

팽창시멘트를 이용한 프리캐스트 콘크리트 박스 입거의 거동에 관한 연구

Behavior of Precast Concrete Box Culvert Using Expansive Cement

조 병 완* 태 기 호**
Jo, Hyung-Wan Tae, Ghi-Ho

Abstract

This study is intended to discuss the application of expansive additives for concrete to improve the durability of precast concrete box culvert by inducing the chemical prestress. The precast concrete box culverts using expansive cement are tested to verify the effect of expansive additives. The results show that the initial cracking load and yielding load of the expansive cement members are increased when they are compared with those of the normal concrete. In the prototype precast concrete box culvert experiment, initial crack control effect and strength of joint are increased, but the deflection is decreased by expansive cement. Besides, reinforcement ratio is decreased about 14.6 percent in comparing with the case of using normal cement. It can be concluded that the use of expansive additives to induce the chemical prestress was improved the durability in precast concrete box culvert.

keywords : precast box culvert, chemical prestress, expansive concrete, durability

1. 서 론

국가 경제와 발전으로 지하철도나 고속철도와 같은 사회기반시설이 확대되어 따라 직사각형 라멘 형식의 지하 콘크리트 구조물의 건설이 점차 활기를 띠고 있다. 이러한 구조물은 지하에 위치함에 따라 시공시 콘크리트의 품질관리가 어려우며, 콘크리트의 타설방법,

타원관경, 수화열 분배 등에 의해 심각한 균열이 초래 되어 구조물의 내구성과 방수성 등에 문제가 자주 발생하는 것으로 보고되고 있다. 가까운 일본에서는 이미 1964년부터 팽창콘크리트와 팽창특성 및 구조적 장점이 보고되었으며, 현재는 각종 콘크리트 구조물에 그 이용이 보편화되어 있다. 일반적으로 팽창콘크리트는 팽창력의 크기에 따라 수축보상용과 화학적 프리스

* 정회원, 한양대학교 도시건설환경공학부 토목공학과 교수

** 학생회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

E-mail : civilianho@dreamwiz.com (02-2290-0927)

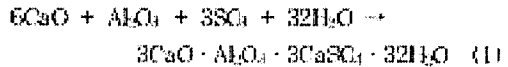
• 본 논문에 대한 토의를 2002년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2002년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

트레스용으로 나올 수 있다. 저중 비중구조물에 팽창 콘크리트를 사용할 경우, 수렴성이 증가하여 초기 균열제어 및 내구성이 뛰어나며, 수축균일로 인한 지체 누수의 방지에 효과가 큰 것으로 알려져 있다. 또한, 팽창 콘크리트는 화학적 프리스트레싱에 의하여 필요한 팽창도가 증가하여 제방의 경광화율 함에 경제적인 단면을 제작할 수 있는 이점이 있다. 따라서 본 연구는 프리캐스트 콘크리트 지하막스 구조물의 내구성을 개선하기 위해 사용된 팽창제의 구성에 따른 화학적 프리스트레싱 효과를 분석하고, 접합부 정착에 이용된 수평 PC 강선의 침투에 따른 내력증진 효과를 검토하기 위해 실험 재하실험을 실시하였다. 또한 막스 구조물 콘크리트 접합부 분석이 되는 선단부에 대한 해석적 연구를 통하여 기존 지하 콘크리트 막스 암기의 성능개선을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 화학적 프리스트레싱

팽창시멘트는 포틀랜드 시멘트와는 달리 타설 후 수화초기에 팽창하는 수경성시멘트이다. 구속되지 않은 시멘트본체에서 발생하는 과도한 팽창은 균열을 유발하며, 그 팽창이 적절한 구속된 경우 팽창의 크기가 감소하는 대신 프리스트레스가 발생하게 된다. 콘크리트에서 발생하는 프리스트레스와 크기가 0.2~0.7MPa 정도로 작고 건조수축으로 인한 인장응력을 상쇄시킬 만류의 팽창이 발생하는 시멘트를 수축보상 시멘트라고 하고 프리스트레스 강도가 6.9MPa 정도의 큰 팽창이 발생하는 시멘트를 응력발생 시멘트라고 하며 케미칼 프리스트레싱 콘크리트의 생산에 이용된다. 시멘트의 수화반응에 따른 Ettringite($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)의 형성과 CaO의 수화작용은 콘크리트 내에서 분원형 팽창을 유발하며 팽창시멘트의 생산에 이용되어 왔다. sulfoaluminate 규형기는 시멘트의 성분인 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{F}_2\text{O}_3$ 에 상당한 양의 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$ 와 CaSO_4 를 첨가한 개량 포틀랜드 시멘트 값이며, 이를 값에서 만든 시멘트를 Type-K 팽창시멘트라고 한다. 그 외에 Type-M 팽창시멘트와 Type-S 팽창시멘트 등이 있으나 현재는 상업용으로는 거의 생산되지 않는다.

상업용 팽창시멘트에서는 팽창량을 효과적으로 제어하기 위하여 보통의 포틀랜드 시멘트와 sulfoaluminate 규형제를 적당한 비율로 섞는다. Type-K 시멘트의 팽창반응식은 다음과 같다.¹⁾



이러한 팽창콘크리트의 팽창을 억제하여 콘크리트에 압축력을 가하는 방법을 화학적 프리스트레싱이라고 한다. 프리스트레스를 가하는 방법으로 철근을 배치하면 철근과 콘크리트의 부착에 의하여 철근에는 인장력, 콘크리트에는 같은 크기의 압축력이 작용하며 프리텐션방식의 무리와 유사한 거동을 보인다. 이때의 팽창시멘트 혼입량은 $40\sim85\text{kg/m}^3$ (단위시멘트량의 10~15%) 정도이며 팽창률은 $2.0 \sim 10.0 \times 10^{-4}$ 정도이다. 다음의 Fig. 1은 화학적 프리스트레싱의 모델을 나타낸 것이며 효과응력은 식 (2)와 같이 주어진다.²⁾

$$\sigma_{cp} = \varepsilon_c E_c A_c / A_s \quad (2)$$

여기서, σ_{cp} 는 화학적 프리스트레스에 의한 응력, E_c 는 구속강체의 탄성계수, ε_c 는 구속강체의 변형률, A_s 와 A_c 는 각각 콘크리트와 구속강체의 단면적이다.

3. 팽창콘크리트 실험

팽창콘크리트의 재료적 특성과 화학적 프리스트레싱 효과를 분석하기 위하여, 지하 콘크리트막스의 일부분

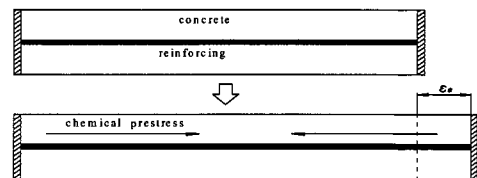


Fig. 1 화학적 프리스트레싱 모델

인 평면인 내부공간 1.5m×1.5m인 박스암거 6개를 제작하고 이관 팽창콘크리트의 사용유무와 포스트텐션에 의한 팽창력 및 도입을 변수로 하여 결합하여 4개의 시험체를 제작하였다.

3.1 시용 재료

실험에 사용된 콘크리트는 압축강도가 400 kg/cm²으로 설계된 레미콘 제종을 사용하였으며, 이 값은 역학적 프리스트레싱을 가하는 박스암거의 제작을 고려하여 선정하였다(Table 1 참조). 또한, 제경멸 콘크리트 압축강도를 평상콘크리트와 비교하여 다음 Table 2에 나타내었다. 배근된 철근은 설계항목강도가 4,000 kg/cm²인 SD40A를 사용하였으며, 철근에 대한 재료실험을 실시한 결과는 Table 3과 같다. 실험체로 지레박스암거는 높은 수밀성과 완전한 접합이

요구되므로 본 연구에서는 강철의 긴장력에 의한 침합 이외에 지수제 및 그라우팅혼에 수수축 모르타를 투입한 다음 방수도포제를 사용하였다.

3.2 시험체 설계 및 실험방법

지레 박스암거와 일관적인 형체인 내부공간 1.5m×1.5m, 길이 2m 제한의 박스암거를 제작하였다. 시험체는 철근콘크리트 구조설계기준 및 도로교 표준시방서에 따른 강도설계법으로 설계하였으며, 사용된 설계 조건은 Table 4와 같다. 긴장력의 상징시, 시험체와 콘크리트 기초사이의 마찰계수 μ 는 1.0으로 하였으며 6개의 세그먼트를 이용하여 5개의 시험체를 제작하였다. 실험시험체의 제원용 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었으며, 시험체의 중량과 단면을 Table 5에 나타내었다.¹⁾

Table 1 콘크리트의 배합표

Type	골골재 최대치수 (mm)	골골재 입회 (%)	골격립 입회 (%)	W/C (%)	S/A (%)	단위량 (kg/m ³)				혼화제(%)		비고
						W	C	S	G	팽창제	윤수제	
Type-A	25	6±2	4±1	36	42.0	144	490	755	1,051	0	4.0	AE 0.04
Type B	25			56			348			52		AE 0.04

Type A : 보통콘크리트 Type B : 팽창콘크리트

Table 2 콘크리트 압축강도 경리표

구분	Compressive Strength(kg/cm ²)			
	중기양생 직후	3월	7월	28월
Plane Concrete	349	385	445	552
Expansive Concrete	370	424	473	582

Table 3 철근의 재료적 실험

종류	항복강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	단장계수 (kg/cm ²)	극한강도 (kg/cm ²)
철근 (SD40A)	4000	4500~6100	2.04×106	6600

Table 4 윤수축 모르타제의 재료적 실험

종류	압축강도 (kg/cm ²)	팽창률 (%)	Flow (%)	Bleeding (%)
국내 D시	600(28월)	0.05	140	0.0

Table 5 실험시험체의 설계조건

항목	조건	비고
팽창제	DB-24	
긴장력(1개소)	3.95tonf	$\mu > H > N$ 4
모르타	1.5m	포상층:0.5m
콘크리트 압축강도(fck)	340kg/cm ²	
혼의 내부마찰각(ϕ)	30°	
철근 인장용역(fy)	4000kg/cm ²	

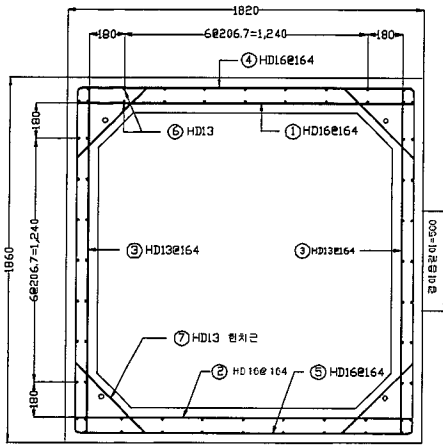


Fig. 2 단일시험체 단면배筋

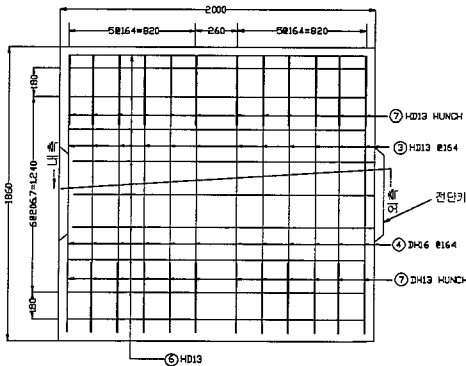


Fig. 3 실험시험체 슬라브 배筋

단일시험체의 휨강도 실험은 평판재의 사용유무를 변수로 하여 화학적 포리스트레스의 유효한 도입 여부를 잘 분석하고자 하였으며, 결합부 강도실험에서는 포스트텐션용 이용바의 결합부에 압축력 및 상향력을 도입한 시험체와 압축력만을 도입한 시험체의 명확적 성능 차이를 비교하고자 하였다. 실험을 위해 프레임을 설치하고 유압력을 사용하여 가력하였으며, 재하되는 하중량을 측정하기 위해 유압계의 하부에 로드셀을 설치하는 한편, 시험체의 변위량 측정하기 위하여 상부슬래브의 하부중량과 측벽슬래브의 외부에 변위계를 설치하였다. 상하부 및 측벽슬래브 중앙위치의 압축철근과

Table 6 실험시험체의 종류 및 특징

시험체 No.	시험종류	특징	비고
P2	결합부 강도시험	결합	압축력(PC Strand 가달 7.8ton)
C2	결합부 강도시험	결합	압축력·상향력(1.6ton/m)
P1	강도시험	비결합	보통콘크리트
C1	강도시험	비결합	팽창콘크리트

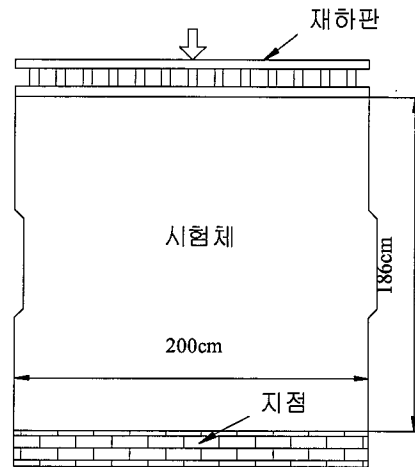


Fig. 4 단면세그먼트 재하방법

인장철근에는 각각 타설전에 제이저를 설치하였으며, 결합시험체의 경우에는 결합면에 굽힘 제이저를 설치하여 두 시험체의 결합강도를 검토하고자 하였다. Fig. 4와 Fig. 5 그리고 Fig. 6은 각각 단일 세그먼트 강도실험과 결합부 강도실험의 하중 재하방법을 단순화하여 나타낸 것이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 단일시험체의 강도실험

평판콘크리트로 제작한 시험체 C1은 보통콘크리트로 제작한 시험체 P1과 비교하여 유사한 변위양상을 가지는 반면, 굽힘의 수가 적고 굽힘의 형태도 비교적 같았다. C1 시험체와 P1 시험체의 초기굽힘 발생

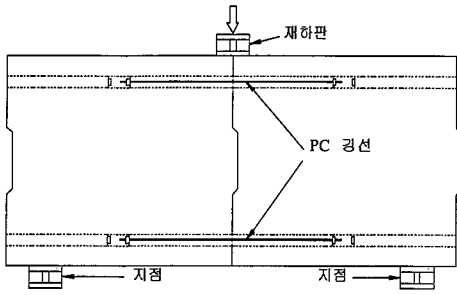


Fig. 5(a) 직선 축압 시험체

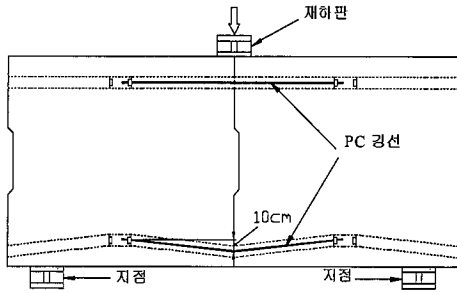


Fig. 5(b) 직선 곡률 시험체

Fig. 5 직선 시험체의 하중 재하방법

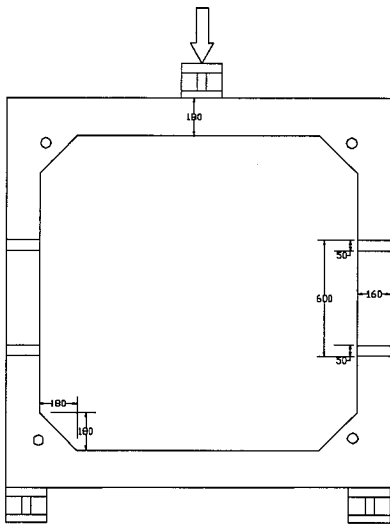


Fig. 6 시험체 단면도 및 하중재하

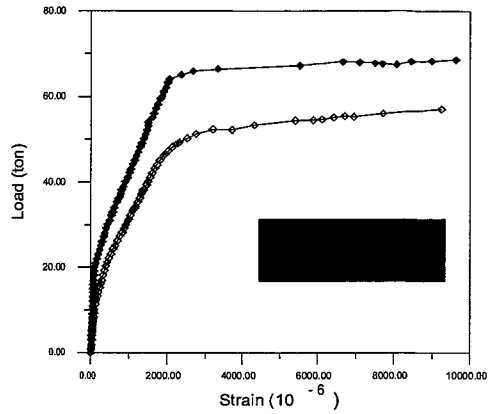


Fig. 6 직육면체형틀시험체

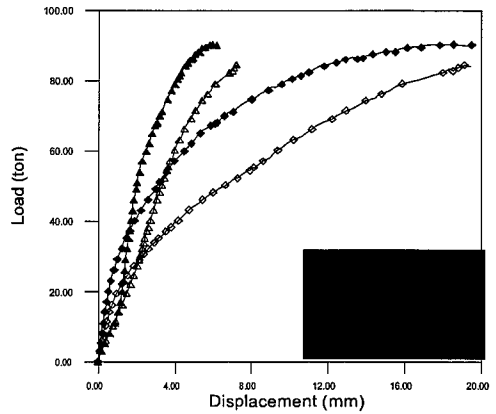


Fig. 7 직육면체형틀시험체

시 변형률은 각각 884×10^{-6} 과 680×10^{-6} 으로 C1 시험체에 도입되는 프리스트레스트의 양은 116 kgf/cm^2 으로 추정된다. 다음 Fig. 6은 상부슬래브의 양장측 수평근 중앙에서 측정된 원근의 하중-변형률 선도이며, 초기탄성이 발생한 이후 변형률과 가용기가 상대적으로 증가하는 경향의 결과와 유사한 양상을 보여 준다. Fig. 7은 상부슬래브와 측벽 중앙에서의 치짐과 하중과의 관계를 나타낸 것으로 상부슬래브와 측벽 모두 평장콘크리트만 사용한 시험체의 치짐이 작았으며, 하중이 직접 재하되는 상부슬래브에서 그 차이가 두드러졌다. 치짐과 차이는 원근이 항복하기 전까지 증가 하였으나, 원근이 항복한 뒤 감소하였다. C1 시험체는

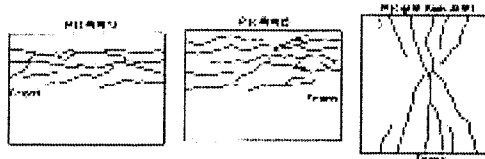


Fig. 8(a) 수평 슬라브

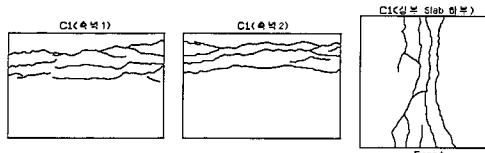


Fig. 8(b) 평상 슬라브

Fig. 8 (a),(b) 슬라브 종류에 따른 단면강도 시험체의 파괴모습

P1 시험체와 비교하여 초기균열하중, 항복하중, 최대 하중에서 각각 47.2%, 35.5%, 6.6% 각각 더 큰 것으로 나타났으며, 직경의 케이에서도 상대적인 우수성을 보여수었다. 이상의 결과를 통해 실험시험체의 경우에도 명장재에 의한 화학적 프리스트레스가 유효하게 도입됨을 알 수 있다. 또한, 파괴시 균열양상도 Fig. 8과 같이 팽창콘크리트를 사용한 시험체가 적은 수의 균열과 분포를 가지고 있는 것으로 나타났다.

4.2 접합시험체의 강도실험

접합부에 하중을 가하지까지 재하하이 다음과 같은 파괴양상을 얻었다. 상부슬래브 하부와 인장측에서 초기균열이 발생하였으며, 접합면을 따라 선진하였다. 시험체의 정점에서 1/3 지점까지 선진한 균열은 선단키가 설치된 측벽중앙에서 억제되었으며, 하중을 지속적으로 증가시킴에 따라 균열은 접합면이 아닌 선단키를 관통하여 선진하였다. 접합부는 세그먼트 사이의 임의 불연속면을 의미하므로, 접합부를 통하여 세그먼트간에 선단용력과 압축용력이 전달되도록 설치되어야 하며, 접합부의 선단기동에 영향을 미치는 인자는 선단키의 유무, 선단키의 형상(둥글리, 경사각)과 기수, 표면상태, 구속용력, 하중형태, 콘크리트의 강도 등이다.²¹⁾

Table 7 접합부 강도시험 결과

시험체	지배하중	연직지침 (mm)	인장부 균열폭 (mm)	비고
C3	61.66	19.4	10.93	압축력 상향력
P3	77	25.41	9.24	압축력

실험실험에서 팽창콘크리트를 사용하고 강선을 절곡으로 배치한 시험체 C3와 보통콘크리트를 사용하고 강선을 직선으로 배치한 시험체 P3 모두 선단키의 지배 파괴양상은 지압파괴나 슬립에 의한 수평분리가 아니라 선단키 시면부의 shear off였으며, P3 시험체가 상대적으로 낮은 하중에서 shear off가 발생하였다. 선단키의 형상 $d/h=1/12$ 은 적절하였으나, 선단키의 외측에서 측면으로 진행하는 사인강균열을 제어하기 위한 별도의 선단형근의 보강이 필요할 것으로 판단된다.

이상의 결과는 포스트텐션의 강선을 절곡으로 배치하는 것이 시험체의 변위와 감소시켜 결과적으로 접합부의 구속용력을 크게 하여 접합부의 선단강도를 증가시킬 수 있음을 보여준다. C3와 P3시험체의 시험결과를 다음의 Table 7에 요약하였으며, 이 결과에 따르면 명장재를 사용하고 상향력이 작용하도록 강선을 절곡으로 배치한 C3 시험체가 최대하중에서는 5.7%, 연직지침에서는 23.7% 우수한 것을 알 수 있다.

5. Shear key 거동에 관한 해석적 연구

콘크리트 구조물의 경우 선단 하중으로 인하여 Corbel, 프리캐스트 콘크리트 부재사이의 접합부, 선단벽의 수평 접합부 등에서는 Sliding이나 Shear off 유형의 선단 파괴가 발생하며, 콘크리트 선단시항(무차력), 선단면에 수직 혹은 경사선 절근의 다우철 작용, 선단 파괴면으로부터 뒹굴된 중재와 맞붙임 작용, 콘크리트 표면사이 선단면에서의 마찰 등에 크게 영향을 받는다. 이러한 선단 선단 시동은 크게 다음과 같이 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 골재의 맞붙임, 다우철 작용, 선단면에 수직방향구속 등이 선단기동에 영향을 미치며, 최종파괴는 가발생 균열면은 가로지르는 추가적인 균열의 발생 없이 기존균열을 따라



Fig. 9 철합부의 균열상식

발생하는 것이고, 두 면에서 초기균열면이 없는 경우로 선단파리는 선단면에 경사진 방향으로 수많은 균열이 형성된 후 발생하며, 최종파리는 균열방향에 거의 평행하게 형성된 압축 스트러트의 콘크리트 파괴로 인하여 발생하는 것이다. 따라서, 성능개선된 지하박스 암거가 지중에 파설된 경우 상부하중이나 토압으로 인하여 접합부가 부재사 되고 있음에 따라 본 연구에서는 접합부에 대한 유한요소해석을 통하여 파괴시에 영향을 미치는 인자와 그 특성을 분석하였다.²⁾

5.1 유한요소해석 모델링

본 연구에서는 선단키의 각도, 휘슬비(Shear Key)의 치면과 높이의 비, 구속응력(가계적 프레스트레스)을 변수로 하여 이에 따른 선단강도, 응력분포 및 균열경향을 알아보고자 상용유한요소 프로그램인 LUSAS를



Fig. 10 인접부의 균열 상식

Table 8 부수축 모놀리thic의 특성치 (단위 : kgf/cm²)

	fracture energy(G)	initiation stress	relative displacement
mode I	1.24	43	0.00002
mode II	2.84	62	0.00002

이용하여 해석을 수행하였다. 콘크리트는 압축강도 340 kgf/cm², 인장강도 35 kgf/cm²인 경면용력 요소화 사용, 균열생선 모수를 귀할하기 위하여 균열 콘크리트 모형을 적용하였으며, 최대변형률은 0.002, 파괴 변형률은 0.003으로 하였다. 계면접착제로 이용한 제형 3일제 압축강도가 500 kgf/cm²인 부수축 모놀리thic는 interface mesh를 적용하였으며, 움직임 값은 Table 8과 같다. 또한 한장 적용시 구조물의 안정과 슬라이딩 방지를 위해 적용한 프레스트레스 힘은 구속응력으로 관찰하여 측면에 작용시켰다.

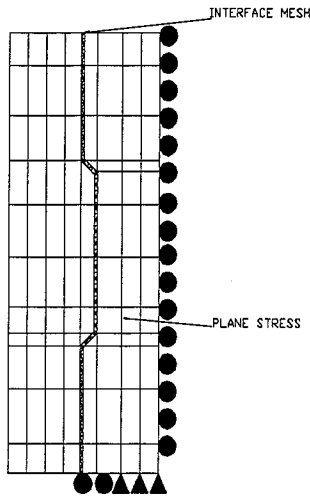


Fig. 8 유한요소 모델링

해석 모델링의 전체 규격은 45cm×140cm이며, 경계조건은 원선 선단파괴를 유도하기 위하여 지점을 형성하였으며, 하중의 편중으로 인한 휨의 영향을 최소화하기 위해서 모델링 상부 선면에 하중을 저하 하였다. 접촉면 해석과 균열콘크리트 해석의 비선형은 고려하기 위하여 하중단계는 일정 증가가 아닌 수렴 정도에 따라 하중증가를 조절하였으며, 구속응력은 10 kgf/cm²와 50 kgf/cm²의 두 가지 경우를 적용하였다. 각각의 모델링 모양은 Fig. 8, 9와 같다.

5.2 해석결과

시험체의 선단강도와 정규 선단 강도($\sigma_c/\sqrt{f_{cs}}$)로 비교분석 하였다. 해석 후, 선단강도 산출은 평균 선단강도 산출식인 식(3)을 이용하여 계산하였다.

$$\sigma = \frac{V}{A} \quad (3)$$

- 여기서, σ : 선단응력(kgf/cm²)
- V : 최대 선단하중(kgf)
- A : 절단면을 수직이동분하는 면적 면적(cm²)

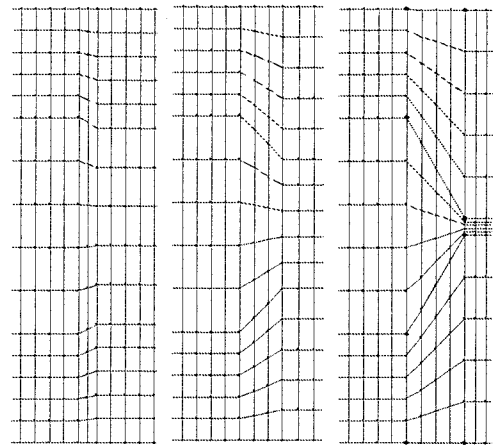


Fig. 9 경사각도 및 조습에 따른 대표적 모델

평균선단강도와 구할 때 필요한 최대선단 하중은 해석과정에서 도출되는 하중-변위 곡선을 이용하였으며, 곡선 정점에서 하중을 사용하였다.

5.2.1 구속응력이 10 kgf/cm²일 때의 선단강도 및 특성

수치들은 압축강도에 비례하는 콘크리트 선단강도의 성질을 보정하고 비교의 용이성을 위해 정규화 시킨 값이다. 각 변수별로 산출된 최대선단강도는 Table 9과 같다.

구속응력이 10 kgf/cm²일 경우 Fig. 10과 Fig. 11을 보면 일반적으로 하중정도가 낮수록 선단강도가 증가함을 알 수가 있다. Fig. 11에서 하중비가 작은 경우에는 30°에서 가장 큰 값을 보며 수치만 하중비가 커지면서 상대적으로 각 각도별 선단강도 차이가 아주 미묘한 것으로 나타난다. 이것은 계면의 강도가 상대적으로 높기 때문에 하중비가 커지고 구속응력이 낮은 상태에서는 각도에 그리 큰 영향을 받지 않는 것으로 시료된다.

또한 모르타르의 무착력에 의해 최대선단력에 도달할 때까지 슬립이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 전체적으로 하중비가 16/50이고, 경사각이 45°일 때 가장 큰 선단강도를 보였다.

Table 9 변수비 최대전단강도($f_{ck} = 340 \text{ kg/cm}^2$)

대각모양별 (경사각-높이비)	30 - 3	30 - 8	30 - 12	40 - 3	40 - 8	40 - 12	60 - 3	60 - 8	60 - 12
최대전단강도 (kgf/cm^2)	63.7	71.1	74.2	63.7	72.4	76.8	62.2	70.6	75.6

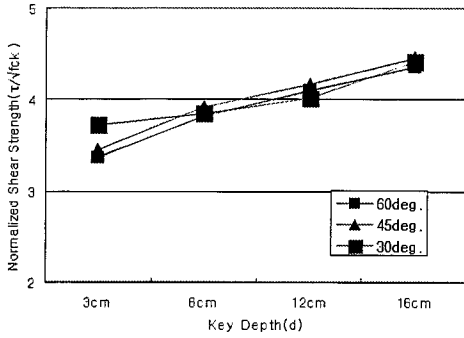


Fig. 10 높이에 따른 정규전단강도

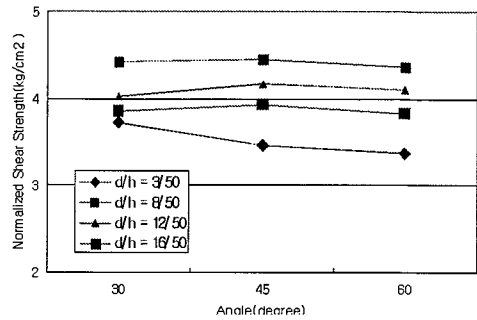


Fig. 11 경사각에 따른 정규전단강도

Table 10 변수비 최대전단강도($f_{ck} = 340 \text{ kg/cm}^2$)

대각모양별 (경사각-높이비)	30 - 3	30 - 8	30 - 12	40 - 3	40 - 8	40 - 12	60 - 3	60 - 8	60 - 12
최대전단강도 (kgf/cm^2)	84.6	93.2	118.8	93.5	111.7	122.2	79.8	83.8	110.6

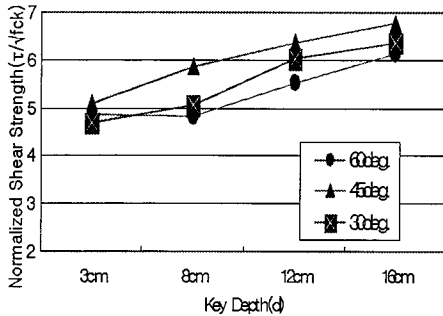


Fig. 12 높이에 따른 정규전단강도

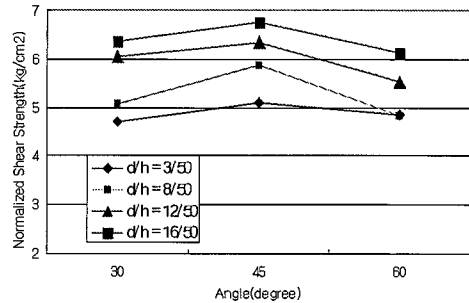
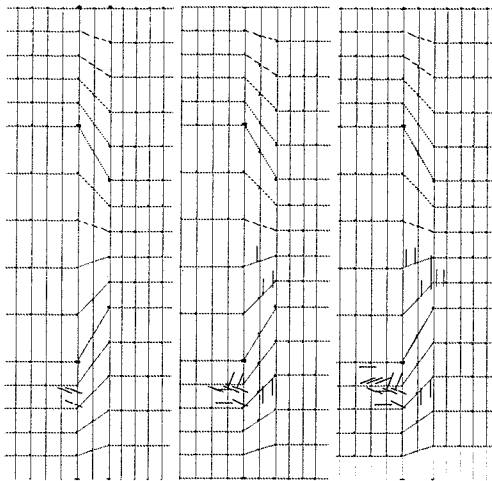


Fig. 13 경사각에 따른 정규전단강도

5.2.2 구속용력이 50 kgf/cm^2 일 때의 전단강도 및 특성

대부분의 경우에서 구속용력이 10 kgf/cm^2 일 때보다 단위전단강도에 이차 때까지 횡방향 변위가 적게 발생한다는 것으로 나타났다. 이것은 단면에 작용하는 구속용력이 큰 결과로 슬립의 발생을 억제하기 때문인

것으로 추측된다. 또한 높이가 증가할수록 전단강도는 현저하게 증가하였는데 구속용력이 10 kgf/cm^2 일 때에 비해 증가정도가 2배 가까이 되었다. 이는 구속용력의 크기가 철합부 전단강도에 지대한 영향을 미친다는 것을 보여준다. 경사각이 45°이고 높이가 가장 높을 때 전단강도가 가장 크게 나타나고 있다.



① 초기균열 모습 ② 균열 진행 ③ 균열진행후 피리

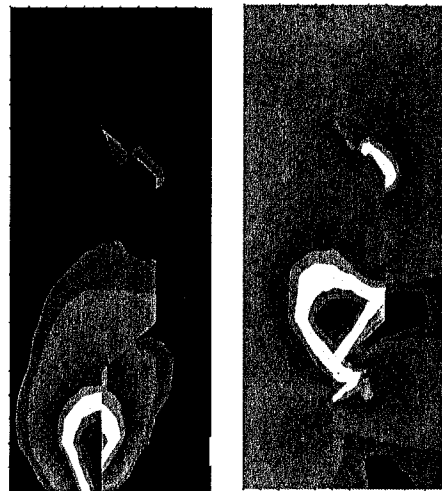
Fig. 14 일반적인 균열 분포(해석모델명 : 80-8)

5.3.3 각 실험체별 균열 양상 및 분포

실내적인 균열양상은 먼저 하중이 증가하면서 선단키 아래쪽의 점접합부에서 초기균열이 발생한다. 하중이 증가함에 따라 사인장 균열이 발생하며 선단키 하단이나 뒷면에서도 균열이 선진되다가 파괴강도에 도달하면 선단키 자체와 부근에서 부수적 많은 균열이 발생하면서 파괴되었다. 뒤편비가 큰 경우일수록 선단키 접합면 쪽보다는 선단키 아래쪽에서 균열이 시작되어 선진되는 경향을 보이수었으며, 뒤편비와 경사각이 작은 경우 선단키 파서는 앞피보다는 shear off되는 경향이 많았다. 이는 횡압력이 작용함에 따라 sliding을 방지하여 선단키 자체가 파괴되는 것으로 생각된다. 모르타르의 강도가 비교적 큰 편제로 접합면을 통과하여 균열이 선진되는 모습도 나타났다. 균열 선진 모습(Fig. 14)과 마찬가지로 응력 분포(Fig. 15) 또한 초기에는 선단키 아래쪽에서 응력집중 모습을 보이다가 서서히 위쪽으로 그 분포를 옮겨가는 경향을 보였다.

5. 결 론

바스알거와 성능개선을 위한 병장벽과 이용한 화학



① 초기응력 분포 ② 초기균열 발생시 응력분포

Fig. 15 일반적인 응력분포(해석모델명 : 45-12)

적 프리스트레싱, PC강선화 진공에 따른 성분모형일련과 선단키에 대한 해석의 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 단일 세그먼트에 대한 강도시험에서 팽창콘크리트를 사용한 시험체가 화학적 프리스트레스에 의한 수축보상 작용으로 균열수와 폭이 크게 감소하였다. 그리고 초기균열하중 최대하중 및 인장절점의 항복하중은 보통콘크리트를 사용한 경우보다 각각 47.2%, 6.6%, 35.5% 큰 것으로 나타나 바스구조물에서도 화학적 프리스트레스를 적용하는 것이 가능하였다.
- 2) 점접부 강도시험에서 선단력과 압축력을 전달하기 위해 설치된 선단키는 점접부의 균열을 제어하는 역할을 하였으나, 뒤편비중 이상에서는 서수가 파괴되며 끝단에서 사인장균열이 선진되는 shear off가 발생하였다. 시험체 순 장선을 절곡으로 미치면 경우에 shear off의 발생하중이 높게 나타났는데, 이는 강선의 끝부분까지 도입된 상향력으로 인해 하중이 감소, 결과적으로 선단력의 감소로 이어져 강선을 직선배착한 시험체에 비해 상대적인 점접강도의 증가가 발생한

- 것으로 판단된다. 강선을 절곡배치한 시험체가 직선으로 배치한 시험체에 비해 연직지짐 23.7% 정도 감소하였으며, 초기균열하중과 최대하중, 그리고 균열의 수와 폭에서 상응의 향상이 있었다.
- 3) 구속응력의 크기가 선단강도를 극대화시키는데 중요한 변수로 나타났으며, 5배정도 차이가 나면 선단강도 값은 거의 50%정도 상승하였다. 특히 경사각이 15° 일 때 뒤틀림의 증가에 따른 증가폭이 현저하였다.
- 4) 선단에 의한 초기균열은 대부분 선단기 아래쪽 부근에서 시작하여, 하중이 증가함에 따라 시인 강균열과 겹합하여 외쪽으로 전진함과 동시에 선단기가 shear off되었다. 실험변수 선정에 있어서 구속응력과 계면접합부 강도가 큰 관계로 sliding현상은 좌변 이후에 나타났으며, 구속응력의 크기가 슬립발생시점이나 슬립발생이후를 결정하는 주요한 인자가 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 「도로교 구조시방서」, 1996.
2. 장석훈 「프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 세그멘탈 마스 커터 교방의 접합부 거동연구」, 서울대학교, 1994.
3. 조승호, 「다형 콘크리트 프리캐스트 콘크리트 구조 수직접합부 전단거동 전단내력에 관한 실험적 연구」 인하대학교.
4. Clyde E. Kesler, Donald W. Pfeiffer 「Expansive Cement Concrete - Present State of Knowledge」, Journal of Material, ACI Journal, Vol 77 No. 5, 1979, 684-689.
5. P. Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteiro 「Concrete -structure, properties, and material」, 2nd Edition, Prentice Hall, 1997.

(접수일자 : 2001년 7월 6일)