

대경권 셰일 골재의 풍화특성 및 셰일 골재 사용량에 따른 콘크리트의 동결융해 특성

이승한¹, 정용욱^{2*}, 여인동¹, 최종오²

¹계명대학교 토목공학과, ²계명대학교 첨단건설재료실험센터

Weathering Properties of Shale Aggregate in Daegu-Kyeongbuk region and Freezing-Thawing Characteristics of Concrete in response to Usage of Shale Aggregate

Seung-Han Lee¹, Yong-Wook Jung^{2*}, In-Dong Yeo¹ and Jong-Oh Choi²

¹Department of Civil Engineering, Keimyung University

²Advanced Construction Materials Testing Center, Keimyung University

요약 건설공사 현장에서 발생하는 버럭 중 퇴적암은 대부분 야적, 매립 등으로 폐기하고 있어 공사비의 증대 및 시공 비효율화의 원인이 되고 있다. 이 중 일부 사암의 경우 선별하여 골재로 활용하기도 하지만, 셰일은 대부분 산업폐기물로 매립하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 대경권의 골재수급 안정화 및 콘크리트용 대체골재 자원 개발의 일환으로 대경권에 널리 분포하고 있는 셰일 골재의 풍화특성을 평가하였으며, 셰일 골재의 치환율 변화에 따른 콘크리트의 동결융해 특성을 평가하였다. 실험에 사용된 셰일은 대구시 터파기 공사현장에서 반출되는 레드셰일과 블랙셰일을 선정하였으며, 콘크리트용 굵은 골재로 널리 사용되는 안산암과 변성퇴적암의 일종인 혼펠스와 비교함으로써 셰일의 콘크리트용 골재 활용성을 검토하였다. 실험결과, 안산암과 혼펠스의 경우 시간 경과에 따른 열화현상이 발견되지 않았으나, 블랙셰일은 모암의 일부가 박리되는 현상이 발견되었다. 레드셰일은 직접 폭로 1.5개월 경과 후 층리의 방향에 따라 균열이 발생하기 시작하였으며, 약 4개월 경과 후 잘게 부서어지는 현상이 나타났다. 셰일 골재 치환율에 따른 제조한 콘크리트의 300 cycle 동결융해 반복 후 상대동탄성계수는 Plain에서 97%, Hornfels는 95%로 나타났으며, RS_100의 경우 반복횟수 210 Cycle에서 57%, BS_100의 경우 반복횟수 240 Cycle에서 상대동탄성계수가 54%로 나타나 셰일 골재를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성이 반복횟수 증가에 따라 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

Abstract Sedimentary rocks from construction waste are discarded through open storage and landfilling, which causes an increase in construction cost and inefficient of execution of works. Some sandstone are selected and utilized as aggregates, but shale is buried as industrial waste. Therefore, in this research, we evaluated weathering properties of shale aggregate that is widely distributed throughout Daegu-Kyeongbuk region and freeze-thaw characteristics of concrete according to the replacement ratio of shale aggregate, in an effort to stabilize aggregate supply-demand in Daegu-Kyeongbuk region and develop alternative aggregates. We used red shale and black shale in the experiment, which were exported from a construction site in Deagu. We verified the usage of shale as a concrete aggregate by comparing andesite, which is broadly used as a thick aggregate for concrete, to hornfels, which is a metamorphic sedimentary rock. As a result of the experiment, we observed no degradation phenomenon for andesite and hornfels. However, a part of country rock containing black shale was found to be exfoliated. Red shale started having cracks in the direction of stratification after 1.5 months of direct exposure, and it broke into smaller pieces after approximately 4 months. After 300 cycles of freeze-thaw process on the concrete manufactured according to the replacement ratio of shale aggregate, the modulus of elasticity was 97% for plain and 95% for hornfels. In the case of RS_100, it was 57% after 210 cycles, and for BS_100, it was 54% after 240 cycles. Therefore, we established that, as the number of repetition increases, the freeze-thaw resistance decreases dramatically.

Key Words : Daegu-Kyeongbuk region, Freezing and thawing resistance, Shale Aggregate, Weathering

본 논문은 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원(과제번호 : 11CRTI-C059640-01)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Yong-Wook Jung(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-6708 email: jyw@kmu.ac.kr

Received July 16, 2013

Revised (1st August 3, 2013, 2nd August 6, 2013)

Accepted August 7, 2013

1. 서론

최근 건설공사의 필수 자재인 골재의 부족 현상이 지속되고 있으며, 골재 부족자원의 점진적인 고갈과 더불어 환경에 대한 규제가 강화됨에 따라 골재의 안정적 공급은 더욱 어려워지고 있다. 특히, 대구·경북 지역과 부산·경남 지역에서는 골재의 부족 현상이 대두되고 있는 실정이다.

대경권의 지질은 중생대 백악기의 퇴적암으로 대부분 셰일과 이암으로 구성되어 있다. 이 중 셰일은 외관상 단단한 암반으로 보이는 경우가 많아 공학적으로 안정된 재료로 취급되는 경향이 있다[1]. 그러나 셰일은 자체적으로 낮은 기계적 강도와 팽창, 수축에 대한 내성이 작고 지표 환경에 노출되면 물리·화학적 풍화작용에 매우 불안정하여 대부분 산업폐기물로 매립하고 있는 실정이다. 이러한 셰일을 이용하여 건설용 골재로의 활용방안이 강구된다면 콘크리트용 대체골재 자원으로 사용할 수 있다[2].

퇴적암의 건설용 골재로의 활용에 관한 연구로는 이암계 퇴적암을 파쇄하여 보조기층 재료로 활용하기 위한 연구와 층리가 평행한 대구지역 셰일의 전단강도 특성에 관한 연구 등이 보고되고 있다[3,4]. 그러나 셰일은 전단강도가 약하고, 대기노출 또는 침수와 같은 환경변화에 민감하게 반응하며 골재 덩어리가 부서지는 슬레이킹(Slaking)현상이나 골재가 부풀어 오르는 스웰링(Swelling)특성 등 많은 문제점을 나타낸다. 반면, 셰일은 골재의 절대건조밀도 및 흡수율, 마모율 등 콘크리트용 부순 골재의 품질기준을 만족하며, 소요의 압축강도 발현이 가능하다는 보고도 있다[5]. 따라서, 안정적인 골재수급을 위해서도 셰일 골재의 건설용 골재로의 활용성에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

이에 본 연구에서는 대경권 골재수급 안정화 및 콘크리트용 대체골재 자원 개발의 일환으로 대경권에 널리 분포하고 있는 셰일의 콘크리트용 골재 활용 가능성을 평가하고자 하였으며 선행연구결과[6]를 바탕으로 셰일 골재의 풍화특성과 셰일 골재 사용량에 따른 콘크리트의 동결융해 특성을 평가하였다. 이를 위하여 대구시 터파기 공사현장에서 반출되는 레드셰일과 블랙셰일을 선정하여 건습반복에 따른 골재의 입도 특성과 옥외장외 폭로 실험을 통한 골재의 풍화특성을 검토하였으며, 셰일 골재의 치환을 변화에 따른 콘크리트의 동결융해 특성을 평가하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 잔골재

실험에 사용한 시멘트는 S사의 분말도 3,426cm²/g의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리·화학적 성질을 Table 1에 나타내었다.

[Table 1] Chemical composition and physical properties of cement

Fineness (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Ig.loss	Chemical composition (%)				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
3,426	3.13	0.9	22.94	5.57	3.33	64.05	2.58

2.1.2 잔골재

잔골재는 밀도 2.61g/cm³, 조립률 2.67인 경북 왜관산 강모래를 사용하였으며, 잔골재의 물리적 특성은 Table 2와 같다.

[Table 2] Physical properties of fine aggregate

Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F. M.	Unit volume weight (kg/L)	Ratio of absolute volume(%)
2.61	1.80	2.67	1.63	62.5

2.1.3 굵은 골재

굵은 골재는 경북 경산시 소재 D산업에서 생산되는 안산암(이하 Plain이라 칭함.)을 기본골재로 사용하였으며, 셰일은 대구시 인근 터파기 공사현장에서 반출되는 블랙셰일(이하 BS라 칭함.)과 레드셰일(이하 RS라 칭함.)을 선정하였다. 비교골재로는 경북 하양읍 소재 S사의 혼펠스(이하 Hornfels라 칭함.)를 대상으로 하였다. 물성평가와 콘크리트 제조를 위하여 사용한 굵은 골재는 체가름을 통해 표준 입도분포곡선 범위를 맞추어 사용하였다.

2.2 실험계획 및 방법

2.2.1 실험계획

셰일 골재의 풍화특성 평가는 골재의 흡수건조 반복에 따른 입도변화를 관찰하였으며, 골재 모양의 옥외 폭로 시험을 실시하였다. 또한, 셰일 골재가 콘크리트에 미치는 영향을 검토하기 위하여 Plain에 대한 셰일 골재의

치환율을 0%, 25%, 50%, 100%로 변화시켜 콘크리트를 제조하였으며, 비교를 위해 혼펠스를 100% 사용한 콘크리트를 제조하여 골재의 치환율 변화에 따른 동결융해 저항성과 동결융해 300 cycle 반복 시험 후 압축강도 특성을 평가하였다.

2.2.2 실험방법

(1) 흡수·건조 반복에 따른 입도변화

세일 골재의 흡수·건조 반복에 따른 입도변화 시험은 온도 20℃±1℃에서 습윤상태 24시간, 온도 105℃±5℃에서 건조상태 24시간을 1 Cycle로 하여 15 Cycle 동안 세일의 흡수·건조 반복 cycle별 체가름을 실시하여 입도변화를 측정하였다.

(2) 골재의 옥외 폭로 시험

옥외 폭로 시험은 실외에 폭로하여 바람, 비, 햇빛 등의 자연 환경 조건의 직접 폭로 시험을 실시 하였으며, 경시변화별 골재의 외관 모양, 균열 및 질량 등을 평가하였다. 폭로 장소는 지역적 기후의 성격이 명확하고 환경오염 인자가 적은 장소로 선정하여 실시하였다.

(3) 콘크리트 제조

콘크리트 배합은 60l 강제식 믹서를 사용하였으며 혼합수와 시멘트를 먼저 투입하여 페이스트를 제조한 후 굵은 골재, 잔골재 순으로 투입하여 콘크리트를 제조하였으며 배합표는 Table 3과 같다. 각 배치의 혼합수 투입에서부터 배출까지 소요된 시간은 총 4분으로 일정하게 유지하여 콘크리트를 제조하였다.

(4) 동결융해 저항성

콘크리트의 동결융해 저항 시험은 KS F 2456 「급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법-B법」에 준하여 실시하였으며, KS F 2403 「콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법」에 준하여 76×76×406mm의 공시체를 제작하였다. 제작된 공시체는 14일 표준 양생 후 동결융해 시험을 실시하였으며, 30 Cycle마다 1차 주파수 시험과 공시체 질량을 측정하여, 상대동탄성계수(P_c)를 계산하였다.

$$P_c = \frac{n_c^2}{n_0^2} \times 100 \tag{1}$$

여기서, P_c : 동결융해 C사이클 후의 상대동탄성계수 (%)

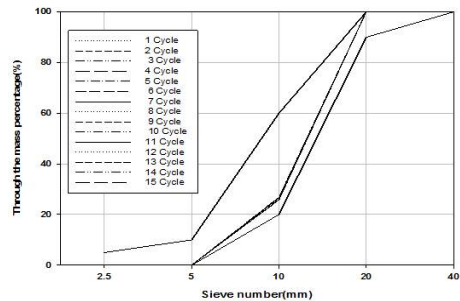
n_0 : 동결융해 C사이클에서 변형 진동 1차 공명 진동수(Hz)

n_c : 동결융해 C사이클 후 변형 진동 1차 공명 진동수(Hz)

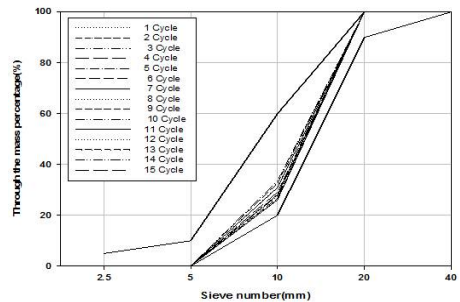
3. 실험결과 및 고찰

3.1 흡수·건조의 반복에 따른 골재의 입도변화

본 연구에서는 세일 골재의 콘크리트용 굵은 골재로의 활용성 검토를 위하여 세일 골재의 종류별 흡수·건조 반복에 따른 입도분포의 변화를 측정하였으며, 각 골재별 측정결과를 그림 1에 나타내었다.



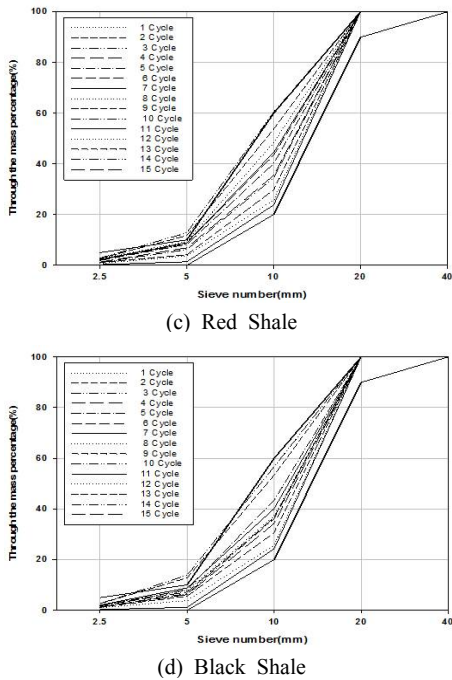
(a) Andesite



(b) Hornfels

[Table 3] Mix design of concrete

fck (Mpa)	Gmax (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit of weight(kg/m ³)				
						Water	Binder	Sand	Coarse aggregate	Ad. (g)
30	20	150±25	4.5±1.5	51.7	46	186	360	788	927.5	1,080



[Fig. 1] Grain size distribution with Wet and dry conditions

측정결과, 안산암은 흡수건조 반복 15 Cycle에서 입도 분포의 변화는 거의 없는 것으로 나타났으며, 혼펠스의 경우 흡수건조의 반복 15 Cycle 후 10mm체 통과질량 백분율이 약 8% 증가하였다.

반면, 블랙세일은 흡수건조 반복에 따라 10mm체 통과량이 급격히 늘어나 반복횟수 9 Cycle에서 10mm체 통과백분율이 12.78%로 표준입도분포 곡선을 벗어났다.

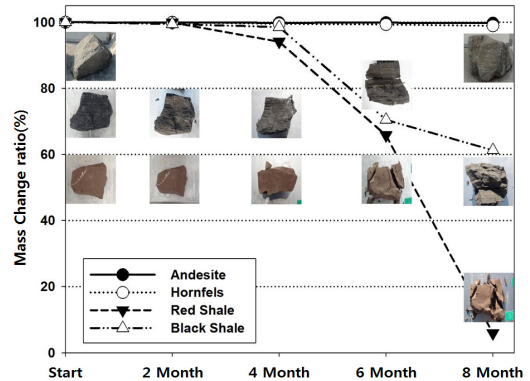
레드세일의 경우에서도 반복횟수 9 Cycle에서 10mm 체 통과백분율이 11.7%로 표준입도분포 곡선을 벗어났다. 또한, 흡수건조의 반복 15 Cycle에서 입도분포는 5mm체 통과질량 백분율이 19.2%, 10mm체 71.4%, 20mm체 100%로 흡수건조의 반복에 따라 골재의 입자가 잘게 쪼개지는 것으로 나타났다.

3.2 골재의 옥외 폭로 시험

시간 경과에 따른 골재의 품질 변화를 평가하기 위하여 골재 모암을 대기 중에 노출시켜 직접 폭로 시험을 실시한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

암종별에 따른 모암의 옥외 폭로 시험 8개월 경과 후 안산암과 혼펠스의 경우 시간 경과에 따른 열화현상이 발견되지 않았다. 반면, 블랙세일은 직접 폭로 4개월 경과 후 모암의 모서리 부분에서 박리 현상이 발생되었으며, 6개월 경과 후 층리의 방향에 따라 균열이 발견되었다.

레드세일은 직접 폭로 2개월 경과 후 층리의 방향에 따라 균열이 발생하기 시작하여 시간 경과에 따라 균열이 진행되었으며, 균열 폭도 점차 넓어졌다. 직접 폭로 4개월 경과 후 모암의 모서리 부분에서 박리현상이 발생되었으며, 8개월 경과 후 약 80% 정도의 질량 감소 및 잘게 부수어지는 현상이 뚜렷하게 나타났다.



[Fig. 2] Weathering of shale with elapsed time

3.3 세일골재 치환율에 따른 콘크리트의 동결 용해 특성

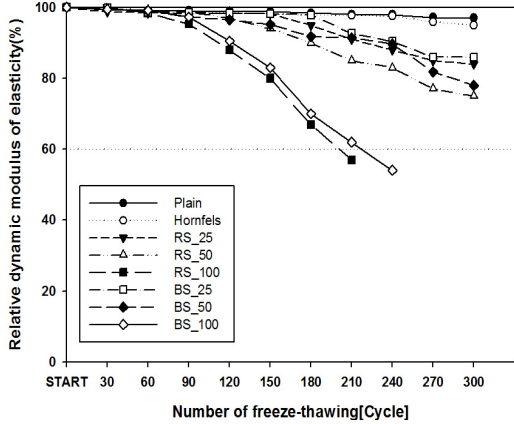
3.3.1 상대동탄성계수

콘크리트의 동결용해는 콘크리트 내부의 공극 중에 존재하는 공극수의 동결로 팽창압이 발생하며, 이로 인하여 콘크리트 내부의 미세균열이 발생하는 현상으로 콘크리트의 내구성 평가의 중요 지표가 된다. 본 연구에서는 동결용해에 영향인자인 공기량을 배제하기 위하여 세일 골재 치환율에 관계없이 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 하였다. 세일 골재의 종류 및 치환율을 변화시켜 제조한 콘크리트의 상대동탄성계수를 Fig. 3에 나타내었다.

골재의 종류 및 치환율 변화에 따른 상대동탄성 계수를 살펴보면 300 Cycle 반복 후 상대동탄성계수는 안산암 97%, 혼펠스 95%로 나타나 300 Cycle 동결용해 반복에 따른 내구성의 저하에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

반면, 세일을 치환하여 제조한 콘크리트 시험체의 동결용해 반복에 따른 상대동탄성계수는 RS_25의 경우 300 cycle 반복시 상대동탄성계수는 84%로 나타났으며, RS_50의 경우 75%로 나타났다. 그러나 RS_100의 경우 반복횟수 120 Cycle부터 상대동탄성계수가 급격히 저하하는 경향을 나타내다가 반복횟수 210 Cycle에서 57%로 나타나 시험을 종료하였다. BS_25의 경우 300 cycle 반복시 상대동탄성계수는 86%로 나타났으며, RS_50의 경

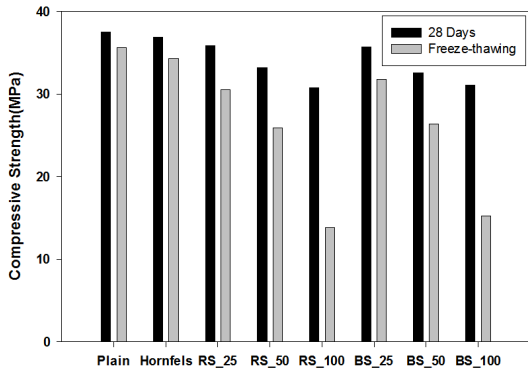
우 78%로 나타났다. BS_100의 경우 반복횟수 240 Cycle에서 상대동탄성계수가 54%로 나타나 시험을 종료하였다.



[Fig. 3] Relative dynamic modulus of elasticity with number of freeze-thawing

3.3.2 동결융해 시험 후 압축강도 특성

동결융해 반복 300 Cycle 후 골재의 종류 및 치환율 변화에 따른 압축강도 측정 결과를 Fig. 4에 나타내었다.



[Fig. 4] Compressive strength after 300 Cycles of freeze-thawing

동결융해 300 Cycle 반복 후 압축강도는 Plain 골재인 안산암의 경우 35.6MPa로 재령 28일 압축강도인 37.5MPa의 95% 수준으로 나타났으며, Hornfels는 92% 수준인 34.3MPa로 나타나 동결융해 반복에 따른 압축강도의 저하는 크지 않은 것으로 나타났다.

반면, 세일의 치환율 변화에 따른 동결융해 300 Cycle 반복 후 압축강도는 레드세일을 25% 치환하여 제조한 RS_25에서 30.5MPa, RS_50에서 25.9MPa로 나타났으며,

RS_100의 경우에는 13.9MPa로 재령28일 압축강도인 30.8MPa의 45% 수준으로 압축강도의 급격한 저하를 나타내었다. 블랙세일을 치환하여 제조한 경우에서도 BS_25에서 31.8MPa, BS_50에서 26.4MPa, BS_100에서 15.2MPa로 재령28일 압축강도인 31.1MPa의 50% 수준으로 나타나 레드세일의 경우와 유사한 경향을 나타내었다.

4. 결론

본 연구는 세일의 콘크리트용 골재 활용 가능성을 평가하기 위하여 세일 골재의 풍화특성과 치환율 변화에 따른 콘크리트의 동결융해 저항성을 검토한 것으로 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 안산암, 혼펠스의 흡수건조 15회 반복에 따른 입도 분포의 변화는 표준입도분포곡선을 만족하였으나, 블랙세일은 반복횟수 9 Cycle에서 10mm체 통과백분율 12.78%, 레드세일은 반복횟수 9 Cycle에서 10mm체 통과백분율이 11.7%로 표준입도분포 곡선을 벗어났다.
2. 옥외 폭로 시험 결과, 안산암과 혼펠스의 경우 시간 경과에 따른 열화현상이 발견되지 않았으나, 블랙세일은 모암의 일부가 박리되는 현상이 발견되었다. 레드세일은 직접 폭로 2개월 경과 후 층리의 방향에 따라 균열이 발생하기 시작하였으며, 약 4개월 경과 후 잘게 부서지는 현상이 나타났다.
3. 300 cycle 반복 후 상대동탄성계수는 Plain에서 97%, Hornfels는 95%로 나타났으며, RS_100의 경우 반복횟수 210 Cycle에서 57%, BS_100의 경우 반복횟수 240 Cycle에서 상대동탄성계수가 54%로 나타나 시험을 종료하였다.
4. 동결융해 300 Cycle 반복 후 압축강도는 RS_100에서 13.9MPa, BS_100에서 15.2MPa로 나타나 Plain 35.6MPa에 비하여 압축강도의 급격한 저하를 나타내었다.

References

- [1] Park Jung hun. "Study on the Physical and Mechanical characteristics of Weathered Schale Soils" Master's Thesis, Chonnam National University, 2004.
- [2] Korea Institute of Geology, Mining & Materials, Evaluation of Aggregate Resources at Kyungsang

Provinces II, p.736, Ministry of Trade and Industry, 1995.

- [3] Kim Jin Cheol, "Evaluation of Usability for Sub - base of Muddy Stone produced on Site" Journal of Korean Society of Road Engineers, Vol. 7 No. 3, pp. 93-100, 2005.
- [4] Young Huy Lee et al., "Shear Strength Characteristics of Rock Specimens by Triaxial Compression Tests" Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 1998 No. 2, pp. 131-134, 1998.
- [5] Kim Young Soo et al., "A Study on the Resistance of Freezing-Thawing for the Material of Concrete or Asphalt Using Smashed Rock" Journal of Korean Geo-environment Society, Vol 3 No. 2, pp. 35-47, 2002.
- [6] S. H. Lee, Y. W. Jung, I. D. Yeo, J. O. Choi, "Physical Properties of Shale Aggregate and Characteristics of Concrete in Replacement Ratio in Daegu-Kyeongbuk Region" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 11, pp.5551-5557, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.11.5551>
- [7] Tuk Ki Min et al., "Los Angeles Abrasion Test for Estimating Engineering Index on the Sedimentary Rocks of Kyeongsang Basin" Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 23 No. 11, pp. 15-26, 2007.
- [8] Kim Young Soo et al., "A Study on the Mechanical Characteristics of Aging Effect in the Sedimentary Rock's Aggregates" Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 1999 No. 4, pp. 137-140, 1999.
- [9] Lee Gil Ho, "Engineering Characteristics of Cretaceous Shale in Korea" Master's Thesis, Ulsan University, 2010.

이 승 한(Seung-Han Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : 日本 Tokyo工業大學 토목공학과 (공학석사)
- 1988년 2월 : 日本 Tokyo工業大學 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2012년 2월 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 센터장
- 1988년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

콘크리트, 친환경 건설재료

정 용 옥(Yong-Wook Jung)

[정회원]



- 1999년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 계명대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2011년 8월 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 책임연구원
- 2011년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 조교수

<관심분야>

콘크리트, 친환경 건설재료

여 인 동(In-Dong Yeo)

[정회원]



- 2009년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 박사과정

<관심분야>

콘크리트, 친환경 건설재료

최 중 오(Yong-Wook Jung)

[정회원]



- 2011년 8월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 박사과정 재학

<관심분야>

콘크리트, 친환경 건설재료