Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 13, No. 9 pp. 4302-4309, 2012

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.9.4302

지하구조물용 신축이음장치의 방수성능에 관한 실험연구

이영호[1*]
[1]한국건설기술연구원 인프라구조연구실

An Experimental Study on the Waterproofing Performance of Expansion Equipment for Underground Structures

Young-Ho Lee[1*]
[1]**Structural Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology**

요 약 지하구조물에 적절한 신축이음을 두지 않게 되면, 신축량에 대응하지 못해 구조물에 구조적 균열과 누수로 인한 콘크리트의 백태 등이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 방수성능과 내구성이 우수한 새로운 지하구조물용 신축이음 장치에 대한 성능을 검증하였다. 유한요소해석을 통하여 지하구조물 신축이음장치의 간격을 설정하고 개발된 신축이음장치의 적정 신축량을 확인하였다. 또한, 검증실험결과 개발된 신축이음장치의 수축·신장에 따른 피로 기준을 만족하였으며 방수성능이 우수한 것으로 나타났다.

Abstract Underground structures without the expansion joint in the settled intervals, the underground structures may suffer from structural crack and the water leakage thereby resulting in the occurance of the efflorescence. In this study, the performance of new expansion joint used in underground structures were verified. The spacing of expansion joint was defined by the finite element analysis. Expansion length, resistance and waterproofing performance of developed expansion joint were confirmed by experiment.

Key Words : Underground structure, Expansion joint, WaterproofAcademia-Industrial

1. 서 론

신축이음은 구조물에 균열발생이 예상되는 위치에 설치하는 균열 방지를 위한 이음으로 콘크리트의 수축, 팽창에 저항하며, 온도 구배에 의한 온도균열을 방지하고, 기초의 침하가 예상될 때 유도하는 용도로 사용된다. 신축이음은 양생기간 및 사용중 안전성을 확보하고, 콘크리트 구조물의 변형을 수용하며, 콘크리트의 팽창과 수축을 조절하는 효과가 있으며 부등 침하, 진동 방지의 역할을 수행한다. 따라서 신축이음은 보다 내구성이 뛰어나고 유지관리가 용이하여야 하며, 주행시 쾌적성 및 안정성을 확보할 수 있어야 한다.

지하구조물은 지상구조물물에 비해 신축량이 작으나 일정간격 신축이음을 두지 않게 되면, 신축량에 적절히 대응하지 못해 구조물에 구조적 균열과 누수로 인한 콘크리트의 백태 등이 발생할 수 있다[1]. 또한, 지하수는 지역 특성에 따라 구조물에 영향을 줄 수 있는 광물질이나 화학물질이 함유될 수도 있어, 이러한 지하수가 유입되면 구조물의 내구성이 저하될 가능성이 매우 높아 누수를 방지하는 것이 유지관리비용을 절감할 수 있다[2].

그림 1은 지하구조물에 적절한 신축이음을 두지 않아 발생한 손상 예를 나타낸 것으로 그림 1(a)는 신축이음부에서의 누수현상을 나타내고 있으며, 그림 1(b)는 지하차도 벽면의 균열과 누수로 인한 백태현상을 나타내고 있다. 지하구조물 연결부 보수는 주로 주입공법에 의해 방수처리를 하고 있으나, 지하구조물의 수축·팽창에 대응하지 못하기 때문에 새로운 균열의 발생을 억제하기 어렵다.

지하구조물용 신축이음은, 스티로폼을 이용한 단순 유격확보용 연결재로 시작하여, 강재 연결재와 수팽창지수

*Corresponding Author : Young-Ho Lee
Tel: +82-31-910-0734 email: lyh205@kict.re.kr
접수일 12년 07월 02일 수정일 12년 07월 18일 게재확정일 12년 09월 06일

고무 등을 이용한 제품을 사용하고 있다. 강재로 제작된 연결재는 비교적 우수한 내구성을 보여주고 있으나 부식이 발생하고 노면 설치시 소음이 과다하게 발생하는 단점이 있으며, 수팽창지수 고무를 이용한 연결장치는 유격 확보가 어렵고 수축팽창에 의해 누수의 우려가 있으며, 지하구조물 부등침하에 대응하기 곤란한 단점이 있다.

이와 같은 기존 지하구조물용 신축이음장치를 대체할 수 있는 새로운 신축이음장치의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 기존 지하구조물 신축이음장치를 대체할 수 있는 새로운 신축이음장치의 개발을 목표로 하여, 신축량과 내구성 및 방수성능을 확인하고자 한다.

(a) 누수 (b) 균열 백태
(a) Water leak (b) Crack and efflorescence

[그림 1] 지하차도의 손상 예
[Fig. 1] Failure case of underground load

2. 온도하중에 의한 지하구조물 신축량 계산

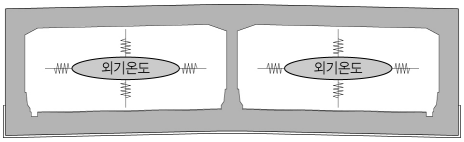
일반적으로 콘크리트 구조물에 작용하는 온도변화의 분포는 외기 온도에 의한 상하연의 온도차가 있으며, 이러한 상하연의 온도차는 통상 부등으로 분포하기 때문에 휨변형을 유발하는 성분과 축방향 변형을 유발하는 성분으로 분리될 수 있다. 또한, 콘크리트 재료의 특성상 건조수축이 발생하므로 이러한 건조수축 현상은 해석적으로는 축방향 온도 하중을 재하함으로써 고려될 수 있다.

지중 구조물에서 발생하는 온도변화는 지상구조물과는 달리 정확한 적용 기준이 미미한 상태이며, 또한 계절별 온도변화 또한 정확하게 반영하기가 어려운 실정이다. 따라서, 가설지역에 계절별로 발생하는 온도변화를 분석하여 구조물 단면에 발생하는 온도분포를 산정하는 것이 필요하다.

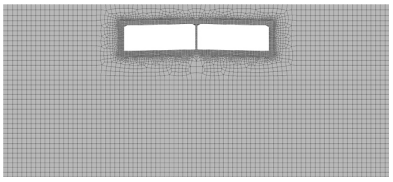
본 해석에서는 이러한 계절별 온도변화를 고려하기 위하여 서울지역의 월별 평균온도를 기상청 자료를 분석하여 최대온도와 최소온도를 산정하였으며, 이러한 자료를 바탕으로 하여 열전달해석과 열응력 해석을 수행하였다.

2.1 열전달 해석

열전달 해석은 범용프로그램인 MIDAS CIVIL 을 사용하여, 편도 4차선 지하차도에 대하여 해석을 실시하였으며, Box 내부와 외부의 온도차는 거의 미미할 것으로 판단되므로 외기온도와 Box 내부온도는 같은 것으로 보고 그림 2와 같이 Box 내부에 외기온도를 적용하여 열전달 해석을 실시하였다. 이 때 지중부 초기온도는 4 ℃ 로 가정하고 그림 3과 같이 모델링 하였다. 해석에 적용한 일년 중 최대, 최소 월평균 온도는 표 1과 같으며, 콘크리트의 압축강도는 27 MPa를 적용하고 이 외 콘크리트와 지반의 물성치는 표 2에 나타내었고, 해석결과는 표 3에 요약 정리하였다.



[그림 2] 해석개요
[Fig. 2] Analysis outline



[그림 3] 열전달 해석 모델
[Fig. 3] Heat transfer analysis model

[표 1] 월별 최대·최소 평균기온(서울, 1981~2010)
[Table 1] Average temperature(Seoul, 1981~2010)

Month	Average temperature
January	-2.4
August	25.7

[표 2] 재료물성
[Table 2] Material properties

Properties	concrete	ground	Properties	concrete	ground
Elastic coefficient (MPa)	24,500	150	Specific heat (kcal/kg·℃)	0.25	0.2
Density (kN/m3)	25.00	17.00	Convective coefficient (kcal/m2·hr·℃)	12	12
Poisson's ratio	0.167	0.30	Heat conductivity (kcal/m·hr·℃)	2.3	1.7

2.2 열응력 해석

구조물은 온도변화에 따라 신축·신장을 반복하게 되고, 이에 의해 구조물에 변형률과 응력이 발생하게 된다. 열응력해석은 2.1절에서 구한 대상 구조물의 온도분포 변화로부터 각 부분의 압축 또는 수축량을 계산하여 응력을 구하게 된다.

2.2.1 해석조건

콘크리트 타설길이별 발생하는 열응력을 검토하기 위하여 타설길이를 20 m ~ 30 m 까지 5 m 단위로 4가지 타설길이에 대하여 해석을 실시하였다. 해석대상 구조물은 열전달 해석과 동일하며, 해석조건은 다음과 같다.

(1) 지반 경계조건 설정

열응력 해석에 필요한 지반반력계수는 도로교설계기준에 근거하여 지하차도의 상·하부 및 측면 토사에 대한 지반반력계수를 표 4와 같이 설정하였다[3].

(2) 온도 하중의 정의 및 단면 위치별 온도하중 분포

일반적인 구조물의 상하연에서 발생하는 온도 분포는 그림 4와 같이 축방향 변형을 유발하는 온도 성분과 휨변형을 유발하는 온도 성분으로 분리될 수 있으며, 열응력 해석에는 표 5와 같이 축방향 성분과 건조수축에 의한 영향을 온도하중으로 변환시켜 고려하였다.

(3) 경계조건

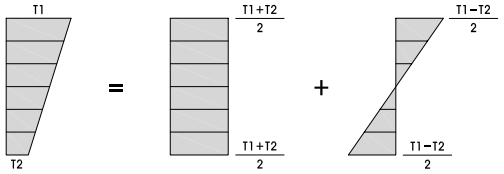
본 해석에서는 공용중의 지하차도의 신축이음간 변형과 온도변화 및 건조수축에 의한 콘크리트 구조물의 인장응력의 발생과 균열발생의 파악이 목적이다. 이를 만족시킬 수 있는 정확한 해석을 위해서는 하중분포뿐만 아니라 적정한 지반의 경계조건을 부여하는 것이 중요하다. 따라서, 본 해석에서는 구조물의 강체운동과 지반의 인장효과를 막아주어 지반의 고유 특성을 적절하게 모사할 수 있는 전단스프링을 포함한 비선형 경계요소를 사용하였다[4].

[표 3] 열전달해석 결과
[Table 3] Results of heat transfer analysis

Month	Upper Slab (℃)		Bottom Slab (℃)		Side Wall (℃)	
	Upper	Bottom	Upper	Bpttom	Outside	Inside
1	-0.8	-2.0	-2.0	-0.7	-0.7	-2.0
8	24.3	24.8	24.2	20.8	20.6	24.2

[표 4] 지반반력계수
[Table 4] Coefficient of subgrade reaction

Position	Subgrade reaction coefficient
Upper ground	$K_v = 3350.1kN/m^3$
Lower ground	$K_v = 11725.2kN/m^3$
Side ground	$K_h = 9424.9kN/m^3$



[그림 4] 구조물 상하연에 작용하는 온도분포
[Fig. 4] Temperature distribution of members

[표 5] 축방향 최대·최소 온도
[Table 5] Temperatures of axial direction

Month	Upper Slab (℃)	Bottom Slab (℃)	Side Wall (℃)	Conversion temperature of drying Shrinkage (℃)
1	-1.4	-1.35	-1.35	-15
8	24.55	22.5	22.4	-15

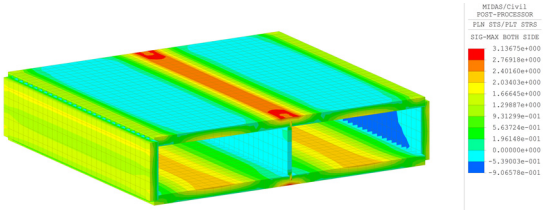
2.2.2 해석결과

(1) Box Type 해석결과

지하차도 Box Type 구간에 대하여 신축이음간 길이를 20 m ~ 30 m 까지 5 m 단위로 변화시키면서 3가지 길이에 대하여 열응력 해석을 실시하였다. 그림 5는 해석결과 예로 신축이음간 길이 30 m 에 대한 주인장응력 분포를 나타내고 있으며, 표 6 ~ 표 8에 해석결과를 요약하여 정리하였다.

열응력 해석에서 나타난 주인장응력과 최대전단응력 결과를 나타낸 표 6과 표 7을 보면, 신축이음간 길이 30 m 인 경우에도, 주인장응력과 전단응력은 허용범위를 만족하는 것으로 나타났다.

열응력 해석에서 발생하는 최대변위량을 나타낸 표 8을 보면, 신축이음간 길이가 30 m 인 경우에 발생하는 최대변위는 8월에 늘어나는 길이가 약 3.7 mm, 1월에는 약 2.4 mm 가 줄어들어, 총 변위량은 약 6.1 mm 로 나타났다.



[그림 5] 주인장응력 분포 예(30m, Box Type, 8월)
[Fig. 5] Principal tensile stress(30m, Box Type, August)

[표 6] 주인장응력 해석결과(Box Type)
[Table 6] Principal tensile stress(Box Type)

Classification		Length between expansion equipments		
		20 m	25 m	30 m
Stress (MPa)	August	2.983	3.093	3.137
	January	3.089	3.164	3.198
Allowable stress		3.274		

[표 7] 최대전단응력 해석결과(Box Type)
[Table 7] Masium shear stress(Box Type)

Classification		Length between expansion equipments		
		20 m	25 m	30 m
Stress (MPa)	August	1.766	1.822	1.846
	January	1.719	1.744	1.787
Allowable stress		1.923		

[표 8] 최대변형 해석결과(Box Type)
[Table 8] Maximum displacement(Box Type)

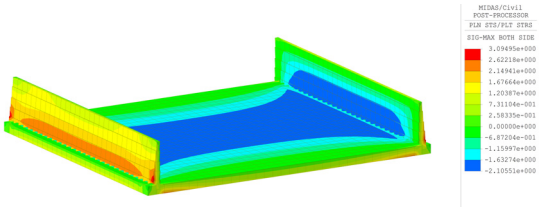
Classification		Length between expansion equipments		
		20 m	25 m	30 m
Displacement (mm)	August	2.439	3.104	3.712
	January	1.647	2.044	2.436
Total displacement (mm)		4.878	5.148	6.148

(2) U Type 해석결과

지하차도 U Type 구간에 대하여 신축이음간 길이를 20 m ~ 30 m 까지 5 m 단위로 변화시키면서 3가지 길이에 대하여 열응력 해석을 실시하였다. 그림 6은 해석결과 예로 신축이음간 길이 30 m 에 대한 주인장응력 분포를 나타내고 있으며, 표 9 ~ 표 11에 해석결과를 요약하여 정리하였다.

주인장응력과 최대전단응력은 Box Type과 동일하게 신축이음간 길이 30 m 인 경우에도 허용범위를 만족하는 것으로 나타났다.

열응력 해석에서 발생하는 최대변위량을 나타낸 표 11을 보면, 신축이음간 길이가 30 m 인 경우에 발생하는 최대변위는 8월에 4.9 mm 늘어나고 1월에 4.8 mm 줄어드는 것으로 나타나, 총 신축량은 약 9.8 mm 정도로 Box Type에 비해 3.7 mm, 약 60 % 증가하는 것으로 나타났다.



[그림 6] 주인장응력 분포 예(30m, U Type, 8월)
[Fig. 6] Principal tensile stress(30m, U Type, August)

[표 9] 주인장응력 해석결과(U Type)
[Table 9] Principal tensile stress(U Type)

Classification		Length between expansion equipments		
		20 m	25 m	30 m
Stress (MPa)	August	2.399	2.659	3.095
	January	1.516	1.873	2.292
Allowable stress		3.274		

[표 10] 최대전단응력 해석결과(U Type)
[Table 10] Maximum shear stress(U Type)

Classification		Length between expansion equipments		
		20 m	25 m	30 m
Stress (MPa)	August	1.199	1.329	1.547
	January	0.758	0.937	1.146
Allowable stress		1.923		

[표 11] 최대변형 해석결과(U Type)
[Table 11] Maximum displacement

Classification		Length between expansion equipments		
		20 m	25 m	30 m
Displacement (mm)	August	2.816	3.757	4.917
	January	2.793	3.715	4.856
Total displacement (mm)		5.609	7.472	9.773

3. 지하구조물 신축이음장치 성능검증

지하 구조물의 신축이음장치는 외부 온도에 의한 구조물의 수축·팽창에 적절히 대응할 수 있어야 하며, 지하구조물에 필연적으로 동반되는 지하수 누수에 대한 충분한 방수성능을 보유하여야 한다. 또한, 장기간 반복되는 수축·팽창에 대하여 안정적인 내구성을 확보하여야 생애주기비용(LCC)을 절감할 수 있어 경제적인 시공이 가능하다.

본 연구에서는 지하구조물 신축이음장치가 가져야 하는 기본적인 성능을 검증하기 위하여 다음과 같은 실험을 실시하였다.

- 신축이음장치 인장실험
- 신축이음장치 방수실험
- 신축이음장치의 피로반복실험

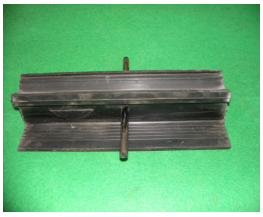
실험에 사용한 실험체의 설계 신장량은 10 mm 로 2장에서 검토한 신축이음간 길이 30 m인 경우에 해당하는 최대 신장량 9.8 mm에 대응할 수 있도록 하였다.

3.1 신축이음장치 인장실험

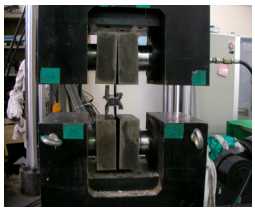
3.1.1 실험개요

지하구조물 신축이음장치는 온도변화에 따른 구조물의 수축·팽창에 충분히 대응할 수 있어야 신축이음장치의 파손 및 구조물 본체에 균열이 발생하지 않는다. 본 연구에서 개발한 신축이음장치의 정하중 상태에서의 신장능력을 검증하기 위하여 그림 7과 같이 설계유격 10 mm(±5 mm) 인 지하구조물 신축이음장치를 300 mm 로 절단한 실험체에 대하여 인장실험을 실시하였다.

인장실험은 총 3개의 실험체에 대하여, 1,000 kN 용량의 UTM(Universal Testing Machine)을 이용하여 가력속도 1 mm/min로 실시하였다. 그림 8에 지하구조물 신축이음장치 인장실험 전경을 나타내었다.



[그림 7] 인장시험 시편
[Fig. 7] Tensile test specimen

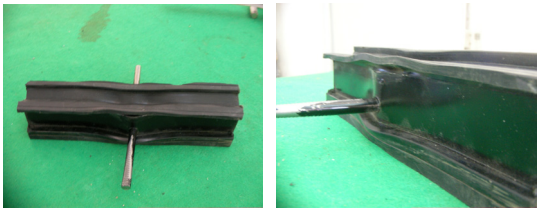


[그림 8] 인장시험 전경
[Fig. 8] View of tensile test

3.1.2 실험결과

(1) 파괴형상

그림 9는 지하구조물 신축이음장치 실험체의 파괴 형상을 나타내고 있다. 하중재하 초기에는 고무부분의 변형이 증가하다가 하중이 증가 할수록 고무와 강재의 연결부가 이격이 커지면서 최종적으로 연결부가 완전히 떨어지면서 파괴에 이르렀다.



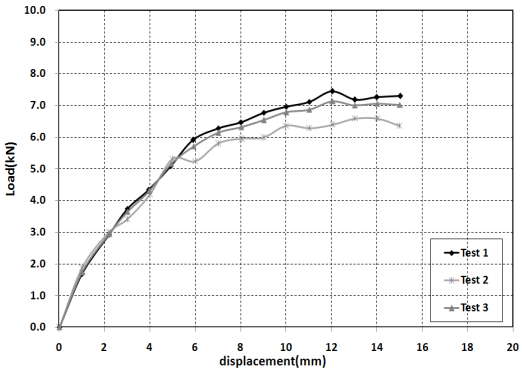
(a) 하면 (b) 측면
(a) Bottom view (b) Side view

[그림 9] 파괴형상
[Fig. 9] Failure shape

(2) 하중-변위 관계

그림 10은 지하구조물 신축이음장치의 하중-변위 곡선을 나타내었으며, 표 12는 각 실험체의 최대하중 및 파괴시 변위를 나타내고 있으며, 각 실험체의 파괴 하중의 평균은 6.89 kN, 파괴 변위는 15.02 mm로 나타났다.

그림 10에서와 같이 모든 시험체가 유사한 하중-변위 곡선을 나타내고 있으며, 변위 약 5 mm 까지는 거의 선형을 유지하다가 5 mm 를 넘어서면서 비선형 거동을 나타내고 있다. 이는 5 mm 변위까지는 고무의 탄성변형이 발생하다가 5 mm 를 넘어서면서 강재와 고무의 이격이 조금씩 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 인장실험결과 나타난 탄성영역 변위 약 5 mm는 본 실험에 사용한 실험체의 설계유격 ±5 mm 와 거의 유사한 값으로 안전율이 전혀 나타나지 않고 있다. 하지만, 본 실험은 지하구조물 신축이음장치 자체의 인장실험을 실시하여 신축이음장치의 강봉 주위에 과도한 응력집중이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 실제 구조물에서는 콘크리트와 신축이음장치와의 부착력도 작용하여 응력이 신축이음장치에 비교적 균등하게 작용할 것이므로 본 실험보다는 훨씬 큰 변형성능을 보일 것으로 판단되며, 이는 다음의 신축이음장치 신장·수축실험에서 다시 검토하였다.



[그림 10] 하중-변위 곡선
[Fig. 10] Load-displacement curve

[표 12] 인장실험 결과
[Table 12] Results of tensile test

Specimens	Max. load(kN)	Failure displacement(mm)
Test 1	7.30	15.03
Test 2	6.36	15.01
Test 3	7.01	15.02
Ave.	6.89	15.02

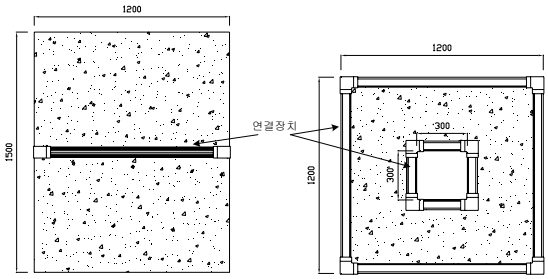
3.2 수축 신장실험

3.2.1 실험개요

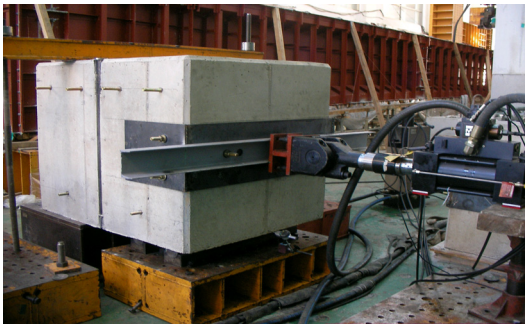
지하구조물 신축이음장치는 반복되는 수축·신장에 저항할 수 있는 충분한 내구성을 확보하여야 장기적인 사용이 가능하여 생애주기비용(LCC)을 절감할 수 있는 경제적인 공법이 된다. 본 절에서는 지하구조물 신축이음장치의 내구성 검증을 위하여 수축·신장 실험을 실시하였다. 지하구조물 신축이음장치에 대한 별도의 수축·신장 실험방법이 규정되어 있지 않아서 교량 신축이음장치의 수축·신장 시험방법인 KS F 4425 를 준용하여 실험을 실시하였다. KS F 4425 에서는 신축이음장치의 최소 신축량(수축) 및 최대 신축량(신장) 각각에서 설계 신축량의 1/3에 해당하는 신축량 만큼의 변위를 갖도록 하여 각각 2,500회 반복 실행하도록 하고 있으나, 본 실험에서는 보다 가혹한 조건에서 실험을 수행하기 위하여 0 변위에서 설계 신축량의 2/3에 해당하는 신축량만큼의 변위를 갖도록 하여 실험을 수행하였다. 수축·신장량을 제외한 나머지 실험방법은 KS F 4425의 실험방법에 따랐다.

실험에 사용한 지하구조물 신축이음장치는 인장실험에서 사용한 신축이음장치와 동일한 제품으로 설계유격 10 mm(±5 mm)인 제품을 사용하였으며, 실험체 규격은 그림 11과 같다. 그림 11에서와 같이 수축·신장 실험체는 실제 지하구조물에서의 시공방법과 동일하게 구조물 네 면의 내외측에 모두 신축이음장치를 설치하였으며 내부는 중공으로 두었다.

그림 12는 실험전경을 나타내고 있으며, 그림 12에서 신축이음장치 좌측 콘크리트 블록은 고정시키고 우측 콘크리트 블록은 하부에 롤러를 삽입하여 좌우 이동이 자유롭게 한 후 250 kN 에 연결시켜 수축·신장 실험을 실시하였다.



(a) 평면도 (b) 단면도
(a) Sectional plane (b) Cross section
[그림 11] 실험체 제원
[Fig. 11] Specimen dimensions



[그림 12] 수축·신장 실험 전경
[Fig. 12] View of expansion and contraction test

3.2.2 실험결과

반복 수축·신장실험 결과, 신축이음장치에 외관상 변화는 전혀 관찰되지 않았다. 본 실험에서 적용한 이동량은 설계 전체 신축량의 2/3 인 ±6.6 mm(총 13.2 mm)로 설계신축량인 ±5 mm(총 10 mm) 보다 30 % 이상 큰 값임에도 불구하고 실험 종료(2,500회 반복) 후 외관상 아무런 변화가 없다는 것은 실험에 사용한 신축이음장치의 변형능력이 충분히 설계신축량을 만족하고 있음을 보여주고 있다.

[표 13] 수축·신장 실험결과
[Table 13] Result of expansion and contraction test

Design range	Test range	Result
± 5 mm	±6.6 mm	No appearance change

3.3 방수 실험

3.3.1 실험개요

지하구조물 신축이음장치는 지하에 설치되어 지하수의 영향을 받게 되므로 적정한 방수능력을 갖추어야 된다. 따라서 방수실험을 실시하여 지하구조물 신축이음장치의 방수에 관한 능력을 파악하였다.

방수 실험체의 형상 및 규격은 제 3.2절 수축·신장 실험의 실험체[그림 11]와 동일하며, 실험체 가운데 형성된 중공부에 물을 주입하여 내수압 실험을 실시하였다. 표 14에 방수 실험체의 종류를 나타내었다. 표 14의 A 실험체는 KS F 4425 시험방법에 의해 실시한 수축·신장 실험을 종료한 실험체이며, B 실험체는 수축·신장 실험을 하지 않은 실험체이다.

그림 13에 방수실험 전경을 나타내었다. 방수 실험은 실험체 전면에 물을 주입할 수 있는 구멍을 설치한 후 3HP 용량의 수압가력 펌프를 이용하여 누수가 발생할 때까지 방수 실험을 실시하였다.

[표 14] 방수성능 실험체 개요
[Table 14] Summaries of waterproof specimens

Specimens	Test variables
A	After repeat test (KS F 4425)
B	Before repeat test

[그림 13] 방수실험 전경
[Fig. 13] View of waterproof test

4.3.2 방수실험 결과

그림 14에 방수실험 후 누수되고 있는 현상을 나타내었으며, 그림 15에 방수실험시 각각의 실험체의 최대 수압을 나타내었다. 방수실험 결과 각각의 실험체의 최대 수압에 도달함과 동시에 그림 14(a)와 같이 누수가 발생하였으며, 최초 누수 발생 후 곧 누수량이 급격히 증가하였다. 그림 14(b)는 수축신장 실험을 하지 않은 B 실험체의 방수실험 후 손상부위를 나타낸 것으로, 신축이음장치 주변의 콘크리트에 균열이 발생하였다. 수축·신장 실험 후 방수실험을 실시한 A 실험체에서는 육안으로 확인 가능한 균열은 발생하지 않았다.

방수실험시 각각의 실험체의 최대 수압을 나타낸 그림 15를 보면, A 실험체는 7.8 kgf/cm^2, B 실험체는 10 kgf/cm^2 이상의 수압에 저항함을 알 수 있다. 비록 수축·신장 실험 후 방수실험을 실시한 A 실험체가 B 실험체보다 약 20% 이상 작은 방수능력을 나타내고 있으나, 수축·신장 각각 2,500회 총 5,000회의 수축·신장 실험 후에도 7.8 kgf/cm^2 수압에 저항할 수 있는 것으로 보아, 본 지하구조물 신축이음장치의 내구성 및 방수성능이 충분한 것으로 판단된다.

(a) 누수 (b) 균열(실험체 B)
(a) Water leak (b) Crack(Specimen B)
[그림 14] 방수실험 손상형상
[Fig. 14] Failure shape of Waterproof test

(a) 실험체 A (b) 실험체 B
(a) Specimen A (b) Specimen B
[그림 15] 방수실험결과
[Fig. 15] Results of waterproof test

4. 결론

본 연구에서는 지하구조물 신축이음장치의 적절한 설치간격 및 성능검증을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) Box-Type 및 U-Type 지하구조물의 열응력 해석결과, 신축이음간 길이는 모두 30 m 까지는 주인장응력과 전단응력 모두 허용응력 이내로 산정됨을 확인할 수 있었으며, 신축이음간 길이 30m 인 경우의 최대 신축량은 U-Type 구간에서 약 10mm에 도달하였다.

(2) KS F 4425 시험기준 보다 열악한 조건에서 실시한 수축·신장 실험 결과, 신축이음장치에 어떠한 변화도 발생하지 않았다. KS F 4425 시험기준이 교량 신축이음장치에 대한 시험기준이지만, 지하구조물용 신축이음장치와 교량용 신축이음장치의 교통방향 거동특성은 동일하다고 볼 수 있으므로, 본 실험체의 수축·신장 내구성은 기준을 만족하는 것으로 판단된다.

(3) 방수실험 결과, 수축·신장 실험을 실시한 실험체와 실시하지 않은 실험체 모두 우수한 방수성능을 나타내었다. 특히, 5,000회의 수축·신장 실험을 실시 후 방수실험을 실시한 실험체도 7.8 kgf/cm^2 수압에 저항할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 수심 약 80 m 에서의 수압으로 대심도 지하구조물이 아닌 일반적인 지하구조물에서는 본 지하구조물 신축이음장치의 내구성이 충분한 것으로 판단된다.

References

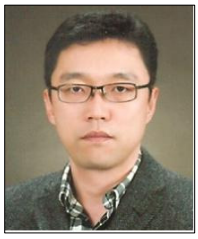
[1] M. S, Lee, 'A Sudy on the Examination of Leakage and Waterproofing Measures of Underground RC-Box Structures', Master's thesis of Hanyang Univ. pp. 1-3, pp. 14-20. December, 2002.

[2] J. K, Koo, "Waterproofing of Underground Structures", Execution of Building works, No. 12, Vol 2, pp. 90-92, 2012.

[3] Ministry of Construction and Transportation, "Design code for road bridges", Seoul, Korea, pp. 611-612, 1996.

[4] MIDAS CIVIL-Analysis for civil structures, MIDASIT, pp. 84-90.

이 영 호(Young-Ho Lee) **[정회원]**



- 1995년 2월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (공학석사)
- 1999년 3월 : 오사카대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 8월 ~ 2001년 12월 : 고려대학교 연구교수
- 2001년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>
토목구조, 내진설계