

콘크리트 교각의 친환경적 해체공법 개발

Development of Environment-Friendly Demolition Methods of RC Pier

이 창 수* 권 재 근** 정 봉 조*** 김 태 환****

Lee, Chang-Soo Kwon, Jae-Ken Chung, Bong-Jo Kim, Tae-Hwan

Abstract

As modern society has been progressed, the demolition method of concrete structure that satisfy the condition of safety, economic efficiency, and environment-friendliness is required. This study investigated problems of existing demolition methods and developed modified method minimizing cooling water and sludge for demolition job. It was also verified the validity of this method based on the finite element methods. A analysis parameters as a number, depth and size of boring, and self weight were introduced for this study, and gave optimal condition for the demolition job and analysis.

요 지

사회가 발전함에 따라 시민들은 콘크리트 구조물의 해체에 있어 안전하고, 경제적이며, 환경친화적인 공법의 적용을 요구하고 있다. 본 연구에서는 기존 해체공법의 문제점을 검토하여 환경오염의 주원인인 냉각수와 슬러지를 최소화 할 수 있는 공법을 개발하였으며, 개발된 공법의 타당성은 유한요소해석을 통하여 확인하였다. 천공개수, 깊이, 크기, 그리고 자중을 변수로 선정하여 다양한 경우에 대한 비교분석을 수행하였으며, 자중에 따른 최적의 천공개수, 천공깊이, 천공크기를 제시하였다.

Keywords : Demolition Methods, Number of Boring, Depth of Boring, Size of Boring

핵심 용어 : 해체공법, 천공개수, 천공깊이, 천공크기

* 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

** 정희원, (주)대한콘설턴트, 상무이사

*** 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정

**** 정희원, 용인대학교 경호학과 교수

E-mail : cs11@uos.ac.kr 02-2210-2428

•본 논문에 대한 토의를 2004년 12월 31일까지 학회로 보내주
시면 2005년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

근래의 구조물들은 토목건축기술의 혁신적인 진보에 따라 내하력과 내구성이 뛰어나고, 구조물의 규모나 형태도 매우 다양하다. 이러한 구조물은 건설 당시 반영구적인 구조물로 건설되지만, 경제적 발전과 사회의 요구에 따라 구조물의 해체가 이루어지거나, 지진이나 화재와 같은 재해로 인하여 해체가 불가피한 경우가 있다.

각각의 구조물은 구조적 안정성을 고려하여 견고하게 건설되었기 때문에 이를 해체한다는 것은 용이한 일이 아니므로 구조물의 해체 및 인양공법은 구조물의 종류, 구조형태, 규모, 그리고 해체의 목적 등을 고려하여 적합한 공법을 선정해야 하고, 안전, 공해, 폐기물 처리와 같은 문제점을 충분히 고려하여야 한다. 특히, 콘크리트 구조물의 해체가 수많은 시민들이 거주하는 도시지역에서 행해진다면 해체공법은 기본적인 목표 이외에 저소음, 무진동, 무분진, 그리고 산업폐기물과 환경오염원의 최소화를 도모하여야 한다.

따라서 최근에 실시된 청계천 복원공사와 같이 도심에 위치해 있는 구조물 특히, 교각의 해체시에 적용할 수 있는 공법에 대해 검토하여 환경 친화적인 콘크리트 구조물의 해체공법개발에 대해 논하고자 한다.

2. 기존 구조물 해체 공법

2.1 강공(Steel Ball) 공법

대형 크레인의 선단에 구조물을 파괴할 수 있는 무거운 강공을 매달아 상하 또는 수평방향으로 구조물을 타격하여 해체하는 공법이다. 주변공간이 넓고 공해와 안전성에 특별한 문제가 없는 경우에 유리하며, 작업 능률이 좋고, 해체 비용이 적게 드는 장점이 있다. 그러나 소음, 분진, 진동 및 비산물 등 공해가 많이 발생하고, 주변에 인접건물이 있는 경우에는 적용이 불가능하기 때문에 현재는 거의 사라지고 있는 추세에 있다.⁽²⁾

2.2 파쇄기(Breaker) 공법

파쇄기에 의한 해체는 콤프레셔에서 보낸 압축공기의 압력으로 파쇄기 내부 스프링을 작동시켜 정 끝의 급속한 반복 충격력으로 콘크리트를 파쇄하는 공법으로 손으로 조작이 가능한 소형파쇄기와 파워쇼벨에 파쇄기를 탑재하여 사용하는 대형파쇄기가 있다.

소형파쇄기는 무거운 중량으로 인하여 하향작업의 파쇄에 적합하며, 진동과 비산이 적고, 운반이 편리하기 때문에 다목적으로 사용된다. 대형파쇄기는 기동성이 좋고 작업범위가 넓으며 작업성이 매우 좋다. 하지만 작업시에 심한 소음이 발생하므로 도심지에서는 사용이 제한되는 등의 단점이 있다.

2.3 압쇄기(Clutcher) 공법

유압력을 이용하여 압쇄기내에 콘크리트를 넣고 파쇄하는 공법이다. 압쇄기는 강력한 프레임 안에 한쪽 면을 반력면으로 하고 다른면에 압쇄날을 장치한 압쇄부를 유압잭에 의해 작동시키는 방식과 강력한 두개의 암이 유압작용에 의해 콘크리트를 압쇄하는 방식으로 나누어지며, 현재는 해체대상물에 따라 다양한 종류의 압쇄기가 개발되어 있다. 현재 이 공법을 가장 많이 사용하기는 하지만, 교각과 같은 큰 단면을 해체해야 하는 토목공사에서는 사전에 절단된 단면의 2차 분쇄의 성격이 강하므로 직접 적용하기가 난해하다는 단점이 있다.⁽⁴⁾

2.4 다이아몬드 휠 쏘 공법

(Diamond wheel Saw Method)

다이아몬드 휠 쏘 공법은 그라인더와 같은 원리로 그라인더의 날 대신에 다이아몬드를 회전원판의 칼날에 용접시켜 전동엔진으로 고속회전시켜 교량의 슬래브나 건축물의 보, 벽, 기둥 등 비교적 절단면이 작은 철근 콘크리트 구조물을 직선상으로 절단하는 공법이다.

작업성이 매우 좋고, 해체부재의 운반도 용이하며, 작업을 정연하게 실시할 수 있는 장점이 있다. 그러나 작업시에는 냉각수의 지속적인 공급이 요구되고, 규모

가 큰 철근 콘크리트 부재에는 최대절단깊이의 제한으로 인하여 적용성에 한계가 있다. 또한 절단시 비교적 큰 소음이 발생하며, 절단날의 파손이 쉽고, 가격이 비싸다는 단점이 있다.^{(3),(5)}

2.5 다이아몬드 와이어 쏘 공법 (Diamond Wire Saw Method)

교각의 해체시 현재 가장 널리 쓰이고 있는 공법으로 일련의 가이드 폴리를 사용하여 다이아몬드가 박힌 줄톱을 해체대상 구조물에 감아 걸고 구동장치로 고속 회전시켜, 줄톱의 절단력을 이용하여 대상물을 해체하는 공법이다.

작업공간이 좁은 곳에서도 작업이 가능하며 주변구조물에 피해를 발생시키거나 교통의 흐름에 영향을 주지 않는 등의 장점을 가지고 있다. 그러나 쏘의 냉각을 위해 사용하는 다량의 냉각수로 인하여 수질 오염의 원인이 되고, 절단시 발생하는 특정폐기물인 슬러지가 환경오염의 주 원인이 된다. 따라서 본 공법을 도심지역이나 하천지역에 적용하면 주변환경을 오염시킬 수 있다는 단점이 있다.

3. 해체공법 개발

3.1 공법의 특징

사회가 발전함에 따라 시민들은 안전하고 경제적이면서, 친환경적인 공법의 적용을 요구하고 있다. 본 연구에서 개발된 콘크리트 해체공법은 시공의 안정성은 물론이고, 저소음, 무진동, 무분진과 더불어 슬러지의 최소화로 민원발생소지를 없애고, 도시환경에 피해를 발생시키지 않는 환경 친화적인 공법이다.

Fig. 1에 개발된 공법의 개념을 나타내었고, Fig. 2에 콘크리트 부재 절단후의 인양과정을 도시하였다. 그림에 보이는 바와 같이 먼저 절단기를 이용하여 피복콘크리트만을 제거하고, 철근을 절단한 후 천공을 실시하고, 천공된 구멍에 유압잭을 삽입하여 부재에 인장력을 작용시켜 대상 부재를 분할절단하는 공법이다. 즉, “곡면 혹은 직선 절단기에 의한 절단

공법”과 “유압파쇄(Buster)공법”을 조합하여 시공하는 공법이다.

3.2 구조물 모델링

개발된 “콘크리트 구조물의 해체공법”의 타당성을 검증하기 위하여 범용 프로그램으로 유한요소해석을 수행하였으며, 해석에 사용된 구조물의 제원은 Table 1에, 모델의 형상은 Fig. 3에 나타내었다. 구조해석의 특성상 구조물의 높이는 중요한 변수가 아님으로 구조해석의 변수에서 고려하지 않았다.

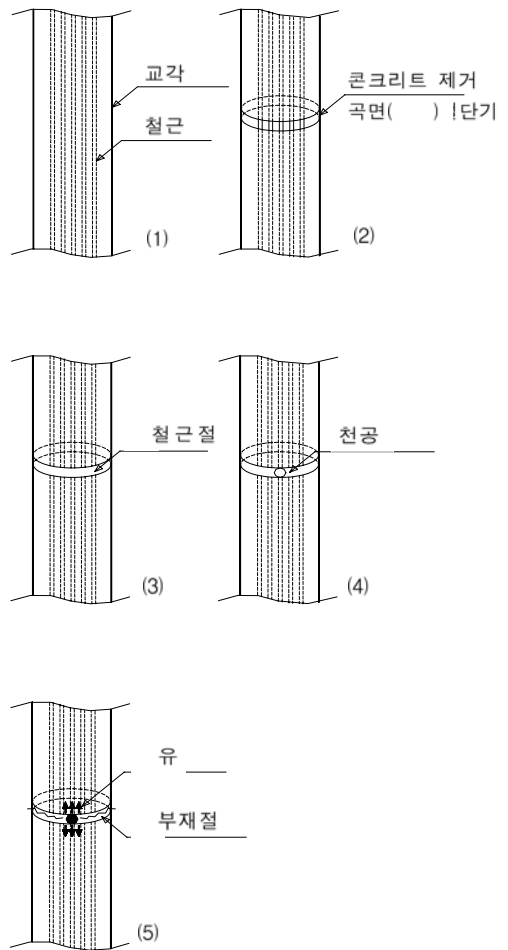


Fig. 1 시공방법

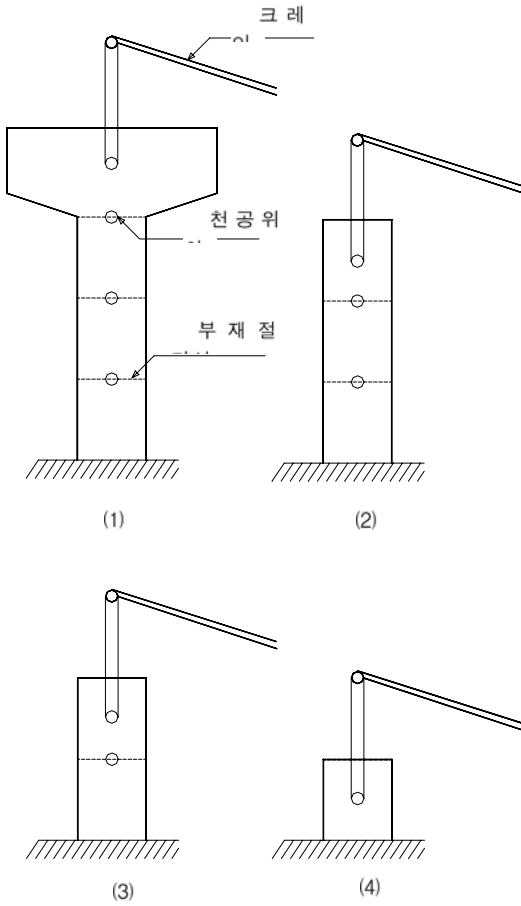


Fig. 2 다단계 부재분할 철거

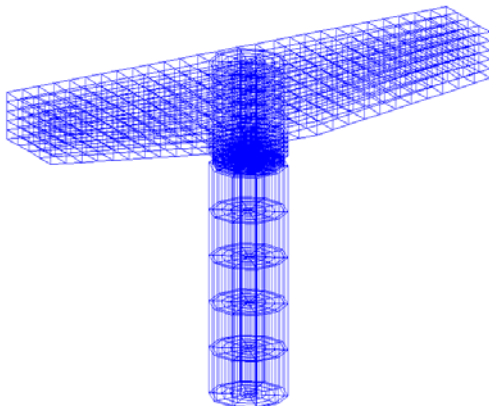


Fig. 3.3 구조물 모델의 형상

Table 1 구조물 제원

구분	특성
형식	T ! 교각
절단될 부재 자중	110tf, 200tf
지름	2.2m
f_{ck}	240kgf/cm ²
피복콘크리트	100mm
천공 지름	200mm, 300mm

각 단계별로 절단하는 부재의 자중은 크레인의 용량과 인양각도 등을 고려하여 100~200tf 정도로 분할한다. 또한 구조해석 모델링은 교량의 상부구조가 다 제거된 후의 상황을 모사하기 위하여 자중만 작용하고 있는 일주식 교각으로 하였으며, 기초부는 모델링에서 제외하였다.

구조해석시의 변수는 천공개수, 천공깊이, 천공크기, 그리고 자중으로 선정하였으며, Table 2에 나타내었다. Table 2에 보이는 것처럼, 천공개수는 2~4개를 선택하여 가장 경제적인 개수를 산정하였고, 효과적인 천공깊이를 산정하기 위하여 반지름의 약 50%까지 천공하였다. 천공크기에 따른 효과를 확인하기 위하여 천공크기를 변수로 선정하였으며, 자중은 크레인의 용량에 따른 분할 절단면의 위치를 결정하기 위하여 변수로 선정하였다. 또한, 천공한 구멍에는 15,000 tf/m²에 해당하는 인장력을 작용시켰다.

Table 3 구조해석에 사용된 변수

변수	구조해석 모델명
천공개수	2 (180°)
	3 (120°)
	4 (90°)
천공깊이	D20
	D40
	D60
천공크기	R10
	R15
자중	SW110
	SW200

*

균열이 발생하여 부재가 절단되는 시점은 콘크리트의 압축강도에 의해 좌우됨으로, 식 (1)에 의해 휨인장강도를 산출하여 이를 초과하는 영역을 균열발생영역으로 간주하였다.⁽¹⁾

$$f_{cr} = 2.0\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

여기서, f_{ck} : 콘크리트의 압축강도

f_{cr} : 콘크리트 휨인장강도

천공개수, 천공깊이, 그리고 천공크기에 따른 영향을 분석하기 위하여 인장응력이 가장 크게 발생하는 단면을 균열발생영역과 균열이 발생하지 않은 영역으로 구분하여 균열발생 면적비를 산출하였다.

3.3 구조해석 결과

3.3.1 천공개수에 따른 응력분포

40cm(D40)의 깊이로 천공을 실시한 경우에, 천공개수에 따른 응력의 분포형상을 Fig. 4에 나타내었다. 천공개수에 따른 균열발생영역은 Fig. 4에 보이는 것과 같이 천공개수가 많아질수록 증가하는 경향을 보였다. 천공을 2곳에만 실시한 경우에는 많은 부분이 아직 인장응력을 초과하지 않은 것으로 나타났다. 또한 천공을 3곳이나 4곳에 실시한 경우에는 단면 중심부를 제외한 나머지 대부분의 영역이 인장응력을 초과하여 균열이 발생한 것으로 나타났다. 하지만 균열이 발생하지 않은 단면의 크기는 거의 비슷하였다. 이를 통하여 적절한 규모의 유압잭을 사용한다면 천공을 4곳에 실시하는 경우보다 3곳에 실시하는 것이 경제적인 측면에서 보다 유리하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 천공개수에 따른 천공깊이의 영향을 알아보기 위하여 콘크리트의 인장응력을 초과하는 즉, 균열이 발생하는 면적과 전체 단면적과의 비를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에 보이는 것처럼, 부재를 절단하기 위해서는 천공개수를 증가시키는 방법보다 천공깊이를 증가시키는 방법이 훨씬 효과적이라는 사실을 알 수 있다.

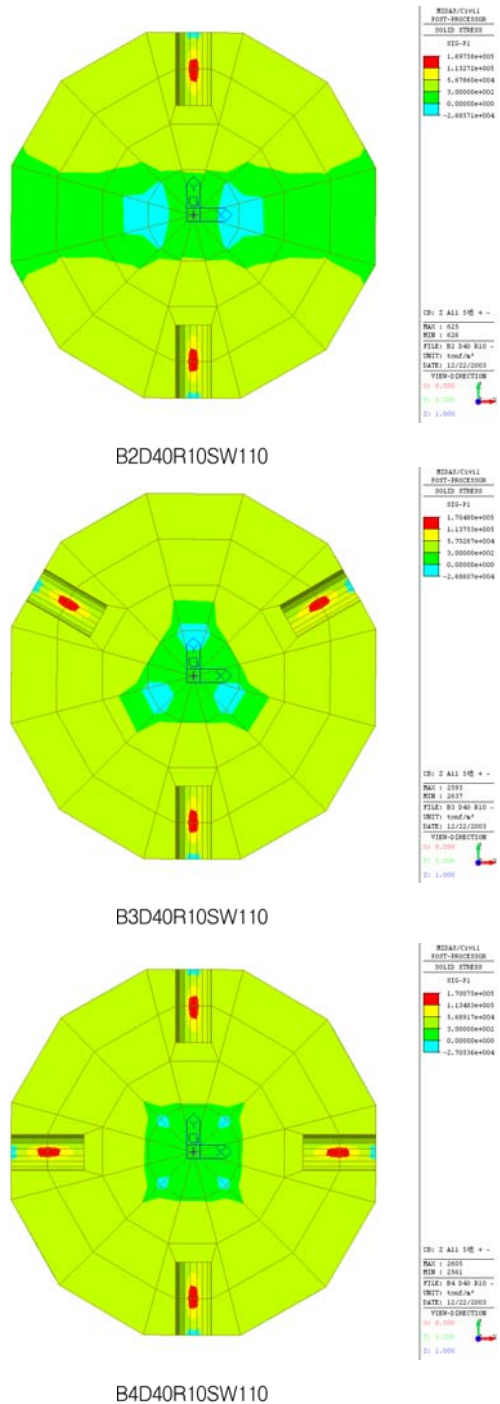


Fig. 4 천공개수에 따른 응력분포

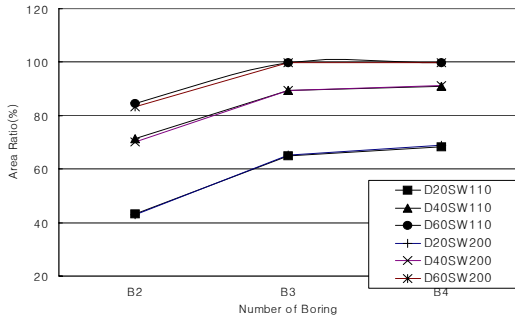


Fig. 5 보공개수에 따른 균열발생 면적비

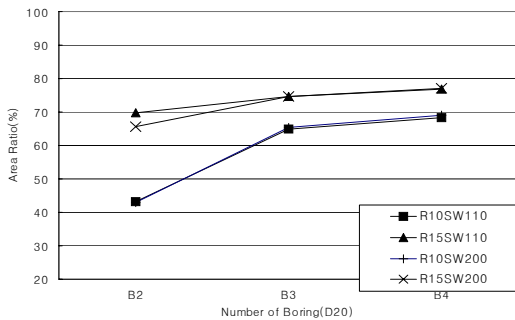


Fig. 6 (D20)

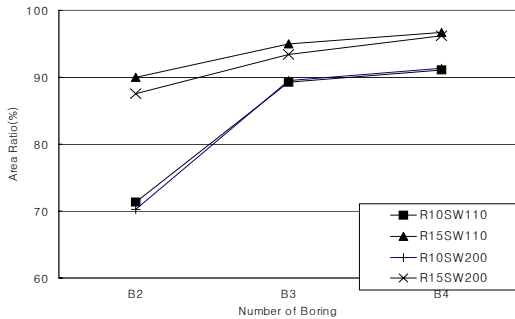


Fig. 7 (D40)

Fig. 6과 Fig. 7에는 천공개수와 천공크기 및 자중과의 상관관계를 나타내었다. 그림에 보이는 것처럼 천공개수가 작은 경우에는 천공크기에 따라 많은 차이를 나타내지만, 천공개수가 많아지면 천공크기에 따른 차이가 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 자중에 의한 영향은 2~3%내외로 거의 없는 것으로 나타났다.

이는 유압잭에 의한 인장력이 충분하기 때문인 것으로 판단된다.

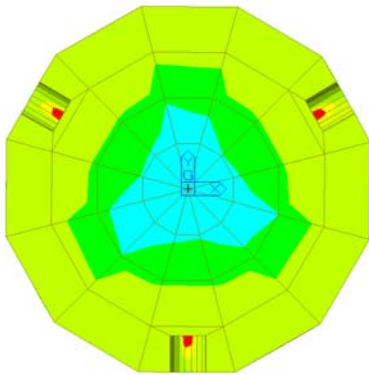
3.3.2 천공깊이에 따른 응력분포

천공을 3곳에 실시한 경우의 천공깊이에 따른 응력분포를 Fig. 8에 나타내었다. 콘크리트의 인장응력을 초과하는 균열발생영역은 천공을 깊게 할수록 크게 증가하는 것으로 나타났고, 천공을 60cm(D60)까지 실시하면 모든 단면에 균열이 발생하여 부재가 절단되는 것으로 나타났으며, 이는 천공개수에 관계없이 모두 동일한 양상이었다.

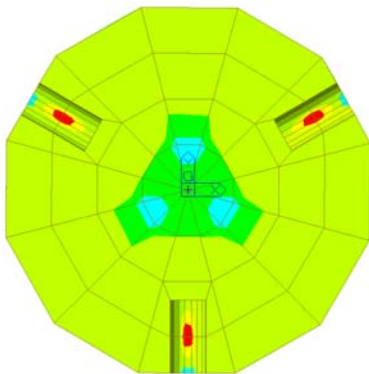
천공깊이와 천공개수와의 상관관계는 Fig. 9에 보여진다. 천공을 20cm(D20)까지 실시한 경우에는 천공개수에 관계없이 균열이 발생하는 부분이 약 70%이하로 나타났다. 40cm (D40)까지 천공을 한 경우를 살펴보면, 천공개수가 2개인 경우에는 약 30%이상의 영역에서 균열이 발생하지 않고 있지만, 천공개수가 3개 이상일 경우에는 약 90%이상의 면적에 균열이 발생하는 것으로 나타났다. 하지만 천공을 60cm (D60)까지 하는 경우에는 천공개수가 2개인 경우를 제외하면, 모든 단면에서 균열이 발생하여 부재가 절단된다. Fig. 9를 통하여 부재의 절단여부는 천공개수보다는 천공깊이에 훨씬 더 많은 영향을 받는다는 것을 다시 한번 확인할 수 있다. 또한 천공을 3개 이상 실시한 경우에는 부재 단면 반지름의 약 50% (D60)의 깊이로만 천공해도 충분한 효과를 발휘하는 것으로 나타났으므로, 상기와 같이 천공개수와 천공깊이를 설정한 후 유한요소해석을 통해 적절하게 자중에 따른 유압잭의 용량을 결정하면 시공을 용이하게 할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3.3 천공크기에 따른 응력분포

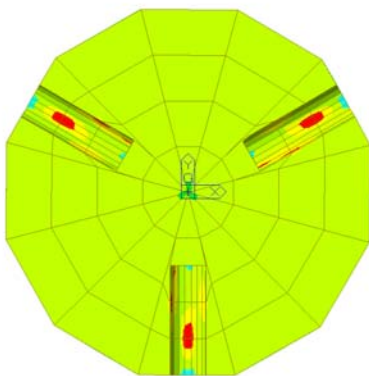
천공크기에 따른 응력분포를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 10은 일정한 천공깊이(D20)에 따른 변화 양상을 보여주고 있다. 천공크기가 클수록 균열 발생 면적이 많아진다는 것을 알 수 있으나, 그 차이는 천공개수가 많아지면 점점 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 11에는 일정한 천공개수(B3)에 따른 응력분포를 나타내었다.



B3D20R10SW110



B3D20R10SW110



B3D20R10SW110

Fig. 3.8 천공깊이에 따른 응력분포

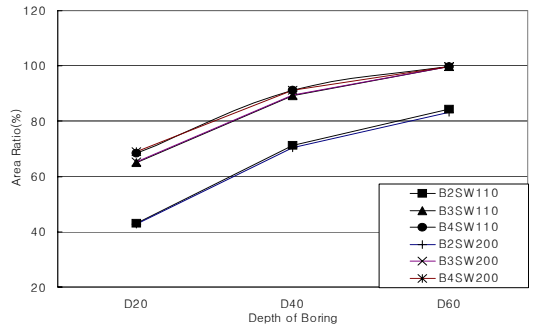


Fig. 3.9 천공깊이에 따른 균열발생 면적비

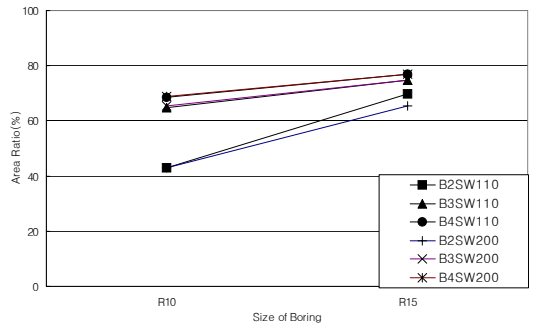


Fig. 3.10 (D20)

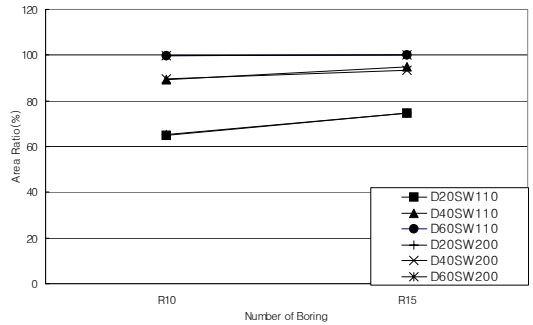


Fig. 3.11 (B3)

천공크기가 커질수록 많은 단면에서 균열이 발생되지만, 천공깊이가 깊어짐에 따라 그 차이는 감소하며 특히, 60cm (D60)이상 천공한 경우에는 거의 모든 단면에서 균열이 발생하는 것으로 나타났다. 천공크기는 균열발생면적에 다소 영향을 미치기는 하지만, 천공개수와 천공깊이를 적절하게 조절하면 천공크기는 균열

발생면적에 많은 영향을 미치는 변수가 아닌 것으로 판단된다. 따라서 시공시에는 적절한 천공크기를 결정하고 그에 상응하는 천공개수와 천공깊이를 결정하면 될 것으로 사료된다.

3.3.4 자중에 따른 응력분포

자중에 따라 발생하는 단면의 응력분포 양상을 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12를 살펴보면 전술한 바와 같이 천공크기가 증가함에 따라 균열발생 면적비는 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 자중이 증가하면 균열 발생 면적비는 감소하는 것으로 나타났으나, 그 차이는 매우 미소하였다. 이는 천공한 구멍에 작용하는 유압이 충분히 크기 때문인 것으로 판단된다. 이를 통하여 자중을 고려하여 절단부위를 결정할 때는 충분한 유압력의 용량만 결정된다면 자중의 영향은 매우 미소하므로, 절단 후 인양작업에 쓰이는 크레인의 용량과 인양각도 등을 고려하여 절단부위를 결정하고, 유한요소해석을 통하여 적절한 천공개수와 천공깊이 등을 결정하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

3.4 기대효과

콘크리트 구조물의 철거공사시 발생하는 소음, 분진 및 환경문제를 일시에 해결할 수 있는 본 공법은 향후 구조물의 해체공사에 있어서 선도적인 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대되며, 복개구조물 상하부의 콘크리트 부재, 도심지에 위치한 콘크리트 교각, 그리고 하부 공사환경이 열악하고 높은 콘크리트 교각의 분할 철거에 뛰어난 성능을 발휘할 것으로 판단된다.

본 공법은 단일공법이 아니라 기존 공법 중 장점만을 선택하여 조합함으로써 단일공법의 단점들을 제거하였다. 즉, 냉각수의 사용이 거의 없어 산업폐수와 슬러지의 발생을 크게 감소시킴으로써 이를 처리하기 위한 별도의 시설에 관한 비용 절감의 효과와 전체적인 공기 단축으로 인한 공사비 절감의 효과가 있다. 또한 본 공법은 유한요소해석을 실시해 본 결과 구조물의 크기에 적절한 천공개수, 천공깊이, 그리고 유압력을 사용한다면, 규모에 관계없이 거의 모든 구조물에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

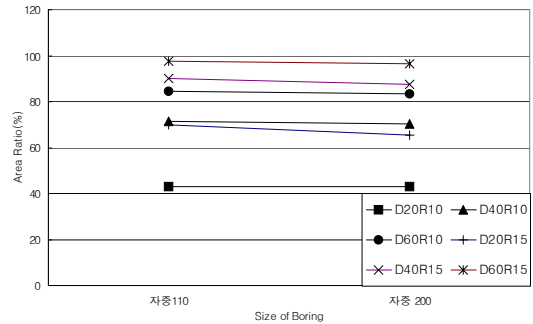


Fig. 12 (B2)

4. 결론

본 연구에서 개발한 “콘크리트 구조물의 해체공법”은 기존 해체공법의 장점만을 취하여 조합한 환경친화적인 공법이며, 본 공법의 타당성은 유한요소해석을 통하여 검증하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 본 연구에서 개발한 콘크리트 구조물의 해체 및 인양공사시 환경오염의 주원인인 냉각수에 의한 산업폐수와 슬러지의 발생 가능성을 최소화하는 공법으로써 도심지역이나 하천의 오염이 문제가 되는 지역에서 탁월한 성능을 발휘할 수 있는 공법이다.
- 2) 냉각수의 사용이 거의 없기 때문에 이를 처리하기 위한 별도시설에 관한 비용 절감과 콘크리트 구조물을 분할하여 단계적으로 해체함으로써 전체 공기의 단축이 가능한 공법이다.
- 3) 구조해석을 수행한 결과 천공개수나 천공크기를 증가시키는 방법보다 천공깊이를 증가시키는 것이 훨씬 효과적인 것으로 나타났다.
- 4) 천공크기에 따른 균열발생 면적의 변화는 천공크기가 커짐에 따라 증가하는 것으로 나타났으나, 그 증가폭은 천공개수와 천공깊이의 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다.
- 5) 본 연구의 경우 충분한 유압력의 인장력으로 인하여, 자중의 영향은 그리 크지 않은 것으로 나타났다.
- 6) 천공을 3개 이상 실시하면 부재단면 반지름의 약 50%의 깊이까지만 천공하여도 충분한 효과를 나타냈다. 따라서 시공시에는 적절한 유압력의 용량을

산정한 후 천공개수는 3개, 천공깊이는 지름의 약 1/4까지 천공하는 것이 가장 경제성이 뛰어날 것으로 사료된다.

- 7) 사전 구조해석을 통하여 변수들을 산정하면, 구조물의 규모에 무관하게 거의 모든 구조물에 적용 가능한 공법인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2002년 서울시립대학교 학술연구용 첨단 장비 지원에 의하여 연구되었으므로, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, "도로교설계기준", 2003.
2. 건설교통부, "콘크리트구조설계기준", 2003.
3. 대한주택공사 주택연구소, "구조물의 해체공법에 관한 연구(I)", 1996.
4. 민병렬, "철근콘크리트 구조물의 해체공법과 특성", 한국콘크리트 학회지, 제8권, 제3호, 1996, pp.19~28.
5. 민병렬 외 4인, "건축물의 해체공법에 관한 비교연구", 한국건설기술연구원, 1988. 12.
6. A. M. Neville, "Properties of Concrete", 1997.
7. Hillerborg et al., "Fictitious Crack Model", 1976.
8. CEB-FIP, "Structural Concrete, Manual-textbook on Behaviour, Design, and Performance", 1999.
9. Industrial Diamond Review:53, "Demolition of bridge pavement", 1993, pp. 330-332.
10. Sidney Midess, J. Francis young, David Darwin, "Concrete, Second edition", pp. 315~318

(접수일자 : 2004년 5월 10일) (급행)