

플라스틱 마이크로 패커와 중공형 코아비트를 이용한 콘크리트 균열보수 공법(SKI 공법)

박 성 우 (삼성물산(주) 기술연구소 수석연구위원)
 권 용 주 (삼성물산(주) 기술연구소 연구위원)
 김 천 만 (KPG(주) 대표)

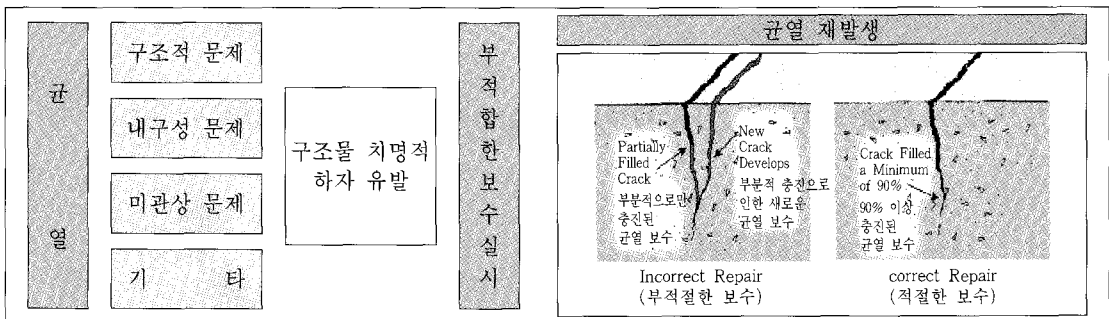
1. 서 론

콘크리트 구조물의 균열은 재료적, 구조적 및 시공적 복합적인 원인에 의해 필연적으로 발생하는 현상이다. 구조물에 발생하는 균열은 원인 및 시기, 현상이 매우 다양하므로 각 구조물의 균열에 따라 적절한 대응방안을 결정하는 것이 매우 중요하다. 또한 이 균열은 구조물의 기능성, 내구성 및 내하력을 저하시키므로 즉시 보수하여 구조물의 Life Cycle 동안 적절한 보수와 유지관리를 통해 구조물의 요구 성능을 확보하여야 한다.

기존 균열보수 공법으로 주입공법이 가장 널리 사용되고 있으나 장시간 저압주입이나 강제적 고압주

입공법으로 제한되어 이들 공법은 주입불량, 구조물 손상 및 시공성 불량, 환경폐기물 다량 발생 등의 문제점을 안고 있었다. 따라서 기존 주입공법의 문제점을 해결할 수 있는 적절한 주입공법의 개발이 절실히 요구되었고, 기존공법의 장·단점을 분석하여 균열에 따라 적절한 압력이 사용되는 중압주입공법(SKI공법)을 개발하게 되었다.

이에 따라 기존공법인 저압 및 고압주입공법과 중압주입공법(SKI공법)의 보수성능을 비교 연구하여 콘크리트 구조물 균열보수시 공법선정에 도움을 주고 나아가 적절한 보수를 통하여 구조물의 품질향상 및 내구성능을 향상시키는데 그 목적이 있다.(<그림-1>)



<그림-1>

〈표-1〉 기존 균열보수 공법 현황

구 분	주 입 장 치	주입압력(kgf/cm ²)	적용대상 균열	비 고
저압주입공법 (좌대부착방식)	고무줄/스프링주사기	1 ~ 6	0.2 ~ 0.5mm/건식	★습식균열 시공불가
	좌대 직접주입		0.3mm 이상/건식	
고압주입공법 (패커설치방식)	★철재패커(■10×55mm)	100 ~ 300	0.5mm 이상/건식	
			0.3mm 미만/습식	

※ 습식균열 : 누수가 발생했거나 누수중인 균열 ※ 철재패커의 크기는 균열에 따라 다양하게 제작 사용된다.

2. 균열보수 공법의 성능 비교

가. 기존 균열보수 공법 현황

주입식 균열보수 공법은 주입압력에 따라 저압주입공법과 고압주입공법으로 크게 분류할 수 있다.

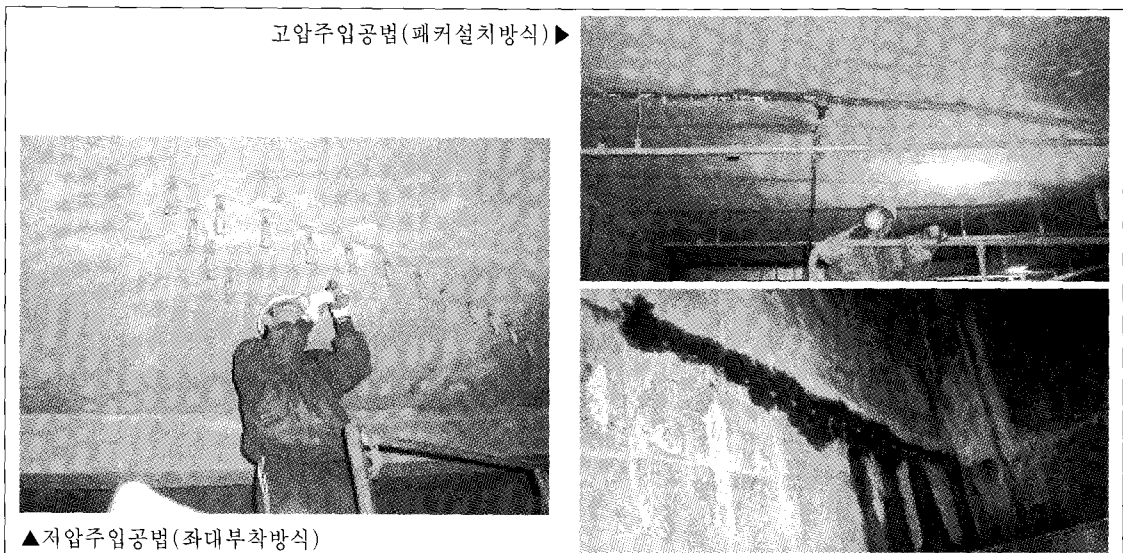
저압주입공법은 좌대부착방식으로 고무줄 주사기, 스프링 주사기, 직접주입 등의 방법으로 세분화할 수 있는데, 좌대를 부착한 후 주입공정을 수행하므로 주입할 수 있는 압력은 좌대의 부착력을 초과할 수 없으며 일반적으로 주사기를 많이 사용하므로 “주사기 주입공법” 또는 6kgf/cm² 이하의 압력을 사용하므로 “저압주입공법”으로 불려진다.

또한, 고압주입공법은 패커설치방식으로 동관과 이프, 철재패커 등을 사용하지만, 대부분 철재패커를 사용하므로 “패커주입공법” 또는 1006kgf/cm² 이상 고압을 사용하여 강제로 주입 하므로 “고압주입공법”으로 불려진다.(〈표-1〉, 〈사진-1〉)

(1) 저압주입공법(좌대부착방식)의 문제점

(가) 미주입 사례 발생

■ 균열에 따라 적정량의 보수액을 주입하여야 하나, 이를 일일이 예측하여 미리 저장할 수 없으므로 균열폭이 적을시 주입되지 않은 보수액 대부분이 낭비되고, 균열폭이 클 경우 보수액이 부족하여 주사기를 교환해야 한다.



〈사진-1〉 균열주입공법 전경

■ 내부 균열 상황에 따라 적절한 압력으로 보수액을 주입하여야 하지만 고무줄이나 스프링의 길이가 줄어들기 때문에 주입 후반부, 주입압력이 현저히 떨어지므로 주입액이 주입되지 않는다.

■ 주입액인 에폭시(EPOXY)의 특성이 온도에 민감하므로 하절기 시공시 초기 경화가 빨리 일어나고, 동절기에는 점도가 상승해 보수액이 균열에 주입되지 않고 주사기 내부에 잔류하는 경우가 많다.

(나) 각 공정 연결 시공 불가

■ 보수액 주입 후 일정 시간(24시간) 양생한 후 후속 작업을 하여야 한다.

(다) 적용부위 제한

■ 요철부위 : 토목 구조물 무늬 옹벽, MAT 콘크리트 균열 등의 부위 시공 불가

■ 코너부위 : 아파트 발코니 난간 코너, 지하 주차장 보/슬라브 부위 시공 불가

■ 누수부위 시공 불가

(라) 환경문제 발생

■ 시공 후 폐자재 대량 발생 : 작업완료 후 사용된 주사기는 균열 보수용 충전제인 경화된 Epoxy 덩어리와 함께 배출(50m 시공 기준 250~300개 발생 : 80L 대형 마대 1자루 분)

(2) 고압주입공법(패커설치방식)의 문제점

(가) 미주입 사례 발생

■ 천공시 콘크리트 가루에 의해 균열 틈이 막히

면 보수액이 한쪽 방향으로만 주입되는 경우가 많다.

■ 주입구가 균열을 만나지 못할 경우, 주입시 압력이 상승되어 정압이 생기므로 압력이 떨어질 때까지 기다려야 한다.

■ 균열부를 썰링한 후 보수액 주입시, 철재 패커 내부에 역류방지 밸브가 내장되어 있어 균열 내부의 공기가 빠져나갈 틈이 없으므로 밀실한 주입이 어렵다.

(나) 구조물 손상(〈그림-2〉)

■ 고압으로 강제 주입하므로 콘크리트를 깨트려 2차 균열을 발생시킨다.

■ 1m 시공시 6cm~15cm의 깊이로 8공 이상 천공하므로 콘크리트 내부의 철근 및 전기배관 등이 손상된다.

■ 천공 간격이 좁고 깊기 때문에 구조물에 많은 충격이 가해진다.

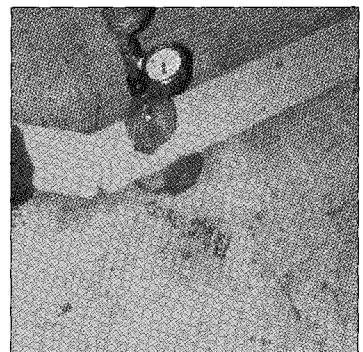
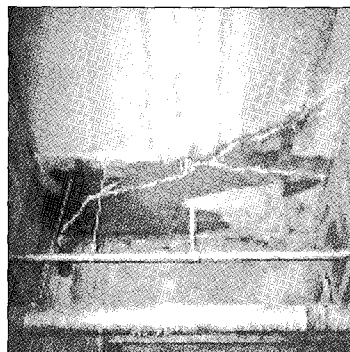
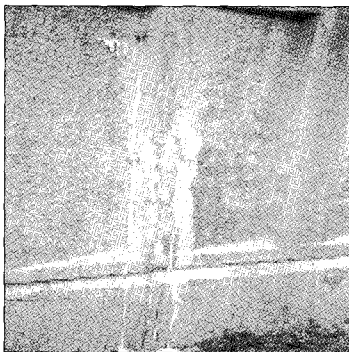
(다) 고가의 보수비용 및 안전사고

■ 고압을 견디게 하기 위해서 고가의 철재로 패커를 제작해야 한다.

■ 주입기계 및 악세사리 등도 고압용으로 제작되므로 자재비 및 장비비가 상승한다.

■ 천공작업 및 주입작업 등의 작업능률이 떨어지므로 인건비 상승요인이 된다.

■ 고압을 사용하므로 주입시 보수액이 작업자의 피부에 묻거나 눈에 들어가는 경우가 빈번하다.



〈그림-2〉 구조물 하자발생 전경

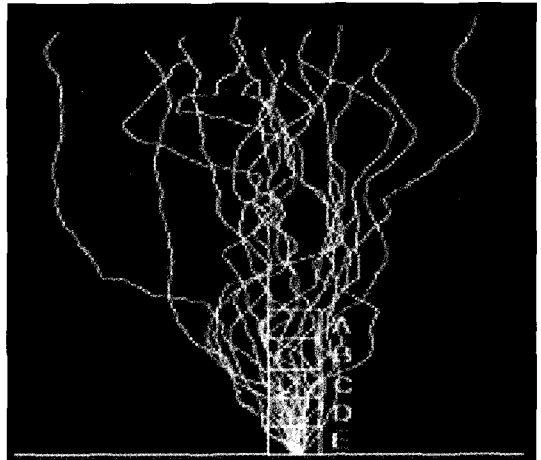
〈표-2〉 중압주입공법의 특징 및 효과

특 징	효 과
중압주입공법의 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 깨짐없이 균열심부까지 밀실한 주입가능 • 보수액 주입시간 단축
중공형 코어비트에 의한 시공법 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 균열부에 박혀있는 콘크리트 미립분을 간단히 제거하여 균열부 확보
플라스틱 마이크로패커에 의한 시공법 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 천공깊이 2cm이내의 얇은 천공가능 • 간단한 구성요소로 자재비 절감
확인창에 의한 주입량 확인방법 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 주입시 작업자가 주입량 확인가능 • 감독관 확인이 용이하여 공법에 대한 신뢰성 향상

나. 중압주입공법(SKI공법)

콘크리트 균열부 천공시 코어비트 드릴을 사용하여 균열 내부에 박힌 콘크리트 가루를 제거하고, 천공깊이를 얇게 하여 직접 천공함으로써 패커의 주입구와 균열이 직접 만나 보수액의 주입이 원활히 이루어지게 하여 균열특성에 적합한 보수액을 중압(5~100kgf/cm²)으로 주입시킬 수 있다. 또한 플라스틱 마이크로 패커를 사용하여 주입구를 간단히 설치하며, 역류방지 장치와 확인창을 통해 주입상태를 확인할 수 있는 균열보수 공법이다.

- 공법의 특징 및 효과(〈표-2〉)



〈그림-3〉 균열내부 특성

3. 실험 및 분석

가. 균열 내부의 특성

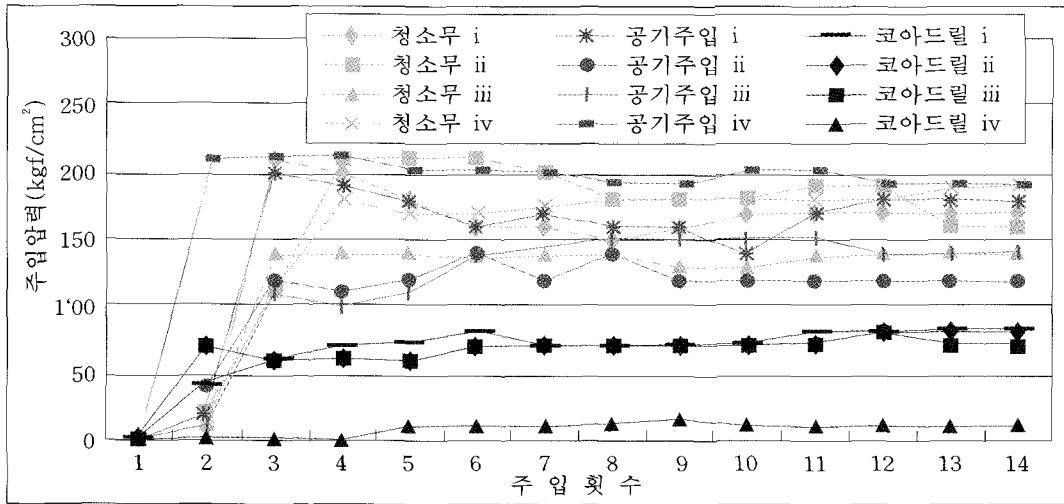
〈그림-3〉은 균열 내부에 설치하는 패커의 주입구가 균열과 만날 수 있는 가능성을 검토하기 위하여 균열부위를 천공한 다음, 공시체의 단면에 나타난 균열의 형태를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 균열은 표면으로부터 최대 60°까지 기울어질 수 있으므로 가능한 한 표면부위에 가까울수록 균열부위에 보수액이 주입될 가능성이 높은 것으로 조사되었다. 여기서 A~E까지의 거리는 5cm이고 각각의 간격은 1cm인데, A~B는 기존의 고압주입공법영역에

〈표-3〉 천공깊이에 따른 균열내부 통과횟수 및 확률

표면에서의 거리 및 주입구	주입구 내부균열 통과횟수 및 확률		
고압주입영역	A(4+1)	10/20	50%
	B(3+1)	12/20	60%
	C(2+1)	17/20	85%
중압주입영역	D(1+1)	18/20	90%
저압주입영역	E(0)	20/20	100%

* 실험내용은 대한주택공사 주택도시연구원(고진수 외)/한양대학교(심종성 외) 연구보고서를 근간으로 작성됨

해당되고, D는 중압주입공법영역에, 표면부는 기존의 저압주입공법영역에 해당된다.(〈표-3〉)



〈그림-4〉 주입구 청소 상태에 따른 압력측정 결과

나. 주입구의 천공방법에 따른 주입압력 실험

주입구 천공방법에 따른 주입압력을 측정된 결과 〈그림-4〉와 같이 주입구 내부를 청소하지 않은 경우 공기압으로 먼지를 불어낸 경우의 주입압력이 유사하게 나타나 공기압으로 주입구의 먼지를 제거하는 방법으로는 주입압력을 감소시키는 효과가 없는 것으로 판단된다. 반면, 코아드릴로 균열내부를 청소한 경우는 주입압력이 상당히 감소되어 주입구의 기능을 높이는데 효과가 있는 것으로 조사되었다. 이와 같이 유사한 크기의 균열에서는 주입구의 천공방법에 따라 주입압력에 큰 차이를 나타내므로, 주입구의 마무리 작업상태에 대한 연구와 개선방안을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

SKI공법에서는 증공형 코아비트를 사용하여 균열내부가 폐쇄되지 않도록 하므로써 주입 및 충전성을 높이도록 하였다.

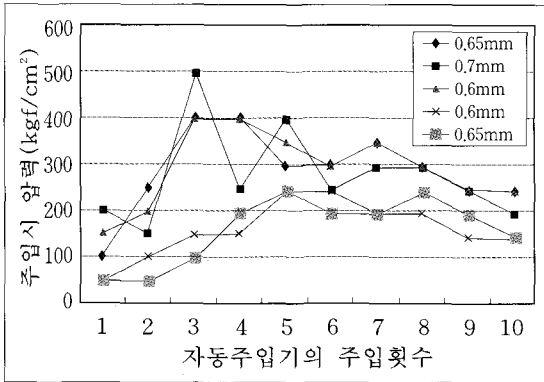
다. 주입공법별 주입압력 실험

발생위치와 크기가 유사한 균열부위에 철재패커와 플라스틱패커를 설치한 후 저점도 에폭시를 주입

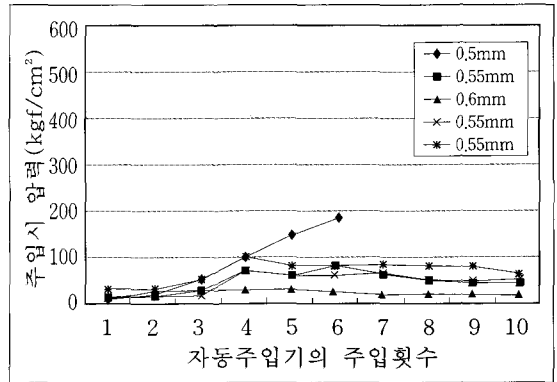
할 때 발생하는 주입압력을 측정하였다. 철재패커에 주입할 때 발생된 압력의 측정결과를 〈그림-5〉에 나타내고, 플라스틱패커에 주입할 때 발생된 압력은 〈그림-6〉에 나타내었다. 철재패커는 약 200~500(kg/cm²)의 범위에서 주입되고, 플라스틱패커는 약 40~100(kg/cm²)의 범위에서 주입되는 것을 확인할 수 있었다. 철재패커는 주입압력이 높게 나타난 경우를 일부 확인할 수 있었는데 이는 패커의 주입구가 균열과 직접 접하지 않아 주입구 내부에 압력이 집중되어 나타난 현상으로 판단되며, 일부 구간에서는 주입압력이 빠지지도 주입되지도 않고 정지되는 정압현상이 발생되었다. 플라스틱패커의 측정 결과는 100(kg/cm²) 이하의 저압에서 대부분 주입되고, 정압이나 기타 특이 현상이 나타나지 않았으나, 일부 200(kg/cm²) 이상의 고압이 발생된 부위는 패커가 밀려나오거나 주입구 사이로 보수액이 흘러나오는 현상을 확인할 수 있었다.

라. 주입방식별 코아확인

보수재료를 실제 구조물에 주입한 다음 시료를 채취한 결과를 다음 〈그림-7〉에 나타내었다. 조사결



〈그림-5〉 철재패커의 주입압력



〈그림-6〉 플라스틱패커의 주입압력

과 우레탄이 균열내부까지 가장 깊이 주입되고, 다음 에폭시가 저압, 중압, 고압의 압력이 낮은 순으로 깊이 주입된 것을 확인할 수 있었으며, 무기질 재료는 표면으로부터 약 10mm까지 주입된 것을 확인할 수 있었다. 본 실험에서 우레탄이 가장 주입이 잘된 원인은 우레탄이 대기중의 습기와 결합하여 발포되고 그 발포압력으로 인해 균열의 내부까지 보수재가 주입된 것으로 추정되며, 무기질 재료는 균열 내부에 0.03mm 이하의 미세한 틈의 균열로 보수재료의 주입을 막는 병목구간이 형성되어 보수재료가 깊이 주입되지 않았으며, 에폭시는 점도가 낮을수록 보수재료가 균열 내부까지 깊이 주입되었는데 이는 점도가 낮을수록 균열 내부를 흘러들어가는 저항이

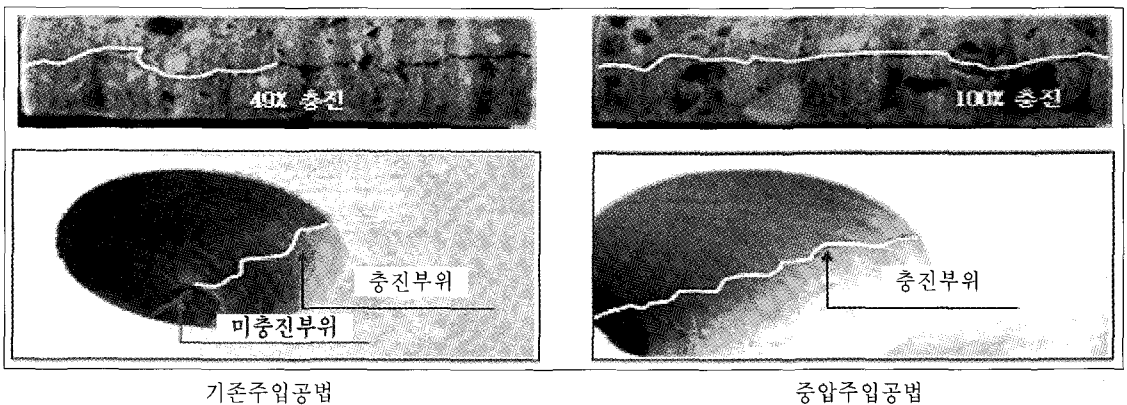
약하기 때문으로 추정한다.

마. 염소이온 투과시험

(1) 실험방법

고압주입공법과 중압주입공법의 균열부 보수성능을 평가하기 위하여 실험에서 채취한 코아의 압축강도 측정과 염소이온 투과량시험을 ASTM C1202-94와 AASHTO T227의 방법에 따라 수행하였으며, 각 공법의 에폭시 주입시 주입횟수에 따른 주입 깊이를 측정하여, 고압주입공법과 중압주입공법의 보수성능을 비교 분석하였다.

ASTM의 규정에서는 전하량과 염소이온 투과성



〈그림-7〉 주입방식별 코어 확인

〈표-4〉 Chloride permeability based on charge passed

CHANGE PASSED (CULOMBS)	CHLORIDE PERMEABILITY
> 4,000	HIGH
2,000 ~ 4,000	MODERATE
1,000 ~ 2,000	LOW
100 ~ 1,000	VERY LOW
< 100	NEGLIGIBLE

을 비교하여 아래 〈표-4〉와 같은 자료를 제시하고 있다.

(2) 실험결과

〈표-5〉는 각 실험체의 Control 시편 투과량을 나타내며, 〈표-6〉은 에폭시로 보수한 균열이 얼마나 밀실하게 채워졌는지를 평가하기 위하여 평균 Control 시편의 투과량(〈표-7〉의 평균값)을 기준으로 〈식-1〉의 식으로 보수효과를 나타낸 것이다.

$$\frac{\text{Control 시편 투과량} - \text{보수된 시편 투과량}}{\text{시편 투과량}} \quad \text{〈식-1〉}$$

따라서 값이 큰 경우가 보수된 시편의 염소이온

투과량이 적어 더욱 밀실한 보수가 이루어졌다고 판단할 수 있다. 〈그림-8〉은 〈표-7〉의 보수비를 가지고 주입 간격에 따른 중압주입공법과 고압주입공법의 보수효과를 그래프로 비교한 것이다.

주입간격이 15cm(〈그림-8(a)〉)를 보면 표면시편에서는 고압주입공법에 비하여 중압주입공법의 보수 효과가 2배 이상 크며, 내부시편에서는 두 보수방법의 보수효과가 유사한 것으로 나타났다. 주입 간격이 30cm(〈그림-8(b)〉)인 경우는 두 주입방법 모두 주입간격이 15cm보다 보수효과가 감소하지만 중압주입공법이 상대적으로 고압주입공법보다 보수 정도가 있는 것으로 나타났다. 또한 보수효과의 평균값으로 비교해 보면 전반적으로 중압 주입공법이 고압주입공법에 비하여 0.1~0.3 정도의 보수효과가 큰 것으로 나타났다.

특히 패커 간격 30cm의 중압주입공법의 염소이온 투과량이 패커 간격이 15cm인 고압주입공법의 염소이온 투과량과 거의 유사한 것으로 보아 중압 주입공법의 경우 주입간격을 30cm로 하여도 고압 주입공법의 주입간격과 15cm인 경우와 동등한 정도의 보수효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

〈표-5〉 각 실험체의 Control 시편 투과량

(단위 : culombs)

시 편	중압주입공법						고압주입공법	
	주입면 ~ 5cm			5 ~ 10cm			주입면 ~ 5cm	5 ~ 10cm
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2
투 과 량	2,499	3,757	5,374	6,369	5,106	5,871	8,450	8,499
평 균 값	3,877			5,782			8,450	8,499

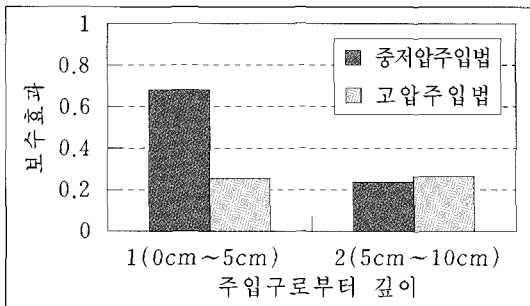
〈표-6〉 각 보수 시편의 투과량

(단위 : culombs)

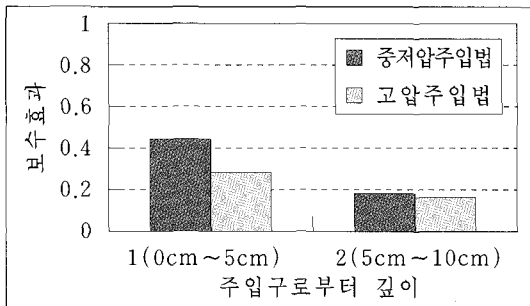
주입방법	중압주입공법				고압주입공법			
	15cm 간격		30cm 간격		15cm 간격		30cm 간격	
	시 편 명	M-1	M-2	M-1	M-2	H-1	H-2	H-1
1	1,088	4,277	-	-	5,664	6,052	5,908	7,917
2	1,351	4,644	2,048	4,673	6,255	6,305	-	-
3	4,857	5,382	3,046	6,536	4,673	7,458	5,872	6,969

〈표-7〉 Control 시편과 보수된 시편과의 비

주입방법	중압주입공법				고압주입공법			
	15cm 간격		30cm 간격		15cm 간격		30cm 간격	
	시 편 명	M-1	M-2	M-1	M-2	H-1	H-2	H-1
1	0.720	0.260	-	-	0.330	0.320	0.301	0.110
2	0.652	0.197	0.472	0.192	0.263	0.291	-	-
3	(-0.747)	(0.069)	(0.214)	(-0.130)	0.447	0.162	0.305	0.217
평균 값	0.686	0.228	0.472	0.192	0.247	0.258	0.303	0.163



(a) 주입간격 15cm



(b) 주입간격 30cm

〈그림-8〉 주입간격에 따른 보수효과

- 염소이온 투과실험 결과 주입간격 15cm인 경우 표면 시편은 중압주입공법 염소이온 투과량이 고압주입공법 염소이온 투과량 보다 2배 이상 적게 나타나 밀실한 보수가 이루어진 것으로 판단되며, 주입간격 30cm인 경우 전체적으로 중압주입공법이 고압주입공법에 비하여 염소이온 투과량이 적게 나타나 보수효과가 더 큰 것으로 나타났다. 특히 중압주입공법의 경우 패커의 간격을 30cm로 하여도 보수효과가 고압주입공법의 15cm 간격의 보수효과와

유사하게 나타나 1m당 중압주입공법의 경우 주입공수를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

- 동일 횡수에서의 보수재의 주입깊이 측정결과 5회 주입에서 두 공법 모두 주입깊이가 비슷하였으나 주입횟수 15회에서는 중압주입공법의 주입깊이가 약 5.6cm 정도 더 좋은 것으로 나타났으나, 패커의 길이를 고려하면 중압주입공법이 고압주입공법에 비하여 동일횡수에서 깊이 주입됨을 판단할 수 있다. 또한 동일횡수 주입시 고압주입공법은 예폭시가 주입구 주변에서는 많이 퍼져있으나, 깊이 들어갈수록 균열부 주변에 머물러 있는 반면, 중압주입공법은 깊이 주입되면서 넓게 분포되는 것으로 보아 동일 작업량 대비 효율이 큰 것으로 나타났다.

4. 결 론

현재 균열보수 주입공법 중 가장 범용적으로 사용되고 있는 저압공법과 고압공법에서 콘크리트 손상 및 폐기물 다량발생 등 일부 단점들이 나타났다. 현재 이러한 단점들을 보완하기 위한 새로운 균열보수 공법(SKI공법 등) 및 재료들이 활발히 개발되고 있으나 충분한 검증, 적용실적, 지침 등이 마련되어 있지 않아 기존 공법들을 계속 적용하여 보수하는 경향이 있다. 향후에는 새로운 보수재료나 공법들을 지속적으로 개발, 개선시켜 다양한 환경 및 여러 조건에 적합한 최적의 보수재료 및 공법들을 적용하는 System개발 및 시방이나 지침이 제정되어야 할 것이다. ▲