

-shotcrete의 리바운드 減少에 대한 材料開發 研究試驗

A Study of Material Development for Decreasing of Shotcrete Rebound



안 상 기*

1. 연구시험 개요

1) 연구시험 배경 및 시험개요

터널, 지하 대공동구조물, 댐 및 도로공사에서의 岩盤이나 土砂地盤을 굴착, 발파를 하게되면 지반의 弛緩으로 균열 및 틈이 생기게 되므로 落石이나 斜面崩壞로 인하여 대형사고가 발생할 수 있다. 이를 신속하게 보강하기 위하여 shotcrete를 타설하여 지층의 弛緩을 조기에 방지하고 사면활동을 막아주므로서 안전한 공사를 수행할 수 있기 때문에 地盤補強 및 支保工으로 shotcrete의 이용은 날로 증가되고 있다.

그러나 shotcrete 공법은 시멘트콘크리트 혼합물을 공기압력을 이용하여 뿜어 붙이는 시스템으로 작업중 Rebound되어 떨어지는 재료의 손실이 크다. 그 손실량은 조건에 따라 달라질 수는 있으나

나 통상 30-45%나 되어 재료의 낭비 뿐만 아니라 작업효율의 저하 및 버럭처리로 인한 공사비가 크게 상승되고 있다. 따라서 이 글은 이를 개선하기 위한 방안으로 사용재료의 성질과 Rebound의 발생원인을 명확히 규명하여 시공성이 좋고 경제적인 재료를 개발하기 위하여 실시한 연구시험결과이다.

2) 연구시험 목적

土砂地盤이나 岩盤을 굴착한 직후에는 안전하게 되어 있는 것처럼 보이는 지반도 시간의 경과에 따라 落石 또는 느슨함이 진행된다. 이것을 미연에 방지하기 위하여 shotcrete를 支保工으로 이용하는데 이에 가장 중요한 재료의 물리적특성은 타설면과의 양호한 부착력(Shootability)과 높은 초기강도의 발현이다. 밀폐된 공간에서의 작업환경상 작업자의 건강에 해를 주지않고 환경공해를 유발시키지 않는 재료로서 粉塵 발생이 작은 재료

* 정희원, 동아건설산업(주) 기술연구소 차장

가 요구되는 것이다. 따라서 이의 요구사항에 적합한 재료를 개발하기 위하여 Rebound 발생을 줄이고 점착성을 증진시키며 재료분리가 생기지 않고 粉塵이 발생되지 않는 경제적이며 생산성을 크게 증가시킬 수 있는 재료를 개발하는데 그 목적을 두었다.

3) 연구시험 내용

시험기간: 1992년 4월 1일~6월 30일(3개월)
 시험장소: 모형시험; 구로구 신도림동 동아건설 산업(주) 중앙시험실 모형터널장
 현장시험; 서울지하철 5-23 공구현장
 시험장비: 슛크리트용 알리바장비, 콤프레셔 및 측정용 시험기구
 시험구분: 재료의 물리적성질 시험 및 배합설계 시험, 모형터널내 슛크리트 타설의 리바운드량 측정시험, 현장터널내 실용화 시험

2. 슛크리트공법 고찰

본 연구시험에 사용한 타설방법은 乾式과 濕式 중 국내현장에서 가장 많이 이용하고 있는 건식법을 택하였으며 이는 Dry Mixer로 시멘트, 조골재, 세갈재 및 분말형 급결제를 혼합하여 공기압력으로 호스를 통하여 壓送하고 노즐에서 압력수를 가하여 Shooting하는 방법이다.

스�크리트 작업의 특징으로서 재료의 점착성과 초기강도가 좋아야 하며, 장비는 현지상황에 신속한 적응성이 있고 작업능률을 최대화시킬 수 있는 組合裝備이어야 한다. 특히 노즐맨의 작업능력은 많은 경험과 고도의 숙련을 요구한다. 또한 작업환경도 밀폐된 공간의 터널내부에서 이루어지기 때문에 많은 粉塵과 騒音公害의 악조건에서 작업

이 이루어진다. 이와 같이 슛크리트는 개선되어야 할 문제가 어느 한가지로 압축된 단순한 성질의 것이 아니라 사용재료와 장비의 개선, 작업원의 숙련도 및 작업관리, 작업장의 환경개선 등이 講究되어야 할 공법으로 본다.

3. 시험방법

1) 사용재료

연구시험용 재료는 시멘트, 세갈재, 조골재, 그리고 혼화재료를 사용하였으며 재료의 물리적 특성 및 혼화재료의 특성은 표1과 표2와 같다.

표1 재료의 물리적 특성

재료명	산 지	크 기	비 중	흡수율	조립율
시멘트	쌍 용	-	3.15	-	-
모 래	머사리	5mm~#200	2.594	1.823	2.768
자갈	*	15mm(G _{max})	2.717	0.923	5.952
*	*	10mm(G _{max})	2.636	1.315	5.673

표2 혼화재료의 특성

품 명	제조회사	사용량	주 성분	비 고
SHOT-P	이진실업	3-7	탄산염아무나	급결제
ATTACK-P	세일론	2-5	알加里급속탄산	급결제
SIGNIT-D	일본서카	3-7		급결제
CONJECT-WG	선철기초	0.5-1.0	알加里제유기물	수중콘크리트용
SEA BETTER AD	금토개발	0.6-0.8	아크릴계고분자	*

2) 시험사항

(1) 배합설계 시험

스�크리트의 제기능을 만족하고 리바운드를 최소화시킬 수 있으며 작업성이 좋은 최적상태의 재료를 만들기 위하여 사용재료에 대한 슛크리트 배합설계 시험을 하였다. 배합설계시 최적배합을 만들기 위하여 가장 중점적으로 고려한 사항은 양호한

표3 배합설계 시험결과

(기준: 1 m³)

배합번호	G _{max}	W/C	S/A	Water	Cement	Sand	Gravel	급결제
TM-1	15mm	45%	60%	171kg	380kg	1080kg	750kg	15.2kg
TM-2	13mm	46%	64%	184kg	400kg	1142kg	652kg	24kg
TM-3	10mm	47%	68%	197kg	420kg	1181kg	564kg	33.6kg
TM-4	*	*	*	*	*	*	*	25.2kg

입도의 조세분재율과 조기강도, 내구성을 고려한 물시멘트비 그리고 접착성을 증진시키는 것으로 하였으며 시험결과는 표3과 같이 나타났다.

(2) 압축강도시험

배합설계에 의한 슛크리트 재료의 압축강도를 알아보기 위하여 모형터널내에서 타설 작업시와 동일한 상태에서 Beam Mold(15×15×55cm)에 배합별 재료를 채취하였다. 표준양생후 재령별 강도시험을 한 결과 배합번호 TM-3의 재령 1일 압축강도는 183kg/cm², 재령 28일은 313kg/cm²으로 설계강도(210kg/cm²)보다 높은 강도를 나타냈으며 시험결과는 표4와 같다.

표4 압축강도시험 결과표

번호	강도	1 일	3 일	7 일	28 일
TM - 1		132	180	202	231
TM - 2		157	190	213	269
TM - 3		183	204	236	313

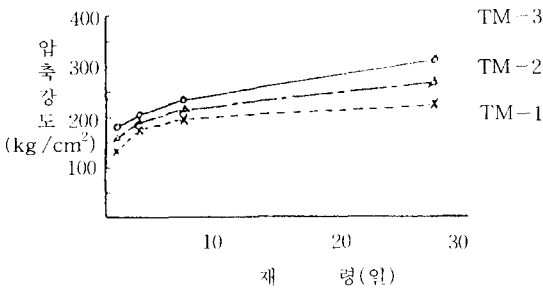


그림1 배합별 재령-압축강도 곡선

(3) 리바운드 측정시험

스츠크리트 작업중에 리바운드되어 떨어지는 재료의 손실에 대하여 그 발생 원인을 규명하고 리바운드량을 최소화하는 방안을 강구하기 위하여 리바운드량을 작업조건과 배합조건으로 구분하여 측정하였으며 그 값이 가장 작은것을 최적상태의 개선안으로 하였다.

4. 시험결과 고찰

작업조건과 배합조건을 중심으로 각 항목별

특성 및 시험결과에 대한 특성을 보면 다음과 같다.

1) 기존배합의 리바운드량

현재 국내현장에서 일반적으로 사용하고 있는 기존방법을 모델화하여 모형터널에서 타설할 경우 리바운드량을 측정된 결과 측벽부는 26.5% 천정/아취부는 28.3%로 현장에서 측정되는 값(30~45%)보다 작았다. 이것은 현장과 모형시험과의 작업환경의 차이점 때문인 것으로 보인다. 그러나 특기할 사항은 측벽부와 천정/아취부의 리바운드량이 큰 차이가 없는 것은 천정/아취부에서도 벽체부와 동일하게 작업조건을 갖추어 타설한다면 리바운드량도 비슷하게 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

2) 작업조건별 리바운드량

작업방법에 따라서 리바운드의 발생율은 크게 좌우되기 때문에 이에 대한 구체적인 원인별 발생을 규명하기 위하여 타설거리, 타설각도 그리고 노출면의 경형정도에 따른 리바운드량을 확인한 결과 다음과 같은 특성 및 最適狀態를 확인하였다.

(1) 타설거리별 리바운드량

타설거리에 의한 리바운드량을 조사하기 위하여 타설면과 노출의 간격을 70, 100, 130cm로 하여 壓送壓力을 3.5kg/cm²로 시험한 결과 각각 21.1, 19.9, 28.1%로 거리가 가까운 것보다 먼 거리일 경우가 리바운드 발생율이 더 높으며 가장 최소화할 수 있는 거리는 그림2에서 추정할 수 있듯이 87cm(약 90cm)가 리바운드에 미치는 영향이 가장 작은것으로 나타났다.

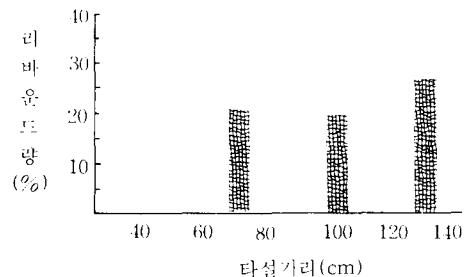


그림2 타설거리-리바운드량 곡선

(2) 타설각도에 의한 리바운드량

노즐의 타설각도가 타설면에 90, 70, 50도의 경사에 의한 리바운드량이 27.4, 48.2, 68.0%로 경사각이 점점 기울어지는 경우 리바운드량은 크게 증가하며 가장 작은 값은 타설면에 직각일 경우가 최소의 리바운드량을 나타내는 것으로 그 결과는 그림3과 같다.

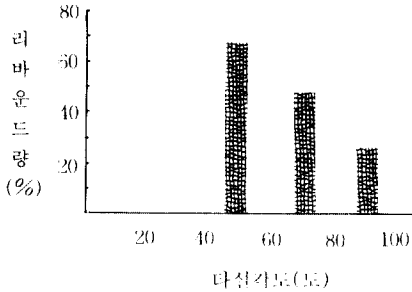


그림3 타설각도-리바운드량

(3) 노즐맨 등급별 리바운드량

노즐맨의 작업 숙련도와 경험정도를 등급별로 표5와 같이 하여 시험한 결과 A, B, C 노즐맨에

표5 노즐맨의 등급구분

노즐맨 등급	작업 숙련도	시삭수준	비 고
A	현장경험 많고 매우 간함	경험/이론 많음	숙련공
B	알리바공으로 약간의 경험	약간의 이론갖춤	기능공
C	현장경험 전혀 없음	이론지식풍부함	잡 부

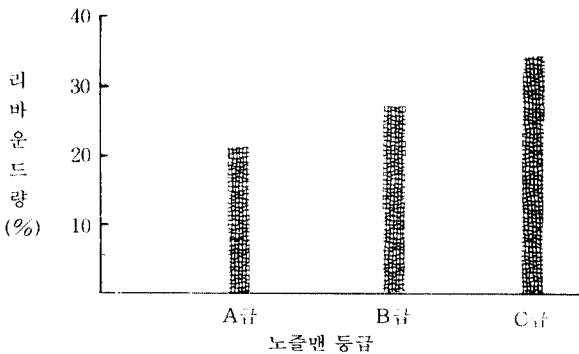


그림4 노즐맨 등급별 리바운드량

따라 각각 21.4, 28.5, 36.8%로 숙련공과 비숙련공의 리바운드량 차이는 숙련공에 비하여 무려 1.7배의 리바운드량을 발생시키는 것으로 숙련도가 리바운드량에 미치는 영향은 그림4에서와 같이 상당히 큰 것으로 나타났다.

3) 배합조건별 리바운드량 고찰

배합조건에 의한 리바운드량의 영향을 알아보기 위하여 표6과 같이 급결제사용량, 골재크기, 세골재율, 단위시멘트량 및 혼화재료의 종류에 대한 각 조건별 특성 및 최적상태의 배합시험을 하였으며 이에 대한 결과분석 및 고찰은 다음과 같다.

(1) 급결제 사용량별 리바운드량

급결제가 리바운드에 미치는 영향을 알아보기 위하여 급결제 사용량을 시멘트중량의 4, 6, 8, 10% 씩 증가시켜 시험하였을 경우 리바운드량은 각각 26.6, 20.1, 16.5, 21.3%로서 최소의 리바운드량은 급결제량이 8%일 경우이며 사용량이 너무 적거나 많으면 오히려 리바운드량은 증가되는 것으로 그림5에서와 같이 나타났다. 또한 분말형의 급결제를 과다하게 사용하면 오히려 粉塵 발생이 많아져 작업장의 환경을 극심하게 혼탁한 현상으로 만들며 작업사의 시야를 흐리게 하여 단위수량 조절이 어려웠다. 이 때 불균일한 사용수로 혼합물의 점착성을 감소시켜 오히려 리바운드량은 증가되었다. 그러나 초기응결 상태는 급결제의 사용량이 6% 이상이면 타설 직후부터 관입저항기로 측정이 불가능한 매우 단단한 상태로 응결되었다.

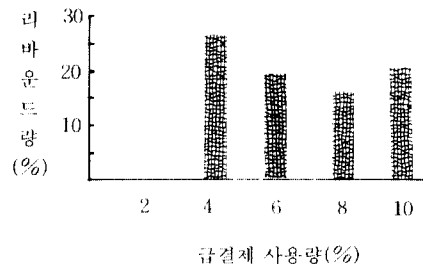


그림5 급결제량-리바운드량

표6 조건별 리바운드량 측정 시험결과

구 분		시 험 조 건	타 설 부	사 용 배 합	리 바 운 드 량
기 존 배 합		측 벽 부	측 벽 부	TM - 1	28.6 %
		아 치 부	천정/아취		30.3 %
작 업 조 건	타 설 기 리	70 Cm	측 벽 부	"	21.1 %
		100 Cm	"		19.9 %
		130 Cm	"		28.1 %
	타 설 각 도	50 도	"	"	68.0 %
		70 도	"		48.2 %
		90 도	"		28.4 %
	노 출 맨	A 급	"	"	19.4 %
		B 급	"		28.5 %
		C 급	"		36.8 %
배 합 조 건	금결재 사용량 (Attack-p)	4 %	"	"	26.6 %
		6 %	"		20.1 %
		8 %	"		16.5 %
		10 %	"		21.3 %
	골재 크기	15 mm	"	"	25.6 %
		13 mm	"		22.0 %
		10 mm	"		18.2 %
	조 세 골재 율	60 %	"	TM - 3	25.6 %
		64 %	"		16.9 %
		68 %	"		14.3 %
	단위시멘트량	380 kg/m ³	"	TM - 1	30.4 %
		400 kg/m ³	"		25.6 %
420 kg/m ³		"	18.7 %		
Conject - WG		"	18.3/27.5 %		
혼화제 종류	Sigunit - D	"	"	18.1/20.9 %	
	Shot - P	"		20.8/24.6 %	
	Sea Better	"		15.2 %	
	최 종 시 험	현장기존상태		측 벽 부	TM - 1
	재료 개선안	천정/아취	TM - 3	13.3 %	

(2) 골재 최대크기가 리바운드에 미치는 영향
 조골재 최대크기를 15, 13, 10mm로 사용하였을 경우 리바운드율은 26.6, 22.0, 18.2%로 골재의 최대크기가 작을수록 리바운드율은 크게 감소되었다. 조골재를 최소화시키는 것은 부배합으로 점착성이 좋고 재료분리가 작기 때문에 타설면에 잘 부착되는 것으로 그림6에서와 같이 나타났다.

그러나 10mm 골재를 사용한 쏫크리트재의 압축강도는 문제점이 없으나, 골재의 생산단가로 인한 원가상승이 리바운드량 감소에 의한 원가절감 효과보다 작아야 되므로 경제적인 조골재 최대 치수가 되도록 하여야 할 것이다.

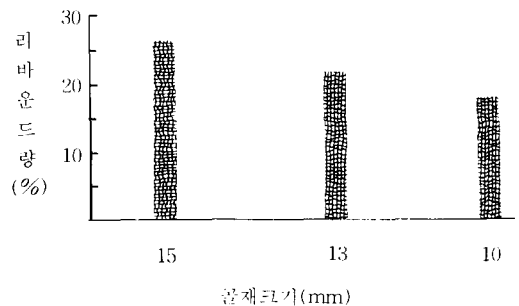


그림6 골재크기별 리바운드량

(3) 세골재율이 리바운드에 미치는 영향

조골재 최대치수가 15, 13, 10mm에 대하여 세골재율을 60, 64, 68%로 각각 증가시켰을 경우 리바운드량은 25.6, 16.9, 14.3%로 감소되었다. 따라서 조골재와 세골재를 혼합하여 사용할 경우에는 부배합 일수록 리바운드량이 크게 감소되는 것으로 그 원인은 粗粒子보다 細粒子가 더 부착성이 좋은 것으로 그림7에서와 같이 나타났다.

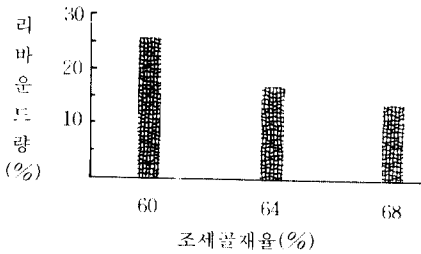


그림7 조세골재율-리바운드량

(4) 단위시멘트량이 리바운드에 미치는 영향

단위시멘트량이 380, 400, 420kg/m³일 경우 리바운드량은 30.4, 25.6, 18.7%로서 단위시멘트량의 증가는 리바운드량을 크게 감소시키는 것으로서 그림8에서와 같이 나타났다. 이것은 시멘트가 골재의 표면적을 잘 피막시켜주고 부착성이 증진되기 때문인 것으로 보인다. 따라서 슛크리트재료 배합설계시에는 강도만을 충족시키기 위한 배합설계보다 리바운드에 미치는 영향을 고려하여 경제적인 所要單位시멘트량을 선정하는 것이 매우 중요한 것으로 나타났다.

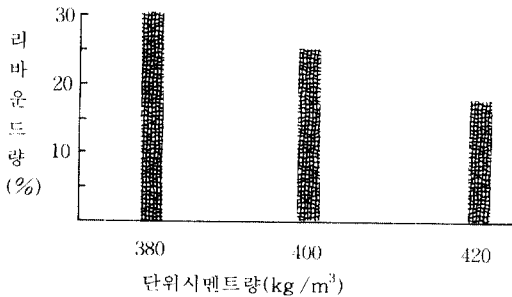


그림8 단위시멘트량-리바운드량

(5) 혼화제 종류별 리바운드의 특성

조기강도올 급결제는 Attack-p, Shot-P, Sigunit-D(일본 제품)와 점착성을 증진시키기 위한 Conject-WG와 Sea Better를 사용하였다. 급결제는 사용량에 따라서 리바운드량의 차이가 있었으며 특히 국내제품은 8%의 사용량일 경우에 급결성이 좋고 최소 리바운드량이었으나 일본 제품의 Sigunit-D는 4~6%의 사용량으로서는 동일한 효과가 있는 것으로 그림9와 같이 측정되었다. 이와같은 차이점은 품질상의 문제점으로 혼화제의 선정 및 사용시에 반드시 품질시험과 경제성 검토 후에 제품선택이 되어야 할 것이다.

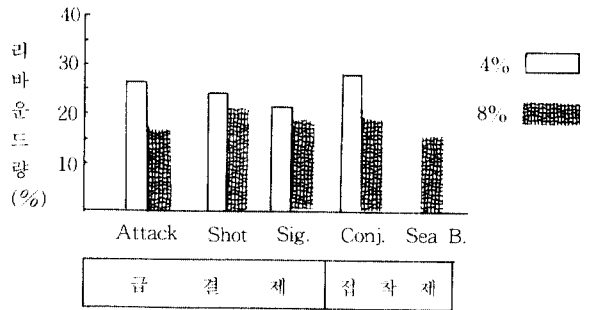


그림9 혼화제별-리바운드량

4) 개선안과 기존안의 비교 시험결과

본 시험에서 도출된 개선안에 대한 효과를 검토하기 위하여 상기 사항에서 검토한 최적의 조건으로 타설거리 90cm, 토출압력 3.5kg/cm², 타설각도 90도를 유지하였으며 배합은 급결제사용량 8%, 골재크기 10mm, 세골재율 68%, 단위시멘트량 420kg/m³, 단위수량(W/C)은 47%로 하여 리바운드량을 측정하였다. 그리고 기존 방법에 의한 결과와 비교하여 보면 그림10과 같이 측정된 값은 27.4%에서 13.3%로 리바운드량이 감소되었다.

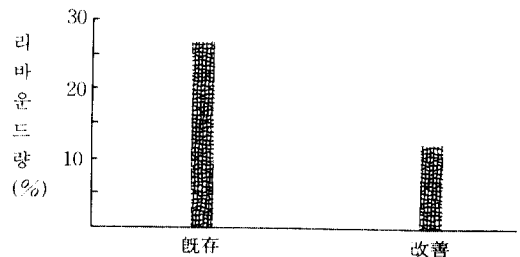


그림10 既存案/改善案-리바운드량(모형터널)

5) 현장 실용화 시험결과 및 고찰

표7 현장실용화 시험 재료배합표

(기준: 1 m³)

배합번호	Gmax.	W/C	S/A	Water	Cement	Sand	Gravel	급결재
기준배합	15mm	45%	60%	176kg	380kg	1142kg	750kg	15.2kg
개선배합	10mm	47%	68%	197kg	420kg	1181kg	564kg	25.2kg

현장 실용화 시험은 서울지하철공사 5-23공구 현장의 굴착된 측벽부에 표7의 재료배합비를 가지고 모형터널시험에서 확인된 개선안과 현장에서 사용하고 있는 기존안으로 타설시험을 하여 리바운드량을 측정하였으며 특히 시공성에 대하여도 알아보았다.

(1) 시험결과

현장실용화 시험결과 현장에서 사용하고 있는 기존작업은 리바운드량이 17.8%였으며 개선안은 9.8%로 재료 개선에 의한 감소비율은 55%로 그림11과 같이 나타났다.

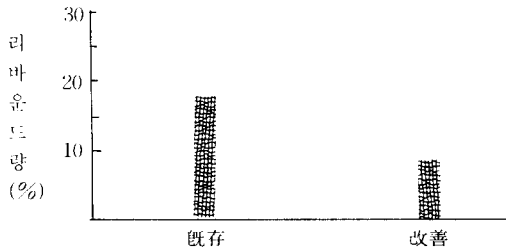


그림11 既存案 / 改善案 - 리바운드량(현장)

(2) 시험결과 고찰

현장실용화 시험에서 改善/既存 대비 리바운드율의 감소비는 55%, 모형터널에서는 47.8%인 점을 고려하면 평균 51.5%의 리바운드 감소비율이 된다. 따라서 재료개선의 효과는 정착성이 매우 좋으며 리바운드량을 기존 상태보다 절반이하로 감소시키므로 작업효율을 크게 증진시키는 것으로 나타났다.

5. 경제성 검토

본 연구시험의 경제성 검토결과 표8과 같이

표8 슛크리트 재료비(기준 / 수정배합)

(1 m³)

구분	단가	기준배합	수정배합
시멘트	2,600원/40kg	19,950	22,050
모래	15,000원/m³	10,245	11,070
자갈(15mm)	17,000원/m³	7,152	-
자갈(10mm)	18,500원/m³	-	5,950
급결재	450원/m³	7,200	11,340
1 m³ 재료비		44,187	50,410

표9 슛크리트 시공단가표(既存 / 改善)

(원/m³)

구분	리바운드량	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	
	재 료 비		44,187	48,606	53,024	57,443	61,862	66,281
기 준 안	인 건 비		31,193	34,312	37,432	40,551	43,670	46,790
	상 비 비		24,906	27,397	29,887	32,378	34,868	37,359
	비력처리비		0	1,400	2,800	4,200	5,600	7,000
	계		100,286	111,715	123,143	134,572	146,000	157,430
개 선 안	리바운드량	0%	5.2 %	10.3 %	15.5 %	20.6 %	25.8 %	
	재 료 비		50,410	53,031	55,602	58,224	60,794	63,416
	인 건 비		31,193	32,815	34,406	36,022	37,610	39,241
	상 비 비		24,906	26,201	27,471	28,766	30,037	31,332
	비력처리비		0	728	1,442	2,170	2,884	3,612
계		106,509	112,775	118,921	125,188	131,334	137,601	
절 감 액		-6,223	-1,060	4,222	9,384	14,666	19,829	

* 서울지하철 5-23 공구 슛크리트 공사비 자료참조

재료비는 50,410원/m³으로 기존재료보다 6,233원이 더 비싸지만 공사비중에 재료비가 차지하는 비중은 약 43%로서 리바운드율을 감소시키면 버력처리 비용이 감소되고 작업효율이 크게 향상되어 노무비와 장비비가 크게 절감되므로 현재의 현장 리바운드량이 20% 이상에서는 슛크리트 공사비가 표9와 같이 원가절감이 되는 경제적인 개선안으로 판명되었다.

6. 결 론

본 연구시험 결과 슛크리트 타설작업시 작업조건과 배합조건을 개선하면 리바운드량을 크게 감소시킬 수 있다는 것은 상기한 바와 같으며 이에 대한 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 작업조건

(1) 타설거리

70~130cm 범위중 90cm일 경우 리바운드량은 28.1%에서 19.9%로 감소

(2) 타설각도

50~90도 범위중 90도일 경우 리바운드량은 68%에서 28.4%로 감소

(3) 노즐맨 숙련도의 영향

노즐맨 숙련도 A, B, C급일 경우 리바운드량은 68%에서 28.4%로 감소

2) 배합조건

(1) 급결제의 사용량

4~10% 범위중 8%사용량일 경우 리바운드량은 26.6%에서 16.5%로 감소

(2) 조골재 최대크기

10~15mm 범위중 10mm 크기일 경우 리바운드량은 25.6%에서 18.2%로 감소

(3) 세갈재율

60~68% 범위중 68%일 경우 리바운드량은 25.6%에서 14.3%로 감소

(4) 단위시멘트량

380~420kg/m³범위중 420kg/m³일 경우 리바운드량은 30.4%에서 18.8%로 감소

(5) 단위수량

40~47%범위중 45%의 W/C일 경우 리바운드량은 29.5%에서 18.5%로 감소

(6) 혼화재 종류별 품질상태

제품별 혼화재는 리바운드와 급결성에 미치는 품질성능 및 급결성의 효과에서 다소의 차이가 있었다.

이와 같이 최적상태의 개선안은 현장에서 사용하는 기존의 리바운드 발생량의 약 52%정도를 절감할 수 있는 것으로 재료비는 비싸지만 노무비, 장비비 및 버력처리비를 고려할 경우 전체적인 공사비 면에서 양질의 개선재료 사용으로써 7~11%의 원가절감을 할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. □