

## 유한요소 해석을 이용한 현장 콘크리트 부착강도 측정조건

### Measurement Conditions of Concrete Pull-off Test in Field from Finite Element Analysis

김 성 환\*      정 원 경\*      권 혁\*\*      김 현 오\*\*      이 봉 학\*\*\*  
Kim, Seong-Hwan    Jeong, Won-Kyong    Kwon, Hyuck    Kim, Hyoun-Oh    Lee, Bong-Hak

#### Abstract

The performance of old and the new concrete construction depends upon bond strength between old and the new concrete. Current adhesive and strength measurement method ignores the effect of stress concentration from shape of specimens. Therefore, this research calculates stress concentration coefficient as the ratio of drilling depth to drilling diameter( $h_s/D$ ), the ratio of overlay thickness to drilling diameter( $h_o/D$ ), the ratio of steel disk thickness to drilling diameter( $t/D$ ), the ratio of overlay elastic modulus to substrate modulus( $E_1/E_0$ ), the distance from core to corner border( $L_{corner}$ ) and the distance between cores( $L_{core}$ ) vary. The finite element method is adapted to analysis. The results from the F.E.M analysis are as follows. The stress concentration effects can be minimized when the ratio of drilling depth to drilling diameter( $h_s/D$ ) is 0.20~0.25, the elastic modulus ratio( $E_1/E_0$ ) is 0.6~1.0, and the ratio of steel disk thickness to drilling diameter( $t/D$ ) is 3.0. The overlay thickness, the distance from specimens to corner border( $L_{corner}$ ), the distance between cores( $L_{core}$ ) almost do not affect to the stress concentration.

키워드 : 응력집중, 덧씌우기, 부착강도

Keywords : stress concentration, overlay, adhesive strength

#### 1. 서 론

콘크리트 보수와 교량 상판의 덧씌우기는 쉐월가와 빠른 시공, 우수한 내구성 때문에 아스팔트 덧씌우기로 수행되어져 왔다. 콘크리트 덧씌우기의 경우 아스팔트 콘크리트 포장 기술에 비해 상대적으로 새로운 기술이었으며 높은 비용과 낮은 신뢰성 때문에 아스팔트 콘크리트에 비하여 활용도가 낮았다. 그러나, 아스팔트 콘크리트의 비용 증가와 콘크리트 포장 기술의 향상으로 콘크리트

보수와 덧씌우기는 급속도로 확산되는 현상을 보이고 있다. 이러한 덧씌우기나 도로의 보수재료는 콘크리트 구조물에서 신·구 콘크리트로 구성된 복합 구조체를 이룬다. 두 가지의 서로 다른 콘크리트로 구성된 신·구 콘크리트 구조물의 성능은 신·구 콘크리트 사이의 부착강도에 의해서 구조물로서의 성능이 크게 좌우된다. 일반적으로 신·구 콘크리트의 부착강도 측정 시험방법으로는 쪼갬인장시험, 경사전단시험, 직접전단시험, 비파괴시험 그리고 일축인장시험의 방법이 있다(Leming, 1991). 쪼갬인장시험, 경사전단, 직접전단, 비파괴시험에 의한 부착강도 실험은 재현성의 결과가 좋지 않을 뿐만 아니라 파괴형상을 관찰하기 어렵다. 그러나 일축인장에 의한 실험방법은 신·구 콘크리트의 인장에 의해 부착계면에서 실제적인 부

\* 강원대학교 토목공학과 박사과정

\*\* 강원대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

착강도 측정이 가능하고 파괴형상 관찰이 가능한다는 장점을 가지고 있다(Emmons, 1994). 일축인장 시험은 직접인장 시험과 직접인발 시험으로 나누어 지며 직접인장 시험은 현장 조건과 유사한 양생 환경을 제공할 뿐만 아니라 시험체의 파괴형상을 관찰할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 현장에서 시험체를 제작하고 실내에서 실험을 실시하여야 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 건설현장에서는 실제보수나 덧씌우기한 부분을 평가하여 바로 관련자에게 시험결과의 승인여부를 파악할 수 있도록 하거나 공사를 조정하도록 할 수 있는 장점과 시험체의 인장강도에 의한 실제적 부착강도를 측정할 수 있는 일축인장에 기초한 직접인발 시험(Pull-off Test)을 사용하고 있다. 하지만 이 직접 인발 시험은 편심하중, 응력집중 등 몇 가지 문제를 갖고 있다. 편심하중의 경우 균일한 인장 응력 상태에서 편심 하중을 최소화하기 위하여 많은 연구가 진행되어져 왔으며, 어느 정도 해결되어 있는 상태이다. 그러나 시험체의 형상과 시험체 경계조건에 따른 응력집중의 영향에 대한 연구는 아직 까지 미비한 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 시험체의 형상과 시험체의 경계조건이 응력집중에 미치는 영향을 알아보기 위하여 절삭직경에 대한 절삭깊이( $h_s/D$ ), 절삭직경에 대한 덧씌우기 두께( $h_o/D$ ), 절삭직경에 대한 부착관 두께( $t/D$ ), 기존 콘크리트와 덧씌우기 재료의 탄성계수비( $E_s/E_o$ ), 시험체에서 모서리 경계까지의 거리( $L_{corner}$ ), 시험체 사이의 거리( $L_{core}$ )에 대하여 유한요소해석을 실시하였다. 해석결과를 이용하여 응력집중계수를 산출하고, 각 변수에 따른 최소의 응력집중영향 인자를 도출하였다. 이 자료는 직접인발시험의 시방기준을 마련하는데 기초자료로 사용하고자 한다.

## 2. 부착강도 평가 방법

### 2.1 직접인장 시험과 간접인장 시험

직접인장 시험은 양쪽 끝단이 단단히 맞물린 시편을 준비한 뒤 인장하중을 작용하여 파괴에 이르도록 한다. 직접인장시험의 경우 이론은 간단한 반면, 정확한 인장시험은 수행되기 어렵다. 하중은 반드시 편심없이 재하되어야 한다. 그렇지 않으면 휨 모멘트가 유발될 것이다. 게다가 미끄러짐 없이 시편을 맞물린다는 것은 어렵다. 간접 인장 시험은 다소 수행되기 간단하다. 간접 인장 시험은 보통 전단과 휨의 조합으로 수반된다. 하중은 보여진 기본 전단 시편의 부착면에 정확히 재하된다. 비록 간접 인장 시험에서의 하중재하가 더 적게 재하되지만 여러 문제들이 여전히 발생된다. 예로, 부착면의 가장자리에서 높은 응력의 영향을 받기 쉬우며, 파괴는 최대 응력이 작용하는 면에서 발생한다. 그러므로 이러한 형태의 시험은 부착된 콘크리

트 덧씌우기에 실제로 적용하기 어렵다.

### 2.2 전단 부착 시험

기본적인 전단 시험 시편에서 전단은 강성 틀내에 고정된 시편 부분의 부착면에 재하된다. 이러한 배치는 보통 “guillotine” 시험에서 기인된다. 이 특별한 시험은 또한 자체의 결점을 갖는다. 하중재하 근처에 압축응력이 집중되어 파괴는 시편 사이의 부착 평균 허용력을 초과하여 발생한다. 게다가 시편의 휨 또는 강성 틀내의 미소 양의 미끄러짐을 완전히 제거하기 어렵다. 경사전단시험은 그림 3에서 보여진 것과 같이 배치될 수 있다. 이 배치는 보통 “slant” 시험 또는 “slant shear” 시험에서 기인된다. 부착면은 보통 수평면에서 60.°에 위치한다. 여기서 완전 부착면이 압박되면 guillotine 시험 수행 시 때때로 발생하는 부착 평면에서의 높은 응력 발생이 없어진다. 그러나 이 배치를 사용하여 수행된 수많은 실험에서 상당한 결과의 소산이 발견되었다.

따라서, 경사전단시험은 경제적이고 시험방법이 쉬운 장점이 있으나 건설현장에서는 사용하기 어려워 시험실 시험으로만 사용된다. 경사전단 시험은 보수나 덧씌우기 되는 콘크리트를 평가하기 위해 사용될 뿐이며 실제 건설현장상황을 나타내지 못하는 문제점을 지니고 있다.

### 2.3 현장 부착강도 측정 방법

현장에서 덧씌우기의 부착강도 평가를 위한 몇몇의 방법이 개발되어져 왔다. 이러한 것들은 코어의 채취에 의한 방법, pull-out test, pull-off test 같은 파괴적인 방법과, 초음파법과 성속도 방법의 사용과 같은 비파괴 방법을 포함한다.

## 3. 인발시험법의 유한요소 모델

### 3.1 개요

본 연구에서는 직접인발 시험 시 발생하는 응력의 형태를 알아보기 위해 범용 유한요소 프로그램인 LUSAS[FEA.Ltd]를 사용 모델링 하였다. 그림 1.은 모델링에 사용된 개념도를 나타낸 것이다. 기존의 교량상판위에 덧씌우기 된 슬래브 형태로 구성되어 졌다. 기본 가정은 콘크리트는 선단성거동을 하며, 균질하다고 가정하였다. 모델링은 100cm×140cm, 덧씌우기 두께 5cm, 콘크리트 구조물두께는 25cm 의 크기로 모델링 하였고, 경계조건은 하단부를 고정, 나머지 부분을 자유조건으로 고려하였다.

본 연구에서는 제시된 직접인장에 의한 부착강도 실험은 특히, 시험체와 측정기의 연결 장치로

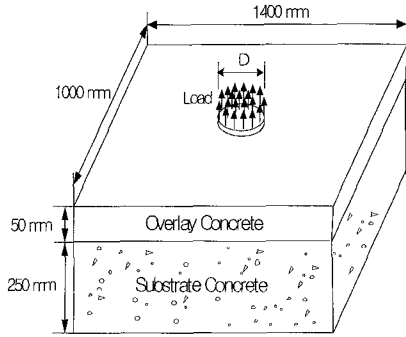


그림 1. 모델링에 사용된 개념도

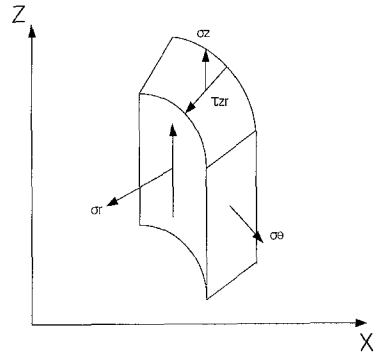


그림 3. 일반적인 축대칭 유한 요소

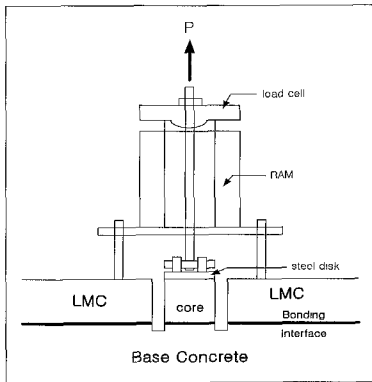


그림 2. Pull-off 부착강도 시험의 개요도

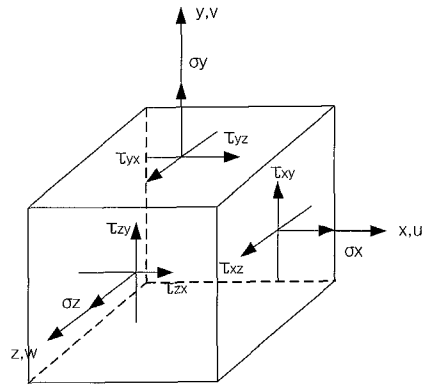


그림 4. 솔리드 요소에서 응력의 기호 규칙.

360°회전이 가능하도록 제작하여 시험체의 편심이 부착강도 측정에 미치는 영향을 최소화한 직접 인발시험(Pull-off Test)를 대상으로 하여 유한요소 해석을 실시하였다. 그림 2.에 직접인발에 의한 부착강도 실험의 개요도를 나타내었다.

### 3.2 적용 요소

#### 3.2.1 축대칭 요소

이 요소는 물체의 형상과 하중이 물체 중심축에 대칭인 경우의 문제 해석에 아주 유용하다. 가령 원형으로 하중을 받는 토질이나, 두꺼운 벽을 가진 압력용기 문제들은 이 요소를 사용하여 해석될 수 있으며, 3차원 문제를 2차원화 한 것이다.

평면 응력 문제에서는 응력들은 단지 x-y 평면에만 존재한다. 축대칭 문제들에서는 반경방향 변위는  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$ ,  $\sigma_{rz}$ 를 일으키는 원주방향 변형물을 발생시킨다. 여기서 r,  $\theta$ , z는 각각 반경방향, 원주방향, 축방향을 나타낸다. 이 요소는 z 축에 대하여 대칭이기 때문에, 응력은  $\theta$ 방향에 대해 무관하다. 따라서  $\theta$ 에 대한 모든 미분치들은 없어지고,

#### 3.2.2 솔리드 요소

변위성분  $v(\theta)$ 에 접선방향, 전단변형률  $r_{r\theta}$ 와  $r_{\theta z}$  그리고 전단응력  $\tau_{r\theta}$ 와  $\tau_{\theta z}$ 는 모두 0의 값을 갖는다. 축대칭 요소는 물체의 형상과 하중이 무체 중심축에 대칭인 경우 유용하나, 본 연구의 대상 요소는 형상은 축대칭이나 하중은 대칭이지 않아 축대칭요소의 사용은 적절하지 못한 것으로 판단된다.

3차원의 요소를 솔리드 요소(Hexahedral & Triangular Isoparametric Element)라 하면 이러한 요소는 2차원 해석이나 축대칭 해석 보다 더 정확한 해석을 얻고자 하는 일반적인 3차원 물체의 응력 해석에 유용하며, 비대칭 형상이나 하중의 작용하는 3차원 물체의 응력 해석에 사용된다. 그림 4.에서 보여지는 것처럼 직교 좌표계에서 dx, dy, dz의 크기를 갖는 3차원 무한요소와 그 요소에 표시된 수직응력과 전단응력을 고려한다. 이러한 요소는 3차원 응력상태에 있는 물체의 세 개의 서로 수직인 평면에서의 응력상태를 쉽게 나타낸다. 대체로, 수직응력은 요소의 면에 수직이고,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$

표 1. F.E.M에 사용된 콘크리트 재료 특성

Type of Concrete	Modulus of Elasticity (kgf/cm <sup>2</sup> )	Poissons ratio
Substrate Concrete (OPC)	307,000	0.18
Overlay Concrete (LMC)	288,000	0.18

표 2. 분석을 위해 사용된 값들

Variable	Applied Values
T/D	0.05 ~ 0.45
H <sub>s</sub> /D	0.05 ~ 0.45
H <sub>o</sub> /D	0.10 ~ 0.90
E <sub>l</sub> /E <sub>o</sub>	0.60 ~ 3.00
L <sub>corner</sub>	1.0 D ~ 5.0 D
L <sub>core</sub>	1.0 D ~ 5.0 D

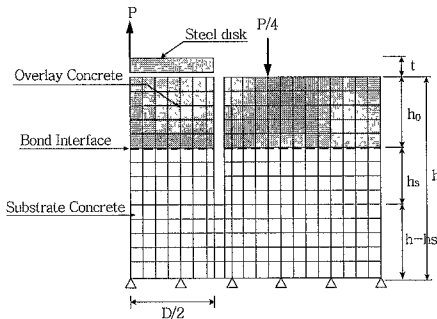


그림 5. Pull-off 시험의 대칭적인 유한요소모델

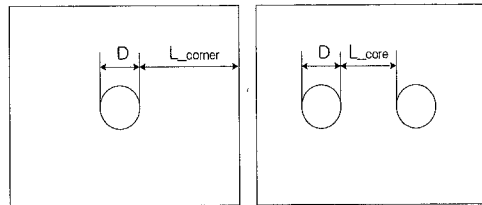


그림 6. 평면도

로 나타내진다. 전단응력은 요소의 평면내에 작용하고,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{zx}$ 으로 표시되어진다. 요소의 모멘트 평형으로부터 다음을 유도할 수 있다.

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} \quad \tau_{zx} = \tau_{xz}$$

따라서, 3개의 수직응력과 3개의 독립적인 전단응력이 있다. 솔리드 요소인 경우 형상의 형태와 하중작용위치의 조건에 구애받지 않는다 또한 2-D 요소보다 좀더 정확한 해석 값을 도출할 수 있는 장점을 가지고 있어 본 연구에 사용되는 요소로서 선택하였다.

3.3 적용물성과 변수

그림 5는 고려되어진 부착강도 해석 모델을 나타낸 것이며, 그림 6은 해석 모델의 평면도를 나타낸 것이다. 이때 사용된 물성은 표 1.에 나타내었다. 유한요소 해석 시 적용된 변수는 절삭 직경에 대한 절삭깊이( $h_s/D$ ), 절삭 직경에 대한 덧씌우기 두께( $h_o/D$ ), 절삭 직경에 대한 부착강판 두께( $t/D$ ), 기존 콘크리트와 덧씌우기 재료의 탄성계수비, 시험체에서 모서리 경계까지의 거리( $L_{corner}$ ), 시험체 사이의 거리( $L_{core}$ )에 따른 부착 특성을 고찰하고자 하였다. 이때 부착면에 발생한 응력의 특성을 비교하고 응력집중계수를 산출하여 최적의 직접인장시험 기준을 마련하고자 하였다. 적용된 변수의 자세한 내용은 표 2.에 나타내었다.

4. 유한요소해석 결과 및 고찰

4.1 개요

유한요소 해석을 통해 절삭깊이, 덧씌우기 두께, 탄성계수비의 변화, 부착강판 두께변화, 시험체에서 모서리 경계까지의 거리, 시험체 사이의 거리에 따른 응력을 고찰하여, 응력집중계수를 산출하였다. 응력집중계수는 부착면에 발생하는 최대응력에 대한 시험체에 발생하는 평균응력의 비로 산출되었다.

그림 7은 유한요소 해석 결과의 한 예로써 직경 10cm 크기로 절삭된 원형 시험체에 작용하는 응력분포 형태를 나타낸 것이다.

4.2 절삭직경과 깊이에 따른 영향

절삭 직경과 깊이가 콘크리트 인발부착강도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 3종류의 직경 ( $D=75\text{cm}, 10\text{cm}, 15\text{cm}$ )을 가지는 시험체를 직경에 대한 절삭깊이 비( $h_s/D$ )를 0.05~0.45까지 변화시켜 유한요소해석을 수행하였다. 이때 콘크리트의 재료 특성 및 덧씌우기 두께( $h_o=5\text{cm}$ )는 일정하게 고정하였으며, 경계조건의 영향이 미치지 않도록 슬래브는 충분히 크게 모델링하였다. 그림 9는 D7.5, 10, 15 시험체에 작용하는 최대응력을 평균응력에 나눈 응력집중계수를 직경에 대한 절삭깊이 비( $h_s/D$ )에 따라 나타낸 것이다. D7.5의 경우 직경에 대한 절삭깊이 비가 0.05일 때 최대 응력집중계수 1.53으로 나타났으며 비가 0.25일 때 응력집중의



그림 7 F.E.M 해석의 결과

영향이 최소가 됨을 알 수 있었다. D10의 경우 또한 직경에 대한 절삭깊이 비가 0.25일 때 응력집중의 영향이 최소가 됨을 알 수 있었다. D15의 경우에는 응력집중의 영향이 최소가 되는 직경에 대한 절삭깊이 비는 0.2로 나타났다. 이와 같이 모든 시험체의 경우 직경에 대한 절삭깊이 비( $h_s/D$ )가 0.2~0.25일 때 응력집중의 영향이 최소가 됨을 알 수 있었다.

#### 4.3 탄성계수비의 영향

절삭직경( $D=10\text{cm}$ ), 절삭깊이( $h_s=2.5\text{cm}$ )로 고정하고 탄성계수비를 0.6에서 3까지 변화시키며 해석을 수행하였다. 해석결과 탄성계수비가 0.6~3의 경우 유사한 응력분포 경향을 보였으며, 탄성계수비가 0.4보다 감소하였을 경우 코어 표면에서 응력이 증가함을 보였다. 응력집중계수는 탄성계수비가 0.2~0.8사이 급격한 감소를 보였으며, 0.8 이상일 경우 응력집중계수는 완만히 증가하는 것을 알 수 있었다.

#### 4.4 덧씌우기 두께의 영향

덧씌우기 두께를 변화하였을 경우 부착면에서의 응력집중 영향을 분석하기 위하여 3종류( $D=7.5\text{cm}$ ,  $10\text{cm}$ ,  $15\text{cm}$ )의 직경을 가지는 시험체를 직경에 대한 덧씌우기 두께 비( $h_o/D$ )를 0.10~0.90까지 변화시켜 유한요소해석을 수행하였다. 이때 콘크리트의 재료특성 및 절삭깊이( $h_s=2.5\text{cm}$ )는 일정하게 고정하였다. D75의 경우 직경에 대한 덧씌우기 비가 0.10일 때 최대 응력집중계수를 나타냈으며 비가 0.30일 때부터 응력집중계수는 1에 가까이 수렴함을 알 수 있었다. D10의 경우 또한 직경에 대한 절삭깊이 비가 0.30일 때부터 응력집중계수가

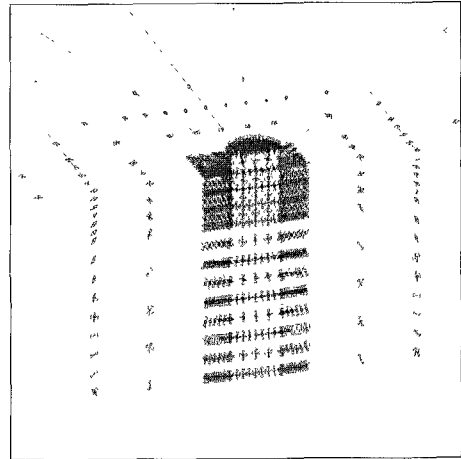


그림 8. F.E.M 해석의 벡터도

1에 가까이 수렴했다. 마찬가지로 D15의 경우에도 비가 0.30일 때부터 응력집중계수가 1에 수렴해 감을 알 수 있었다. 이와 같이 모든 시험체의 경우  $h_o/D$ 비가 0.30부터 응력집중계수가 1에 수렴해 감을 알 수 있었으며 응력집중에 미치는 영향이 적음을 알 수 있었다.

#### 4.5 모서리 경계의 영향

시험체로부터 모서리 경계까지의 거리가 응력집중에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시험체로부터 모서리경계까지의 거리를  $D\sim 5D$ 까지 변화하며 유한요소 해석을 실시하였다. 시험체의 직경은 D10 크기의 시험체를 사용하였고, 콘크리트의 재료특성 및 덧씌우기 두께( $h_o=5\text{cm}$ ), 절삭깊이( $h_s=2.5\text{cm}$ )는 일정하게 고정하였다. 그림 12.에서 알 수 있듯이 모든 거리에서의 응력집중계수는 1.2 이하의 값을 나타내어 응력집중에 미치는 영향은 미소함을 알 수 있었다.

#### 4.6 부착강판 두께의 영향

부착강판 두께를 변화하였을 경우에 부착면에서의 응력집중 영향을 분석하기 위하여 3종류( $D=7.5\text{cm}$ ,  $10\text{cm}$ ,  $15\text{cm}$ )의 직경을 가지는 시험체를 직경에 대한 부착강판 두께 비( $T/D$ )를 0.05~0.45까지 변화시켜 유한요소해석을 수행하였다. 그림 13에서 보면 알 수 있듯이 직경에 대한 부착강판 두께 비를 변화시켰을 때 디스크와 콘크리트 부착면에 작용하는 응력집중계수를 나타낸 것이다. D75의 경우 부착강판과 콘크리트 사이의 부착면에서는 비가 0.05일 때 최대 응력집중계수 18.3으로 나타났으며 0.30일 때 응력집중의 영향이 최소가 됨을 알 수 있었다. D10의 경우 또한 비가 0.30

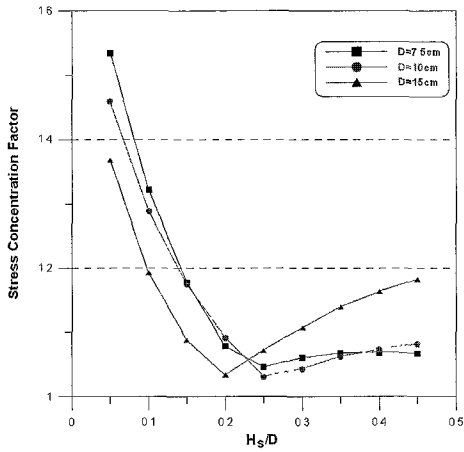


그림 9.  $H_s/D$ 에 따른 직경별 응력집중계수

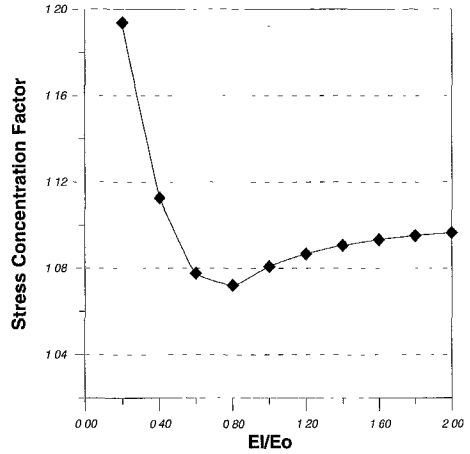


그림 10. 탄성계수비에 따른 응력집중계수

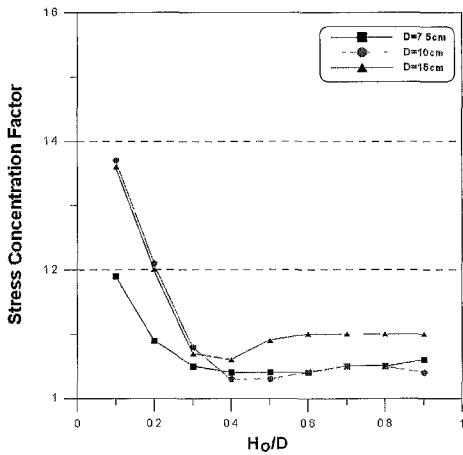


그림 11.  $H_o/D$ 에 따른 직경별 응력집중계수

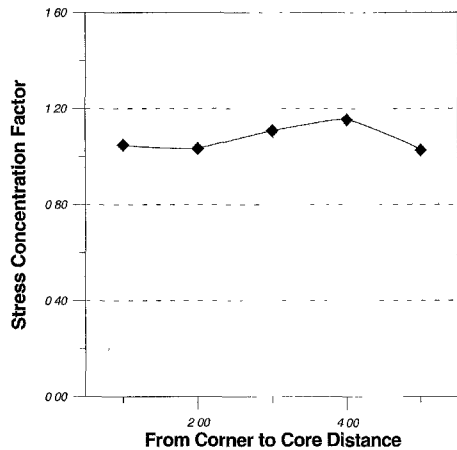


그림 12. 모서리 경계에 따른 응력집중계수

일 때 최소가 되었고 D15의 경우에도 마찬가지로 나타났다 결국, 직경 7.5cm, 10cm, 15cm 모두에서  $T/D$ 가 0.3에 가까워질 때 응력집중의 영향이 최소가 됨을 알 수 있었고 신·구 콘크리트 사이의 부착면에서는 응력 집중의 영향이 미치지 않을 것을 알 수 있었다.

#### 4.7 코어간 거리의 영향

코어간의 거리가 응력집중에 미치는 영향을 알아보기 위하여 코어로부터 다음 코어까지의 거리를  $D \sim 5D$ 까지 변화하며 유한요소 해석을 실시하였다. 이때 콘크리트의 재료특성 및 덧씌우기 두께 ( $h_o=5\text{cm}$ ), 절삭깊이 ( $h_s=2.5\text{cm}$ )는 일정하게 고정하

였으며, 코어의 직경은 D10 크기의 코어를 사용하였다. 그림 14는 코어 사이의 거리에 따른 응력집중계수를 나타낸 것이다. 모든 거리에서의 응력집중계수는 1.2 이하의 일정한 값을 나타내어 코어간 거리가 응력집중에 미치는 영향은 미소함을 알 수 있었다.

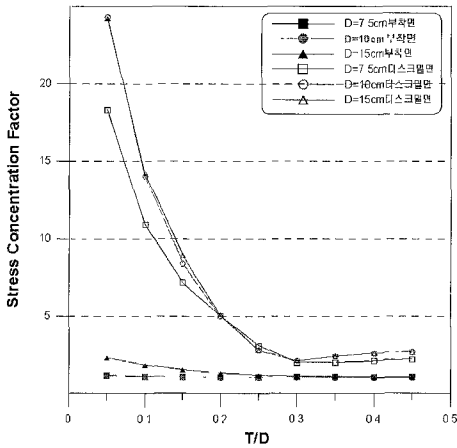


그림 13. T/D에 따른 부착면의 응력집중계수

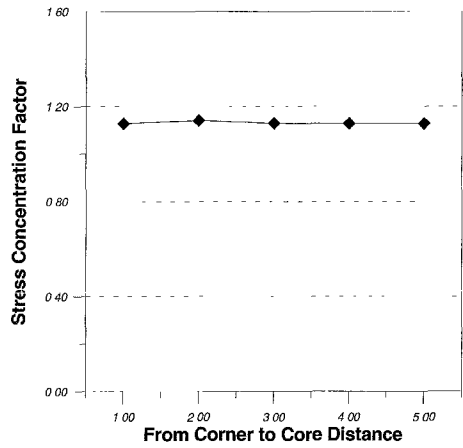


그림 14. 코어간 거리에 따른 응력집중계수

5. 결론

본 연구에서는 건설현장에 사용되는 직접인발시험에서 코어 깊이와 덧씌우기 두께, 탄성계수비, 부착강판두께, 절삭면에서 모서리 경계까지의 거리, 절삭면들 사이의 거리에 대한 유한 요소 해석을 통하여 직접인발시험의 적절한 실험기준을 마련하고자 하였다. 이때 응력 집중 현상을 고찰하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 덧씌우기 된 슬래브를 유한요소 해석을 한 결과 코어깊이가 증가함에 따라 응력집중의 영향이 현저히 감소함을 알 수 있었다. 이는 응력집중의 영향을 최소화하기 위한 시험체 직경에 대한 절삭깊이의 비( $H_s/D$ )는 0.20~0.25사이가 적절한 것으로 판단된다.
- 2) 덧씌우기 재료의 탄성계수와 기존 콘크리트의 탄성계수가 다른 이질재료를 사용할 경우 탄성계수비가 0.6~1.0사이의 재료가 응력집중의 영향이 감소됨을 알 수 있었다.
- 3) 덧씌우기 두께는 모든 시험체의 경우  $H_o/D$  비가 0.30부터 응력집중계수가 1에 수렴해 감을 알 수 있었으며, 콘크리트 교면포장이 5cm 일 때 덧씌우기 두께가 부착면에 응력집중의 영향을 적게 미침을 알 수 있었다.
- 4) 모서리 경계의 영향과 코어가 거리의 영향은 모든 거리에서의 응력집중계수 값은 1.2 이하의 값을 나타내었다. 따라서 시험체로부터 모서리경계까지의 거리와 코어간 거리가 응력집중에 미치는 영향은 미소함을 알 수 있었다.
- 5) 부착강판 두께의 변화는 신·구 부착면에 대한

응력집중의 영향은 매우 미소하였으나 부착강판과 콘크리트 부착면 대한 영향은 매우 크게 나타났다. 이 영향은 시험체 직경에 대한 강판 두께의 비가 3.0이였을 때 응력집중의 영향이 최소가 됨을 알 수 있었다.

이 연구는 신·구 콘크리트의 부착강도 측정에 이용되는 직접인발시험법의 최적화를 위하여 유한요소법을 이용한 선형해석을 통하여 이루어졌다. 향후 실제 실험을 통한 신·구 부착면의 물리적 특성을 고찰하여 부착면의 조건을 고려한 해석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 강원대학교 부설 "석재복합신소재제품연구센터"의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] 윤경구, 장홍균, 김성환, 권혁, "유한요소해석과 실험검증을 통한 콘크리트 직접인발 시험방법 제안," 도로포장공학회 학술발표회논문집, pp.41-49, 2001
- [2] ASTM D4541-95e1 Standard Test Method for Pull-off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers, ASTM
- [3] Knab, L. I and Spring, C. B, "Evaluation of test methods for measuring the bond strength of portland cement based repair materials to

- concrete", *Cement Concr, Aggreg.* 11(1). pp.3-14, 1989
- [4] Kanb, L. I., M. M. Sprinkel, and O. J. Lane, "Preliminary performance Criteria for the Bond of Portland Cement and Latex Modified Concrete Overlays", NISTIR 89-4156, National Institute of Standards and Technology, 1989
- [5] Kuhlmann, L. A., "Test Method of Measuring the Bond Strength of Latex-Modified Concrete and Mortar", *Mater. J. Amer. Concr. Inst.* 86(4) pp.387-394, 1990
- [6] Ohama, Y et al., "Adhesion of Polymer-modified mortars to ordinary cement mortar by different test methods" *Ibid*, pp.719-729
- [7] Petersen, C. G., O. Dahlblom, and P. Worters., "Bond-test of Concrete and Overlays. NDT in Civil Engineering. Proceedings of the British Institute of Non-Destructive, Testing International Conference, April 14-16, 1993, University of Liverpool, UK; Ed, by J. H. Bungey' *Brithish Institute of NDT, Northampton, Vol, 1. pp.367-378, 1993*
- [8] Wall, J. S., and N. G. Shrive, and B. R. Gamble), "Testing of Bond between Fresh and Hardened Concrete" *RILEM Symposium on Adhesion Aix-en-Province, France, Chapman and Hall Ltd., London, pp.335-344, 1986*