제 1 장 서 론

1.1 연구목적 및 필요성

- 택지개발 사업현장에서 발생하는 발생암과 부산물의 다양한 활용용도를 강구
- 발생암과 부산물의 활용 및 관리에 있어 현행 설계기준의 개선방안 모색
- 결과적으로 암석자원의 고부가가치적 활용 및 원가절감을 도모

1.2 연구내용 및 범위

- 현장발생암, 크러셔 혼합석, 석분의 발생율 분석 및 입도별 활용방안 연구
- 석분, 크러셔 혼합석, 동상방지층재료의 특성분석 및 활용방안 연구
- 포장용 골재의 보완 활용방안 연구 및 현장시험시공
- 발생암의 물성평가를 통한 암판정 기준에 관한 연구
- 원암, 발생암, 크러셔혼합석, 동상방지층 재료의 토량환산계수에 관한 연구

1.3. 연구수행 방법

구 분		연 구 수 행 방 법
문헌자료 검토		- 재료별 활용용도 및 사례, 재료의 시방기준 - 석분 재활용 기술현황 및 사례 - 암반 분류 방법 및 평가 기준 - 토량환산계수 기준
현장조사 및 시험		- 현장입도시험, 현장 단위용적질량측정 시험 - 포장재료의 현장시험시공, 평판재하 및 들밀도시험
실내 시험	입도특성	- 실내입도시험, 체분석, 0.08mm통과율
	물리적 특성	- 밀도, 함수비, 액소성, 흡수율, 모래당량, 마모율, 안정성, 단위용적질량, 투수시험, 동상방지층의 모관상승고 측정
	다짐특성	- 다짐시험, CBR시험
	암석특성	- 현미경조직검사, 비중 및 흡수율, 일축압축강도, 점하중강도, 탄성파속도, 슬레이크 내구성
결과분석		- 발생암 및 쇄석골재의 발생율 및 입도별 활용방안 검토 - 석분의 특성분석과 활용방안 및 적용성 검토 - 파쇄골재의 특성분석과 활용방안 및 적용성 검토 - 동상방지층재료의 특성분석과 활용방안 및 동상성 평가 - 토량환산계수 산출 및 기존 적용기준과 비교/검토 - 암물성치의 분석과 암판정 평가항목 및 평가기준치 선정

■ 발생암 연구 현장 조사, 현장 및 실내 시험분석 방법

구 분	시 험 명	시 험 방법	활용방안
현장 조사 및 시험	토량변화율	질량측정	토량환산계수 산정
	입도조사	현장 체 가름	입도분포, 활용 용도
	도로 평판재하시험	KS F 2310	포장 지지력평가
	모래치환에 의한 흙의 현장밀도시험	KS F 2311	포장 다짐도
실내 시험 및 분석	입도시험	KS F 2302 KS F 2502	입도분포, 재료의 적합성 평가
	액성·소성한계시험	KS F 2303	재료의 적합성 평가
	함수비시험	KS F 2306	재료의 적합성 평가
	밀도시험	KS F 2308	재료의 적합성 평가
	0.08 ㎜ 체 통과량 시험	KS F 2309 KS F 2511	재료의 적합성 평가
	다짐시험	KS F 2312	재료의 적합성 평가
	마모시험	KS F 2508	암 유용성, 재료의 적합성 평가
	노상토 지지력비 (CBR) 시험	KS F 2320	재료의 적합성 평가
	투수시험	KS F 2322	재료의 적합성 평가
	모래당량시험	KS F 2340	재료의 적합성 평가
	잔골재/굵은골재의 밀도 및 흡수율 시험	KS F 2503 KS F 2504	암 유용성, 토량환산계수 산정
	단위용적질량	KS F 2505	암 유용성, 토량환산계수 산정
	골재의 안정성시험	KS F 2507	암 유용성 및 적합성평가
	일축압축강도시험	KS E 3033	암 특성파악 및 분류
	점하중강도시험	ISRM SMs	암 특성파악 및 분류
	탄성파속도시험	ASTM D 2845	암 특성파악 및 분류
	슬레이크내구성시험	ISRM SMs	암 특성파악 및 분류

1.4 연구 대상 현장

현장 발생암의 현황, 암분류, 발생율 및 토량변화율, 활용용도 등에 대한 연구를 수행하기 위해 한국토지공사의 택지개발사업 지구중 단지조성공사를 진행중인 4개 현장 6개공구(공주, 충주, 판교 1, 2, 3 공구, 화성)를 대상으로 연구를 수행하였다.

구 분	위 치	면적 (㎡)	사업기간	대표암종	암발생량(천㎥)		
					리핑암	발파암	계
공주 신금지구	공주시 금흥동, 신관동 일원	230,096	2002.07 ~2008.09	반상쇄설 편마상 화강암	221	25	246
충주 첨단 지방 산업단지	충주시 이류면 본리·완오리 일원	2,009,008	2005년 ~2008년	불국사 화강암류	2,349	95	2,444
성남 판교지구	성남시 수정구 및 분당구 일원	9,376,490	2003년 ~2009년	경기 편마암 복합체	1,611	3,034	4,645
화성 동지지구	화성시 동탄면 동지리 일원	809,063	2006년 ~2009년	-	359	280	639

제 2 장 현장발생암 및 부산물의 활용방안 연구

본 연구에서는 한국토지공사의 단지조성공사가 진행중인 6개 현장(화성, 공주, 충주, 판교 1, 2, 3 공구)을 대상으로 발파에 의한 발생암, 크러셔 생산 포장골재 및 석분, 동상방지층 재료 등에 대하여 ① 현장 및 실내입도시험을 통하여 입도별 발생율을 확인하고 ② 물리적 특성시험, 다짐특성시험 등을 수행하여 관련용도 및 활용방안별 기준에 적합한지를 검토하였다. 또한 ③ 보완이 필요한 재료에 대해서는 보완방안을 검토하였으며 보완후 재료의 적합성에 대한 평가를 실시하였다.

2.1 활용용도와 재료기준에 대한 문헌검토

■ 활용 용도에 따른 재료기준 검토자료 목록

구 분	재료 기준 검토 자료
성토재	한국토지공사 토공재료의 품질기준 및 품질관리 지도서, 한국주택공사 주택건설전문 시방서, 서울특별시 토목공사 전문시방서, 국토해양부 토목공사 표준시방서 등
동상방지층	국토해양부 도로공사 표준시방서, 한국도로공사 도로설계편람, 한국도로공사 고속도로공사전문시방서, 국토해양부 도로공사 표준시방서 등
보조기층	국토해양부 도로공사 표준시방서, 한국도로공사 도로설계편람, 한국 토지 공사, 한국 도로공사 표준시방서, 일본기준, 미국(버지니아주, 일리노이주)기준 등
입도조정기층	국토해양부, 도로공사표준시방서

본 연구대상 현장에서 발생하는 재료를 기준으로 용도별 입도기준, 물리적 특성기준 등에 대하여 주로 국내기준을 위주로 비교 검토하였으며 활용방안수립 및 적합성 평가시 활용하였다.

2.2 발생율 분석

실내 및 현장 입도시험을 통하여 발파발생암, 크라셔 생산골재, 동상방지층 재료에 대해 발생율을 분석하고 발파방법, 크러셔 파쇄방법 등에 따라 분석하였다.

■ 시험대상 재료와 현장 및 실내입도시험의 방법

○ 시험대상 시료의 사진

(a) 현장 발생된 발파암 시료

(d) 크러셔에 분쇄된 시료

○ 현장 입도시험 사진

(a) 현장 체가름 시험

(b) 체 남은 시료의 질량측정

(c) 체가름에 분류된 시료

○ 실내 입도시험 사진

(a) 실내 체가름 시험용 장비

(b) 체가름한 시료

■ 발파 발생암의 입도별 발생율 분석(3개현장 5개공구 13개소)

○ 현장 및 채취 지점별 분석

현 장	채취 지점	300 ㎜ 초과 (%)	100~300 ㎜ (%)	100 ㎜ 이하(%)			암 종
				75㎜ 이하	50㎜ 이하	10㎜ 이하	
공주	A	4.3	31.9		63.8		석영-장석반암 및 편마암
				57.8	52.6	33.8	
	B	5.4	41.9		52.7		석영-장석반암 및 편마암
				44.6	40.5	22.9	
	현장평균	**4.9**	**36.9**		**58.3**		-
				51.2	**46.6**	**28.4**	
충주	A	13.8	27.5		58.7		거정질 화강암 및 편마암
				50.8	38.2	11.9	
	B	21.6	44.8		33.6		거정질 화강암 및 편마암
				30.0	24.0	7.9	
	C	15.6	32.3		52.1		거정질 화강암 및 편마암
				42.0	32.5	9.6	
	현장평균	**17.0**	**34.9**		**48.1**		-
				40.9	**31.6**	**9.8**	
판교 1공구	A	27.0	24.3		48.7		흑운모 편마암 및 편마암
				41.8	35.5	19.4	
	B	14.3	30.7		55.0		흑운모 편마암 및 편마암
				52.7	44.0	12.8	
	C	1.6	20.5		77.9		흑운모 편마암 및 편마암
				65.3	50.4	14.5	
	현장평균	**14.3**	**25.2**		**60.5**		-
				53.3	**43.3**	**15.6**	
판교 2공구	i	41.8	34.8		23.4		흑운모 편마암
				19.1	14.6	7.2	
	G1	48.3	25.2		26.5		흑운모 편마암
				23.4	17.4	7.8	
	G2	31.5	28.7		39.8		흑운모 편마암
				33.3	27.5	14.6	
	현장평균	**40.5**	**29.6**		**29.9**		-
				25.3	**19.8**	**9.9**	
판교 3공구	D	27.1	31.4		41.5		흑운모 편마암
				34.4	26.5	11.7	
	E	57.3	22.1		20.6		흑운모 편마암
				15.3	10.7	3.4	
	현장평균	**42.2**	**26.8**		**31.0**		
				24.9	**18.6**	**7.6**	

발파 발생암의 현장별 발생율 분석결과와 평균치는 위의 표와 같다(입도분포도는 본문 참조). 현장 및 채취위치에 따라 편차가 심하게 나타나고 있다.

○ 강도별 분석

분류		300 ㎜ 초과 (%)	100~300 ㎜ (%)	100 ㎜ 이하(%)			비고
				75㎜ 이하	50㎜ 이하	10㎜ 이하	
보통암	범위	1.6~41.8	20.5~41.9	23.4~77.9			공주A,B 판교1C, 판교2i
				19.1~65.3	14.6~52.6	7.2~33.8	
	평균	**13.3**	**32.3**	**54.5**			
				46.7	**39.5**	**19.6**	
연암	범위	13.8~57.3	22.1~44.8	20.6~58.7			충주A,B,C, 판교1A,B, 판교2G1,2, 판교3D,E
				15.3~52.7	10.7~44.0	3.4~19.4	
	평균	**28.5**	**29.7**	**41.8**			
				35.9	**28.5**	**10.0**	

판교1공구를 제외하고는 채취지점이 상이하더라고 동일한 암강도이며 발파 및 리핑방법이 유사할 경우 입도발생율이 약간은 유사한 경향을 보이나 뚜렷한 상관관계를 보이지는 않는다.

○ 발파방법에 따른 평균입도 분석

Lundborg & Lasson의 예측식에 의하여 예측된 평균입도와 현장의 실측입도를 비교 분석하였다. 3개 현장의 12개 지역 중에서 4개 지역의 값이 대체로 일치하며, 8개 지역의 값이 차이가 있다. 그 중 성남판교지구의 G1, I, E의 3개 지역은 4배 이상의 차이를 보이며, 나머지 4개 지역은 약 2배의 차이로 분석되었다.

- 판교지구의 예측평균입도와 각 공구 별 실측 평균입도

지 역	판교 1 공구			판교 2 공구			판교 3 공구	
	A	B	C	G1	G2	I	D	E
실측평균입도 (㎝)	10.7	7.0	5.0	27.6	14.5	23.2	13.1	35.7
예측평균입도 (cm)	5.7 ~6.1 (Type IV~VI)							

- 충주지구의 예측평균입도와 각 공구 별 실측 평균입도

지 역	A 지역	B 지역
실측평균입도 (㎝)	18.2	14.7
예측평균입도 (cm)	5.7 ~6.0 (Type IV~V)	

- 공주지구의 예측평균입도와 각 공구 별 실측 평균입도

지 역	A 지역	B 지역
실측평균입도 (㎝)	1.6	9.3
예측평균입도 (cm)	6.0 ~6.1 (Type V~VI)	

○ 발파 발생암의 발생율 분석 결과

발생율 분석결과 전체 범위 및 평균치는 다음과 같다.

구 분	300 ㎜ 초과 (%)	100~300㎜ (%)	100 ㎜ 이하(%)			암 종
			75㎜ 이하	50㎜ 이하	10㎜ 이하	
발생율 범위	1.6~57.3	20.5~44.8	20.6 ~ 77.9			석영-장석반암 편마암 거정질 화강암 흑운모 편마암
			15.3~65.3	10.7~52.6	3.4~33.8	
평균 발생율	**23.8**	**30.5**	**45.7**			
			39.3	**31.9**	**13.7**	

현장 및 채취지점에 따라 편차가 크고 강도에 따른 분석결과에서도 뚜렷한 경향이 나타나지는 않았으며, 발파예측식으로 분석한 평균입도도 일치한다고 보기 어려워 금번연구의 평균 발생율을 일반적인 값으로 적용하기는 어렵다. 이는 암반에 존재하는 다양한 비균질성과 이방성, 현장여건에 따른 시공자의 작업차이 등에 기인하는 것으로 보인다.

■ 크러셔 발생 혼합석의 입도별 발생율 분석(4개현장 6개공구)

○ 현장별 분석

현 장	재료	100 ㎜ 초과 (%)	75~100 ㎜ (%)	75 ㎜ 이하(%)			암질
				50㎜ 이하	40㎜ 이하	10㎜ 이하	
공주	SB-1 (80㎜)	0	1.0	99.0			석영-장석반암 및 편마암
				88.3	65.1	30.5	
충주	SB-1 (80㎜)	0	0	100.0			거정질 화강암 및 편마암
				100.0	84.8	37.1	
판교 1공구	SB-1 (80㎜)	0	0	100.0			흑운모 편마암 및 편마암
				85.7	62.0	24.1	
	SB-2 (40㎜)	0	0	100.0			흑운모 편마암 및 편마암
				100.0	96.4	30.4	
판교 2공구	SB-1 (80㎜)	0	1.6	98.4			흑운모 편마암
				69.9	45.2	15.5	
	SB-2 (40㎜)	0	0	100.0			흑운모 편마암
				100.0	91.5	25.9	
판교 3공구	SB-1 (80㎜)	0	1.2	98.8			흑운모 편마암
				86.2	67.3	23.9	
	SB-2 (40㎜)	0	0.3	99.7			흑운모 편마암
				98.8	85.9	27.0	
화성	SB-1 (80㎜)	0	0	100.0			-
				100.0	93.9	42.6	

○ 강도별-입도기준별 분석

강도별	재료별	100 ㎜ 초과 (%)	75~100 ㎜ (%)	75 ㎜ 이하(%)			비 고
				50㎜ 이하	40㎜ 이하	10㎜ 이하	
보통암	SB-1	0	1.0	99.0			공주
				88.3	65.1	30.5	
연암-보통암	SB-1	0	0.8	99.2			판교1공구, 판교2공구
				77.8	53.6	19.8	
	SB-2	0	0	100.0			판교1공구 판교2공구
				100.0	93.9	28.1	
연암	SB-1	0	0.6	99.4			판교3공구 충주
				93.1	76.0	30.5	
	SB-2	0	0.3	99.7			판교3공구
				98.8	85.9	27.0	

○ 크라셔 혼합석의 발생율 분석결과

구 분		100 ㎜ 초과 (%)	75~100㎜ (%)	75 ㎜ 이하(%)		
				50㎜ 이하	40㎜ 이하	10㎜ 이하
SB-1(80㎜)	범위	0	0~1.6	98.4~100.0		
				69.9~100.0	45.2~93.9	15.5~42.6
	평균	0	0.6	99.2		
				88.4	69.7	29.0
SB-2(40㎜)	범위	0	0~0.3	99.7~100.0		
				98.8~100.0	85.9~96.4	25.9~30.4
	평균	0	0.1	99.9		
				99.6	91.3	27.8

○ 크러셔 파쇄방법에 따른 입도차이 보정

본연구 대상 현장은 공통적으로 Jaw + Cone Crusher 조합을 사용하고 있다. 크러셔에 의해 생산되는 골재는 파쇄기의 종류, 파쇄방법, 유격거리, 회전속도 등 다양한 요인에 의하여 입도, 입형 등이 달라지므로 생산되는 골재의 활용목적에 맞게 크러셔를 운용하고 적절한 품질관리를 통하여 입도 확인후 사용하여야 한다.

■ 25mm골재 생산시 석분의 발생율(판교 3개공구)

판교 1,2,3공구 현장에서는 콘크리트 골재용으로 25mm 부순 골재를 생산하고 있으며 이때 발생되는 석분의 발생율은 다음과 같다.

구 분	판교1공구	판교2공구	판교2공구	평균
발생율 (%, 석분/총재료)	34.2	35.9	40.0	36.70

25mm 골재는 #57 부순굵은골재의 입도기준에 일치하여 활용에 문제가 없으며, 석분의 발생율은 크러셔의 운행방법에 따라 달라질 수 있다.

■ 동상방지층재료의 입도 발생율(3개 현장)

현 장	100 ㎜ 초과 (%)	75~100 ㎜ (%)	75 ㎜ 이하(%)			암 질
			50㎜ 이하	40㎜ 이하	10㎜ 이하	
공주	12.3	6.7	81.0			풍화암
			70.0	63.6	48.4	
충주	8.1	8.5	83.4			풍화암
			64.8	57.3	37.9	
화성	35.7	8.2	56.1			풍화암
			46.6	40.8	23.8	
범위	**8.1~35.7**	**6.7~8.5**	**56.1~83.4**			
			46.6~70.0	**40.8~63.6**	**23.8~48.4**	
평균	**18.7**	**7.8**	**73.5**			
			60.5	**53.9**	**36.7**	

동상방지층용 재료는 최대치수 기준인 100 ㎜를 초과하는 입자가 8.1~35.7% 정도가 포함되어 있는 것으로 나타났다. 화성현장에서의 경우 암석의 풍화가 심하여 100mm를 초과하는 입자가 35.7%로 매우 높게 나타나나 일반적으로는 15%이하 정도의 비율로 나타난다고 보는 것이 적정하다.

■ 입도별 활용가능용도와 문제점

발 생 범 위		활용 가능 용도	비고
발생암	300 ㎜ 초과	경관석, 조경석, 암쌓기, 디딤돌	
	100 ㎜ ~ 300 ㎜	기초용 재료, 돌쌓기	
	80 ㎜ 이하	동상방지층, 보조기층	
	50 ㎜ 이하	보조기층, 기층	
	10 ㎜ 이하	잔골재, 채움재	
크러싱	80 ㎜ 혼합골재	동상방지층, 보조기층	
	40 ㎜ 혼합골재	보조기층, 기층	
	25 ㎜ 골 재	콘크리트용	
	스크리닝스	입도보정, 지반개량, 채움재	

발파암의 경우 해당 활용가능용도에 따른 입도분포기준을 만족하기 위해서는 체가름 혹은 파쇄작업이 필요할 것이다. 그러나 현실적으로는 생산대비 활용도, 경제성이나 시공성 등에 대한 현장별 검토가 이루어져야 할 것이다.

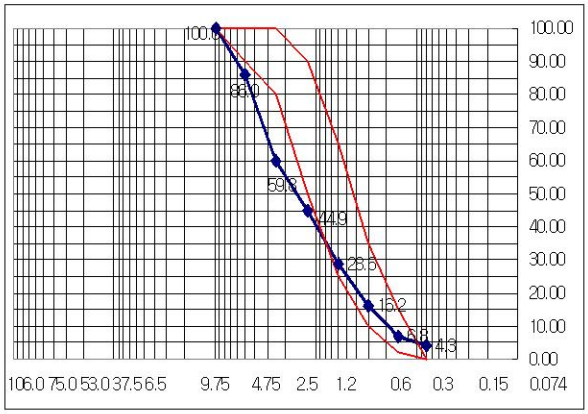
크러셔 포장골재의 경우 활용가능용도에 적합하게 사용하기 위해서는 크러싱 과정에서 유격거리 회전속도 등을 조절하여 사용골재 기준에 맞는 입도조정이 이루어져야할 것으로 판단되며 동상방지층용 재료의 경우 최대치수 기준인 100 ㎜를 초과하는 입자에 대한 대책방안 수립이 필요한 것으로 판단된다.

2.3 석분의 특성분석과 활용방안 및 적용성 검토

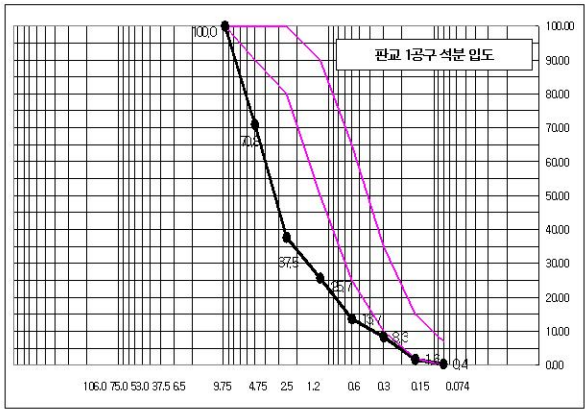
석분(Screenings)의 입도, 물성, 다짐특성 분석을 통하여 골재로의 효율적인 활용 가능성을 수행 하였다.

■ 석분의 특성 분석

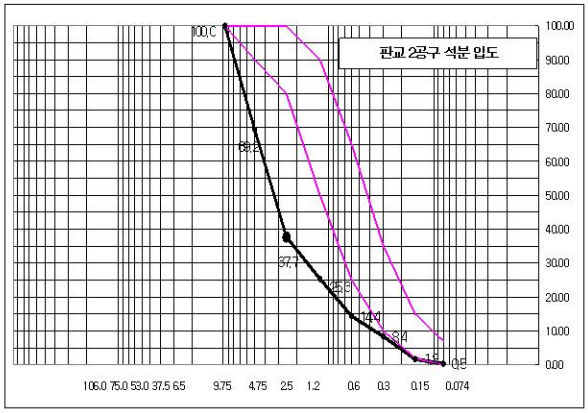
○ 입도분석 결과



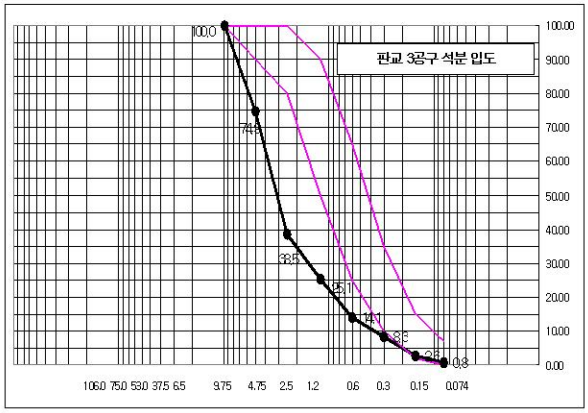
(a) 일반 석분



(b) 판교 1공구 석분 입도



(c) 판교 2공구 석분 입도

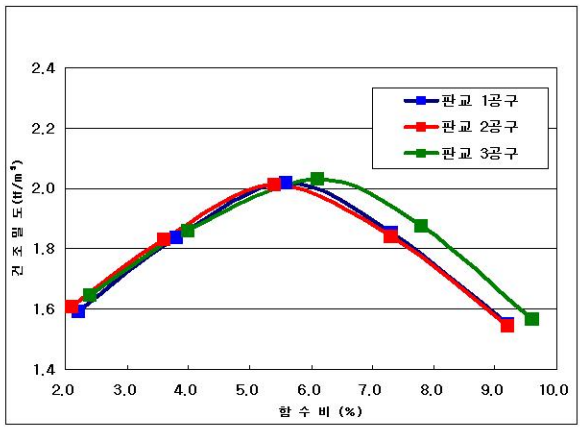


(d) 판교 3공구 석분 입도

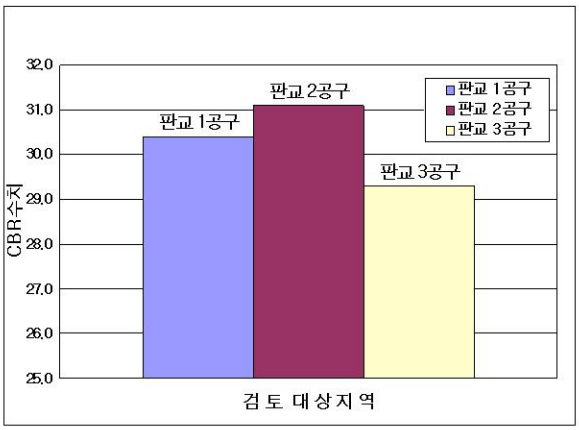
스크리닝스(판교)와 일반석분(이천) 비교시 일반석분에 비해 스크리닝스가 빈 입도 양상을 보이고 있는 것으로 나타났다.

○ 물리적 성질과 다짐특성

구 분	비 중	단위 용적 중량	모래 당량	함수비 (%)	액소성	다짐 (tf/㎥)	투수계수 (㎝/sec)	C.B.R	0.08㎜ 통과량
판교1공구	2.667	1.661	75.9	3.2	N. P	2.018	4.06×10^{-1}	30.4	0.4
판교2공구	2.669	1.664	76.3	3.7	N. P	2.023	3.97×10^{-1}	31.1	0.5
판교3공구	2.662	1.657	72.8	4.1	N. P	2.011	4.12×10^{-1}	29.3	0.8



(a) 석분의 다짐곡선



(b) 석분의 CBR 값

스크리닝스는 실트질 또는 점성토의 성분이 거의 포함되어 있지 않은 비소성(NP)으로 분류되었으며 구성성분이 주로 현장에 발생된 암석의 크러셔에 의해 파쇄된 깬 돌로 이루어져 있어 다짐과 지지력이 좋다는 것을 알 수 있다.

■ 구조물의 뒷채움재로써의 적용성 검토

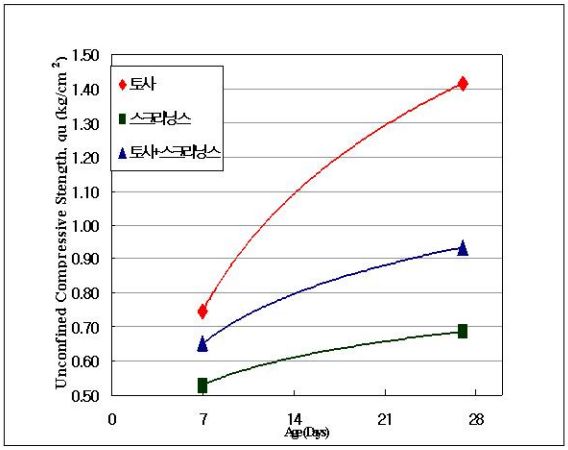
구 분	품 질 기 준		본연구 결과 (판교 1,2,3 공구)
	도로공사 표준 시방서	도로공사 고속도로 일반시방서	
5 ㎜ 체 통과량	25 ~ 100 %	30~65 %	69.2~74.9 %
0.08 ㎜ 체 통과량	15 % 이하	2~10	4~8
소성지수(%)	10 이하	10 이하	N.P
지지력비(CBR)시험(%)	10 이상	10 이상	29.3~31.1
모 래 당 량	-	15 % 이상	72.8~76.3
최 대 치 수	100 ㎜ 이하	80 ㎜ 이하	9.75mm이하

5mm 통과량에서 고속도로 일반시방 기준에 벗어나는 것으로 나타나나 토지공사의 사업특성상 일반도로공사 표준시방기준만 만족하여도 전체적으로 구조물 뒷채움재 기준을 만족하여 택지개발현장에서 활용에 문제가 없을 것으로 판단된다.

■ 관거 베딩재로서의 적용성 검토

다짐된 스크리닝스의 시간경과에 따른 경화여부를 알아보기 위해 ① 양질토, ② 스크리닝스, ③ 양질토(50%)+스크리닝스(50%) 시료를 최대건조중량의 90 % 상태로 다짐하여 공시체를 만든 후 재령 7일, 28일 일축압축강도시험을 실시하였다.

구 분		일 축 압 축 강 도 (kg/㎠)		
		양질토	석 분	토사(50%)+석분(50%)
재령 7일	시료-1	0.747	0.530	0.652
	시료-2	0.726	0.519	0.641
재령 27일	시료-3	1.417	0.687	0.935
	시료-4	1.426	0.694	0.941



연구결과 석분은 투수성이 좋고 입도가 양호하며 양질토에 비하여 경화가 덜하여 양질토 베딩재를 대체하여 사용하여도 무방할 것으로 판단된다.

■ 연약지반 개량재로써의 적용성 검토

구 분	품 질 기 준				본연구 결과 (판교1,2,3공구)
	서울시 토목공사 시방서	NAVFAC	국토해양부 도로공사 표준시방서		
			샌드매트 포설공	샌드 드레인	
D_{15}(mm)	0.075~25.0㎜	-	0.075~0.9㎜	0.1~0.9㎜	0.615 ~ 0.644
D_{85}(mm)	0.4~25.0㎜	-	0.4~8.0㎜	1~8㎜	6.386 ~ 7.095
0.08mm 통과량	15% 이하	-	15% 이하	3% 이하	0.4~0.8 %
$(D_{15})_{filter}/(D_{85})_{soil}$	-	5미만	-	-	0.891~0.933
$(D_{15})_{filter}/(D_{15})_{soil}$	-	4~5이상	-	-	24.60~25.76
투수계수 (cm/sec)	1.0×10^{-2} 이상	-	1.0×10^{-3} 이상	1.0×10^{-3} 이상	$3.97\sim4.12\times10^{-1}$

연약지반 개량재로써 적용기준을 만족하여 배수재로서 지반조건에 따라 배수기능을 충분히 발휘 할 것으로 판단되며, 배수재의 품질기준에도 모래 대신 스크리닝스를 사용해도 모래보다 나쁜 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 다만 시공시 장비의 이동성과 장시간 압밀에 따른 투수계수의 변화 등에 대한 추가 검토가 필요할 것으로 판단된다.

■ 투수성 아스팔트 포장의 보조기층 및 기층재와 콘트리트 블록깔기용 재료로써의 적용성 검토

석분을 조경포장공사 중 투수성 아스팔트 포장의 보조기층 및 기층재와 콘크리트 블록깔기용 모래의 대체재로 사용시 적용성을 검토하였다.

구 분	투수성 아스팔트 포장		콘크리트 블록	본연구 결과
	필터용 모래	보조기층 및 기층용 재료	블록 깔기용 모래	
최대입경 (㎜)	-	19		10
입 도 (㎜)	-	-	8~2	10~0.08
0.08 ㎜	6% 이하	-	-	0.8~0.4
투수계수 (㎝/sec)	10^{-2} 이상	-	-	3.97×10^{-1}~ 4.12×10^{-1}
CBR	-	20 이상	-	29.3~31.1
비 고	-	단립도의 부순돌	-	-

스크리닝스를 활용한 투수성 아스팔트 포장의 필터용 모래, 보조기층 및 기층용 재료로서의 건축공사 표준시방서의 품질기준의 만족할 뿐만 아니라 추가적으로 실시한 팽창량 시험과 흡수율 시험 결과 팽창은 거의 일어나지 않았으며, 흡수율도 0.38~0.52로 나타나, 수분 영향에 의한 팽창이나 동결로 인한 지반의 균열이나 부등침하는 일어나지 않을 것으로 판단되어 활용에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

콘크리트 블록용의 블록깔기용 모래 대체재로서의 입도 기준도 대체로 만족하여 활용에 큰 문제는 없는 것으로 나타났다.

2.4 크러셔 생산골재의 특성분석과 활용방안

크러셔 생산골재의 입도, 물성, 다짐특성 분석을 통하여 골재로의 효율적인 활용 방안을 강구하고 입도보완이 필요한 재료의 활용방안을 강구하였다.

■ 크러셔 생산골재의 특성 분석

○ 크러셔로 생산된 선별입도의 혼입율에 따른 시험입도 선정기준

구 분		선별입도 혼입율(%)			적용지역
		80㎜	40㎜	25㎜	
SB-1	A 입도	100			판교1,2,3공구 충주, 공주, 화성 (화성은 A입도만 분석)
	B 입도	50	50		
	C 입도	30	70		
SB-2	D 입도		100		판교1,2,3공구
B-2	E 입도			100	
콘크리트용 잔골재	F 입도	25㎜부순 잔골재			

○ 크러셔 생산골재의 입도분석결과

구 분			100 ㎜ 초과 (%)	75~100 ㎜(%)	75 ㎜ 이하(%)		
					50㎜ 이하	40㎜ 이하	10㎜ 이하
공주 현장	보조기층	상한입도 (C 입도)	100	100	100	100	79.5
		하한입도 (A 입도)	100	99.0	88.4	65.1	30.5
		표준입도 (B 입도)	100	100	100	100	57.0
충주 현장	보조기층	상한입도 (C 입도)	100	100	100	100	75.6
		하한입도 (A 입도)	100	100	100	84.8	37.2
		표준입도 (B 입도)	100	100	98.7	75.4	51.4
판교 1공구	25㎜ 혼합골재 (E 입도)		100	100	100	93.9	45.1
	보조기층	40㎜ 혼합골재 (D 입도)	100	100	100	96.4	30.4
		상한입도 (C 입도)	100	99.6	99.6	74.5	36.6
		하한입도 (A 입도)	100	100	85.7	62.0	24.1
		표준입도 (B 입도)	100	100	83.3	47.2	20.1
판교 2공구	25㎜ 통과 혼합골재 (E 입도)		100	100	100	95.9	51.8
	보조기층	40㎜ 혼합골재 (D 입도)	100	100	100	91.5	25.9
		상한입도 (C 입도)	100	100	93.4	60.9	28.4
		하한입도 (A 입도)	100	98.4	69.9	45.2	15.5
		표준입도 (B 입도)	100	100	85.1	33.3	13.3
판교 3공구	25㎜ 통과 혼합골재 (E 입도)		100	100	100	94.1	47.0
	보조기층	40㎜ 혼합골재 (D 입도)	100	99.7	98.8	85.9	26.9
		상한입도 (C 입도)	100	98.7	89.9	56.7	24.4
		하한입도 (A 입도)	100	98.8	86.2	67.3	23.9
		표준입도 (B 입도)	100	100	92.8	61.2	27.2
화성 지구	보조기층	40㎜ 혼합골재 (D 입도)	100	100	100	93.9	42.6

○ 크러셔 생산골재의 물성 특성

구분 \ 시험항목		밀 도 (g/㎤)	흡수율 (%)	마모율 (%)	모래 당량	안정성	아터버그한계		0.08㎜체 통과율 (%)	입도 범위 한계
							액성 한계(%)	소성 지수		
공주 현장	상한입도	2.660	0.739	38.29	64.4	6.7	N.P	N.P	0.23	SB-1
	하한입도	2.664	0.711	37.42	66.1	6.1	N.P	N.P	0.12	SB-1
	표준입도	2.667	0.677	36.18	72.1	5.4	N.P	N.P	0.15	SB-1
충주 현장	상한입도	2.674	0.672	30.18	70.3	4.9	N.P	N.P	0.15	SB-1
	하한입도	2.672	0.689	33.18	67.3	4.1	N.P	N.P	0.10	SB-1
	표준입도	2.678	0.663	29.42	73.6	3.8	N.P	N.P	0.16	SB-1
판교 1공구	25㎜ 통과 혼합골재	2.661	0.692	27.89	69.5	3.9	N.P	N.P	0.31	B-2
	40㎜ 통과 혼합골재	2.670	0.708	23.91	72.9	4.2	N.P	N.P	0.41	SB-2
	상한입도	2.665	0.737	26.53	70.9	4.0	N.P	N.P	0.34	SB-1
	하한입도	2.667	0.681	24.51	74.0	3.5	N.P	N.P	0.18	SB-1
	표준입도	2.671	0.669	23.47	75.2	3.8	N.P	N.P	0.20	SB-1
판교 2공구	25㎜ 통과 혼합골재	2.654	0.743	33.81	65.5	5.0	N.P	N.P	0.15	B-2
	40㎜ 통과 혼합골재	2.663	0.703	27.49	70.9	4.3	N.P	N.P	0.21	SB-2
	상한입도	2.666	0.693	29.36	68.4	4.6	N.P	N.P	0.13	SB-1
	하한입도	2.659	0.712	26.37	72.2	3.7	N.P	N.P	0.46	SB-1
	표준입도	2.678	0.673	22.12	77.5	3.3	N.P	N.P	0.16	SB-1
판교 3공구	25㎜ 통과 혼합골재	2.663	0.725	32.65	66.1	5.2	N.P	N.P	0.20	B-2
	40㎜ 통과 혼합골재	2.670	0.712	30.71	71.4	4.7	N.P	N.P	0.39	SB-2
	상한입도	2.667	0.708	28.11	69.5	4.5	N.P	N.P	0.14	SB-1
	하한입도	2.672	0.683	30.71	72.1	3.9	N.P	N.P	0.25	SB-1
	표준입도	2.675	0.690	24.55	75.8	3.5	N.P	N.P	0.22	SB-1
화성 현장	80㎜ 통과 혼합골재	2.684	0.631	34.15	71.3	-	N.P	N.P	0.15	SB-2

크러셔로 생산된 혼합골재에 대한 물성시험결과 포장용 재료로서의 품질기준은 모두 만족하는 것으로 나타나고 있다.

○ 크러셔 생산골재의 다짐 특성

구 분			최대건조밀도 (tf/㎥)	최적함수비 (%)	C.B.R
공주 현장	보조 기층	상한입도 (C 입도)	2.100	3.0	51.3
		하한입도 (A 입도)	2.142	4.0	53.8
		표준입도 (B 입도)	2.148	3.8	56.9
충주 현장	보조 기층	상한입도 (C 입도)	2.155	3.6	58.8
		하한입도 (A 입도)	2.166	4.1	60.4
		표준입도 (B 입도)	2.193	3.9	63.7
판교 1공구	25㎜ 통과 혼합골재 (E 입도)		2.142	2.9	53.1
	보조 기층	40㎜ 통과 혼합골재 (D 입도)	2.168	4.8	59.7
		상한입도 (C 입도)	2.148	4.1	55.8
		하한입도 (A 입도)	2.184	3.3	60.3
		표준입도 (B 입도)	2.187	4.0	62.8
판교 2공구	25㎜ 통과 혼합골재 (E 입도)		2.099	5.2	57.1
	보조 기층	40㎜ 통과 혼합골재 (D 입도)	2.155	4.7	61.5
		상한입도 (C 입도)	2.138	3.8	59.3
		하한입도 (A 입도)	2.168	3.7	61.7
		표준입도 (B 입도)	2.203	4.5	65.8
판교 3공구	25㎜ 통과 혼합골재 (E 입도)		2.113	4.6	56.4
	보조 기층	40㎜ 통과 혼합골재 (D 입도)	2.141	3.8	61.6
		상한입도 (C 입도)	2.132	5.1	58.3
		하한입도 (A 입도)	2.183	4.2	63.7
		표준입도 (B 입도)	2.192	5.7	64.9
화성 지구	보조 기층	40㎜ 통과 혼합골재 (D 입도)	2.226	6.4	68.0

최적함수비 2.9~5.7%, 최대건조밀도는 1.894~2.193 tf/㎥으로 나타났으며 보조기층 재료별 최적함수비 및 최대 건조밀도는 차이는 크지 않은 것으로 나타나고 있다. CBR 시험결과 보조기층의 품질기준인 CBR 30이상을 모두 크게 상회하는 것으로 나타났다.

■ 포장용 재료로서의 적합성 검토

○ 크러셔 생산골재의 입도분석결과 범위와 평균

구 분			100 ㎜ 초과 (%)	75~100㎜ (%)	75 ㎜ 이하(%)		
					50㎜ 이하	40㎜ 이하	10㎜ 이하
범위	보조기층	하한입도 (A 입도)	100.0	98.4~100.0	69.9~100.0	45.2~84.8	15.5~37.2
		표준입도 (B 입도)	100.0	100.0	83.3~100.0	33.3~100.0	13.3~57.0
		상한입도 (C 입도)	100.0	98.7~100.0	89.9~100.0	56.7~100.0	24.4~79.5
		40㎜혼합골재(D 입도)	100.0	99.7~100.0	98.8~100.0	85.9~96.4	25.9~42.6
	25㎜ 혼합골재 (E 입도)		100.0	100.0	100.0	93.9 95.9	45.1~51.8
평균	보조기층	하한입도 (A 입도)	100.0	99.2	86.0	64.9	26.2
		표준입도 (B 입도)	100.0	100.0	92.0	63.4	33.8
		상한입도 (C 입도)	100.0	99.7	96.6	78.4	48.9
		40㎜혼합골재(D 입도)	100.0	99.9	99.7	91.9	31.5
	25㎜ 혼합골재 (E 입도)		100.0	100.0	100.0	94.6	48.0

○ 크러셔 생산골재의 물성분석결과 범위와 평균

구분 \ 시험항목		밀 도 (g/㎤)	흡수율 (%)	마모율 (%)	모래당량	안정성	아터버그한계		0.08㎜체 통과율 (%)	입도범위 한계
							액성한계	소성지수		
범위	하한입도	2.659 ~2.684	0.631 ~0.712	24.51 ~37.42	66.1 ~74.0	3.5 ~6.1	N.P	N.P	0.10 ~0.46	SB-1
	표준입도	2.667 ~2.678	0.663 ~0.690	22.12 ~36.18	72.1 ~77.5	3.3 ~5.4	N.P	N.P	0.15 ~0.22	
	상한입도	2.660 ~2.674	0.672 ~0.739	26.53 ~38.29	64.4 ~70.9	4.0 ~6.7	N.P	N.P	0.13 ~0.34	
	40㎜ 통과 혼합골재	2.663 ~2.670	0.703 ~0.712	23.91 ~30.71	70.9 ~72.9	4.2 ~4.7	N.P	N.P	0.21 ~0.41	SB-2
	25㎜ 통과 혼합골재	2.654 ~2.663	0.692 ~0.743	27.89 ~33.81	65.5 ~69.5	3.9 ~5.2	N.P	N.P	0.15 ~0.31	
평균	하한입도	2.670	0.685	31.06	70.5	4.3	N.P	N.P	0.21	SB-1
	표준입도	2.674	0.674	27.15	74.8	4.0	N.P	N.P	0.18	
	상한입도	2.666	0.710	30.49	68.7	4.9	N.P	N.P	0.20	
	40㎜ 통과 혼합골재	2.668	0.708	27.37	71.7	4.4	N.P	N.P	0.34	SB-2
	25㎜ 통과 혼합골재	2.659	0.720	31.45	67.0	4.7	N.P	N.P	0.22	

○ 크러셔 생산골재의 다짐특성분결과 범위와 평균

구 분			최대건조밀도 (tf/㎥)	최적함수비 (%)	C.B.R
범위	보조기층	하한입도 (A 입도)	2.142~2.184	3.3~4.2	53.8~63.7
		표준입도 (B 입도)	2.148~2.203	3.8~5.7	56.9~65.8
		상한입도 (C 입도)	2.100~2.155	3.0~5.1	51.3~59.3
		40㎜혼합골재(D 입도)	2.141~2.226	3.8~6.4	59.7~68.0
	25㎜ 혼합골재 (E 입도)		2.099~2.142	2.9~5.2	53.1~57.1
평균	보조기층	하한입도 (A 입도)	2.169	3.9	60.0
		표준입도 (B 입도)	2.185	4.4	62.8
		상한입도 (C 입도)	2.135	3.9	56.7
		40㎜혼합골재(D 입도)	2.173	4.9	62.7
	25㎜ 혼합골재 (E 입도)		2.118	4.2	55.5

○ 포장용 재료로서의 적합성 검토 결과

80mm, 40mm 크러셔 골재의 경우 일부 세립분이 부족한 것으로 나타났으며 최대입경 25㎜ 이하 혼합골재는 대체로 표준입도 범위 내에 속하는 것으로 나타났고 25 ㎜ 부순 잔골재는 콘크리트용 잔골재 입도 품질기준에 적합한 것으로 나타났다. 물성시험결과 포장용 재료로서의 품질기준을 모두 만족한 것으로 보이고 있다. 또한 다짐시험결과 및 CBR 시험결과 보조기층의 품질기준인 CBR 30이상 모두 크게 상회하는 것으로 나타났다. 이렇게 일부 세립분이 부족한 것은 지역에 따라 발생암 특성이 다르고 크러셔 운용 요소들의 상이하기 때문인 것으로 판단되며 현장에서 크러셔의 유격이나 회전속도 등을 조정함으로써 골재의 활용목적에 맞게 입도를 조정하여 얻을 수 있는 방안을 강구하여야 할 것이다.

■ 쇄석 골재의 연약지반 배수재로서의 적용성 검토

○ 지반개량용 모래의 품질기준과 쇄석 골재의 물성 비교

구 분	국토해양부 도로공사 표준시방서		쇄석골재의 특성		
	샌드매트 포설공	샌드드레인	판교 1공구	판교 2공구	판교 3공구
D_{15} (㎜)	0.075~0.9	0.1~0.9㎜	3.6mm	3.5mm	2.4mm
D_{85} (㎜)	0.4~8.0㎜	1~8㎜	31.0mm	35.0mm	39.0mm
0.08 mm	15% 이하	3% 이하	0	0	0
균등계수	-	-	8.6	13.3	12.3
곡률계수	-	-	2.3	3.3	6.7
투수계수	$1.0\times10^{-3}cm/s$이상	$1.0\times10^{-3}cm/s$이상			
$(D_{15})_{filter}/(D_{85})_{soil}$	-	-	5.22	5.07	3.48
$(D_{15})_{filter}/(D_{15})_{soil}$	-	-	144	140	96

연구 결과 D_{15} 및 D_{85}와 관련된 필터재의 입도기준을 만족하지는 않지만 0.08㎜이하 통과량은 0%로서 압밀촉진을 위한 배수재로서 적합한 기본물성을 가지고 있고 재료의 입도특성상 투수성은 양호할 것으로 판단되며, “쇄석 Mat를 이용한 수평배수공법 설계사례(한국지반공학회지, Vol. 22, No7 2006.07)"의 경우와 같이 파이핑을 방지할 매트 등을 사용하고 파손을 방지하도록 주의 깊게 시공한다면 연약지반의 배수재로 활용하여도 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

2.5 동상방지층 재료의 특성분석과 활용방안

크러셔 생산골재의 입도, 물성, 다짐특성 분석을 통하여 골재로의 효율적인 활용 방안을 강구하고 최대치수 기준인 100 ㎜를 초과는 재료의 활용방안에 대하여 검토하였다.

■ 동상방지층 재료의 특성분석

○ 동상방지층재료의 입도 특성(3개 현장)

현 장	100㎜ 초과 (%)	75~100 ㎜ (%)	75 ㎜ 이하(%)			암 질
			50㎜ 이하	40㎜ 이하	10㎜ 이하	
범위	8.1~35.7	6.7~8.5	56.1~83.4			풍화암
			46.6~70.0	40.8~63.6	23.8~48.4	
평균	18.7	7.8	73.5			풍화암
			60.5	53.9	36.7	

동상방지층용 재료는 최대치수 기준인 100 ㎜를 초과하는 입자가 8.1~35.7% 정도가 포함되어 있는 것으로 나타났다. 화성현장에서의 경우 암석의 풍화가 심하여 100mm를 초과하는 입자가 35.7%로 매우 높게 나타나나 일반적으로는 15%이하 정도의 비율로 나타난다고 보는 것이 적정하다.

○ 100mm 통과분 동상방지층재료의 입도 특성

입도번호 / 구 분	통과 중량 백분율 (%)		
	100㎜	5.0㎜	0.08㎜
품 질 기 준	100	30 ~ 70	15 이하
공 주 현 장	100	41.2	0.4
충 주 현 장	100	35.1	0.1
화 성 현 장	100	26.3	0.0

동상방지층의 입도 품질기준 내에서 대체로 입도 품질기준에는 만족하고 있는 것으로 나타났다.

○ 동상방지층재료의 물성 특성

시험항목 / 구 분	밀 도 (g/㎤)	흡수율 (%)	마모율 (%)	모래 당량	안정성	아터버그한계		0.08 ㎜체 통과율 (%)	입도 범위 한계
						액성한계 (%)	소성지수		
공주현장	2.631	1.099	54.29	59.3	11.3	N.P	N.P	0.61	SB-1
충주현장	2.668	0.694	32.42	68.2	4.5	N.P	N.P	0.12	SB-1
화성현장	2.668	1.182	39.31	50.3	-	N.P	N.P	0.89	SB-1

물성시험결과 동상방지층 물성기준에 적합한 것으로 나타났다.

○ 동상방지층재료의 다짐 특성

구 분	최대건조밀도 (tf/㎥)	최적함수비 (%)	C.B.R
공주 현장	2.084	4.5	47.0
충주 현장	2.148	4.7	55.2
화성 지구	1.894	6.9	25.0

최적함수비 4.5~6.9%, 최대건조밀도는 1.894~2.148 tf/㎥으로 나타났으며 CBR 시험결과 동상방지층의 품질기준인 CBR 10이상 모두 상회하는 것으로 나타났다.

■ 최대입경 기준초과 재료의 활용방안

동상방지층용 재료에 대한 입도분석결과 최대치수 기준인 100 ㎜를 초과하는 입자가 포함되어 있어 이에 대한 대책방안을 비교 검토하였다.

방 법	조 업 특 성	추천안
브레이커에 의한 소할	- 현장 리핑작업 중 시공관리를 통하여 100mm이상 입도 발생을 최대한 억제 - 불가피하게 발생된 기준입도 초과량(약15%)대하여 브레이커 소할을 통하여 입도 조절	◉
분리선별	- 품질관리면에서는 유리하나 현장여건상 전체물량의 분리선별은 현실적으로 어렵다. - 작업이 비효율적이며 보조기층재로 대체하는 경우와 비교해볼 때 비용면에서 차이가 없음.	
보조기층재로 대체	- 크라셔 생산골재 또는 구입으로 품질 및 시공관리에 있어 유리하나 원가상승 - 리핑암 야적부지 확보 여건이 곤란할 경우 검토 필요	

현장여건 및 경제성 등을 종합적으로 고려하여 볼 때 토공사 초기에 리핑과정에서 100mm 초과분 발생을 최대한 억제하도록 암강도에 따라 적절한 강도와 심도로 리핑을 실시하고 운반(이동) 및 야적 과정에서 초과입도분을 적절히 선별하여 선별된 초과분과 공사특성상 불가피하게 혼입된 기준초과분 만을 브레이커로 소할(Q = 17~22㎥/h)하여 입도를 맞추는 방안을 활용하는 것이 합리적이라 판단된다.

■ 동상방지층의 개선된 노상지지력 적용방안

국내 아스팔트 포장의 동상방지층 재료의 품질기준의 경우 대부분 노상의 CBR치를 고려하여 10이상으로 규정하고 있다. 그러나 토지공사 단지설계편람에서는 동상방지층을 노상에 사용할 경우에는 개선된 노상지지력 값을 산정토록 되어있으며, 도로설계편람(건교부, 2000년)에서는 개선된 지지력을 적용함에 있어 설계자의 판단으로 안정성을 고려하여 CBR 20을 적용토록 제안되어 있다. 그러나 이는 쇄석골재 등 입상재료를 활용할 경우에 해당되는 것으로 리핑암을 동상방지층으로 활용시 적용 가능여부에 대하여 추가적인 검토가 필요하다. 따라서 진행중인 토지공사 현장의 시험자료와 본 용역의 시험결과를 검토하고 동상방지층의 개선된 노상지지력 적용방안을 검토하였다.

구분	지 구 명	실내수정 CBR치	
기존시험결과	공주 신금지구	56.5%	
	시흥 능곡지구	78.2%	
	충주 첨단 지방산업단지	63.0%	
	평택 청북지구(1공구)	76.8%	
	평택 청북지구(2공구)	65.6%	
	용인 흥덕지구(1공구)	30.6%	62.0%
	용인 흥덕지구(2공구)	40.6%	
금번시험결과	공주 신금지구	47.0%	
	충주 첨단 지방산업단지	55.2%	
	화성 동지지구	25.0%	
평균		**54.6%**	

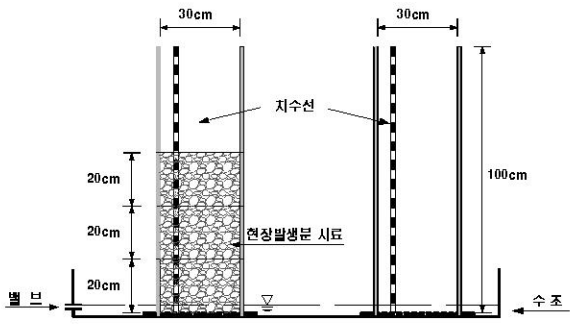
리핑암을 동상방지층 활용하고 있는 현장의 동상방지층 CBR시험 결과, 평균치는 54.6, 최저치는 25.0로 나타나 품질기준치인 CBR 10을 크게 상회하므로 포장두께 산정시 동상방지층을 포함한 합성CBR값 적용하여 증가된 지지력계수로(현재 도로설계편람에서는 안정성을 고려 동상방지층의 CBR값을 20을 적용토록 제안) 포장두께를 산정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

■ 동상방지층 재료의 모관상승고 측정을 통한 동상성 평가

현장 발생된 동상방지층용 재료에 대한 모관현상에 따른 모관 상승고 측정을 통하여 동상성여부를 간접적으로 검토하였다.

○ 모관상승고 측정 방법

공주, 충주, 화성 3개 현장의 100㎜이하 동상방지층 재료를 현장조건과 유사하게 다짐에너지를 계산하여 다짐하고 지하수 영향을 고려하기 위해 수분을 공급하며 모관 상승고를 측정하였다.



(a) 모관상승고 시험기의 개요도

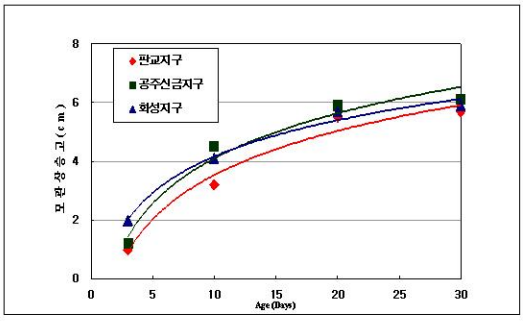
(b) 제작된 모관상승고 시험기

(c) 실내 다짐

(d) 수침 중인 시료

○ 모관상승고 측정결과

구 분	모관 상승고 (㎝)			
	3일	10일	20일	30일
판교 지구	1.0	3.2	5.5	5.7
공주 지구	1.2	4.5	5.9	6.1
화성 지구	2.0	4.1	5.7	5.9



수침 후 3일은 1.0~2.0㎝의 모관상승고를 보였으며, 20일 후 지난 후 모관 상승 현상이 변화 없는 것으로 보이고 있다.

○ 동상성 평가

모관상승고는 0.08 ㎜ 통과량, PI(소성지수)를 평가지수로 보고 있는데 본 시험 대상 지역의 0.08 ㎜ 통과량 0.6~0.9%, 소성지수는 비소성(N.P)로 평가되고 있다. 세립분의 함유량이 적은 것으로 모관상승 효과에 따른 동상성의 발생이 미비할 것으로 판단된다.

2.6 포장재료의 현장시험시공을 통한 적합성평가

시험 시공은 택지개발지구 도로시공 5개 현장에 실시되었으며, 앞 절에서 선정된 혼합골재의 입도 기준을 상한입도, 하한입도, 표준입도, 동상방지층으로 구분하여 현장시공실험을 2회에 나누어 진행하여 지지력 및 다짐정도를 파악하였다.

■ 현장시험시공 방법

시험 시공은 택지개발지구 도로시공 5개 현장에 실시되었으며 각 재료입도별 연장 20 m 포설하여 현장실험을 하였고 포설두께 30㎝를 진동롤러, 타이어롤러로 사용하여 다짐하였다.

1차 시험에서는 2차례에 걸쳐 다짐(장비별 8~10회씩 2차례)을 수행하며 평판재하시험과 들밀도시험을 수행하고, 2차시험에서는 한차례 다짐(장비별 15~20회 1차례)후 평판재하시험과 들밀도시험을 수행하였다.

(a) 입도별 분류된 시료

(b) 혼합골재의 포설

(c) 1차 혼합골재의 다짐

(d) 2차 포설 및 다짐

(e) 현장 밀도시험

(f) 현장 평판재하시험

■ 평판재하 및 들밀도시험 결과

구 분			P.B.T (MN/m³)			들 밀 도 (g/cm³)			적용 입도
			1차다짐		2차 다짐	1차다짐		2차 다짐	
공주 현장	보조 기층	표준입도	419.4	501.8	499.7	2.161	2.201	2.206	SB-1
		하한입도	398.6	411.6	401.5	2.145	2.159	2.178	SB-1
		상한입도	258.4	297.9	301.8	2.120	2.147	2.151	SB-1
	동상방지층		196.0	289.6	268.0	2.095	2.136	2.138	SB-1
충주 현장	보조 기층	표준입도	360.6	392.0	412.0	2.112	2.151	2.154	SB-1
		하한입도	329.3	381.2	352.8	2.092	2.107	2.114	SB-1
		상한입도	254.8	274.4	303.6	2.005	2.051	2.041	SB-1
	동상방지층		219.5	301.8	289.5	2.002	1.991	2.011	SB-1
판교 1 공구	보조 기층	표준입도	415.5	509.6	497.8	2.151	2.250	2.260	SB-1
		하한입도	352.8	474.3	454.7	2.140	2.219	2.251	SB-1
		상한입도	258.7	329.3	333.2	2.002	2.080	2.120	SB-1
	40㎜혼합입도		317.5	462.6	458.6	2.049	2.120	2.131	SB-2
	25㎜혼합입도		180.3	250.9	250.9	1.947	2.066	2.077	B-2
판교 2 공구	보조 기층	표준입도	439.0	533.1	529.2	2.180	2.261	2.240	SB-1
		하한입도	399.8	501.8	478.2	2.030	2.140	2.121	SB-1
		상한입도	243.0	368.5	360.6	2.000	2.089	2.081	SB-1
	40㎜혼합입도		305.8	446.9	415.5	2.021	2.121	2.080	SB-2
	25㎜혼합입도		188.2	329.3	360.6	1.903	2.000	2.002	B-2
판교 3 공구	보조 기층	표준입도	407.7	493.9	470.4	2.140	2.240	2.230	SB-1
		하한입도	344.9	478.2	454.7	2.135	2.210	2.200	SB-1
		상한입도	219.5	274.4	266.6	2.011	2.170	2.180	SB-1
	40㎜혼합입도		250.9	352.8	344.9	2.011	2.170	2.180	SB-2
	25㎜혼합입도		164.6	211.7	203.8	1.922	2.041	2.021	B-2

V/R: Vibration Roller, T/R: Tire Roller

■ 침하량과 지지력 평가결과

구 분 (k30)	지지력 기준		금빈연구결과	
	보조기층	동상방지층	보조기층	동상방지층
침 하 량 (㎝)	0.25	0.25	0.25	0.25
지지력 계수 (MN/㎥)	294	294	266.6~533.1	268.0~301.8

보조기층(상한입도, 하한입도, 표준입도) 및 동상방지층에 대한 입도 비교 경우 모두 일반적으로 표준입도에 대한 지반반력계수(K_{30})가 큰 값을 보이고 있으며, 표준입도의 경우가 양입도의 양상에 따른 지지력 증강 효과를 확인 할 수 있다.

제 3 장 현장 발생암과 부산물의 토량환산계수 연구

현장 및 실내 단위용적측량과 실내 다짐시험을 통하여 현장 원석, 발생암과 크러셔 생산골재 및 동상방지층재료의 토량변화율을 산출하였으며 기존 기준과 비교 검토하였다.

3.1 발생암과 부산물에 대한 현장 및 실내 단위용적질량측정 및 다짐시험

현장별 모암과 발생암, 혼합골재, 동상방지층 재료에 대하여 실내 및 현장 단위용적측량을 실시하였으며, 혼합골재 및 동상방지층 재료에 대하여 실내 다짐시험을 실시하였다.

■ 시험 방법

○ 현장 단위용적질량 측정

(a) 덤프트럭 적재함의 체적 측정

(b) 공차 중량 측정

(d) 발생암 및 혼합석 상차

(f) 적재된 차량 계량

○ 자동 및 수동 다짐시험

■ 현장별 원석과 발생암의 단위용적질량 측정 결과

현장	구분	단위용적질량(t/㎥)		비고
		원석	발생암	
공주	A 지점	2.769	1.823	
	B 지점	2.767	1.709	
	평 균	**2.768**	**1.766**	
충주	A 지점	2.490	1.825	
	B 지점	2.511	1.535	
	C 지점	2.471	1.648	
	평균	**2.491**	**1.669**	
판교 1공구	A 지점	2.630	1.750	
	B 지점	2.599	1.618	
	C 지점	2.618	1.725	
	평균	**2.615**	**1.698**	
판교 2공구	G1 지점	2.608	1.759	
	G2 지점	2.594	1.687	
	i 지점	2.607	1.804	
	평균	**2.603**	**1.750**	
판교 3공구	D지점	2.622	1.670	
	E지점	2.627	1.645	
	평균	**2.625**	**1.657**	
범 위		**2.490~2.769**	**1.535~1.825**	
전 체 평 균		**2.609**	**1.708**	

원암은 암종에 따라, 발생암은 원암의 종류 및 파쇄정도에 따라 영향을 받는 것으로 판단된다.

■ 혼합석 및 동상방지층의 실내다짐시험 및 단위용적질량 측정결과

현장	재료명		실내 E다짐 95% (t/㎥)		단위용적질량(t/㎥)		비고
			건조	습윤	건조	습윤	
공주	SB-1 혼합석	표준	2.041	2.165	1.699	1.782	조합
		하한	2.035	2.167	1.668	1.739	크러싱
		상한	1.995	2.120	1.664	1.720	조합
	동상방지층		1.980	2.130	1.744	1.829	
충주	SB-1 혼합석	표준	2.035	2.159	1.647	1.709	조합
		하한	2.033	2.161	1.648	1.696	크러싱
		상한	1.992	2.130	1.618	1.665	조합
	동상방지층		1.968	2.093	1.729	1.795	
판교 1공구	SB-1 혼합석	표준	2.078	2.200	1.792	1.829	조합
		하한	2.075	2.206	1.780	1.807	크러싱
		상한	2.041	2.167	1.678	1.712	조합
	SB-2 혼합석		2.060	2.179	1.670	1.696	크러싱
	B-2 혼합석		2.035	2.151	1.637	1.756	체가름
판교 2공구	SB-1 혼합석	표준	2.093	2.220	1.787	1.854	조합
		하한	2.060	2.169	1.723	1.792	크러싱
		상한	2.031	2.167	1.721	1.819	조합
	SB-2 혼합석		2.047	2.176	1.732	1.791	크러싱
	B-2 혼합석		1.994	2.121	1.691	1.756	체가름
판교 3공구	SB-1 혼합석	표준	2.082	2.217	1.852	1.921	조합
		하한	2.074	2.211	1.753	1.789	크러싱
		상한	2.025	2.165	1.682	1.764	조합
	SB-2 혼합석		2.034	2.168	1.741	1.791	크러싱
	B-2 혼합석		2.007	2.132	1.737	1.803	체가름
평균	SB-1 혼합석	표준	**2.066**	**2.192**	**1.755**	**1.819**	조합
		하한	**2.055**	**2.183**	**1.714**	**1.765**	크러싱
		상한	**2.017**	**2.150**	**1.673**	**1.736**	조합
	SB-2 혼합석		**2.047**	**2.174**	**1.714**	**1.759**	크러싱
	B-2 혼합석		**2.012**	**2.135**	**1.688**	**1.772**	체가름
	동상방지층		**1.974**	**2.112**	**1.737**	**1.812**	-

3.2 자연상태 설정조건에 따른 쇄석골재의 토량환산계수 산출

위의 시험결과를 토대로 “자연상태”를 ①원석, ②발생암, ③혼합석 및 동상방지층용 재료로 설정하고, 발생암, 혼합석 및 동상방지층용 재료의 “흐트러진 상태”와 “다져진상태”에 대하여 각각 토량환산계수를 산출하였다.

■ 원석에 대한 현장별 발생암의 L값 산출결과

현 장 명	공주	충주	판교1공구	판교2공구	판교3공구
범위	1.519~1.619	1.364~1.636	1.503~1.606	1.445~1.538	1.645~1.670
평균	1.568	1.500	1.542	1.488	1.584

■ 자연상태 설정조건에 따른 현장별 혼합석 및 동방층의 토량환산계수 산출결과

현장	재료명		자연상태 설정조건별 토량환산계수						비고
			원석		발생암		혼합석/동방층		
			L	C	L	C	L	C	
공주	SB-1 혼합석	표준	1.629	1.356	1.039	0.865	1	0.832	
		하한	1.659	1.360	1.059	0.868	1	0.820	
		상한	1.664	1.387	1.061	0.885	1	0.834	
	동상방지층		-	-	-	-	1	0.881	
충주	SB-1 혼합석	표준	1.512	1.224	1.013	0.820	1	0.809	
		하한	1.511	1.226	1.013	0.821	1	0.811	
		상한	1.539	1.250	1.031	0.838	1	0.812	
	동상방지층		-	-	-	-	1	0.879	
판교 1공구	SB-1 혼합석	표준	1.459	1.259	0.948	0.817	1	0.862	
		하한	1.470	1.261	0.954	0.818	1	0.858	
		상한	1.559	1.282	1.012	0.832	1	0.822	
	SB-2 혼합석		1.566	1.269	1.017	0.824	1	0.811	
	B-2 혼합석		1.598	1.285	1.037	0.834	1	0.804	
판교 2공구	SB-1 혼합석	표준	1.456	1.244	0.979	0.836	1	0.854	
		하한	1.511	1.264	1.016	0.850	1	0.836	
		상한	1.512	1.282	1.017	0.862	1	0.847	
	SB-2 혼합석		1.503	1.272	1.010	0.855	1	0.846	
	B-2 혼합석		1.539	1.305	1.035	0.878	1	0.848	
판교 3공구	SB-1 혼합석	표준	1.417	1.261	0.895	0.796	1	0.890	
		하한	1.497	1.265	0.945	0.799	1	0.845	
		상한	1.561	1.296	0.985	0.818	1	0.831	
	SB-2 혼합석		1.508	1.290	0.952	0.815	1	0.856	
	B-2 혼합석		1.511	1.308	0.954	0.826	1	0.865	
평균	SB-1 혼합석	표준	**1.495**	**1.269**	**0.975**	**0.827**	**1**	**0.859**	
		하한	**1.530**	**1.275**	**0.997**	**0.831**	**1**	**0.834**	
		상한	**1.567**	**1.299**	**1.021**	**0.847**	**1**	**0.829**	
	SB-2 혼합석		**1.526**	**1.277**	**0.993**	**0.831**	**1**	**0.852**	
	B-2 혼합석		**1.549**	**1.299**	**1.009**	**0.846**	**1**	**0.856**	
	동상방지층		**-**	**-**			**1**	**0.880**	

3.3 기존 토량환산계수 기준과 본과업 결과의 비교 검토

토지공사의 기존 토량환산계수와 금번 연구에서 산출된 토량환산계수를 비교검토 하여 그 활용방안을 제시하고자 한다.

■ 기존 기준과 본과업의 지반별 토량환산계수 산출 결과 비교

구 분	L			C		
	건교부 표준품셈	한국토지 공사	본과업	건교부 표준품셈	한국토지 공사	본과업
점 토	1.25~1.45	1.30	-	0.85~0.95	0.90	-
토 사	1.20~1.30	1.25	-	0.85~0.90	0.875	-
모 래	1.10~1.20	1.15	-	0.85~0.95	0.90	-
자 갈	1.10~1.20	1.15	-	1.10~1.05	1.075	-
풍화암	1.30~1.35	1.30	-	1.00~1.15	1.10	-
연 암	1.30~1.50	1.40	**1.484**	1.00~1.30	1.15	**1.247**
보통암	1.55~1.70	1.625	**1.599**	1.20~1.40	1.30	**1.306**
경 암	1.75~2.00	1.85	-	1.30~1.50	1.40	-

■ 기존 토지공사 기준과 본과업의 쇄석골재에 대한 토량환산계수 산출결과 비교

구 분		다짐상태 단위용적질량 (KSF2312의 D다짐 95%)				자연상태 단위용적질량				L		C	
		건조		습윤		건조		습윤					
		기존	금번	기존	금번	기존	금번	기존	금번	기존	금번	기존	금번
입도조정기층 B-2(40 ㎜)		2.084	**2.012**	2.216	**2.135**	1.833	**1.688**	1.857	**1.772**	1	**1**	0.88	**0.856**
보조기층	SB-2 (50 ㎜)	2.058	**2.047**	2.198	**2.174**	1.817	**1.714**	1.839	**1.759**	1	**1**	0.88	**0.852**
	SB-1 (75 ㎜)		**2.066**		**2.192**		**1.755**		**1.819**		**1**		**0.859**
동상방지층		2.045	**1.974**	2.193	**2.112**	1.731	**1.737**	1.782	**1.812**	1	**1**	0.85	**0.880**

※ 자연상태란 포장골재의 야적상태(또는 운반을 위한 상차상태)를 말한다.

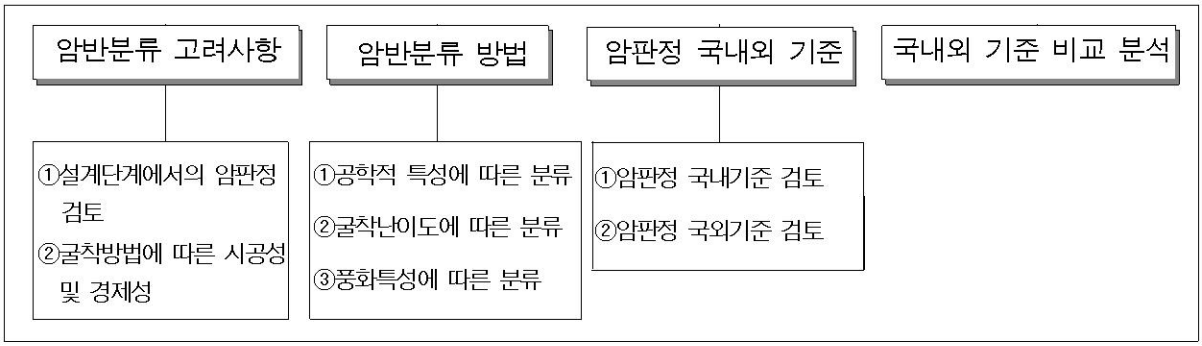
본 연구 결과와 기존 토지공사기준의 C값을 비교하면 입도 분포가 넓은 동상방지층 재료는 0.88로 기존 값보다 크게 나타났으며, 입도 분포가 좁은 보조기층용 골재는 0.852~0.859로 기존 값보다 작게 나타났다. 연구대상 현장의 값들은 대체로 일반적인 범위내에 분포하고 있다. 그러나 암종 및 지질조건에 따른 다양성을 고려할 때 기존의 다양한 현장을 대상으로 경험적으로 얻어진 기존 기준을 그대로 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 참고로 타기관은 대체로 토사의 일반적인 값인 0.9를 포장골재의 C값으로 준용하고 있다.

제 4 장 발생암의 물성평가를 통한 암판정 기준 연구

굴착공사를 위해 정량적이고 객관적인 굴착난이도 판정기준을 정립하여 경제성과 안정성을 고려한 합리적인 설계기준을 제시하고자 ① 암반의 분류와 암판정 기준에 관련한 다양한 문헌자료를 고찰하여 비교 분석을 실시하고, ② 토지공사 현장 6개소의 암석 및 골재에 대하여 발생암의 물리적 특성분석을 실시하였으며 ③ 시공단계에서의 현장 암판정을 위한 평가기준을 제안하였다.

4.1 암반의 평가를 위한 문헌자료 분석

■ 문헌자료 분석 내용



■ 검토된 주요 국내외 암판정 기준

구분	국내기준	국외기준
주요 검토 기준	- 건설교통부 표준품셈 - 한국도로공사 - 한국농촌공사 - 한국토지공사 - 기타 분류기준	- Weaver(1975), Singh et al. - Atkinson, 1970 - Franklin and Broch, 1972 - F.G Bell , 1992 - 일본도로공단

국내의 경우 발파의 효율성을 기준으로 하며 국외의 경우 주로 리퍼의 굴착성(Rippability)을 기준으로 한다. 국내 기준의 평가항목은 암종을 두가지로 대분하고 일축압축강도, 탄성파속도를 주로 활용하며 풍화상태 및 절리의 상태를 정량적으로 반영하고있다. 지반의 구분은 다양하나 굴착에 있어서는 토사, 리핑암, 발파암으로 분류하고 현장에서 판정할 수 있도록 항목을 단순화하는 것이 일반적이다.

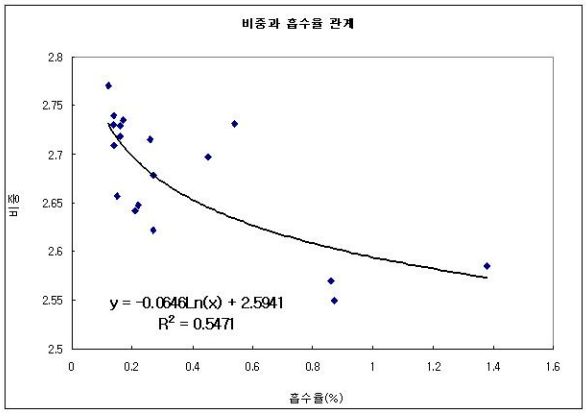
4.2 현장 발생암의 물리적 특성 분석

본 연구에서는 지질학적 암종의 분류와 암석의 비중 및 흡수율, 일축압축강도, 점하중강도, 탄성파속도, 슬레이크 내구성 등에 대하여 실내시험을 수행하고 그 결과에 대하여 상관도 및 민감도(기여도)를 분석하였다.

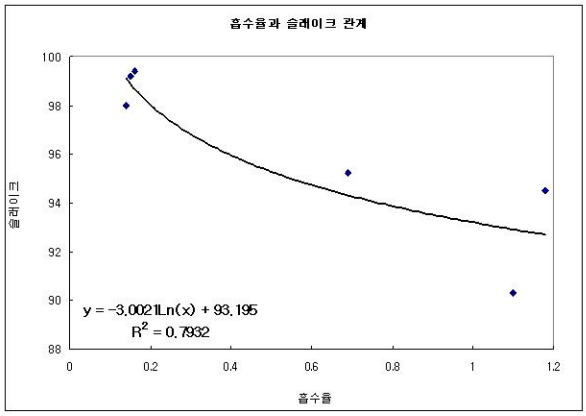
■ 물리적 특성 시험 결과

현 장		현미경조직 검사결과 (암종)	일축압축 강도 (MPa)	탄성파 속도 (m/s)	비중 및 흡수율		슬레이크 내구성 (Id_2)
					절건비중	흡수율(%)	
공주	A	석영-장석반암	105	4050	2.648	0.22	98.8
	B	편마암	97	3858	2.550	0.87	
	동방	-	45(점하중)	-	2.631	1.10	90.3
충주	A	거정질 화강암	84	4307	2.622	0.27	99.3
	B	화강암&편마암	90	4889	2.642	0.21	
	C	편마암	74	3736	2.570	0.86	
	동방	-	60(점하중)	-	2.668	0.69	95.2
화성	No.1	-	86	4345	2.678	0.27	99.4
	No.2	-	48	3890	2.585	1.38	
	동방	-	54(점하중)	-	2.668	1.18	94.5
판교 1공구	A	흑운모 편마암	83	4298	2.731	0.54	-
	B	편마암	88	4985	2.709	0.14	
	C	흑운모 편마암	110	4775	2.771	0.12	
판교 2공구	G1	흑운모 편마암	74	4360	2.735	0.17	-
	G2	흑운모 편마암	90	4101	2.740	0.14	
	I	흑운모 편마암	101	4722	2.719	0.16	
판교 3공구	D	흑운모 편마암	67	4205	2.697	0.45	-
	E	흑운모 편마암	82	4700	2.746	0.12	
판교1공구 골재		편마암	111	4673	2.657	0.15	75㎜:99.1 50㎜:99.3
판교2공구 골재		흑운모 편마암	86	4430	2.729	0.16	75㎜:99.2 50㎜:99.6
판교3공구 골재		흑운모 편마암	91	5051	2.730	0.14	75㎜:97.0 50㎜:99.6

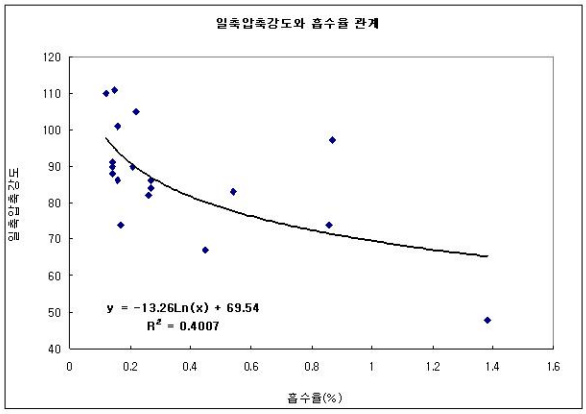
■ 물성치간의 상관관계 분석



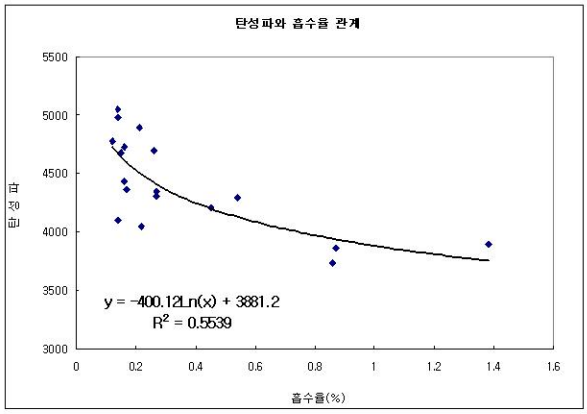
비중과 흡수율간의 관계



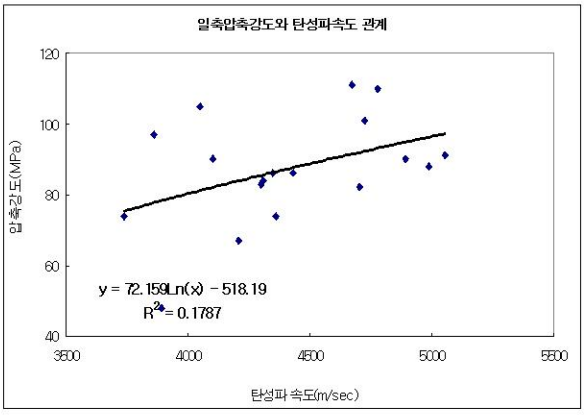
흡수율과 슬레이크지수와의 관계



일축압축강도와 흡수율간의 관계



탄성파속도와 흡수율강의 관계



일축압축강도와 탄성파속도의 관계

흡수율과 슬레이크 지수와의 높은 상관도(R^2=0.79)를 제외하고는 대체로 보통의 상관도(R^2=0.40~0.55)를 보이며 특히 일축압축강도와 탄성파속도는 매우 낮은 상관관계(R^2=0.18)를 보였다.

이러한 결과는 시료의 개수가 적고 시료의 암질이 양호한 연암과 보통암에 편중되어 나타난 자료의 왜곡현상 때문인 것으로 보인다.

■ 암반분류에 대한 물성치의 기여도 분석

일축압축강도와 탄성파속도의 개별값을 기준으로 풍화암, 연암, 보통암으로 암반분류를 시행하여 보았다.

현 장		일축압축강도		탄성파 속도		흡수율 (%)	암 종
		(MPa)	암반 분류	(m/s)	암반 분류		
공주	A	105	보통암	4,050	연암	022	석영~장석 반암
	B	97	연암	3,858	연암	0.87	편마암
	동상 방지층	45	풍화암				-
충주	A	84	연암	4,307	연암	0.27	거정질 화강암
	B	90		4,889	보통암	0.21	화강암& 편마암
	C	74		3,736	연암	0.86	편마암
	동상 방지층	60	풍화암				-
화성	No.1	86	연암	4,345	연암	0.27	-
	No.2	48	풍화암	3,890	연암	1.38	-
	동상 방지층	54	풍화암				-
판교 1공구	A	83	연암	4,298	연암	0.54	흑운모 편마암
	B	88	연암	4.985	보통암	0.14	편마암
	C	110	보통암	4,775	보통암	0.12	흑운모 편마암
판교 2공구	G1	74	연암	4,360	연암	0.17	흑운모 편마암
	G2	90	연암	4,101	연암	0.14	흑운모 편마암
	I	101	연암	4,722	보통암	0.16	흑운모 편마암
판교 3공구	D	67	풍화암	4,205	연암	0.45	흑운모 편마암
	E	82	연암	4,700	보통암	0.12	흑운모 편마암
판교 1공구 골재		111	보통암	4,673	연암	0.15	편마암
판교 2공구 골재		86	연암	4,430	연암	0.16	흑운모 편마암
판교 3공구 골재		91	연암	5,051	연암	0.14	흑운모 편마암

골재 및 발생암 시료는 양호한 연암내지 보통암으로 분류되고 동방층시료는 풍화암으로 분류되었다. 현장시료의 시험결과는 암석의 다양성을 감안할 때 대체로 일반적인 범위에 있으나 선정기준은 다양한 현장을 대상으로 경험적으로 얻어진 기존의 값을 사용하는 것이 타당할 것으로 보인다.

4.3 암판정 평가 기준 연구 결과

본 연구에서는 문헌자료를 토대로 앞에서 실시한 시험결과를 이용하여 리핑암과 발파암에 대한 기준을 다음과 같이 제안하고자 한다.

<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="3">평가 방법</th><th colspan="2">평가기준</th><th rowspan="2">비 고</th></tr>
<tr><th>평가요소</th><th>평가방법</th><th>평가위치</th><th>리핑암</th><th>발파암</th></tr>
<tr><td rowspan="2">암석
강도</td><td>압축강도
(kgf/㎠)</td><td>일축압축
강도시험</td><td>실내</td><td rowspan="2">700미만</td><td rowspan="2">700이상</td><td rowspan="2">- 점하중강도 수치는 압축강도로 환산하여 적용
- 슈미트해머 값은 편차가 심해 불인정</td></tr>
<tr><td>점하중강도
($Is_{(50)}$)</td><td>점하중
강도시험</td><td>현장 및
실내</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄성파
속도</td><td>자연탄성파속도
(V_f, m/s)</td><td>탄성파
탐사시험</td><td>현장</td><td>1000~
1800m/s</td><td>1800m/s
이상</td><td rowspan="3">- 속도지수(V_f/V_L) 0.4를 기준으로 리핑(0.4이상)과 발파(0.4이하) 구분</td></tr>
<tr><td>암편탄성파속도
(V_L, m/s)</td><td>탄성파
속도시험</td><td>실내</td><td>2700
미만</td><td>2700
이상</td></tr>
<tr><td>불연속면
발달상태</td><td>균열,
절리간격</td><td>암질지수
(RQD, %)
코아회수율
(TCR, %)</td><td>현장</td><td>TCR 25
미만이고
RQD 10
미만</td><td>TCR 25
이상이고
RQD 10
이상</td></tr>
<tr><td>풍화도</td><td>풍화정도</td><td>육안관찰</td><td>현장</td><td>CW~HW</td><td>MW~F</td><td></td></tr>
<tr><td>현장
확인</td><td>리핑 시험</td><td>30톤 리퍼
절취</td><td>현장</td><td>효율적
작업가능</td><td>효율적
작업불가</td><td>- 불도우저 삽날절취가 가능한 경우 토사로 구분</td></tr>
</table>

평가 기준들은 암반상태, 굴착방법, 현장상황에 따라 평가항목을 개별로 적용하여 굴착난이도를 판정하거나 평가항목을 조합하여 판정할 수 있다.

현장에서 30톤 리퍼로 효율적인 작업이 가능한가를 판단하는 것이 가장 확실한 분류방법이라 할 수 있다. 그러나 리핑시험이 여의치 않을 경우, 시추와 현장 탄성파탐사를 통하여 정량적으로 산출된 RQD, TCR, 속도지수, 자연탄성파속도, 일축압축강도 등의 자료를 참조하여야할 것이며 시추 및 현장탄성파 탐사도 여의치 않을 경우, 암블럭의 일축압축강도나 점하중강도, 암편 탄성파속도를 참조하여야 할 것이다. 이를 통하여 최종판정은 암판정위원회에서 정성적인 풍화도판단과 불연속면상태 등과 종합하여 판단하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.