

광산용 슛크리트의 역학적 특성 및 내구성 평가

남궁경¹, 마상준², 이겨레¹, 윤경구^{1*}
¹강원대학교 토목공학과, ²한국건설기술연구원

Evaluation for Mechanical Property and Durability of Miner's Shotcrete

Kyeong Nam-Gung¹, Sang-Joon Ma², Kyeo-Re Lee¹, Kyong-Ku Yun^{1*}

¹Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University

²Korea Institute of Construction Technology

요약 대규모 갱도의 보강을 위해 현재 일반적인 광산 지보재(록볼트 및 강지보재)가 대부분 적용되고 있으며, 일부에서는 현장타설 슛크리트로 연약지반 보강을 실시하고 있다. 그러나 광산 갱도 굴착 후 매번 슛크리트를 타설할 수는 없는 국내 광산 여건상 경제성 및 부지확보의 문제로 고정적인 현장 배치플랜트를 확보하지 못하고, 인근 레미콘 제조 공장에서 배합된 슛크리트 재료를 공급받아 시공하고 있다. 그러나 레미콘 제조 공장에서 운반되는 슛크리트는 이동 거리 및 시간에 따라 품질이 저하되고, 광산 시공 현장에 상주하는 전문 품질관리자의 부재로 시공 품질 관리에 어려움이 많은 실정이다. 따라서 본 논문에서는 혼화재료의 종류와 혼입률을 변수로 선정하여 슛크리트의 역학적 특성과 단기 내구성 평가를 위한 실내실험을 실시하였다.

Abstract Mostly mine support(Rock bolt and Support) which is currently general for reinforcements of a large scale tunnel is applied, Some executing a reinforcement to Poor ground by cast-in-place shotcrete. However On domestic mine conditions that couldn't having every time after mine tunnel excavation, it couldn't ensure the field batch plant which is a fixed in an issue of economies and site security, constructing it by supply gets from shotcrete materials combined in neighborhood ready mixed concrete manufacturing plants. carried shotcrete in ready mixed concrete manufacturing plants as migration length and time are falling off in quality. But, it is difficult for construction quality control By quality control arbitrariness absence at on-scene. In the present study, carry out Laboratory Test by kinds and percentages of accelerating agent for evaluation of Mechanical Property and Durability of Shotcrete.

Key Words : admixture, durability, long-term strength, low quality, shotcrete, mechanical property,

1. 서론

스�크리트는 굴착 직후 발생하는 원지반의 초기 변위 제어 및 풍화 방지를 통한 굴착면의 안정도모를 목적으로, 구조물의 장기적인 사용성 및 안전성의 개념에서 그 역할이 더욱 중요하게 부각되고 있다. 그러나, 국내 광산 여건상 굴착 후 매번 슛크리트를 타설할 수는 없으며, 지

반 상태 및 작업 안전성에 의해 연약지반에만 슛크리트를 타설하여야 하기 때문에 고정적인 현장 배치플랜트를 확보하기에는 경제성 저하, 부지확보의 어려움 등의 문제가 있다.[1] 따라서, 인근 레미콘 제조 공장에서 배합된 슛크리트 재료를 공급받아 시공하게 되는데, 이러한 경우 이동 거리 및 시간에 따라 슛크리트 품질이 저하되고, 광산 현장에 상주하는 전문 품질관리자가 없기 때문에

본 연구는 2009년도 지식경제부 재원으로 한국에너지기술평가원(2009T100100525)의 지원을 받아 수행되었음.

*Corresponding Author : Kyong-Ky Yun(Kangwon Univ.)

Tel: +82-33-250-6236 email: kkyun@kangwon.ac.kr

Received May 21, 2014

Revised (1st February 2, 2015, 2nd February 10, 2015)

Accepted February 12, 2015

현장 시공 품질 관리도 전혀 되지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 레미콘 제조 공장에서의 배치플레이트를 이용한 슛크리트 재료에 플라이애쉬와 실리카 흙을 결합재의 성능을 높이기 위한 분말형 혼화제로 이용하고 AE제를 사용하여 슛크리트 재료의 품질 향상을 도모하였다. 이에 압축강도를 측정하여 공기량의 유무, 혼화제의 종류 및 혼입량에 따른 강도 특성을 비교 분석하였으며, 끓는 물 흡수 실험, 굳은 후 화상분석을 통하여 각 변수에 대한 내구성을 비교 분석하였다.

2. 실험방법 및 사용재료

2.1 사용재료

시멘트는 국내 C사에서 생산되는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 13mm 인 세척 쇄석을 이용하였고, 잔골재는 부순모래를 사용하였다. 사용 골재의 물리적 특성은 Table 1에 나타내었다. 급결제는 국내에서 시판되고 있는 알루미늄이트계(AL) 급결제를 사용하였다. Table 2은 급결제의 기본 물리적 특성을 나타낸다. 유동화제는 나프탈렌계를 사용하였으며, 실험에 사용된 나프탈렌계 유동화제의 물리화학적 특성은 Table 3과 같다. 혼화재료는 실리카 흙과 국내에서 생산되는 플라이애쉬를 사용하였으며, 물리화학적 특성은 Table 5와 같다. 강섬유는 국내 S사에서 생산되는 번드렉스 강섬유를 사용하였으며, 물리적 특성은 Table 4와 같다.

[Table 1] Physical character of aggregate

Type	Max. size (mm)	Specific gravity	Absorption rate (%)	F.M
Fine aggregate	≤5	2.60	1.14	2.76
Coarse aggregate	13	2.64	1.27	5.95

[Table 2] Physical character of accelerator

Type of accelerator	Type	Specific gravity	pH
aluminite series(AL)	liquid	1.56	13.5

[Table 3] Physicochemical character of plasticizer

Form	Color	Solid content (%)	Specific gravity S.G	pH	Content (%)
liquid	dark brown	Min 40%	1.19~1.23	8.0~10.0	0.5~2.5

[Table 4] Physicochemical character of steel fiber

Quality	Tension strength	Type of steelfiber	aspect ratio
ASTM A820	700~1,200MPa	BUNDLE TYPE	62

[Table 5] Physicochemical character of mixture material

Type of mixture material	Form	Color	Fineness (cm ² /g)	Specific gravity S.G	SiO ₂ (%)	Content (%)
silica fume	powder	light gray	250,000	2.21	85~98	4~8
fly ash	powder	gray	4,780	2.10	53.8	10~20

2.2 실험계획 및 배합설계

2.2.1 실험계획

본 논문에서는 혼화재료가 혼입된 슛크리트의 특성을 평가하기 위하여 슛크리트의 한국도로공사 시방배합을 기준으로 크기는 AE감수제의 유무에 따라 변수를 설정하였으며, AE감수제가 혼입된 변수 내에서 플라이애쉬는 시멘트 대비 10, 20%로 변화, 실리카 흙은 시멘트 대비 4, 8%로 변화한 배합으로 설정하였다. AE감수제가 혼입되지 않은 변수 내에서 플라이애쉬는 시멘트 대비 20%, 실리카 흙은 시멘트 대비 8%로 혼입하였다. 3성분 배합은 시멘트 대비 플라이애쉬 10%-실리카 흙 4%로 혼입한 배합으로 플라이애쉬와 실리카흙의 3성분 배합 최적혼입률을 찾아내고자 다음과 같이 설정하였다.

2.2.2 배합설계

스�크리트 배합은 보통 콘크리트 제조방법과는 달리 배치플레이트의 상황에 맞게 시멘트와 굵은 골재, 잔골재를 혼합하여 약 90초간의 건비빔을 실시한 후, 혼화재료와 강섬유를 혼합하여 다시 150초 이상 배합을 실시하였다.[2] 다음으로 유동화제가 희석된 물을 투입한 후 90초 이상의 배합을 실시하였다. 이 과정이 완료된 후 레미

[Table 6] Shotcrete mix design

Division	Gmax mm	Slump mm	W/B (%)	S/a (%)	unit weight (kg/m ³)								
					W	C	S	G	Fiber	admixture		plasticizer	AEA
										FA	SF		
R 0%	13	100	40	65	192	480	1106	582	40	-	-	6.24 (1.3%)	-
R-FA 20%	13	100	40	65	192	384	1079	568	40	96	-	7.2 (1.5%)	-
R-SF 8%	13	100	40	65	192	441.6	1097	578	40	-	38.4	6.72 (1.4%)	-
R- FA10% SF4%	13	100	40	65	192	412.8	1036	551	40	48	19.2	7.2 (1.5%)	-
A 0%	13	100	40	65	192	480	1106	582	40	-	-	1.44 (0.3%)	0.144 (0.03%)
A-FA 10%	13	100	40	65	192	432	1092	575	40	48	-	1.44 (0.3%)	0.168 (0.035%)
A-FA 20%	13	100	40	65	192	384	1079	568	40	96	-	1.44 (0.3%)	0.168 (0.035%)
A-SF 4%	13	100	40	65	192	460.8	1101	580	40	-	19.2	1.92 (0.4%)	0.144 (0.03%)
A-SF 8%	13	100	40	65	192	441.6	1097	578	40	-	38.4	2.40 (0.5%)	0.144 (0.03%)

주) Slump : 100mm (100±20mm), Air contnt : (Non AEA(R) : 4.5±0.5%, AEA : 8.0±0.5%), Steelfiber : (∅0.5×30mm)

콘을 이용한 재료조달 방법으로 슛크리트 머신을 이용하여 급결제를 투입하여 타설을 실시하였다.[3] Table 6은 실험변수에 따른 슛크리트 배합표를 나타낸다. 배합설계는 고속도로 터널시공 표준시방서를 사용하여 유사하게 작성하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 공기량 및 슬럼프 실험

스�크리트의 압축강도 및 내구성에 영향을 미치는 공기량 시험은 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법)에 준하여 실험을 실시하였다.

2.3.2 압축강도

압축강도 시험은 ∅100×200mm의 원주형 공시체를 제작하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법) 규정에 따라 압축강도를 측정하였다.

재령 7일, 28일, 56일에 측정하였으며, 측정 장비로는 최대하중 100톤의 만능시험기(UTM)를 사용하였다.

2.3.3 끓는 물 흡수 실험

끓는 물 흡수 실험은 ASTM C 642에 의거하여 실시하였다. ASTM C 642에 사용되는 시편의 형상과 크기는

규정되어 있지 않다. 그러나 시험편은 최소 350m²의 부피를 가져야 하며, 일반적인 콘크리트의 중량으로 800g이상 되어야 한다. 시험편의 경우 외관상의 균열이 보이거나 모서리 부분이 탈락되어 있어도 무방하다.

시험과정은 Dry(건조), Immersion(수침), Boiling(끓임)의 3단계로 구분 되어지며, 각각의 단계에서 시험편의 중량이 측정되어 진다. 추가적으로 끓인 후 수중에서의 중량을 측정하여 총 4개의 중량을 이용하여 단위중량, 흡수율, 공극률을 결정한다.[7]

산출된 단위중량, 흡수율, 공극률에 의거하여 Table 7의 등급 기준서에 의거하여 평가된다.

[Table 7] Grade standard (Morgan 1992)

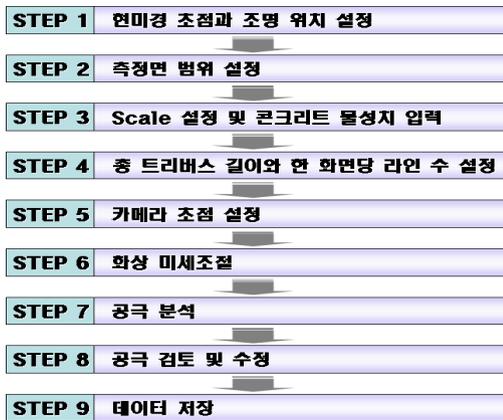
Sprayed Concrete Quality	Boiled Absorption (%)	Permeable Voids (%)
Excellent	< 6	< 14
Good	6 - 8	14 - 17
Fair	8 - 9	17 - 19
Marginal	> 9	> 19

2.3.4 화상분석 실험

화상분석 실험은 ASTM C 457에 의거하여 실시하였다. 가. 시험편 준비(표면연마) - 화상분석의 용이함을 위

해서 표면연마 작업은 반드시 행해져야 한다. 시편 절단 직후의 공기체는 그 표면이 매우 거칠어 기포부의 구별이 불가능하다. 본 연구에서는 ASTM 규정에 따라 SiC 파우더를 이용하여 콘크리트의 표면을 연마하였다. 표면연마에 사용된 SiC 파우더는 최초 60번 연마제에서 시작하여 100번, 200번, 320번, 420번의 연마제를 거쳐 최종 600번 연마제 순서로 연마를 실시하였다. SiC 600번으로 실시한 연마 작업이 끝난 후, 시료 표면의 기포 안으로 들어간 이물질 제거를 위하여 강한 수압으로 표면을 깨끗이 세척하였다.[5]

나. 화상분석 시험절차 - 화상분석 단계는 현미경 조점과 조명위치 설정에서부터 데이터 저장 단계까지 총 9단계로 구분된다. Fig. 1은 화상분석 시험 절차를 나타낸다.



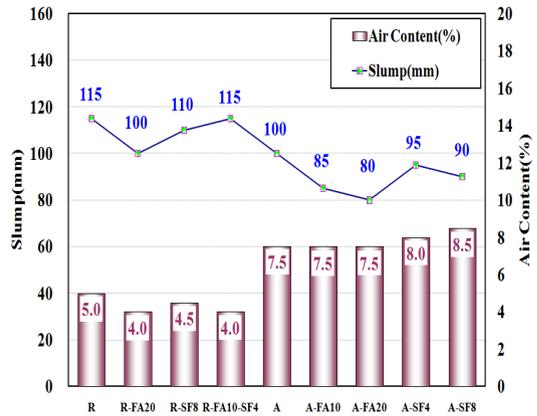
[Fig. 1] Image analysis test procedure

3. 실험결과 및 분석

3.1 공기량 및 슬럼프 실험 결과

변수에 따른 공기량 및 슬럼프 실험을 실시한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

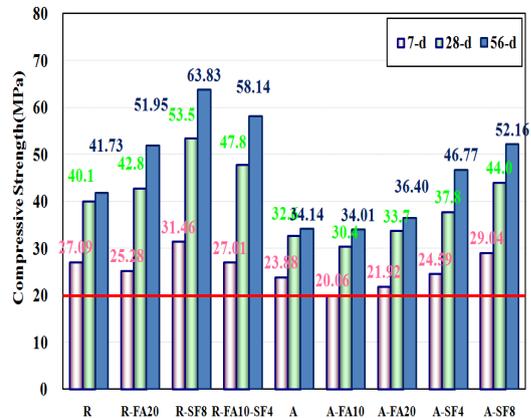
실험결과 AEA 미투입 변수의 공기량은 $4.5 \pm 0.5\%$ 범위로 평가되었고, AEA 투입 변수의 공기량은 $8.0 \pm 0.5\%$ 범위로 평가되었다. 슬럼프는 $100 \pm 20\text{mm}$ 범위로 평가되었다. 이는 AEA 투입 후 연행공기의 증가로 인한 공기량이 증가되는 것을 알 수 있었고, 슬럼프의 경우 강섬유를 혼입하지 않은 변수에서 소폭 감소하여 강섬유의 혼입이 슬럼프 변동에 영향을 주는 것을 알 수 있었다.



[Fig. 2] Air content and Slump

3.2 압축강도실험 결과

압축강도는 채령 7일 강도 이후 모든 변수에서 터널 표준 설계 강도인 21MPa를 만족하였다. 변수별 경향은 크게 AEA의 투입 여부에 따라 전체적으로 AEA의 미투입 변수에서 높은 강도발현을 보였다. AEA의 미투입 변수에 있어서는 실리카 흙 혼입 배합, 3성분계 배합, 플라이애쉬 혼입배합 순서로 높은 강도발현이 되었고, AEA의 투입 변수에 있어서는 실리카 흙 혼입 배합, 플라이애쉬 혼입 배합 순서로 높은 강도 발현이 나타났다. AEA의 투입에 관계없이 실리카 흙이 높은 강도 발현을 나타낼 수 있다.[4] 전체적인 경향으로 변수에 관계없이 채령 7일 이후의 강도를 고찰할 때 단위시멘트량을 줄여 재료비 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대되며, 수산화칼슘(Ca(OH)₂:시멘트와 물의 반응에서 생성)과의 2차 반응

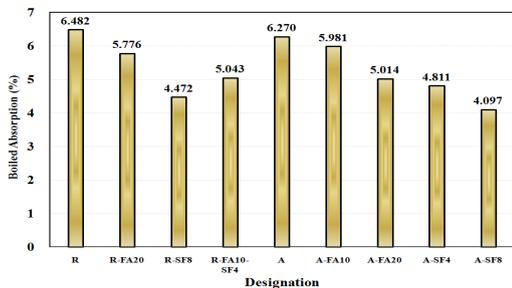


[Fig. 3] Compressive strength of each variable

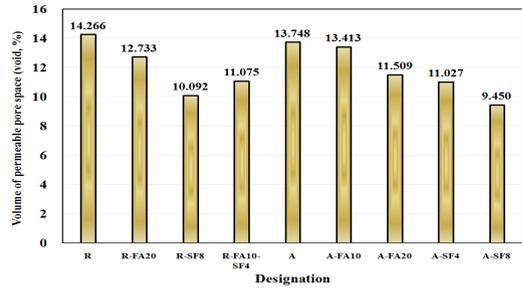
으로 인한 조기강도가 저하되는 특징을 지닌 포졸란재료 플라이애쉬와 실리카 흙을 적절히 혼입한 3성분계 배합을 통해 보다 우수한 품질의 숯크리트의 적용가치가 있을 것으로 판단된다. 각 변수별 압축강도의 결과는 Fig. 3에 나타내었다.

3.3 끓는 물 흡수 실험 결과

끓는 물 흡수 시험은 ASTM C 642에 의거하여 실시하였으며, 2.3.3에 언급한 바와 같은 방법을 통해 산출된 흡수율과 공극률을 바탕으로 수밀성의 등급을 평가하였다. 각 변수별 흡수량과 공극률을 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4와 Fig. 5에서 알 수 있듯이 AEA의 미투입 배합에서는 혼화재료 미투입 배합에서 “Good”등급을 만족하였고, 실리카 흙 혼입 배합, 3성분계 배합, 플라이애쉬 배합 순으로 흡수량과 공극률의 “Excellent”등급을 만족하는 흡수량과 공극률의 경향을 보였으며, AEA의 투입 배합 또한 혼화재료 미투입 배합에서 “Good”등급을 만족하였고, 실리카 흙 혼입 배합, 플라이애쉬 혼입 배합 순으로 흡수량과 공극률의 “Excellent”등급을 만족하는 경향을 나타내었다. 이는 압축강도의 경향과 유사하게 나타났으며, 전하량에 영향을 주는 강섬유의 혼입사용으로 인해 평가를 진행하지 못한 염소이온 침투저항성의 등급을 끓는 물 흡수 시험을 통해 수밀성의 등급을 통하여 유사 경향으로 평가할 수 있으리라 판단된다. 본 논문의 한계 실험으로 인해 확인하지 못한 염소이온 침투저항성과 끓는 물 흡수 실험의 상관관계를 확인하기 위해 차후 추가적인 실험이 필요하다고 판단된다. 끓는 물 흡수 실험에 의하여 평가된 등급을 Table 8에 나타내었다.



[Fig. 4] Amount of water absorption calculation result of each variable



[Fig. 5] Porosity calculation result of each variable

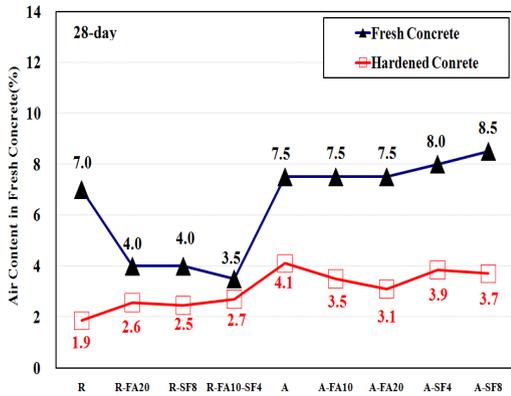
[Table 8] Boiled water absorption test result of each variable

Division	Absorption after immersion & Boiling (%)	Volume of permeable pore space (void, %)	Quality Grade
R-0%	6.444	14.082	Good
R-FA20%	5.776	12.733	Excellent
R-SF8%	4.472	10.092	Excellent
R-FA10-SF4%	5.043	11.075	Excellent
A-0%	6.270	13.748	Good
A-FA10%	5.981	13.413	Excellent
A-FA20%	5.014	11.509	Excellent
A-SF4%	4.811	11.027	Excellent
A-SF8%	4.097	9.450	Excellent

3.4 화상분석 실험 결과

본 연구에서 경화 전 숯크리트의 공기량은 압력법(KS F 2421)으로 측정하였고, 경화 후 숯크리트의 공기량은 화상분석 실험(ASTM C 457)을 수행하여 측정하여 비교하였다.

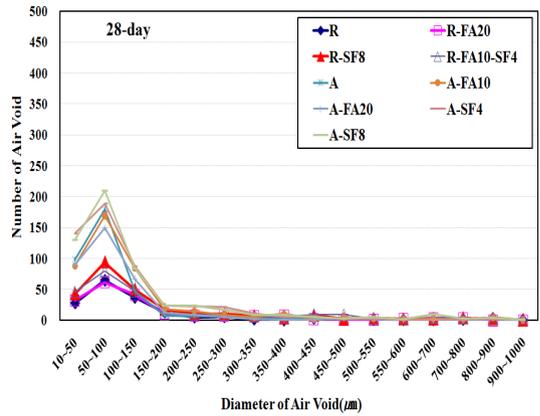
Fig. 6은 각 변수별 공기량 특성을 나타내는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 경화 전 공기량에 비해 슈팅 후의 화상분석을 통한 공기량은 전체적으로 감소하는 경향이 나타났다. 이는 수화반응과 포졸란 반응에 더불어 슈팅을 통해서 공극이 충전 되어 시멘트 경화체의 구조가 밀실하게 되었다는 것으로 사료된다.



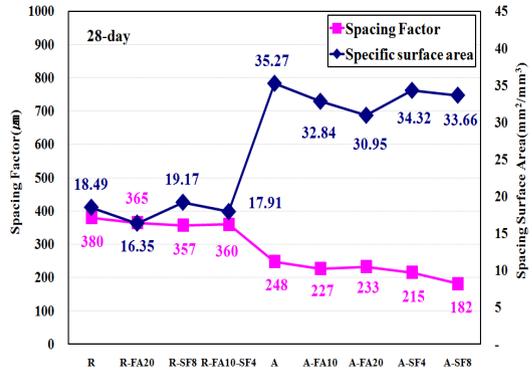
[Fig. 6] Compare air content before and after hardening of each variable

시멘트 페이스트 내부에 산재하는 10~100 μm 크기의 공극은 수분의 이동 및 동결 시 팽창압을 감소시키는 역할을 하므로, 숯크리트 경화체 내부에 존재하는 공극의 크기별 공기량 분포의 평가는 동결융해 저항성의 평가에 매우 유용한 자료로 활용될 수 있다. Fig. 7은 각 변수별 공극개수의 분포를 나타내는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 AEA와 실리카 흙, 플라이애쉬의 혼입됨에 따라 200 μm 이하 크기의 연행공극을 증가시키는 반면 200 μm 이상 크기의 연행공극에는 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 이는 AEA와 실리카 흙, 플라이애쉬는 연행공극의 형성에 기여함을 알 수 있다.

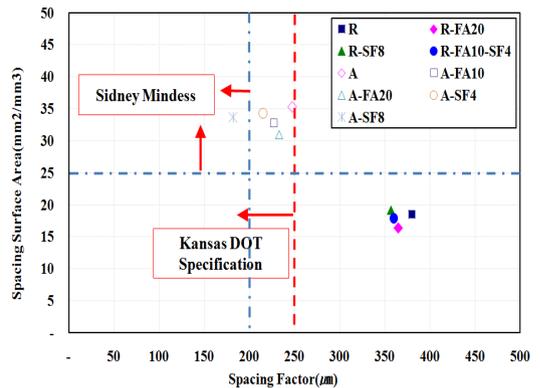
Fig. 8과 Fig. 9는 각 변수별 간격계수와 비표면적을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보면 알 수 있듯이 Kansas DOT Specification (250 μm 이하)과 Mindess의 저서에 제시된 간격계수 기준(간격계수 200 μm 이하, 공극의 비표면적 $25\text{mm}^2/\text{mm}^3$ 이상)을 만족하여야 동결융해 저항성에 기여할 수 있다는 점을 AEA의 미투입 변수에서는 모두 만족하지 못하였고, AEA의 투입 변수에서는 A-SF8% 혼입 변수는 두 가지 기준 모두를 만족하여 내구성 지수를 95%이상 확보 할 수 있는 것으로 평가되었고, 나머지 변수에서는 Kansas DOT Specification 기준을 만족하는 결과를 나타내었다.[6] 간격계수에 기초한 내구성 지수를 높이기 위해 AEA와 혼화재료의 적절한 혼입이 필요함을 명시해 준다.



[Fig. 7] The number of air void distribution of each variable



[Fig. 8] Spacing factor and surface area of each valuable (1)



[Fig. 9] Spacing factor and surface area of each valuable (2)

4. 결론

본 연구는 슛크리트의 전문적인 관리자의 부재와 레미콘을 이용한 재료의 조달로 인한 품질관리의 어려운 현실에 맞서 적절한 혼화재료의 혼입으로 우수한 품질의 슛크리트 타설을 위해서 각 혼화재료의 혼입에 따른 슛크리트의 역학적 특성을 평가하고자 진행되었으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 모든 변수에서 혼화재료의 종류와 혼입량에 상관없이 채령 7일 이후에는 터널설계기준강도 21MPa를 만족하였다. 플라이애쉬 혼입 변수에서는 포졸란 반응으로 인해 초기강도가 저하되는 경향을 보였으나 우수한 장기강도를 나타내었고, 고가 재료인 실리카 흙 변수에서는 가장 우수한 초기·장기 강도 발현을 나타내었다.

2. 3성분계 변수의 플라이애쉬 혼입변수와 실리카 흙 혼입 변수의 중간치 강도 발현의 우수함을 바탕으로 단위 시멘트량을 줄일 수 있는 기회와 플라이애쉬와 실리카 흙의 적절한 혼입으로 인한 재료비 절감과 함께 우수한 슛크리트의 품질을 확보 할 수 있으리라 판단된다.

3. 끓는 물 흡수 실험을 통해 AEA의 투입과 관계없이 플라이애쉬 혼입 배합, 3성분계 배합, 실리카 흙 혼입 배합 순으로 흡수량 및 공극률이 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 수밀성 증대의 측면에서 효과가 있음을 보여 주며, 추가적인 실험을 통하여 재료비 절감을 가져올 수 있는 3성분계 배합의 고찰이 필요함을 명시하여 준다.

4. AEA의 투입 여부에 따라 간격계수와 공극의 비표면적의 차이점을 확실히 명시해 주었고, AEA의 투입으로서 Kansas DOT Specification (250 μ m이하)과 Mindess의 저서에 제시된 간격계수 기준(간격계수 200 μ m이하, 공극의 비표면적 25mm²/mm³이상)을 만족시켜 동결융해 저항성에 기여할 수 있다고 판단된다. AEA가 투입된 슛크리트에 플라이애쉬와 실리카 흙을 혼입함으로써 약 20 μ m ~ 60 μ m의 간격계수를 감소시킬 수 있다는 점을 명시해 주었다. 특히 A-SF8%변수에서 Kansas DOT Specification와 Mindess의 기준을 모두 만족하여 내구성 지수를 95%까지 확보 할 수 있다는 평가를 얻었다.

Shotcrete using Field Test”, Korean society of Civil Engineers symposium, pp. 5639-5642, 2005.

- [2] Kim DongHyun, Ryu JongHyu., Lee SangPil. “Development of High Performance Shotcrete for PCL Method”, Korean society of Civil Engineers symposium, pp. 3665-3670, 2004.
- [3] Park HaeGeun, Won JongPil, Lee MyeongSub “Performance of Wet-Mixed Shotcrete with Powder Types Cement Mineral Accelerator”, Korean society of Civil Engineers symposium, pp. 65-63, 2004.
- [4] Chung MinChul, “Studies on the Properties of High Performance and High Strength Cement Mortar Using Meta Kaolin and Silica Fume”, Journal of Korea Ceramic Societies Vol.33 No.5, pp. 519-523, 1996.
- [5] Franzen, T., Grrshol, K.F. & Tomisawa, “Sprayed Concrete for final lining”, Tunneling and Underground Space Technology Vol.16 pp 295-309, 2001.
- [6] Garshol, K. F., “How to Use Modern Wet Shotcrete Technology for Single Shell Permanent Tunnel Linings, proc. of the 8th Int, Conf. on Shotcrete for Underground Support VIII, pp.46-56, 1999.
- [7] ASTM C 642-06 “Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete”

남 궁 경(Kyeong Nam-Gung)

[정회원]



- 2010년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 2012년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>

토목, 슛크리트, 콘크리트 구조물, 도로

References

- [1] Kim DongMin, Ma SangJoon, Choi JaeSeok, “An Investigation on the Quality of High-Performance

마 상 준(Sang-Joon Ma)

[정회원]



- 1988년 2월 : 인하대학교 자원공학과 (공학사)
- 1992년 8월 : 인하대학교 자원공학과 (공학석사)
- 1996년 9월 : University of Leeds Mining & Mineral Eng. Dept. (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 기반시설본부 지반연구실 연구위원

<관심분야>

광산 숏크리트, 수치해석, 지반연구

이 겨 레(Kyeo-Re Lee)

[정회원]



- 2011년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 2013년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>

토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물, 도로

윤 경 구(Kyong-Ku Yun)

[정회원]



- 1992년 2월 : 미국미시간주립대학 토목공학석사
- 1995년 2월 : 미국미시간주립대학 토목공학박사
- 2000년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장