나무 벽판
F 4513	건축용 턴버클 몸체	F 4726	조립용 콘크리트 바닥판
F 4514	목 구조용 철물	F 4729	조립용 콘크리트 지붕판
F 4515	커튼 레일 (금속제)	F 4731	건축용 철강재 지붕판
F 4517	철제 및 알루미늄 합금제 베니션 블라인드	F 4732	내장용 PVC 패널
F 4518	플로어 힌지	F 4733	강섬유 보강 콘크리트판
		F 4734	발포 폴리스티렌 경량 콘크리트 복합 패널
		F 4735	압출 성형 콘크리트 패널
		F 4736	압출 성형 경량 콘크리트 패널
		F 4737	알루미늄 복합 패널
		F 4738	법랑 강판 벽 패널

F 4739	실리카 인조 대리석 판	F 6304	주택용 압면 단열재
F 4740	열경화성 수지 천장판	F 6305	주택용 유리 섬유 단열재
F 4750	아스팔트 싱글	F 6306	취입용 압면 단열재
F 4751	광물질 도포 금속제 절판 기와	F 6307	주택용 세면실 유닛
F 4752	금속제 절판 지붕 구성재	F 6308	주택용 화장실 유닛
F 4760	이중 바닥재	F 6309	주택용 욕실 유닛
F 4802	유리섬유 강화 폴리에스테르 골판	F 6310	주택용 냉난방 유닛
F 4803	유리섬유 강화 플라스틱제 정화조 구성 부품	F 6311	주택용 벽형 키친 유닛
F 4806	욕조	F 6312	세면 화장 유닛류
F 4808	욕조의 플라스틱제 뚜껑	F 6313	시스템 키친
F 4811	유리섬유 강화 폴리에스테르 물탱크	F 6314	팬 컨벡터
F 4812	욕실용 방수 팬	F 7001	원심력 콘크리트 말뚝의 시공표준
F 4901	아스팔트 펠트	F 8001	파이프 서포트
F 4902	아스팔트 루핑	F 8002	강관 비계
F 4903	속 빈 유리 블록	F 8003	강관 틀 비계
F 4904	스트레치 아스팔트 루핑	F 8004	콘크리트 봉형 진동기
F 4905	구멍 뚫린 아스팔트 루핑	F 8005	콘크리트 거푸집 진동기
F 4906	모래 불인 루핑	F 8006	금속제 거푸집 패널
F 4908	금속제 창호유리 끼우기 반죽퍼티	F 8007	드럼 믹서
F 4910	건축용 실링재	F 8008	가경식 믹서
F 4911	합성 고분자계 방수 시트	F 8009	강제 혼합 믹서
F 4913	직조망 아스팔트 루핑	F 8081	건축 공사용 시트
F 4914	경량기포콘크리트 패널(ALC패널)	F 8101	아스팔트 피니셔의 시방서 양식 및 성능 시험 방법
F 4915	석고판용 조인트 처리재	F 8104	서블계 굴착기 용어
F 4916	시멘트 혼화용 폴리머	F 8105	서블계 굴착기 성능 시험 방법
F 4917	개량 아스팔트 방수 시트	F 8106	건설 기계용 계기류의 진동 및 충격 시험방법
F 4918	규산질계 분말형 도포 방수재	F 8107	건설 기계용 좌석의 진동 전달 특성 시험방법
F 4919	시멘트 혼입 폴리머계 방수재	F 8108	차륜식 건설기계의 회전 반지름 측정 방법
F 4920	외벽용 도막 방수재	F 8109	아스팔트 플랜트의 시방서 양식 및 성능 시험 방법
F 4921	콘크리트용 에폭시 수지계 방수· 방식 도료	F 8110	토공기계 - 기본적 기종의 용어
F 5301	조립식 가설 건축물의 구조 설계 표준	F 8111	토공기계 - 무한궤도식 로더 및 차륜식 로더의 정격 운전 하중
F 5602	합성 수지 창호용 형재	F 8112	토공기계 - 중덤프식 흙받이의 용 적 산정
F 5603	금속제 격자 펜스 및 문짝	F 8113	토공기계 - 무한궤도식 트랙터 및 무한궤도식 로더의 조종 장치
F 5650	콘크리트 거푸집용 합성수지 판	F 8114	토공기계 - 작업기 작동 시간 측 정 시험방법
F 5651	콘크리트 거푸집용 합성수지 패널		

시공

- F 8115 토공기계의 무게 중심 위치 측정 방법
- F 8116 토공기계 - 로더의 작동력과 전도 하중 측정 방법
- F 8117 토공기계 - 조종 장치 등의 식별 기호(일반 기호)
- F 8118 토공기계 - 조종 장치 등의 식별 기호(특수 식별 기호)
- F 8119 토공기계 - 낙하물에 대한 보호 구조-시험실 시험 및 성능 요구 사항
- F 9001 콘크리트용 에폭시 수지계 방수·방식 도료 도포 방법 시공 표준