

## 콘크리트용 KEDO 골재의 암석기재시험 (ASTM C295)

정지곤<sup>1\*</sup> · 김경수<sup>2</sup> · 이철우<sup>3</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 지구환경과학부, <sup>2</sup>한국원자력연구원 고준위폐기물처분연구센터,  
<sup>3</sup>한국지질자원연구원 지열자원연구실

### Petrographic Study(ASTM C 295) on the KEDO Concrete Aggregates

Ji-Gon Jeong<sup>1\*</sup>, Kyung-Su Kim<sup>2</sup>, and Chol-Woo Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Geology and Earth Environmental Science, Chungnam National University  
<sup>2</sup>HLW Disposal Research Center, Korea Atomic Energy Research Institute  
<sup>3</sup>Geothermal Resources Group, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

본 연구는 한반도에너지개발기구(KEDO) 골재에 대하여 ASTM C 295를 적용, 암석기재학적 시험을 통하여 콘크리트를 위한 골재의 적합성을 타진하는데 목적이 있다. 시험에는 천연의 자갈골재와 모래골재를 재료로 하여 편광현미경, 실체현미경, XRD를 주로 사용하였다. KEDO의 천연골재 중 자갈골재의 23%, 모래골재의 5.1%가 화학적으로 불안정한 골재에 해당된다. 따라서 콘크리트용 KEDO 골재의 선정에 있어서 가능한 한 편마암과 같은 고변성 작용을 받은 변성암, 산성화산암, 엽리가 발달된 암석, 그리고 모르타르 봉 시험에서 불량한 골재로 확인된 암석은 피하여야 한다. 본 연구결과, 콘크리트용 KEDO 골재의 적합성 여부를 판단하기 위해서는 추가적인 화학적 시험과 모르타르 봉 시험을 거친 후 종합적으로 그 사용 여부를 결정함이 바람직하다.

**주요어** : KEDO 골재, 자갈골재, 모래골재, 암석기재시험

For the preliminary judgement on the chemical stability of concrete aggregates mixed with cement paste, ASTM C 295 method can be applied prior to the long-term chemical test methods. By using this standard test method, the petrographic study on the appropriateness of natural KEDO aggregates for concrete was carried out. With the natural gravel and sand aggregates, the polarized microscope, stereoscopic microscope, and X-ray diffractometer were used for examination. The result shows the 23% of gravel aggregates and 5.1% of sand aggregates are chemically unstable. To select the favorable KEDO concrete aggregates, it is required to exclude the highly metamorphosed rocks, acidic volcanic rocks, highly foliated rocks, and expansive rocks identified from mortar-bar test. Further chemical test and mortar-bar test method integrated with this study is recommended for the suitability assessment of natural KEDO concrete aggregates.

**Key words** : KEDO aggregates, gravel aggregates, sand aggregates, petrographic examination

### 서 론

골재의 화학적 안정성에 대한 대표적인 시험은 ASTM C 295(KS F 2548; 골재의 암석기재학적 시험), ASTM C 289(KS F 2545; 골재의 화학적 반응시험), 그리고 ASTM C 227(KS F 2546; 골재의 모르타르봉 시험)이 있다. 이 시험들은 모두 알칼리-골재 반응에 대

한 유해 잠재성 여부를 판단하는 것으로서 일반적으로 3 가지 방법을 모두 적용하기도 하지만, 첫째와 둘째 시험에 이상이 없으면 세 번째 방법은 생략하기도 한다. 그 이유는 세 번째 방법이 가장 결정적인 판단을 내릴 수 있는 중요한 시험이긴 하지만 3~6개월이 소요된다는 점이다.

본 연구는 KEDO (한반도에너지개발기구) 골재에 대

\*Corresponding author: jgjeong@cnu.ac.kr

하여 ASTM C 295를 적용, 암석기재학적 시험을 통하여 콘크리트를 위한 골재의 적합성을 타진하는데 목적이 있다. 시험에 사용한 골재는 모두 천연골재로서 자갈 골재와 모래골재로 나뉘며 무게는 각각 50 kg이다. 본 시험을 위하여 편광현미경, 실체현미경, XRD(X-선 회절분석기)를 주로 사용하였다. 편광현미경 관찰을 위하여 암석박편 21개, 입자박편 6개를 제작하였으며, XRD 분석용으로는 두 개의 시료를 준비하였다.

## 골재의 암석기재시험

### 입도 분석

시험용 자갈골재와 모래골재는 모두 통계적으로 충분한 대표값이 될 수 있는 양을 선정하였다. 이 시료에 대한 입도 분석의 등급은 모래는 ASTM C 136-95a에 따라, 그리고 자갈은 KS F 2526의 분류에 따랐다. 위의 두 규정 모두 9.5 mm를 기준으로 자갈골재와 모래골재로 정의하고 있다.

KS F 2526에 의하면 굵은 골재(본 논문의 자갈골재)는 입도에 따라서 골재의 번호가 부여된다. 동 규정에 의하면 체를 통과하는 무게 백분율로 보아 골재번호 2는 65-40 mm크기, 골재번호 3은 50-25 mm크기에 각각 100% 해당되는 경우이다. KEDO의 자갈골재는 60-20 mm사이의 것이 96.7%이므로 골재번호 2와 3의 것은 섞은 것에 해당된다. 모래에 대한 골재번호는 KS F 2526에 명시되어 있지 않아 생략한다.

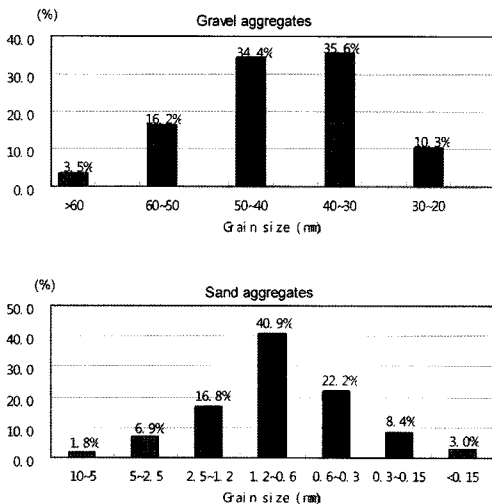


Fig. 1. Grain size analysis of natural KEDO gravel and sand aggregates.

입도에 따른 함량 (Fig. 1)은 자갈골재의 경우 중앙값 50-30 mm의 것이 전체의 70%를 차지하고, 모래골재는 중앙값 2.5-0.3 mm의 것이 전체의 약 80%를 차지하여 비교적 양호한 정규분포를 보이거나 최저 치수인 0.15 mm 미만의 것도 3%나 된다. 이는 세척과정이 불확실한 것을 의미한다.

### 피막 검사

골재의 피막은 골재의 구성입이 모암으로부터 이탈된 후 운반과정에서 침식과 풍화에 의하여 형성된 것이다. 자갈골재의 피막은 얇은 점토질 막이 형성되는 경우와 엽리에 의한 풍화층이 형성되는 경우로 분류된다. 전자는 치밀 견고한 대부분의 골재에서 관찰된다. 후자는 조개짐이 특히 미세하게 발달된 세일 골재의 얇고 조밀한 층리를 따라 물이 침투하기 때문에 풍화층이 형성되는데 이 풍화층의 두께는 2 mm 내외이며 골재의 외곽에서 엽리에 평행한 면을 따라 형성되어 있다. 이러한 암석은 자갈골재 전체의 3%이다.

피막물질의 성분을 파악하기 위하여 육안으로 보아 골재의 풍화표면이 암회색인 것과 우백색인 것을 선택하였다. 이들의 피막물질을 수거하여 XRD 분석 결과 우백색 피막물질의 구성광물(Table 1)과 암회색 피막물질의 그것(Table 2)은 공통적으로 석영, 사장석, 할로이사이트, 일라이트 및 고령석이며 그 밖에 암회색 피막물질에는 스�멕타이트-고령석이 더 함유되어 있다. 암회색을 띠는 이유는 Fe, Mg성분이 많은 염기성 광물의 변질 광물에 의한 것으로 본다. 이들 광물 중 할로이사이트, 일라이트, 고령석 및 스�멕타이트-고령석은 골재 표면의 풍화에 의한 풍화생성물로서 점토광물이 명백하나 석영과 사장석은 위에 소개한 점토광물의 생성과정 중에 만들어 졌거나 아니면 피막의 수거과정에서 모체로부터 떨어져 나올 가능성도 있다. 전자의 경우라면 두 광물 역시 점토광물로 생각할 수 있다.

골재 표면이 점토광물로 두껍게 피복되면 이들이 물과 만나 화학적 결합수나 겔(gel)수로서 작용하여 부피가 팽창되기 때문에 골재로서 불리한 요소가 된다. 특히 스�멕타이트류의 점토광물은 건조환경에서 격자간격이 12-15Å인데 ethylene glycol을 첨가시키면 17Å으로 변하며(Hathaway, 1979), 콘크리트 구조물에서 부피팽창을 야기시키는 주요 원인이 된다 (Keller, 1979).

### 형태

무작위로 선정한 350개의 자갈 골재를 외형에 따라

**Table 1.** The composition of leucocratic coating materials of gravel aggregates.

Results of XRD			Minerals				
2 $\theta$	d(Å)	I/I <sub>0</sub>	Quartz	Plagioclase	Halosite	Illite	Kaolinite
13.84	6.393	10.85		6.39(20)			
18.78	4.721	9.43		4.69(50)			
20.82	4.263	23.23	4.26(35)				
22.00	4.037	9.95		4.03(16)			
23.08	3.851	8.53		3.85(8)			3.84(40)
23.56	3.773	10.98		3.78(25)			
23.98	3.708	23.48				3.72(12)	3.78(25)
25.16	3.537	16.23				3.52(35)	
26.62	3.346	100.00	3.34(100)		3.34(90)	3.34(100)	
27.42	3.250	23.56		3.26(50)			
27.92	3.193	55.41		3.19(100)		3.20(16)	
30.50	2.929	9.82		2.93(16)		2.9(16)	
36.52	2.458	11.56	2.45(12)	2.46(6)		2.45(18)	
39.42	2.284	7.49	2.28(12)	2.27(2)			
40.26	2.238	4.78	2.23(6)		2.23(20)	2.25(8)	
42.40	2.130	8.01	2.12(9)	2.12(8)			2.13(20)
45.76	1.981	4.65	1.98(6)	1.98(4)			1.98(35)
50.14	1.818	12.92	1.81(17)				
59.96	1.542	7.10	1.54(15)				
68.32	1.372	12.92	1.37(11)			1.38(20)	

**Table 2.** The composition of dark gray colored coating materials of gravel aggregates.

Results of XRD			Minerals					
2 $\theta$	d(Å)	I/I <sub>0</sub>	Quartz	Plagioclase	Halosite	Illite	Kaolinite	Smectite-Kaolinite
8.78	10.06	23.22			10.00(100)			
12.48	7.08	17.05			7.3(90)		7.10(100)	7.24(100)
14.18	6.24	17.05		6.39(20)				
18.82	4.71	16.06		4.69(50)				
20.84	4.25	25.14	4.26(35)					
23.90	3.72	27.14		3.75(80)		3.72(12)		
23.96	3.71	30.11		3.68(20)			3.53(100)	
25.20	3.53	28.52				3.52(35)		
26.62	3.34	100.00	3.34(100)		3.34(90)	3.34(100)		
27.46	3.24	17.33		3.23(80)				
27.98	3.18	59.92		3.18(90)		3.20(16)		
35.48	2.52	15.03		2.52(70)	2.56(80)		2.53(35)	
36.58	2.45	18.39	2.45(12)	2.46(6)		2.45(18)		
37.54	2.39	14.80			2.36(60)		2.38(25)	
39.50	2.27	15.70	2.28(12)	2.27(2)				
40.28	2.23	13.91	2.23(6)		2.23(20)	2.25(8)	2.23(5)	
42.40	2.13	14.58	2.12(9)	2.12(8)			2.13(20)	
44.98	2.01	14.80				2.00(50)		
50.20	1.81	15.04	1.81(17)					
54.86	1.67	13.68				1.66(16)		
59.96	1.54	17.05	1.54(15)					
68.36	1.37	14.07	1.37(9)					
69.36	1.35	13.68				1.35(60)		

Classification	Number (%)	Shape
Tetragonal	30 (8.6)	
Tabular	176 (50.3)	
Prismatic	33 (9.4)	
Platy	34 (9.7)	
Acicular	77 (22.0)	

Fig. 2. The shape classification of KEDO gravel aggregates.

정방형, 타상형, 주상형, 판상형 및 침상형으로 분류하였다 (Fig. 2). 골재의 다섯 가지 형태 중에서 판상형과 침상형은 바람직하지 않다. KEDO 골재의 경우 적합한 형태는 전체의 68.3%이다.

**풍화 상태**

골재의 풍화상태를 결정한 기준은 ISRM Working Party(1975)의 육안관찰에 의한 풍화등급이다. ISRM의 정의는 다음과 같다.

**F등급(Fresh, 신선):** 암석의 성분이나 암석의 색이 원래의 상태이다. 해머의 타격에 의하여 표면에 가벼운 원형의 테가 생기는 경우로서 골재의 피막에서 설명한 얇은 점토 질막이 형성될 정도는 풍화되었음을 의미하는 것으로 본다.

**WS등급(Slightly Weathered, 약간 풍화):** 표면은 약간 변색되어 있으며 이 변색은 절리를 따라 내부로 침투된다. 기타는 F등급과 동일하다. 이 상태의 풍화는 앞에서 소개한 특정광물이나 엽리에 의한 풍화층의 존재 및 미세한 절리의 형성과 그에 따른 풍화의 침투를 의미하는 것으로 본다.

이 밖의 WM(Moderately Weathered)등급 이하는 KEDO의 자갈골재에 해당되지 않으므로 설명을 생략한다.

이 지역의 자갈골재는 대체로 엽리가 발달된 편암이나 천매암, 유색광물의 함량이 높은 염기성암(각섬암), 그리고 입자의 크기가 큰 변성암(편마암)이나 심성암(화강암)에 WS등급의 양이 높으며, 그 외의 골재는 대부분 F등급이다.

Table 10에 골재의 풍화상태를 종합하였다. 자갈 골재는 F등급이 64%, WS등급이 36%로서 비교적 모암으로부터 운반거리가 짧아 풍화를 적게 받은 것으로 볼 수 있으며, 모래골재는 F등급이 95%이고 WS등급이 5%로

서 전자에 비하여 F등급이 월등히 높은 값을 보인다. 모래골재는 퇴적물로서 운반 도중 광물별 단체로 분리되었기 때문에 자갈골재에 비하여 상대적으로 F등급이 높게 되었다.

**오염 상태**

골재의 피막은 대부분 암석의 풍화물로 확인되기 때문에 골재 자체는 어떠한 형태로든 그 표면은 오염되지 않은 것으로 보아야 한다. 또한 두 종류의 골재 모두 암석과 광물 이외에 이물질은 거의 함유되지 않은 양호한 상태이다.

**암석학적 기재**

암석기재에서는 골재를 구성한 암석의 종류, 종류에 따른 구성광물, 조직, 이들의 정량, 정성적 분석 및 각 암석별 콘크리트 골재로서의 적합성을 설명한다. 암석의 구성광물을 정량적으로 조사한 모오드 분석치는 자갈골재는 부피%(Table 3), 그리고 모래골재는 무게%(Table 4)로 제시하였다. 암석기재는 주로 육안관찰과 편광 및 실체 현미경에 의하여 이루어졌다.

**변성암류 자갈골재**

변성암류는 자갈골재의 약 60%로서 가장 큰 비중을 차지한다. 기존 암석이 이차적으로 열과 압력을 받아 형성되는 본 암은 결과적으로 광물의 종류와 암석의 조직에 변화를 가져 온다. 전자와 관련된 변화는 광물의 재결정, 새로운 변성광물의 생성, 기존광물의 내부구조의 변형을 의미하며 후자와 관련된 변화는 편마상, 편리 및 쪼개짐구조가 발달된다. 두가지 변화 모두 화학적으로 민감해지던가 물리적으로 취약한 상태가 되기 때문에 골재의 목적으로는 바람직하지 못하다. 자갈골재에 함유된 변성암류는 편마암, 편암, 천매암, 규암 및 압쇄암으로 구성되어 있다.

**편마암:** 이 암석은 유색광물의 함량과 조암 광물의 성분으로 보아 우백화강암질 편마암과 흑운모화강암질 편마암으로, 그리고 조직으로 보아 화강편마암으로 명명할 수 있다. 구조적인 측면에서 편마상은 보이지 않고 괴상이기 때문에 물리적인 취약성은 문제가 되지 않는다. 문제가 되는 것은 이 암석의 구성광물 중의 하나인 석영이다. 이 암석을 종류별로 암석박편 3개를 제작하여 관찰한 결과 모두 봉합상, 파동소광을 보이는 이축성 석영이 전체 석영 함량의 70%을 차지한다. 편마암의 평균 석영 함량이 35%이므로 이중 24.5%는 골재로서 적

**Table 3.** The rock classification and modal analysis of gravel aggregates (volume %).

Minerals	Classification of Rocks <sup>(*)</sup>													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Quartz	35	64	45	35	89	25	36	<1	3	<1	2		45	100
Orthoclase+Sericite	20			2		15	9		66				25	
Microcline+Sericite	11		2	3			8							
Plagioclase+Sericite	25		5	4		14	3	72	<1	3	<1	60	5	
Sanidine											1			
Biotite+Chlorite	3	20	30	<1	6	20	15	22			<1			
Muscovite	1	16	15		2	23	2						15	<1
Hornblende							3		10	87				
Tremolite				25				5	15					
Pyroxene				6						7				
Tourmaline				1										<1
Calcite												30		
Apatite			<1				<1		<1			<1		
Sphene						3			<1					
Zircon		<1			<1	<1	2							
Chlorite	<1	<1	<1		<1	<1			4	3		10		
Epidote	<1	<1	3	4		<1	<1		1					
Penninite		<1						<1	1					
Opaque minerals	<1	<1	<1	<1	2	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1		
Cryptocrystalline+glass												97		
Sillimanite				20										
Garnet					1									
Perthite	5						22						10	
Chalcedony											<1			

(\*) 1. Granitic gneiss 2. Schist 3. Argillaceous phyllite 4. Arenaceous phyllite 5. Quartzite 6. Mylonite 7. Biotite granite 8. Diorite 9. Syenite 10. Hornblendite 11. Rhyolite 12. Andesite 13. Pegmatite 14. Vein quartz

**Table 4.** The rock and mineral composition of sand aggregates (weight %).

Composition	Rocks, Minerals									Total
	Rock fragments	Quartz	Feldspars	Quartz+ Feldspars	Micas	Tourmaline	Sphene	Pyroxene	Epidote	
Content	64.8	17.2	10.9	6.5	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	100

합하지 않은 석영이 함유된 샘플이다. 암석의 무게로 보면 전체 자갈골재 무게의 8.4%는 이와 같은 이축성 석영에 해당된다.

**편암:** 세립질 석영-복운모 편암에 해당되며 복운모에 의해서 편리구조를 보인다. 편암은 구조적으로 편리가 발달되어 있는데 편리에 따라 간극수(interstitial water)가 침투되어 편암골재의 물리적 팽창을 일으키며, 결과적으로 구조물의 팽창을 야기할 수 있다. 구성광물은 주로 석영(64%), 흑운모(20%), 백운모(16%)이다. 석영은 대부분 일축성으로서 변형을 받지 않아 화학적 반응에 안정된 상태이다. 36%에 달하는 흑운모와 백운모는 저면(001면)에 평행한 벽개가 대단히 발달되어 있기 때문에 골재, 시멘트 및 물을 배합할 때 시멘트에 필요한 물의 상당량이 광물의 벽개에 침투되어 물/시멘트(w/c)

의 비가 대단히 높아지게 된다. 이러한 현상은 결과적으로 콘크리트 구조물에 팽·축의 정도를 높게 만들어 균열의 동기가 된다. 모르타르봉 실험(ASTM C 227)에 의하면 변형받지 않은 석영이나 정장석에 비하여 흑운모는 약 1.5배, 백운모는 약 2.1배의 팽창량을 보인다(유신애, 1997). 그러나 문제가 되는 이러한 광물들은 골재의 표면이나 엽리에 노출된 경우이기 때문에 편암골재의 경우 팽창 효과는 위의 실험치보다 상당히 줄어들 것으로 본다.

**천매암:** 주 구성광물인 석영입자의 크기에 따라 평균 0.08mm인 사질천매암과 0.03 mm이하인 이질천매암으로 되어 있다. 엽리가 상대적으로 더욱 미세한 이질천매암이 풍화에 더 약하며 전체 자갈 골재에서 전자는 5.2%, 후자는 2.0%를 차지한다. 주 구성광물인 석영이 45~35%이고, 그 외 이질천매암에는 복운모가 45%, 사

질천매암에는 투각섬석이 25%, 규선석이 20% 함유되어 있다. 석영 입자의 반은 이축성 파동소광을 보인다. 투각섬석은 각섬석류에 속하는 광물로서 크게 문제가 되지 않는다. 종합적으로 판단할 때 천매암 골재는 구조적으로나 구성광물로 보나 모두 골재로서 매우 취약한 것이라 하겠다.

**규암:** 규암은 전체 자갈골재의 14%에 해당되는 양으로 편마암과 화강암 다음으로 많은 양이다. 풍화에 강한 석영이 89% 함유되어 있어 이 암석이 지표의 분포 비율에 비하여 많은 양의 자연산 자갈골재를 형성한 것으로 본다. 기타 흑운모, 백운모, 석류석 등이 소량 함유되어 있다. 중립 내지 세립질 사암 또는 알코즈 사암이 변성작용을 받아 형성된 암석이다. 규암박편 3개 중 1개는 석류석이 변성광물로 관찰되는 것으로 보아 강한 변성작용을 받은 것으로 보이며, 그 결과 석영은 완전히 재결정되어 불합상 경계와 파동소광을 보이며 전체 석영의 60%는 이축성이다. 나머지 두 개의 규암 박편은 변성사암이라고 명명할 수 있을 정도로 변성정도가 낮다. 이 박편에서 관찰된 석영은 대부분 일축성이다.

**암쇄암:** 성인적으로 이 암석은 낮은 온도, 높은 압력의 변성작용을 받은 것이기 때문에 암석의 조암광물이 파쇄되어 있음이 특징이다. 정장석(15%)과 사장석(14%)의 함량이 서로 유사한 것으로 보아 원암은 화강섬록암질인 것으로 보인다. 전체의 25%에 해당되는 석영, 정장석 및 사장석은 암쇄작용으로 재결정되어 석영은 심한 파동소광과 이축성을 보이며, 43%는 흑운모와 백운모로 구성되어 있기 때문에 이 암석 전체가 화학적으로 불안정한 골재로 분류된다. 이 암석은 자갈골재 전체의 약 3%이다.

### 화성암류 자갈골재

화성암은 자갈골재의 약 40%로서 화학적 반응에 취약한 소량의 유문암(5%)과 안산암(3%)을 제외한 나머지는 모두 안정한 심성암으로 구성되어 있다. 심성암류는 흑운모화강암, 섬록암, 섬장암, 각섬암 및 페그마타이트로 나뉜다.

**흑운모화강암:** 화성암류의 주종을 이루는 이 암석은 자갈골재의 21%를 차지한다. 세립질로부터 조립질에 이르는 이 암석은 석영이 36%, 장석류(정장석, 미사장석, 사장석 및 퍼다이트)가 42%, 운모류(흑운모, 백운모)가 17%, 각섬석이 3%, 그리고 소량의 인회석, 스피, 저어콘, 녹립석, 불투명 광물 등으로 구성되어 있다. 자갈골재가 채취된 지역의 지질도에 의하면 이 화강암은 유라기의 것으로 보고되어 있는데, 실제 현미경에 의한 관찰

도 유라기 화강암의 특징과 잘 부합된다. 즉 미약한 편마상 구조를 보이며 심한 변질을 받아 녹니석, 견운모, 녹립석과 같은 이차 광물이 많이 관찰되고, 석영은 부분적으로 재결정 및 파동소광을 보인다. 석영의 1/5은 이축성을 보인다.

**섬록암:** 자갈골재의 3%로서 비교적 소량이다. 석영은 1%미만이며 주로 사장석(72%), 흑운모(22%) 및 투각섬석으로 구성되어 있다. 그 외 소량의 펜니나이트, 불투명광물 등이 관찰된다. 변질을 많이 받아 흑운모와 투각섬석은 대부분 녹니석이나 펜니나이트로 교대되어 있다. 이 암석은 화학적으로 안정된 골재이다.

**섬장암:** 자갈골재의 2%에 불과하다. 정장석(66%)이 대부분이며 그 외 녹니석(4%), 녹립석(1%), 펜니나이트(1%) 등으로 구성되어 있다. 심한 변질을 받아 정장석은 견운모로, 유색광물은 녹니석, 펜니나이트, 녹립석 등으로 대부분 교대되어 있다. 구성 성분으로 보아 화학적으로 안정된 골재이다.

**각섬암:** 자갈골재의 4%에 해당된다. 등립·세립질 암석으로 대부분 각섬석(87%)과 휘석(7%)으로 구성되어 있고, 기타 소량의 사장석, 녹니석, 불투명광물이 함유되어 있다. 이 암석 역시 심한 변질(녹니석화)을 받았다. 각섬석의 물의 흡수율은 석영이나 장석과 같이 매우 낮은 편이나 풍화 받은 각섬석의 물 흡수율은 갑자기 증가하는 특징이 있다. 그러나 각섬암 자갈골재의 풍화등급은 모두 F와 WS에 속하므로 골재로서 화학적 반응에 안정된 상태로 판단된다.

**유문암:** 규질 화산암에 속하는 본 암은  $\text{SiO}_2$ 가 66% 이상이며 석기가 은미정질 내지 유리질로 되어 있기 때문에 화학적 안정성이 매우 취약하다(ASTM C 295-90). 이 암석의 구성광물은 석기가 97%에 1% 미만의 옥수(chalcedony)가 함유되어 있는데 옥수는 특히 알칼리-실리케이트 반응에 매우 민감한 광물이다. 암석골재 전체의 5%에 해당되는 본 유문암은 콘크리트용 골재로서 적합하지 못하다.

**안산암:** 중성화산암에 속하며  $\text{SiO}_2$ 함량은 66~52%이다. ASTM C 295-90에 의하면 중성화산암의 유리질 석기도 알칼리-골재 반응물질로 분리되어 있는데, 유리질은 산성(규질)화산암에서는 쉽게 관찰되나 중성 내지 염기성 화산암에서는 보통 은미정질 내지 세립질로 되어 있다. 석기가 유리질이 아닌 안산암 골재는 골재로서 문제가 없는 것으로 본다.

**페그마타이트:** 입자의 크기가 4mm 이상의 거정의 석영(45%)과 장석류(40%)로 주로 구성되어 있다. 비교

적 변질을 적게 받은 암석으로 화학적으로 안정된 광물이다. 자갈골재의 1%이다.

**백석영:** 석영만으로 구성되어 있다. 석영은 정확히 일축성 양(+)의 간섭상을 보이는 것으로 보아 전혀 변질이나 변성작용을 받지 않았다. 자갈골재의 1%로서 화학적으로 안정된 골재이다.

**모래골재**

9.52 mm~0.15 mm 사이에 해당되는 모래골재는 암편과 이 암편이 단체로 분리된 광물로 나뉜다.

**암편:** 모래골재 크기에서의 입자는 고유한 암석명을

명명할 수가 없어 암편으로 분류하였다. 그 이유는 특히 조립질 암석의 경우 풍화과정에서 원래의 암석을 이루고 있던 조암 광물이 풍화과정에서 부분적으로 떨어져 나가 암석이 되기 위한 필요충분한 광물의 집합체가 아닌 상태이기 때문이다. 그러나 일부 세립질 암편은 암석의 종류를 식별할 수 있으나 모두 암편으로 처리하였다. 따라서 암편의 암석감정은 불확실한 상태이기 때문에 예를 들어 화강암은 화강암질암으로, 편마암은 편마암질암으로 표현하였다.

Table 4는 모래골재의 성분을 분석한 결과로서 무게 백분율로 나타내었다. 모래골재의 64.8%(23.7 wt%)에 달

**Table 5.** The count of gravel aggregates and their proportion with regard to rock type and its weathering grade.

Rock aggregates(*)	>60 mm		60~50 mm		50~40 mm		40~30 mm		30~20 mm	
	Grain	%	Grain	%	Grain	%	Grain	%	Grain	%
Granitic gneiss F/WS	2/1	33.6/16.6	7/3	20.8/9.0	23/15	22.3/14.7	47/26	21.7/12.1	20/22	14.3/15.7
Schist F/WS			2/-	5.8/-			4/5	1.8/2.3		
Argillaceous phyllite F/WS			2/-	5.8/-	2/1	1.9/1.0	1/-	0.5/-		
Arenaceous phyllite F/WS			3/-	9.0/-	-/2	-/1.9	9/6	4.1/2.8	9/4	6.4/2.9
Quartzite F/WS			2/2	5.8/5.8	15/6	14.7/5.8	17/9	7.8/4.1	13/9	9.3/6.4
Mylonite F/WS					3/-	2.9/-	8/7	3.7/3.2	3/2	2.1/1.4
Biotite granite F/WS	1/-	16.6/-	4/2	11.9/5.8	12/7	11.7/6.7	24/10	11.1/4.6	24/13	17.2/9.3
Diorite F/WS					4/2	3.8/1.9	-/1	-/0.5		
Syenite F/WS			-/1	-/2.9	1/-	1.0/-	3/5	1.4/2.3	1/3	0.7/2.1
Hornblende F/WS			2/-	5.8/-	3/2	2.9/1.9	4/5	1.8/2.3	3/2	2.1/1.4
Rhyolite F/WS	-/1	-/16.6	1/1	2.9/2.9	3/1	2.9/1.0	9/4	4.1/1.8	5/2	3.8/1.4
Andesite F/WS	1/-	16.6/-	2/-	5.8/-	1/-	1.0/-	4/1	1.8/0.5	2/1	1.4/0.7
Pegmatite F/WS							1/5	0.5/2.3		
Vein quartz F/WS							-/2	-/0.9	1/1	0.7/0.07
Total	6	100.0	34	100.0	103	100.0	217	100.0	140	100.0

(\*) F: Fresh, WS: Slightly Weathered (ISRM Working Party, 1978). Same abbreviation is used in all tables.

**Table 6.** The weight percent of gravel aggregates with regard to rock type and its weathering grade.

Rock aggregates	Weight percent					Total	
	>60 mm	60~50 mm	50~40 mm	40~30 mm	30~20 mm		
Granitic gneiss F/WS	1.4/0.6	2.8/1.5	7.1/4.	8.3/4.2	1.7/1.8	21.3/12.8	34.1
Schist F/WS		<0.1/0.8		0.3/0.6		0.6/1.4	2.0
Argillaceous phyllite F/WS		0.9/<0.1	0.8/0.2	0.1/<0.1		1.8/0.2	2.0
Arenaceous phyllite F/WS		1.6/<0.1	<0.1/0.8	1.4/0.7	0.5/0.2	3.5/1.7	5.2
Quartzite F/WS		0.9/1.0	4.8/1.7	2.7/1.4	1.0/0.6	9.4/4.7	14.1
Mylonite F/WS			0.9/<0.1	1.3/0.9	0.1/0.1	2.3/1.0	3.3
Biotite granite F/WS	0.6/0.1	2.2/1.2	4.6/2.5	5.3/1.7	1.9/0.8	14.6/6.2	20.8
Diorite F/WS			1.7/0.6	<0.1/0.2		1.7/0.8	2.5
Syenite F/WS		<0.1/0.5	0.3/<0.1	0.5/0.7	0.1/0.3	0.9/1.5	2.4
Hornblende F/WS		0.9/1	0.9/0.7	0.5/0.8	0.2/0.1	2.5/1.6	4.1
Rhyolite F/WS	<0.1/0.7	0.6/0.2	0.6/0.2	1.3/0.6	0.4/0.1	2.9/1.8	4.7
Andesite F/WS	0.4/<0.1	0.7/<0.1	0.8/<0.1	0.8/0.2	0.2/0.1	2.9/0.3	3.2
Pegmatite F/WS				0.2/0.7		0.2/0.7	0.9
Vein quartz F/WS			0.1/0.1	<0.1/0.2	0.2/0.2	0.2/0.5	0.7
Total	3.5	16.2	34.4	35.6	10.3	100.0	
Subtotal of F grade	2.4	10.6	22.5	23.0	6.3	64.8	
Subtotal of WS grade	1.3	5.2	11.5	12.9	4.3	35.2	

**Table 7.** The count of sand aggregates and their proportion with regard to rock and mineral type and its weathering grade.

Sand aggregates	9.52~5 mm		5~2.5 mm		2.5~1.2 mm		1.2~0.6 mm		0.6~0.3 mm		0.3~0.15 mm	
	Grain	%	Grain	%	Grain	%	Grain	%	Grain	%	Grain	%
Rock fragments F	40	83.1	875	81.8	15411	70.8	121676	61.0	288219	49.4	0.46×10 <sup>6</sup>	23.7
Rock fragments WS	7	14.9	120	11.3	2002	9.2	13364	6.7	15169	2.6	0	0
Quartz F	1	2.0	44	4.1	2177	10.0	32115	16.1	128356	22.0	0.75×10 <sup>6</sup>	38.7
Quartz WS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feldspas F			23	2.2	1458	6.7	19348	9.7	93350	16.0	0.40×10 <sup>6</sup>	20.6
Feldspas WS			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quartz+Feldspars F			7	0.6	718	3.3	12966	6.5	52509	9.0	0.24×10 <sup>6</sup>	12.4
Quartz+Feldspars WS			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Micas F									0	0	0	0
Micas WS									5835	1.0	0.09×10 <sup>6</sup>	4.6
Total	48	100	1069	100	21766	100	199469	100	583438		1.94×10 <sup>6</sup>	100

**Table 8.** The weight percent of sand aggregates with regard to rock and mineral type and its weathering grade.

Sand aggregates	Weight percent						Total	
	9.52~5 mm	5~2.5 mm	2.5~1.2 mm	1.2~0.6 mm	0.6~0.3 mm	0.3~0.15 mm		
Rock fragments F/WS	1.7/0.3	5.9/0.4	12.5/1.3	26.9/1.7	11.6/0.3	1.9/0	60.5/4.3	64.8
Micas F/WS	<0.1/<0.1	0.3/0	1.7/0	6.8/0	5.0/0	3.4/0	17.2/0	17.2
Feldspas F/WS		0.1/0	1.2/0	4.1/0	3.7/0	18.0	10.9/0	10.9
Quartz+Feldspars F/WS		<0.1/<0.1	0.6/0	2.7/0	2.1/0	11.0	6.5/0	6.5
Micas F/WS					0.02	0.04	0/0.6	0.6
Total	2.0	7.0	17.3	42.2	22.9	8.6	100.0	
Subtotal of F grade	1.7	6.3	16.0	40.5	22.4	8.2	95.1	
Subtotal of WS grade	0.3	0.7	1.3	1.7	0.5	0.4	4.9	

하는 압편의 종류는 자갈골재에서 분류한 압석의 종류로 구성되어 있는데 그 중 편마암질암과 화강암질암이 가장 우세하여 압편의 약 70%이다. 이 밖에 규암질암, 천매암질암등이 소량 관찰된다.

**광물:** 단체로 분리된 광물의 종류에는 석영(17.2%), 장석류(10.9%), 석영+장석류(6.5%) 및 운모류(0.6%)와 0.5% 미만의 전기석, 스피넬, 휘석, 녹렴석등이었다. 0.5% 미만의 광물은 입도 0.3~0.15 mm의 것에만 함유되어 있다. 석영의 입자수가 가장 많은 0.6~0.3 mm(Table 7 참조)크기에서 석영결정 20개를 대상으로 광학적 특성을 조사한 바에 의하면 재결정, 파상소광을 보이는 2축성 석영이 4개로서 20%에 불과하다. 자갈골재에서 전체 석영의 70%가 2축성 석영임을 감안할 때 대단히 낮은 숫자에 해당된다. 이러한 결과는 풍화과정에서 단체로 분리될 때 1축성 석영이 물리적으로 더 안정된데 원인을 찾을 수 있다.

**골재의 구성과 상태**

자갈과 모래골재에 대하여 각각 종류별, 입도별 및 상태별로 분류하였다. 이 분류는 ASTM C 295의 Table 2와 3(p.182)을 근거로 실시되었다. 입자 크기의 분류는 앞에서 소개한 Fig. 1의 것과 동일하다. 입자 계수를 위

하여 선정된 입자수는 자갈골재는 29,180 g, 그리고 모래골재는 845.3 g을 취하여 조사하였다. Table 5는 자갈골재에 대한 압석의 종류별 그리고 입도별로 입자수에 의한 분류이고 Table 6은 Table 5와 같은 조건에서 무게에 의한 분류이다. 모래골재에 대하여도 동일한 방법을 적용하여 Table 7은 입자수에 의하여, 그리고 Table 8은 무게에 의하여 분류한 것이다.

Table 5를 볼 때 자갈골재는 입자수에 의한 분류에서는 작은 쪽(40~20 mm)에 전체의 71.4%가 몰려 있는 양상을 보이는 반면 Table 6의 무게에 의한 분류는 Fig. 1에 소개한 바와 같이 50~30 mm 사이의 골재가 전체의 70%이다. Fig. 1과 Table 8에서 보인 입도별 모래골재의 무게에 의한 분류는 양자 모두 동일한 시료를 동일한 방법으로 분류한 것이지만 각 체별 무게 백분율이 조금씩 다른데 그 이유는 Fig. 1의 입도 0.15 mm미만의 것(3%)은 모래골재로 볼 수 없기 때문에 Table 8에서는 3%를 빼고 계산하여 체별 무게 백분율에 차이가 있다. 자갈골재의 양상과 마찬가지로 모래골재 역시 입도별 무게에 의한 분류는 정규분포를 보이나(Fig. 1), 입자수에 의한 분류는 입자가 작은 0.6 mm 이하에 전체의 약 78%가 모여 있다.



**Table 9.** Residual components from each sieve and their weathering condition.

Gravel aggregates	Residual components					All samples		
	>60 mm	60~50 mm	50~40 mm	40~30 mm	30~20 mm	F grade	WS grade	Total
Gneiss	52	30	37	33	30	21	13	34
Schist		6		4		1	1	2
Argillaceous phyllite		6	3	1		2	0	2
Arenaceous phyllite		9	2	7	9	3	2	5
Quartzite		12	20	12	16	9	5	14
Mylonite			3	7	3	2	1	3
Biotite granite	16	18	18	15	27	15	6	21
Diorite			6	1		2	1	3
Syenite		3	1	4	3	1	1	2
Hornblendite		5	5	4	4	2	2	4
Rhyolite	16	5	4	6	5	3	2	5
Andesite	16	6	1	2	2	3	0	3
Pegmatite				3		0	1	1
Vein quartz				1	1	0	1	1
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>			<b>100</b>
<b>Weight</b>						<b>64</b>	<b>36</b>	

Sand aggregates	Residual components					All samples			
	9.52~5 mm	5~2.5 mm	2.5~1.2 mm	1.2~0.6 mm	0.6~0.3 mm	0.3~0.15 mm	F grade	WS grade	Total
Rock fragments		93	80	68	52	24	60	4	64
Quartz		4	10	16	22	39	17	0	17
Feldsprs	98	2	7	10	16	21	11	0	11
Quartz+Feldspars	2	2	3	6	9	12	7	0	7
Micas		1		1		4	0	1	1
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>			<b>100</b>
<b>Weight</b>							<b>95</b>	<b>5</b>	

Table 9의 자갈골재는 Table 5, 6으로부터, 그리고 모래골재는 Table 7, 8로부터 골재의 구성과 상태를 종합한 것이다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 자갈골재는 편마암과 화강암이 주종을 이루어 전체의 55%에 달하며 그 외 규암(14%), 이질천매암(5%), 유문암(5%) 등으로 구성되어 있다. 이들 골재의 풍화 상태는 F등급이 64%, WS등급이 36%로서 모두 양호한 편에 속한다. 모래골재는 암편이 64%로서 가장 많고 그 외 석영(17%), 장석류(11%), 석영+장석류(7%), 운모류(1%) 등으로 구성되어 있다. 풍화 상태는 F등급이 95%, WS등급이 5%로서 양호하다. 암석골재에 비하여 F등급이 월등히 높은 것은 모래 크기로 풍화를 받는 동안 모든 균열에 따라 갈아져 분리된 상태이기 때문이다. 단 운모류를 모두 WS등급으로 분리시킨 이유는 저면에 따라 미세한 균열이 발달되어 있는 광물이기 때문이다.

**결과 및 고찰**

KEDO 골재에 대한 콘크리트 골재로서의 적합성을 검토하기 위하여 문제가 되는 암석과 광물을 기준으로

Table 10을 작성하였다. 표에서 항목 1~12까지는 ASTM C 295의 자료이고, 항목 13~15는 ASTM C 227의 자료이다. 항목 16과 17은 황형중(1999)과 용태형 외(1994)의 모르타르 붕 시험(ASTM C 227)의 결과로서 팽창율이 0.1% 이상되는 암석이다. 그리고 항목 18은 운모만을 골재로 썼을 때 팽창율이 0.215% 임을 역시 모르타르 붕 시험으로 확인되어 추가하였다(유신애, 1997). 항목 9, 10, 16 및 18을 제외한 모든 물질은 명백히 알칼리-골재 반응물질이긴 하지만 정량적인 소개가 없어 판단에 문제점을 준다. 항목 4와 5는 항목 7과 중복되는 점이 있으나 항목 7을 흑요암과 같이 암석 전체가 유리질 내지 은미정질암으로 이루어진 것으로 간주할 때 항목 4와 5는 산성 내지 중성화산암의 석기 부분을 의미하는 것으로 해석된다. 항목 9, 10, 16 및 18은 알칼리-규산염 반응보다는 암석이나 광물 자체의 구조적인 취약성이 문제가 될 것으로 보이고 항목 13과 14는 알칼리-탄산염 반응물질이다.

앞에서 조사한 자갈과 모래골재의 모든 정성, 정량적인 자료를 Table 10에 적용하여 문제가 되는 골재에 대하여 항목별로 검토하였다.

**Table 10.** Review on the potential alkali-aggregates reaction of KEDO gravel and sand aggregates.

Aggregates	Unstable aggregates (Alkali-aggregates reaction etc.)*																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Gneiss												○						
Schist									○									○
Argillaceous phyllite										○								○
Arenaceous phyllite												○						
Quartzite												○						
Gravel aggregates												○						○
Mylonite												○						
Granite																		
Diorite																		
Syenite																		
Hornblendite																		
Rhyolite					○		○											
Andesite																		
Pegmatite																		
Vein quartz																		
Sand aggregates																		
Rock fragments				○		○		○		○		○						○
Quartz												○						
Feldsprs												○						
Quartz+Feldspars												○						
Micas																		○

(\*) 1. Opal 2. Cristobalite 3. Tridymite 4. Glass matrix of acidic volcanic rocks 5. Glass matrix of intermediate volcanic rocks 6. Chert 7. Glass~cryptocrystalline acidic volcanic rock 8. Synthetic glass 9. Argillaceous rock 10. Phyllite 11. Metamorphosed greywacke 12. High-grade metamorphosed quartz 13. Fine grained limestone or calcite 14. Fine grained granulite or dolomite 15. Sulfides(Pyrite, Arsenopyrite etc.) 16. Basalt 17. Sandstone 18. Micas

**자갈골재**

**편마암:** 2축성 석영에 의한 알칼리 규산염 반응(항목 12). 편마암은 전체의 34%이나 문제가 되는 석영은 자갈골재 전체의 8.4%이다.

**편암:** 물리적으로 취약한 편리의 발달과 운모류의 함유(항목 9, 18). 위 두가지 원인으로 이 암석골재의 양 2%는 불량한 것으로 분류한다.

**이질천매암:** 물리적으로 취약한 엽리의 발달과 운모류의 함유(항목 10, 18). 이 암석의 함량 2%는 전량 불량한 골재로 분류한다.

**규암:** 2축성 석영에 대한 알칼리-골재 반응(항목 12). 규암은 전체 암석골재의 14%이며 이 중 1/3은 고변성 석영이 함유되어 있다. 평균 석영의 함량이 89%인데 이 중 60%가 고변성 석영이므로 암석 전체로 보아 고변성 2축성 석영은 2.6%에 해당된다.

**암쇄암:** 물리적으로 취약한 암쇄조직과 알칼리-골재반응 광물(항목 12, 18). 암쇄암은 고변성 2축성 석영이 54%에 운모류가 43%이기 때문에 이 암석 전체가 화학적으로 불안정하다. 암석골재 전체의 3%이다.

**유문암:** 알칼리-실리카 반응(항목 7). 유리질 내지 은미정질 석기가 97%에 화학적으로 매우 민감한 옥수가 1% 미만 함유되어 있어 이 암석 전체가 불량한 골재로 취급된다. 암석골재의 5%이다.

**모래골재**

**암편:** 모래골재에 함유된 암편은 앞에서 소개한 문제가 되는 자갈골재가 고루 함유되어 있는 것으로 간주된다. 문제가 되는 자갈골재의 함이 23%이고, 암편의 함량은 64%이므로 암편에 함유된 문제가 되는 암석과 광물의 양은 모래골재 전체의 14.7%이다.

**석영:** 알칼리-실리카 반응(항목 12). 석영 전체의 20%는 고변성 2축성 석영이다. 석영의 함량이 모래골재 전체의 20.5%이므로 2축성 석영은 모래골재 전체의 4.1%이다.

**운모류:** 물리적으로 취약한 운모류(항목 18). 백운모와 흑운모는 모래골재 전체의 1%이며 전량 불량한 골재로 간주된다.

이상의 사실을 종합할 때 자갈골재는 전체의 23%,

모래골재는 전체의 5.1%가 화학적으로 불안정한 골재에 해당된다.

## 결 론

결론적으로 콘크리트용 KEDO 골재의 선정에 있어서 가능한 한 편마암과 같은 고변성 작용을 받은 변성암, 유문암과 같은 산성화산암, 천매암이나 편암과 같은 엽리가 발달된 암석, 그리고 모르타르 붕 시험에서 불량한 골재로 확인된 암석(예, 변성사암, 현무암)은 피할 것을 제안한다. 그러나 앞에서 설명한 바와 같이 ASTM C 295 나 227에는 문제가 되는 물질의 정량적 언급이 없어 암석골재의 23%와 모래골재의 5.1%가 불량하다고 하여 콘크리트 구조물로서 적합하지 않다고 단언할 수는 없다. 또한 이런 종류의 골재는 모르타르 붕 시험을 실시할 때 팽창율이 0.1% 미만이기 쉽다. 따라서 본 KEDO 골재는 화학적 시험(ASTM C 289)과 모르타르 붕 시험(ASTM C 227)을 더 거친 후 3가지 시험결과를 종합하여 골재의 사용여부를 결정함이 바람직하다.

## 참 고 문 헌

- 용태형, 최진만, 이양수, 윤재환, 1994, 제주도 콘크리트 구조물의 열화현상에 관한 조사 보고. 대한건축학회 학술발표논문집 14-1, p.509-512.
- 유신애, 1997, 조암광물 골재를 사용한 몰탈바(ASTM C 227-90)의 팽창률 해석. 충남대학교 대학원 지질학과 석사학위 논문 '97.
- 황형중, 1999, 충남대학교 석사학위논문. 미발간.
- Deere, D. U., 1963, Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechs, Engineering Geology 1, p.18-22.
- Hook, E. & Bray, J. W., 1974, Rock Slope engineering. Inst. of Mining and Metallurgy, London.
- ISRM Working Party, 1975, Suggested methods for the description of rock masses, joints and discontinuities. Intl. Soc. of Rock Mechs., 2d Draft, August,

Lisbon.

- ASTM C 227-90, 1995, Annual books of ASTM standards. American Society for Testing and Materials, section4, vol. 04.02, p.129-133.
- ASTM C 295-90, 1995, Annual books of ASTM standards. American Society for Testing and Materials, section4, vol. 04.12, p.176-183.
- Hathaway, J. C., 1979, Reviews in mineralogy. Marine Mineralogy 6, p.139.
- Keller, E. A., 1979, Environmental Geology. 2nd, p.55-63.

2007년 10월 10일 원고접수, 2007년 12월 12일 게재승인

## 정지곤

충남대학교 지구환경과학부 암석학연구실  
305-764 대전광역시 유성구 대학로 79  
Tel: 042-821-6424  
Fax: 042-822-7661  
E-mail: jgjeong@cnu.ac.kr

## 김경수

한국원자력연구원 고준위폐기물처분연구센터  
305-353 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
Tel: 042-868-2365  
Fax: 042-868-2064  
E-mail: kskim@kaeri.re.kr

## 이철우

한국지질자원연구원 지열자원연구실  
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92  
Tel: 042-868-3085  
Fax: 868-861-9720  
E-mail: lcw@kigam.re.kr