

금강유역의 봉황천에 부존하는 잔골재 물성연구

오 근 창¹, 김 주 용¹, 양 동 윤¹, 이 진 영¹, 홍 세 선¹, 김 정 찬¹

¹한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

A study on the physical properties of fine aggregates of Bonghwang-cheon in the Geum River Basin, Korea

Keun Chang Oh¹, Ju Yong Kim¹, Dong Yoon Yang¹, Jin Young Lee¹,
Sei Sun Hong¹, Jeong Chan Kim¹

¹Div of Geological and Environmental Hazards Research, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM), Daejeon 305-350, Korea.

요약: 이 연구에서는 금강 지류하천에 발달한 구하상에 부존하는 잔골재의 물성실험을 실시하여 그 결과를 KS 품질기준과 비교하여 잔골재로서의 품질을 평가하였다.

연구 결과 봉황천의 상류에 발달한 구하상에는 하류에 비하여 상대적으로 입도가 큰 잔골재가 선별적으로 많이 분포하고 있으며, 봉황천 구하상에 부존하는 잔골재 물성은 기반암의 종류에 따라 크게 좌우되는 결과를 보여 준다. 즉, 기반암종이 동일하거나 유사한 소규모 수계일 경우 잔골재 물성은 퇴적물 입도와 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 끝으로 봉황천 구하상 잔골재는 밀도와 잔입자량 이외에는 전반적으로 KS 규격기준에 잘 부합되는 것으로 나타났다.

주요어: 구하상, 잔골재, 시험시추, 기반암종, 입도, 물성특성

English Abstract: In this study we experiment on sand deposits (fine aggregates) taken from the old river-bed of the Bonghwang-cheon of Geum River Basin, and evaluate physical properties of fine aggregates in comparison to the KS quality regulation. As a result of experimentation, particle size of fine aggregates is generally smaller in the downstream area than in the upstream area. In addition, physical properties of the fine aggregates tend to depend on the bedrock type. Physical properties of fine aggregates show a strong positive correlation with particle size of old river-bed sediments. Finally, the general physical properties of fine aggregates are conformable to the KS quality regulation, except density and proportion of materials finer than 75 μ m.

Key Words: old river-bed, fine aggregate, test boring, bedrock type, particle size, physical properties

*Corresponding author: Ju-Yong Kim, Tel, 042-868-3056, E-mail, kjy@kigam.re.kr

1. 서론

범람원은 현하상 또는 구하상의 주변부에 위치한다. 범람원 퇴적물은 상류에 분포하는 부서진 기반암에서 기인한다. 주로 경작지로 이용되어 온 현하상주변의 범람원 퇴적물은 최근에 들어와서는 잔골재의 공급부족으로 인하여 개발이 고무되고 있는 실정이다.

범람원 퇴적물을 조사하기 위한 지질, 지형, 수문조사 및 시추조사는 잔골재의 최적지를 선정하고 개발하는 측면에서 아주 중요하다. 또한, 잔골재의 KS품질기준에 기초한 범람원 퇴적물의 물성시험 및 기타 자연과학적 조사가 수행된다면 개발이 가능한 잔골재의 부존상태, 부존량, 품질 그리고 부가적으로 충전층 발달상태에 관

한 정보를 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다(Fig.1).

최근에 현하상과 범람원에 분포하는 퇴적물 중의 잔골재의 물성시험에 관한 국내의 연구는 김주용 등(2005)에 의해 수행된 바 있다. 이 연구는 잔골재의 매장량을 평가하는 기초자료로 활용되고 있지만 이를 제외하고는 현하상과 범람원에 분포하는 퇴적물 중의 잔골재의 물성시험에 관한 국내의 연구사례는 거의 전무한 실정이다. 다만, 이현구 등(1999)에 의한 입도분포에 따른 하상퇴적물의 지구화학적 분산 및 부하에 관한 연구와 박영석 등(2003)에 의한 구례지역 하상퇴적물의 지질집단별 자연배경치에 대한 연구를 포함하여 하상퇴적물에 대하여는 꽤 많은 연구가 이루어진 바 있다.

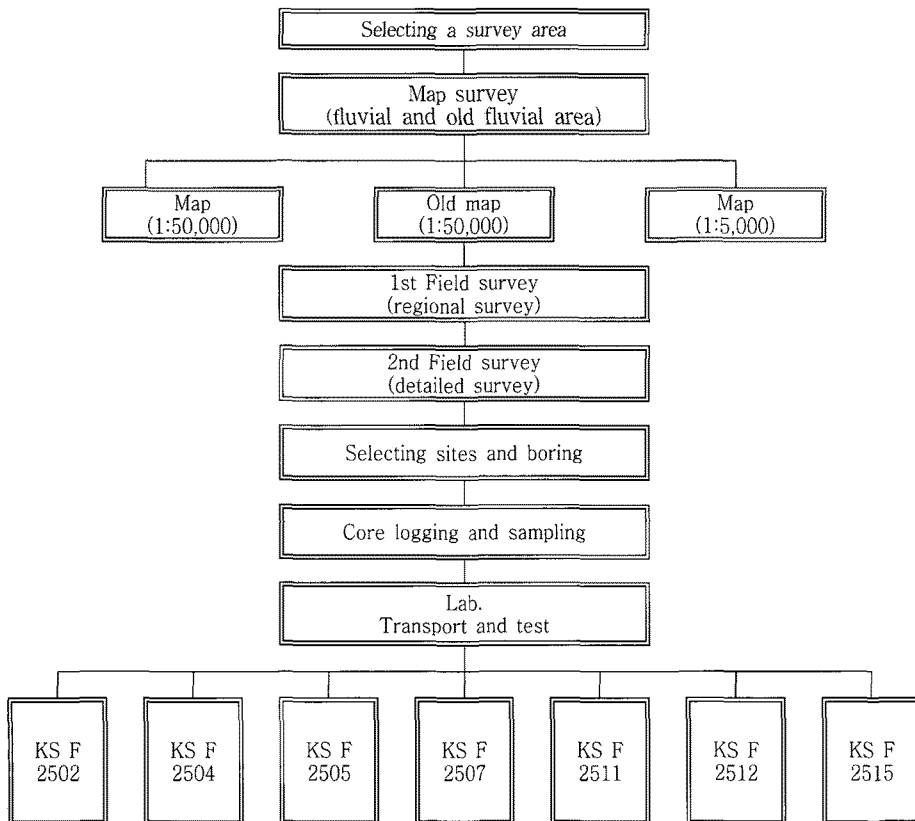


Fig. 1. Flow chart for each test category to the borehole samples.

외국연구 사례로서 Fisher and Smith(1993)는 기반암의 지역적인 분포가 골재품질을 결정하는데 가장 중요한 요인임을 규명한 바 있다. 하성기원의 골재물성은 수계 주변에 분포하는 주요 기반암의 물성과 일정한 관련이 있는 것으로 볼 수 있다. 본 연구의 목적은 봉황천 수계위치별, 기반암종별 구하상 퇴적물 중 잔골재의 물리적 특성과 입도특성을 규명하는 데 있다. 이 연구의 결과는 구하상과 범람원 일대에 분포하는 잔골재의 계획적 개발에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

2. 지질 및 지형

연구지역인 금산군 금강지류 일대는 북위 36° 07' 12" ~ 36° 00' 00", 동경 127° 30' 00" ~ 127° 34' 48" (세계측지계, WKS 84), 행정구역상으로는 충청남도 금산군 금산읍을 포함하여 제원면, 군북면, 남일면 및 남이면에 걸쳐서 분포한다. 대전지질도폭설명서(이병주 등, 1995)에 의하면 이 일대의 지질은 선캄브리아기의 호상흑운모편마암, 오르도비스-캄브리아기의 석회암, 점판암, 흑색세일, 천매암, 석회질 점판암, 그리고 운모편암, 주라기의 반상흑운모화강암과 홍색장석화강암, 백악기의 석영반암과 홍색장석화강암 등으로 구성되며, 부분적으로는 시대미상의 규암을 포함한다(Fig. 2).

이번 연구 대상인 봉황천의 주변에는 상류부터 하류인 금강 합류부까지 주라기 흑운모화강암이 광역적으로 분포하며, 이들은 골재의 주요한 공급원으로서 역할을 한다. 연구지역에서 주요골재 공급원은 흑운모화강암이지만 KS-17호공~KS-13호공 주변에는 선캄브리아기의 화강암질 편마암, 시대미상의 변성퇴적암류인 석회암 및 규암 등이 부분적으로 분포하며, KS-09호공부터 KS-01호공에는 백악기 석영반암이 비교적 큰 규모로 분포하고 있다(Fig. 2). Fisher and Smith(1993)는 기반암의 지역적인 분포가 골재품질을 결정하는데 가장 중요한 요인임을 규명한 바 있으며, 따라서 본 역에서도 수계주변에 분포하는 주요 기반암의 물성과 충적층에 부존하는 육상골재물성 사이에 어떠한 관련이 있는지 주목하였다.

3. 시료채취 및 분석항목

시료는 시험시추공에서 NX 크기의 코어 시료를 회수할 수 있는 시추기를 이용하여 채취하였으며, 실험실로 운반 후 잔골재가 존재하는 구간의 시료를 선별하여 채취한 뒤 건조하여 각각의 시험 및 분석을 위한 시험시료로 이용하였다. 시추공의 위치, 심도 그리고 기타 관련 정보는 Table 1에 수록하였다.

골재의 물성은 골재 입자 낱개의 성질이 아니라 크고 작은 입자로 구성된 전체로서의 성질을 말하는데, 콘크리트용 골재는 일반적으로 다음과 같은 물성을 가져야 한다. 즉, 콘크리트 강도 확보가 가능한 세기를 가질 것, 콘크리트의 비중을 만족하는 비중을 가질 것, 기상 조건 및 다른 사용 요건에 맞는 내구성이 있을 것, 유동성이 좋고 밀실한 콘크리트를 만들 수 있는 입형과 밀도일 것, 콘크리트의 성질에 악영향을 끼치는 유해물질을 포함하지 않을 것, 내화성이 있을 것 등이다. 이러한 골재의 일반적 성질을 평가하는 시험 항목에는, 비중 및 흡수율과 같이 그 골재 고유 특성에 관한 것, 크기 및 입도 분포와 같이 생산 특성에 좌우되는 것, 염분 및 유기물과 같이 혼입물에 관한 것 등이 있다.

1) 입도분포(particle size distribution)

골재의 입도분포는 체분석에 의하여 무게비로 산출하며, 잔골재의 체분석에 사용되는 표준체는 ASTM C 33(1986) 및 KS F 2501(1997)에서 규정한 바와 같이 No. 3/8, No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 및 No. 100으로 구성된다. 입도분석시험은 별도의 규정인 KS F 2502에 따라 수행된다. 한편, 골재의 조립률(fineness modulus)은 80mm, 40mm, 19mm, 10mm(3/8"), No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100으로 구성되는 10개의 체를 각각 사용하여 체분석을 하였을 때 각 체에 남는 누적 잔유율을 합하여 100으로 나눈 값을 말한다. 잔골재의 적정 값은 2.3-3.1이고, 굵은 골재의 적정값은 6-8이다. 골재의 조립률은 평균 입도가 클수록 증가한다. 자연모래의 표준입도분석은 KS F 2502(2002)와 ASTM C 33(1986)에 명시되어 있다.

금강유역의 봉황천에 부존하는 잔골재 물성연구

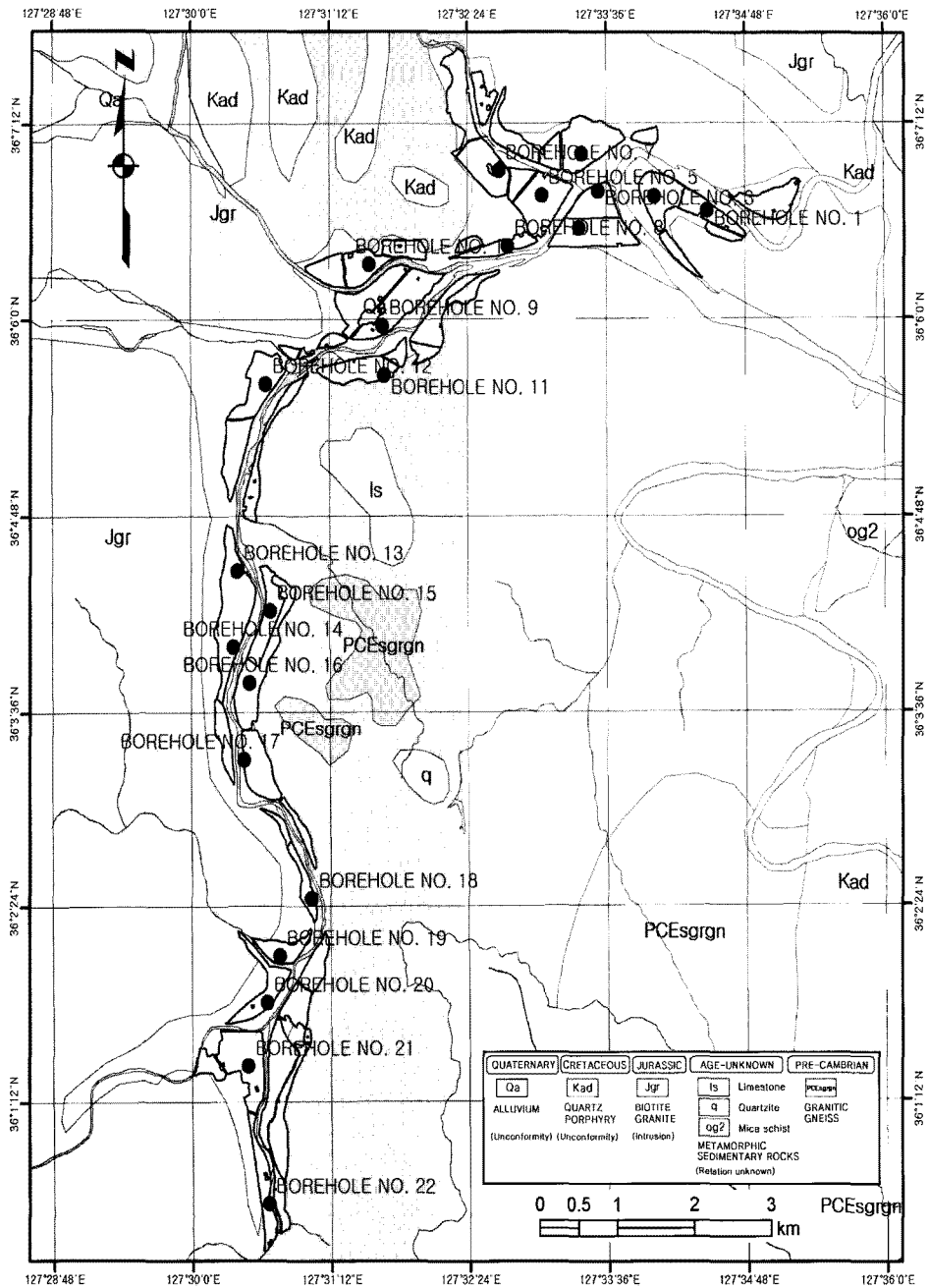


Fig. 2. Geologic map of study area (modified from Lee et al., 1995). Boreholes No. 1-No. 22 is represent sampling sites of KS-1 KS-22 in Figs. 3 and 4.

Table 1. Basic information of studied boreholes.

Borehole	Location (latitude, longitude)	Depth of weathered rock	Intervals of fine aggregates	Bedrock
KS-1	N 36° 6'40?, E 127° 34'28?	10.4 (m)	4.3-9.7 (m)	Jpbgr, Kqp, OCls
KS-2	N 36° 6'45?, E 127° 34'01?	11.7 (m)	1.0-11.0 (m)	Jpbgr, Kqp, OCls
KS-3	N 36° 6'47?, E 127° 33'32?	6.0 (m)	1.0-4.0 (m)	Jpbgr, Kqp, OCls
KS-4	N 36° 6'33?, E 127° 33'22?	5.7 (m)	2.0-5.7 (m)	Jpbgr, Kqp, OCls
KS-5	N 36° 6'45?, E 127° 33'03?	6.1 (m)	1.0-6.1 (m)	Jpbgr, Kqp, OCls
KS-6	N 36° 7'01?, E 127° 33'23?	8.5 (m)	3.0-8.5 (m)	Jpbgr, Kqp, OCls
KS-7	N 36° 6'55?, E 127° 32'41?	4.4 (m)	0-4.4 (m)	Jpbgr, Kqp, OCls
KS-8	N 36° 6'27?, E 127° 32'45?	4.3 (m)	1.2-4.3 (m)	Jbgr, Kqp, OCls
KS-9	N 36° 5'58?, E 127° 31'40?	4.6 (m)	0.9-4.6 (m)	Jbgr, Kqp, OCls
KS-10	N 36° 6'20?, E 127° 31'33?	6.6 (m)	1.8-6.6 (m)	Jbgr, Kqp, OCls
KS-11	N 36° 5'40?, E 127° 31'40?	6.2 (m)	2.8-6.2 (m)	Jbgr, Kqp, OCls
KS-12	N 36° 5'36?, E 127° 30'39?	6.2 (m)	1.5-6.2 (m)	Jbgr, Kqp, OCls
KS-13	N 36° 4'28?, E 127° 30'24?	5.9 (m)	1.5-5.9 (m)	Kqp, Jbgr, OCls, OCch, OCsh, PCEbgn
KS-14	N 36° 4'0?, E 127° 30'22?	5.9 (m)	0.6-5.9 (m)	Kqp, Jbgr, OCls, OCch, OCsh, PCEbgn
KS-15	N 36° 4'13?, E 127° 30'41?	3.4 (m)	0.7-3.4 (m)	Kqp, Jbgr, OCls, OCch, OCsh, PCEbgn
KS-16	N 36° 3'47?, E 127° 30'30?	4.9 (m)	1.4-4.9 (m)	Kqp, Jbgr, OCls, OCch, OCsh, PCEbgn
KS-17	N 36° 3'18?, E 127° 30'27?	7.5 (m)	1.7-5.9 (m)	Jbgr, Kqp, OCls, OCch, OCsh, PCEbgn, Qz
KS-18	N 36° 2'27?, E 127° 31'2?	6.7 (m)	0-6.0 (m)	Jbgr, Kqp
KS-19	N 36° 2'6?, E 127° 30'46?	4.6 (m)	0-3.7 (m)	Jbgr, Kqp
KS-20	N 36° 1'49?, E 127° 30'39?	3.5 (m)	0.5-3.2 (m)	Jbgr, Kqp
KS-21	N 36° 1'25?, E 127° 30'29?	7.8 (m)	1.7-7.2 (m)	Jbgr, Kqp, Jpfg
KS-22	N 36° 0'34?, E 127° 30'39?	5.3 (m)	0.3-5.3 (m)	Jbgr, Kqp, Jpfg, Kfg

Jpbgr: Jurassic porphyritic biotite granite, Kqp: Cretaceous quartz porphyry, OCls: Ordovician-Cambrian limestone, OCch: Ordovician-Cambrian slate, black shale, phyllite, calcareous slate, OCsh: Ordovician-Cambrian mica schist, PCEbgn: Precambrian banded biotite gneiss, Qz : Quartzite, Jpfg: Jurassic pink feldspar granite, Kfg: Cretaceous pink feldspar granite (after Lee et al., 1995)

2) 밀도(density)

밀도는 KS F 2504(2002)와 ASTM C 128 (1993)의 시험방법에 따라 절대건조밀도 (density), 표면건조밀도(surface dried density), 그리고 진밀도(true density)의 3가지로 구분된다. 밀도는 골재의 광물조성 및 입자들의 풍화의 정도에 따라 변하는 성질로, 골재의 품질을 결정하는 중요한 항목 중의 하나이다. 위에서 언급한 3가지의 밀도 중, 현장에서는 콘크리트작업에 실제 사용되는 골재의 조건에 가장 비슷한 표면건조포화상태밀도가 통용되지만(김학수와 조규봉, 2001), 골재관련 KS 규정인 KS F 2504 (2002)에서의 밀도는 절대건조상태의 밀도를 의미한다. KS F 2504(2002)에서는 현장 아스콘 배합시 겉보기 비중(apparent specific gravity)을 적용하는 것도 검토하고 있다. 일반적으로 잔골재의 밀도는 2.50-2.65, 굵은 골재의 밀도는 2.55-2.70 정도로서 밀도가 큰 골재는 치밀하여 흡수량이 적고 내구성이 크다.

3) 흡수율(absorption)

흡수율은 ASTM C 128(1993) 또는 KS F 2504(2002)의 방법에 의거하여 계산한다. 골재의 흡수율은 건조된 시료를 물에 침수시킨 후 무게차이를 건조시료 무게에 대한 백분율로 계산하며 콘크리트의 현장배합 시 사용하는 물의 양을 결정하는데 이용된다. 일반적으로 흡수율이 5.0% 이하일 때 잔골재로서 이용이 가능하지만 KS기준에는 이보다 더 엄격한 3.0% 이내일 때 품질기준을 충족하는 것으로 규정되어 있다.

4) 공극률(voids) 및 실적률(solid content)

골재의 공극률은 KS F 2505(2002)의 방법에 따라 구한다. 100에서 공극률을 제한 값을 실적률이라 하며, 일반적으로 잔골재의 실적률이 55% 이상일 때 잔골재의 품질기준을 충족하는 것으로 알려져 있다.

5) 단위용적질량(unit weight)

KS에서는 잔골재의 단위질량에 대하여 직접 규정하고 있지 않지만 실적률(55% 이상)을 구

하기 위해 필요한 절대건조밀도(2.5이상)와 단위질량 값에 근거하면 1,375kg/m³이상이어야 KS품질을 충족시킬 수 있다. 참고로 현재 국내에서 골재로서 사용되는 잔골재의 단위용적질량에 대한 품질기준은 보통 1,450~1,850kg/m³정도이다.

6) 잔입자량(materials finer than No. 200 sieve)

잔입자량시험은 KS F 2511(2002)에 따라 수행하며, 규정에 의하면 일반적으로 No. 200체 통과량이 잔골재에서는 3% 이내이어야만 한다. 미립자의 양은 콘크리트의 내구성에 영향을 주기 때문에 가능한 한 생산과정에서 철저하게 제외하는 것이 바람직하다.

골재부존구간의 퇴적물을 세척하면 할수록 잔입자량은 0에 가까게 되며, 따라서 시추공 시료를 대상으로 한 잔입자시험의 결과는 큰 의미가 없게 된다. 그러나 잔입자량시험의 결과는 시추공 내 골재구간에서 실제로 부존하는 골재의 부존량을 계산하는데 있어서는 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

7) 염화물 함유량(chloride content)

KS F 2515(2002)에서는 바다 모래를 비롯하여 콘크리트, 모르타르 또는 시멘트 제품에 사용되는 골재의 표면에 묻어 있는 염화물을 측정하는 방법에 대하여 규정하고 있다. 골재 내에 포함된 일정 함량 이상의 염분은 철근을 부식시키며, 용해 및 팽창 등의 작용에 의하여 콘크리트의 내구성에 영향을 미칠 수 있다(김학수와 조규봉, 2001). 염화물 함유량 시험은 KS F 2515(2002)에 의하며, 시험을 위한 시료의 채취는 KS F 2501(1997)의 규정에 따른다. 이 규정에 의하면 염화물 함유량이 0.04 % 이하이면 잔골재로서 이용이 가능한 것으로 보고 있다.

8) 안정성(soundness)

KS F 2507(2002)과 ASTM C 88(1990)에서는 황산나트륨과 황산마그네슘의 결정압에 의한 파괴작용에 대한 저항성을 기준으로 하는 골재의 안정성 시험에 대하여 규정하고 있다. 다

만, 인공 경량골재는 시험대상에서 제외하고 있다. 이번 연구에서는 무수황산나트륨(Na_2SO_4)을 사용하여 안정성시험을 실시하였으며, 이 규정에 의하면 골재의 손실중량백분율이 굵은 골재는 12% 이하, 잔골재는 10% 이하일 때 골재로서 이용이 가능하다. 안정성은 골재의 풍화도와 관련이 높으며, 풍화정도가 심할수록 손실중량백분율도 크기 때문에 퇴적물의 안정성은 낮아지는 결과를 초래한다.

4. 잔골재 물성특성 평가

금산군 내 범람원이나 구하상에 위치하는 시추공 내 잔골재 시료의 조립률은 3.247~3.891이며, 대부분의 조립률 값은 잔골재의 적정값인 2.3~3.1의 범위를 상당히 초과한다(Table 2, Fig. 3). 또한, 하천의 상류에 비하여 금강에 합

류하는 하류부에서 조립률이 점차 작아지는 경향도 볼 수 있다(Fig. 4).

조립률은 골재로서 이용이 적합한 입자의 크기범위를 정한 것으로 실제로 생산되는 과정에서 조절이 가능하다. 게다가 선별되지 않은 시추공의 구간시료를 대상으로 하는 실험에서는 골재의 품위와 부화정도를 예측하는 수단으로 활용할 수 있다. 따라서 잔골재의 조립률 범위인 2.3~3.1을 벗어난 금산군 일대 고기하성층에 부존하는 잔골재를 이용할 경우에는 반드시 세립질의 모래를 적절히 배합한(blending sand) 후 이용해야 한다. 입도분포특성은 지역에 따라 다르며, 특히 사용되는 용도에 따라 모래의 표준입도분포가 다른 범위를 가진다(Spooner and Dalrymple, 1993). 이와 관련하여 Fisher와 Smith(1993)는 자갈부터 모래까지의 넓은 범위의 퇴적층이 발달한 캐나다의 McMurray 호수

Table 2. Sampling intervals in each borehole and some results of particle size analysis.

Bore-hole	Depths of bore-hole (m)	Depth (cm)	D ₅₀	Fineness modulus
KS-1	11.7	430-970	0.999	3.247
KS-2	11.7	100-1100	0.950	3.278
KS-3	7.5	100-400	1.109	3.498
KS-4	6.0	200-570	1.101	3.513
KS-5	6.5	100-610	1.077	3.419
KS-6	9.0	300-850	0.968	3.266
KS-7	5.2	0-440	1.576	3.815
KS-8	4.5	120-430	1.433	3.752
KS-9	5.2	90-460	1.129	3.508
KS-10	6.7	180-660	1.137	3.480
KS-11	6.7	280-620	1.357	3.695
KS-12	7.0	150-620	1.334	3.686
KS-13	7.0	150-590	1.172	3.608
KS-14	6.0	60-590	1.619	3.865
KS-15	3.7	70-340	1.406	3.723
KS-16	5.0	140-490	1.412	3.725
KS-17	7.5	170-590	1.577	3.831
KS-18	7.2	0-600	1.292	3.663
KS-19	4.7	0-370	1.099	3.450
KS-20	3.5	50-320	1.623	3.856
KS-21	8.3	170-720	1.694	3.891
KS-22	5.6	30-530	1.596	3.817

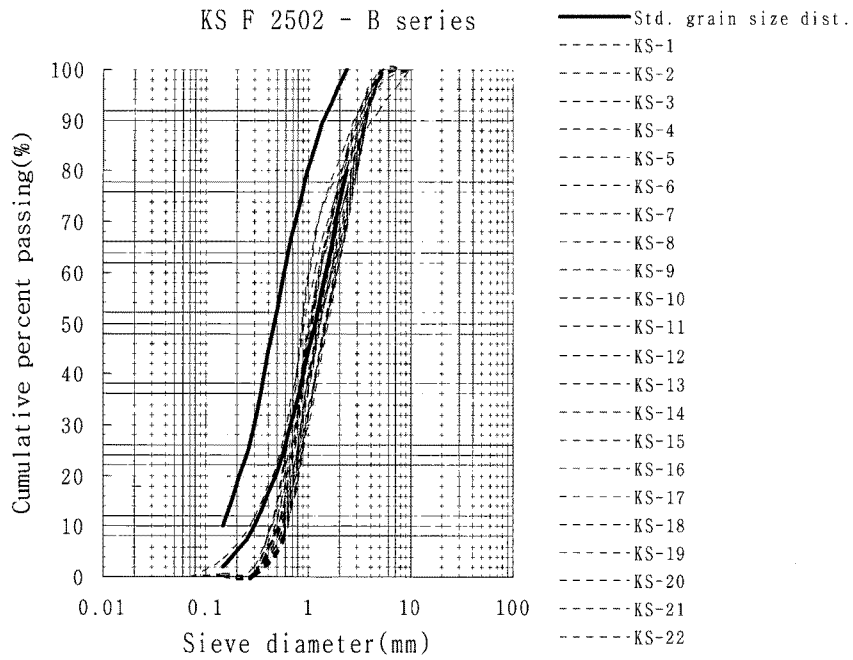


Fig. 3. Grain size distribution curves in each borehole sample.

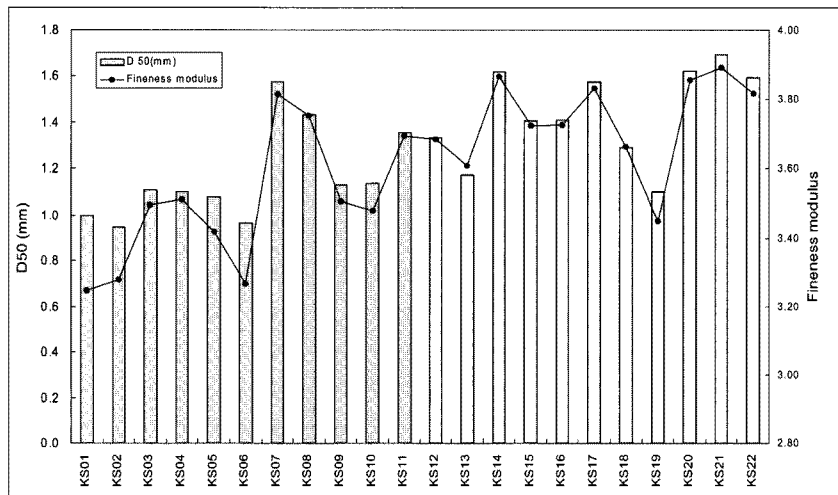


Fig. 4. Plots of physical properties of sand-sized sediments in each borehole sample.
 (a) Fineness modulus (b) D50

주변의 골재의 품질에 관하여 보고한 바 있다. 이들의 연구에 의하면 일부 자갈을 포함한 모래 퇴적층에서는 입도분포특성이 양호한 반면 점토와 실트, 그리고 자갈을 일부 포함한 세립질과 중립질 모래가 주된 퇴적층에서는 상대적으로 불량한 입도분포특성을 보여준다고 한다. 콘크리트에 이용되는 재료로서 규정된 잔골재의 표준 입도분포와 조사단계에서의 조립률특성은 각각 배합과정(blending sand) 전후의 차이를 나타낸다. 따라서 조사단계에서의 조립률특성은 잔골재의 적합여부보다는 오히려 지역적인 퇴적환경의 차이를 반영하는 척도로서 이해하여야 할 것이다.

KS F 2504에 의한 시험결과에 따르면 표면 건조상태의 밀도는 2.32~2.57로 이러한 밀도값은 부분적으로 KS품질기준인 2.50이상을 충족시키지 못한다. 특히, 하천의 상류에 비하여 하천의 하류부에서 밀도 특성이 상대적으로 더욱 불량하다.

흡수율은 1.17~2.50%의 범위를 나타냈으며, 따라서 모든 시료는 3.0% 이하인 KS품질기준을 만족한다. 일반적인 하천골재의 경우, 굵은 골재의 흡수율은 0.5~2.0%, 잔골재의 흡수율은 1.0~3.0% 정도가 보통이므로 연구지역 총적층에 부존하는 잔골재의 흡수율 특성은 매우 양호하다고 할 수 있다. 흡수율 분포도에 의하면 하천의 상류보다 잔입자의 비율이 높은 하천 하류에서 흡수율도 높게 나타난다. 흡수율은 골재내부의 공극률의 정도에 의해 영향을 받고, 특히 잔골재의 경우에는 암종에 따른 풍화의 정도나 석영립의 비율에 따라서도 영향을 받는다.

단위용적질량 시험결과는 1,564.35~1,643.34 kg/m³으로 이는 KS F 품질규정에 따른 잔골재의 품질기준 추정값인 1,375kg/m³를 만족하며, 일반적인 품질기준인 1,450~1,850kg/m³정도에도 부합한다. 단위용적질량 분포에 의하면 하천의 상류에 비하여 하류에서 단위용적질량이 더욱 높아진다. 단위용적질량은 흡수율 및 실적률과 마찬가지로 골재내부의 공극률에 의해 영향을 받는다. 하천의 하류에서 단위용적질량이 높게 나타난 이유는 이 부근에서 잔입자의 비율이 높게 나타난 것과 관련이 있으며, 잔입자들이 골

재사이의 공극을 채워 공극이 작을수록 단위용적질량은 높아지게 된다.

실적률은 골재의 전체부피에서 공극률을 제외한 비율로 공극률과 반비례하는 물성이다. 또한, 골재의 입자형태에 따른 차이에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 실적률 시험 결과는 63.03%~66.44%이며, 모든 시료가 KS품질기준인 55% 이상의 조건을 충족한다. 실적률 분포도에 의하면 하천의 상류에 비하여 하류에서 실적률이 더욱 높게 나타난다. 일반적으로 대중소의 입자가 고루 섞이면 공극률은 낮고 반대로 실적률은 높아지는 결과를 초래한다.

잔입자량은 22.16%~48.62%로 모든 시추공 시료에서 3%를 초과한다. 이러한 높은 잔입자량은 이들을 그대로 잔골재로 사용하기에는 적합하지 않음을 의미한다. 이번 실험에 사용된 시추공 시료는 선별되지 않은 시추공 내 모든 골재부존구간시료를 대상으로 실험하였기 때문에 0.0625mm부터 4mm까지의 범위를 갖는 모래(Folk, 1980)를 대상으로 시험한 잔입자량(%) 기준과 비교하는 것은 무리가 있다. 따라서 잔입자량(%) 시험결과는 단지 시추공 구간 내 모래의 품위를 평가하는 자료로서 의미가 있을 것이다. 잔입자량 분포도에 의하면 하천 상류에 비하여 하천의 하류에서 잔입자량이 높게 나타난다.

골재의 안정성시험은 무수황산나트륨에 반응시킨 골재의 손실중량백분율(%)이 10%이하일 것을 규정한 시험이다. 안정성 시험결과, 3.80%~9.80%로 모든 시추공 시료가 KS품질기준인 10%를 충족하지만 규정값에 가까운 안정성시험의 결과는 이 지역의 골재가 부분적으로 불안정함에 부존하는 잔골재는 충분한 골재화가 이루어지지 않았기 때문에 KS품질기준에 미달하거나 품질기준을 간신히 충족하는 결과를 나타내며, 이는 양동운과 이창범(1997)이 국내 하천 조골재에 대한 팽창성 시험을 통하여 금강 지류에 분포하는 하천 조골재가 국내 다른 수계에 비하여 가장 반응에 안정하였다고 보고한 연구와 비교하면 다소 거리가 있는 결과이다.

염화물 함유량 시험결과, 모든 시료가 KS품질

기준인 0.04%를 충족한다. 이러한 결과는 이 지역이 현재까지 해수에 의한 영향을 받지 않았으며, 또한 현재까지도 인간의 활동에 기인한 생활용수 및 농공업용 오폐수로 인한 오염이 심각하지 않은 수준임을 의미한다. (Table 3, Fig. 5)

1) 물성특성 변수간 상관성

상관분석에 의하면 조립률은 역시 골재의 입자와 관련이 있는 D₅₀과는 극히 양호한 상관성을 나타냈으며, 조립률과 잔입자량, 밀도와 흡수율, 실적률과 단위용적질량, 그리고 잔입자량과 D₅₀ 사이의 상관특성은 양호한 결과를 나타냈다. 그

밖에도 잔입자량과 실적률 사이에는 미약하지만 상관특성이 있는 것으로 분석되었다(Fig. 6).

입도분석 결과에 의하면 하천의 상류에서 하류로 갈수록 퇴적물의 입자가 작아지기 때문에 (Fig. 4), 흡수율-밀도, 조립률-잔입자량, 그리고 D₅₀-잔입자량 사이의 상관특성은 양호해지는 반면 D₅₀과-조립률, D₅₀과-흡수율, 조립률-흡수율, 그리고 실적률-단위용적질량 사이의 상관특성은 불량해지는 것으로 분석되었다.

2) KS 규격기준에 의한 골재물성 평가

골재의 밀도, 흡수율, 단위용적질량, 실적률,

Table 3. Several physical properties in each borehole sample.

Bore-hole	Surface dried density	Absorption (%)	Bulk density (kg/m ³)	Solid content (%)	Materials finer than 75 μ m (%)	Soundness (%)	Chloride content (%)
KS-1	2.54	2.23	1630.11	66.39	48.62	8.90	0.000
KS-2	2.32	1.38	1643.34	65.65	38.88	4.20	0.000
KS-3	2.43	1.72	1593.23	63.98	31.97	5.60	0.000
KS-4	2.54	1.17	1613.16	63.49	30.98	5.60	0.000
KS-5	2.39	2.40	1550.19	63.50	37.27	3.80	0.000
KS-6	2.52	1.89	1609.43	64.88	40.90	7.90	0.000
KS-7	2.51	2.21	1562.49	63.22	27.39	6.50	0.000
KS-8	2.47	2.31	1636.63	66.44	25.84	4.90	0.000
KS-9	2.49	1.72	1598.63	64.21	31.94	5.70	0.000
KS-10	2.53	2.06	1600.68	64.27	30.23	9.80	0.000
KS-11	2.50	2.50	1614.09	65.90	33.11	6.00	0.000
KS-12	2.53	2.01	1590.43	64.12	26.17	6.50	0.000
KS-13	2.52	1.99	1588.76	63.86	29.97	5.40	0.000
KS-14	2.44	1.95	1597.70	64.48	22.55	4.90	0.000
KS-15	2.53	1.89	1564.35	63.20	22.16	5.30	0.000
KS-16	2.54	2.18	1574.78	63.84	28.95	8.00	0.000
KS-17	2.51	1.95	1567.89	63.13	23.75	5.60	0.000
KS-18	2.57	2.07	1568.45	63.42	26.34	7.30	0.000
KS-19	2.57	2.26	1589.31	64.46	33.02	5.00	0.000
KS-20	2.50	1.78	1597.51	63.99	23.71	6.50	0.000
KS-21	2.47	1.91	1568.26	63.03	26.22	8.70	0.000
KS-22	2.53	1.46	1577.39	63.25	29.11	5.10	0.000

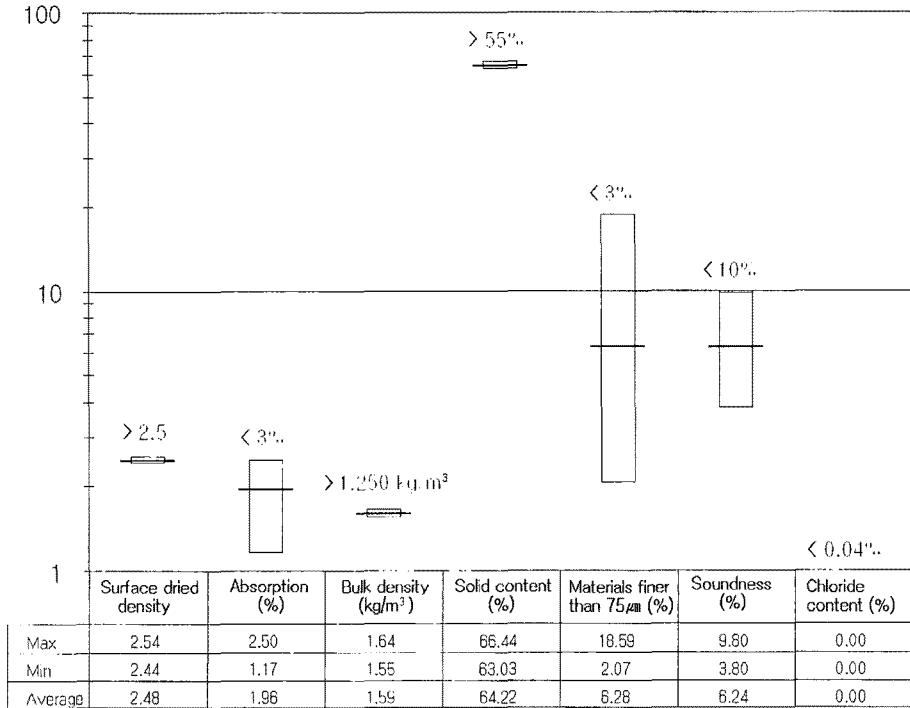


Fig. 5. Physical properties by KS aggregate tests for the sand-rich sediments. Remarks over the boxes are KS quality limits of fine aggregate.

잔입자량, 안정성, 그리고 염화물시험 결과에 의하면 봉황천 수계유역에 부존하는 잔골재의 물성은 전체적으로 양호하지만 극히 우수한 품질이라고 보기에는 부족하다. 즉, 골재의 품위 및 완성도와 밀접한 관련이 있는 시험항목인 밀도, 잔입자량, 그리고 안정성시험 등의 결과는 비교적 짧은 수계 내에 부존하는 잔골재의 한계를 그대로 보여준다.

따라서 본 역과 같이 잔골재의 공급원인 기반암이 동일하거나 단순한 조건을 갖는 비교적 소규모의 수계에 있어서는 기반암 유형보다 소수계별 유수에너지 차이에 따라 이동되는 퇴적물의 입도변화가 육상골재 품질을 결정하는 요소라고 판단된다.

5. 결론

연구지역 하천의 상류에는 조립질 모래, 하류에는 세립질 모래가 선별적으로 분포하는 특징이 뚜렷하며, 따라서 이에 따른 물성의 차이도 상류와 하류에 따라 구분된다. 퇴적물의 입도는 하천의 규모에 의하여 선별되는 특성이 강하며, 하천의 길이가 짧을수록 조립질의 퇴적물이 우세한 반면 하천의 길이가 길수록 퇴적물의 입도는 작아지는 현상이 일반적이다. 봉황천수계에 부존하는 잔골재의 물성은 근본적으로 수계주변의 대표적인 기반암인 흑운모화강암과 석영반암, 그리고 화강편마암의 물성으로부터 기인하며, 특히 수계유역주변에서 광역적으로 분포하는 흑운모화강암의 영향이 가장 크게 작용한 것으로 판단된다. 또한 물성사이의 상관특성을 분석한 결

금강유역의 봉황천에 부존하는 잔골재 물성연구

	Surface dried density	Absorption	Bulk density	Solid content	Materials finer than 75 μ m	Soundness	Fineness modulus	D ₅₀
Surface dried density	1.00	-0.50	0.30	-0.19	-0.17	0.09	0.46	0.42
Absorption	△	1.00	-0.01	0.44	0.30	0.21	-0.62	-0.62
Bulk density	×	×	1.00	0.86	0.14	-0.40	-0.09	-0.07
Solid content	×	×	●	1.00	0.27	-0.36	-0.40	-0.37
Materials finer than 75 μ m	×	×	×	×	1.00	0.00	-0.71	-0.64
Soundness	×	×	×	×	×	1.00	0.27	0.25
Fineness modulus	×	△	×	×	○	×	1.00	0.98
D ₅₀	×	△	×	×	△	×	★	1.00

(a) Upstream

	Surface dried density	Absorption	Bulk density	Solid content	Materials finer than 75 μ m	Soundness	Fineness modulus	D ₅₀
Surface dried density	1.00	-0.86	0.24	-0.36	-0.32	0.09	-0.01	-0.15
Absorption	○	1.00	-0.30	0.27	-0.01	0.16	0.36	0.49
Bulk density	×	×	1.00	0.81	0.27	0.11	-0.30	-0.29
Solid content	×	×	●	1.00	0.39	0.11	-0.20	-0.11
Materials finer than 75 μ m	×	×	×	×	1.00	0.23	-0.87	-0.75
Soundness	×	×	×	×	×	1.00	-0.20	-0.10
Fineness modulus	×	×	×	×	○	×	1.00	0.97
D ₅₀	×	×	×	×	○	×	★	1.00

(b) Downstream

under condition of Rho : 0.05,

★ = 0.9 - 1.0, ● = 0.7 - 0.9, ▲ = 0.5 - 0.7, ☆ = (-0.9) - (-1.0), ○ = (-0.7) - (-0.9), △ = (-0.5) - (-0.7), × = less than ±0.5

Fig. 6. Correlation coefficients of the upstream(from KS 13 to KS 22) and the downstream(from KS 1 to KS 12) with a confluence.

과에 의하면 밀도와 흡수율, 단위용적질량과 실적률, 잔입자량과 조립률, 잔입자량과 입도중앙값, 그리고 조립률과 입도중앙값 사이에서 양호한 상관특성을 나타내며, 특히 잔입자량, 조립률, 그리고 입도중앙값은 골재의 입도와 관련된 시험항목이 더욱 그러하다.

골재의 밀도, 흡수율, 단위용적질량, 실적률, 잔입자량, 안정성, 그리고 염화물시험 결과에 의하면 봉황천 수계유역에 부존하는 잔골재의 물성은 전체적으로 양호하지만 극히 우수하지는 못하다. 즉, 골재의 품위 및 완성도와 밀접한 관련이 있는 시험항목인 밀도, 잔입자량, 그리고 안정성시험 등의 결과는 비교적 짧은 수계 내에 부존하는 잔골재가 갖는 물성의 한계를 보여준다.

결론적으로 봉황천 수계처럼 잔골재의 공급원인 기반암이 동일하거나 단순한 조건을 갖는 비교적 소규모의 수계에서는 기반암 유형보다 유수 에너지 차이에 따른 이동되는 퇴적물의 입도변화가 육상골재 품질을 결정하는 가장 중요한 요소라고 판단된다.

참고문헌

- 김주용, 오근창, 양동운, 홍세선, 장수범, 이진영, 임현수, 2005, 전남 동남부 지역에 부존하는 육상골재의 물성특성에 관한 연구. 자원환경지질, 38, 319-334.
- 박영석, 장우석, 김종근, 2003, 구례지역 하상퇴적물의 지질집단별 자연배경치에 대한 연구. 자원환경지질, 36, 275-284.
- 양동운, 이창범, 1997, 촉진시험법을 이용한 하천골재의 알칼리반응성 판정. 자원환경지질, 30, 175-183.
- 이병주, 김동학, 최현일, 기원서, 박기화, 1995, 대전지질도폭설명서(1:250,000). 과학기술부, 59p.
- 이현구, 조애란, 이찬희, 1999, 입도분포에 따른 하상퇴적물의 지구화학적 분산 및 부화. 자원환경지질, 32, 247-260.
- American Society for Testing and Materials, 1998, Annual book of ASTM standards. Part 4.02. ASTM, Philadelphia.
- American Society for Testing Materials, ASTM C-33, 1986, Standard specifications for concrete aggregates.
- American Society for Testing Materials, ASTM C-40, 1992, Test method for organic impurities in fine aggregates for concrete.
- American Society for Testing Materials, ASTM C-88, 1990, Test method for soundness of aggregates by use of sodium sulphate or magnesium sulphate.
- American Society for Testing Materials, ASTM C-128, 1993, Test method for specific gravity and absorption of fine aggregates.
- Fisher T.G. and Smith D.G., 1993, Exploration for pleistocene aggregate resources using process-depositional models in the Fort McMurray region, Ne Alberta, Canada. Quaternary International, 20, 71-80.
- KS F 2501, 1997, 골재의 시료채취방법. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2502, 2002, 골재의 체가름 시험 방법. 한국표준협회, 5p.
- KS F 2503, 2002, 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법. 한국표준협회, 6p.
- KS F 2504, 2002, 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법. 한국표준협회, 6p.
- KS F 2505, 2002, 골재의 단위용적질량 및 실적률 시험 방법. 한국표준협회, 8p.
- KS F 2507, 2002, 골재의 안정성 시험 방법. 한국표준협회, 5p.
- KS F 2508, 2002, 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모 시험 방법. 한국표준협회, 8p.
- KS F 2511, 2002, 골재에 포함된 잔 입자(0.08mm 체를 통과하는) 시험 방법. 한국표준협회, 2p.
- KS F 2512, 2002, 골재중에 함유되는 점토 덩

- 어리량의 시험 방법. 한국표준협회, 2p.
- KS F 2515, 2002, 골재 중의 염화물 함유량 시험 방법. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2357, 1997, 역청 포장 혼합물용 골재. 한국표준협회, 5p.
- KS F 2526, 2002, 콘크리트용 골재. 한국표준협회, 8p.
- KS F 2527, 2002, 콘크리트용 부순 골재. 한국표준협회, 8p.
- KS F 2532, 2002, 역청 표면 처리용 부순 골재, 부순 슬래그 및 골재. 한국표준협회, 3p.
- KS F 2534, 2002, 구조용 경량 골재. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2536, 1990, 머캐덤 포장용 부순 골재. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2543, 2002, 콘크리트용 동(銅) 슬래그 골재. 한국표준협회, 9p.
- KS F 2544, 2002, 콘크리트용 고로 슬래그 골재. 한국표준협회, 30p.
- KS F 2551, 2002, 절연 콘크리트용 경량 골재. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2558, 1993, 콘크리트용 부순 모래. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2573, 2002, 콘크리트용 재생 골재. 한국표준협회, 6p.
- KS F 2578, 2002, 미장용 잔골재. 한국표준협회, 5p.
- KS F 2583, 2002, 콘크리트용 연(鉛) 슬래그 골재. 한국표준협회, 7p.
- KS F 4009, 2004, 레디믹스트 콘크리트. 한국표준협회, 36p.
- Spooner, I.S. and Dalrymple, R.W., 1993, Sedimentary facies relationships in esker-ridge/esker-fan complexes, Southeastern Ontario, Canada: Application to the exploration for asphalt blending sand. Quaternary International, 20, 81-92.

투 고 일 : 2007. 2. 13.

심 사 일 : 2007. 2. 15.

심사완료일 : 2007. 3. 5.

오근창, 김주용, 양동윤, 이진영, 홍세선, 김정찬
305-350, 대전광역시 유성구 가정동 30 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (Geological and environmental hazard division, Korea Institute of Geology and Mineral Resources, Daejeon, Korea, 30 Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Korea)