

석탄폐석을 이용한 폴리머 콘크리트의 물리·역학적 특성

Physical and Mechanical Properties of Polymer Concrete Using Coal Mine Waste

연규석* 김기성** 장태연*** 정경현**** 주명기**** 최동순****
Yeon, Kyu-Seok Kim, Ki-Sung Jang, Tae-Yeon Jung, Kyung-Hyun Joo, Myung-Ki Choi, Dong-Soon

ABSTRACT

Lately, rapid expansion of construction industry and following increment of demand for concrete in the construction created shortage of aggregates in the nation. Supplement of good quality aggregate is an immediate issue for the construction industry to solve. Therefore, this study evaluated a possibility of using coal mine waste collected from Kwangwon-do region as a source of aggregate in manufacturing polymer concretes which have high strength and high durability. First, aggregates were obtained by crushing coal mine waste and polymer concrete was manufactured using these aggregate. Mechanical property test results for the polymer concrete showed that the coal mine waste aggregates were acceptable to use as a replacement of the aggregate in polymer concrete manufacture.

1. 서론

그 동안 사회간접자본시설의 확충에 따른 건설물량의 증가와 함께 콘크리트용 골재의 부족현상을 초래하고 있으며, 자연보전 차원에서 채취를 억제하는 관계로 골재수급은 더욱 악화되고 있다. 콘크리트에서 골재가 차지하는 비중은 용적비로 약 70% 이상이며, 최근의 급속한 경제성장과 건설물량의 증가로 인한 수요가 급격히 증대되고 있으나, 양질의 콘크리트용 골재 부족현상을 초래하고

있어 골재의 양적인 문제와 함께 질적인 문제의 해결이 건설재료 분야의 중요한 당면과제로 제기되고 있다.

우리나라에는 석탄광, 일반광 등이 많이 있어 이들 광산으로부터 폐석이 발생되고 있으며, 산업구조의 변화에 따라 상당수의 광산들이 폐광됨으로써 탄광지역이 황폐화되고 있다. 따라서 본 연구는 광산지역에 부존하는 폐석을 자원화하여 환경오염 방지 및 건설산업용 골재로 활용함으로써 부족한 골재 자원의 대체와 환경오염의 방지에 기여 할 목적으로 수행되었다.

본 연구에서는 강원도 탄광지역에 다량으로 산재되어 있는 석탄폐석을 콘크리트용 골재로서 활용하여 고강도이며 내구성이 우수한 폴리머 콘크리트를 제조하고 이에 대한

* 강원대학교 농공학과 교수
** 강원대학교 농공학과 조교수
*** 한국 전자재 시험 연구원
**** 강원대학교 농공학과 대학원 석사과정

물리·역학적 특성을 실험적으로 구명하여 공장제품 재료로서의 이용을 위한 기초자료로서 제공코저 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

(1) 불포화 폴리에스터 수지

결합재인 불포화 폴리에스터 수지는 에폭시 수지에 비해 가격이 약 1/2 ~ 1/3로 저렴할 뿐만 아니라, 물리적·화학적 성질도 우수하기 때문에 폴리머 콘크리트의 제조에 널리 쓰이고 있다. 사용된 불포화 폴리에스터 수지는 올소타입(ortho type)으로서 성분은 다음의 Table 1 과 같다.

(2) 촉진제 및 경화제

불포화 폴리에스터 수지가 경화하는 데는 경화 촉진제와 개시제가 첨가되어야 한다. 촉진제로서는 옥탄산 코발트 8% 용액인 mineral turpentine용액(CoOc)이 주로 이용되고 있다. 본 연구에서 사용된 경화 촉진제 및 개시제는 우리나라에서도 널리 사용되고 있는 상온경화용으로서 성분은 Table 2 와 같다.

Table 2. Properties of initiator used

Component	Specific gravity(25°C)	Active oxygen
MEKPO 55% DMP 45%	1.12	10.0

Table 1. Properties of unsaturated polyester resin used

Specific gravity (25°C)	Viscosity (25°C, poise)	Acid value	Styrene content (%)
1.138	3.0	20.0	40

(3) 수축감소제

불포화 폴리에스터 수지는 경화시 7 ~ 10 % 정도의 수축을 일으키게 되는데, 이러한 수축을 감소시키기 위하여 열가소성인 폴리스틸렌을 스티렌 모노머에 용해시킨 수축감소제(shrinkage reducing agent)가 사용되었으며 그 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Properties of shrinkage reducing agent

Viscosity (at 25°C, ps)	Nonvolatile substance(%)	Appearance
31-41	34-38	Transparent

(4) 충전제

수지에 미립 충전제를 첨가하는 주된 목적은 단위체적당 수지 사용량을 줄이고 점성을 향상시키는데 있다. 증량이라고 하는 점에서는 구형의 불활성 미립자가 유리하지만, 점도 증진이라고 하는 점에서는 형상이 불규칙하여 비표면적이 큰 것일수록 유리하다. 충전제에는 탄산칼슘, 알루미늄, 규석, 석영 등의 분말과 실리콘 카바이드 가루, 산화철, 시멘트 등이 있다. 본 연구에서는 이 중에서 가격이 저렴하고 구입이 용이한 탄산칼슘을 사용하였다.

(5) 골재

폴리머 콘크리트의 제조에 있어서 자갈이나 모래와 같은 골재를 필요로 하는 것은 시멘트 콘크리트와 마찬가지로이다. 천연골재의 선정 조건은 시멘트 콘크리트와 같다. 다만, 함수율이 커지면 강도가 저하되므로 함수율이 0.25 wt.% 이하로 되도록 건조시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 석탄폐석을 사용한 폴리머 콘크리트의 제조시 석탄폐석의 입도 보정을 위한 혼합용 및 기존의 폴리머 콘크리트 제조에 사용된 비교용 천연굵은골재는 강원도 춘천시 남면 광판리의 석산에서 생산되고 있는 화강암 쇄석이며, 천연잔골재는 강원도 춘천시 남면 가정리 하상에서 채취된 자연산 강모래로 골재의 물리적 성질 및 체가름 시험 결과는 Table 4 및 Table 5와 같다.

Table 4. Physical properties of virgin coarse aggregate

Max. size	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Abrasion (%)
13mm	2.62	0.65	1,701	26.5

Table 5. Physical properties of virgin fine aggregates

Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	No. 200 sieve passing(%)	F.M
2.65	1.20	1,490	0.86	2.82

(2) 석탄폐석골재

본 연구에 사용된 석탄폐석은 정선군 사북읍 지역에서 채취한 것으로 골재파쇄기로 파쇄하여 사용하였다. 석탄폐석 덩어리를 골재파쇄기로 파쇄하였을 때

25mm, 굵은골재로 쓰이는 No. 4 체에 남는 것은 80%, 잔골재로 쓰이는 No. 4 체를 통과한 것은 20%로 잔골재의 채취가 용이하지 않았다. 석탄폐석굵은골재 중 본 연구에서는 입경 13mm 이하인 것을 사용하였고, No. 4 체를 기준으로 석탄폐석굵은골재 및 석탄폐석잔골재로 하여 폴리머 콘크리트용 골재로서 활용 여부를 판단키 위해 기초적인 성질을 실험하였다. 실험을 수행한 결과, 이들에 대한 성질은 Table 6 및 Table 7과 같다.

Table 6. Properties of coarse aggregate from coal mine waste

Max. size	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Abrasion (%)
13mm	2.56	1.3	1,497	28

Table 7. Properties of fine aggregate from coal mine waste

Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	No. 200 sieve passing	F.M.
2.50	6%	1,380	3.9%	3.17

이와같은 결과에서 석탄폐석굵은골재는 천연굵은골재에 비해 단위용적중량이 약간 작게 나타났을 뿐 콘크리트용 골재로 활용하는데 별 문제가 없었으나, 석탄폐석잔골재는 200번체 통과율 및 함수율이 기준에 쓰이는 세골재에 비해 높은 것으로 나타났다.

2.2 배합비 결정

폴리머 콘크리트의 배합비는 사용 목적, 수지의 종류, 골재의 형상 및 입도, 작업 조건 등에 따라 달라지므로 최적 배합비의 결

정은 실험에 의해 구하는 것이 바람직하다. 일반적으로 수지량의 8 %까지는 그것의 증가에 따라 강도가 증가하지만 12 % 이상이 되면 수지의 분리, 수축·휨 등이 커질 뿐만 아니라 교반, 성형 등의 작업성도 현저히 달라진다. 그러나 파쇄된 석탄폐석의 입도상 미립분이 많은 관계로 천연골재를 사용하여 제조된 기존의 폴리머 콘크리트에 비해 다소 많은 수지량이 되므로, 이와 같은 사항들을 충분히 고려해서 최적배합비를 결정 할 필요가 있다.

본 연구에서 얻고자 하는 석탄폐석의 폴리머 콘크리트용 골재화에 따른 강도특성과 배합비의 선정을 위해 시험배합을 실시해 본 결과, 석탄폐석을 이용한 폴리머 콘크리트의 배합비는 천연골재 및 석탄폐석골재의 비율, 굵은골재 및 잔골재의 비율, 수지량 등에 따라 Table 8과 같이 결정되었다.

2.3 시험체 제작

시험체는 KS F 2419 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 규정된 방법에 의하여 제작하였으며, 시험체 제조시 콘크리트의 혼합은 콘크리트용 강제식 믹서로 하였으며, 다짐은 원주형 시험체의 경우 3층, 각주형 시험체의 경우 2층으로 각각 나누어 다짐대로 25회씩 다짐 한

후 테이블 바이브레이터(3,000 vpm)로 충분히 다졌다. 양생은 실내온도 $11 \pm 3^\circ\text{C}$ 인 실험실내에서 1시간 양생시킨 후 $28 \pm 3^\circ\text{C}$ 인 항온기에서 양생시킨 후 실험에 사용하였다.

2.4 시험방법

(1) 물리적 특성

1) 단위용적중량 및 흡수율

단위용적중량은 기건상태의 중량을 체적으로 나누어 구하였고, 흡수율 시험은 KS F 2518 (석재의 비중 및 흡수율 시험방법)에 준하여 실시하였다. 이때 시험체의 치수를 $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ 로 하였다.

2) 경화시간

경화시간은 KS F 2484 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 사용 가능시간 측정 방법)에 제시된 3가지 방법 중 관입법 및 감촉법을 병용하여 측정하였다. 이때의 경화시간은 액상수지에 개시제(MEKPO)를 첨가했을 때의 시각부터 측정하였다.

3) 작업성

콘크리트의 작업성 시험방법에는 슬럼프 시험과 플로우 시험이 주로 이용되는데, 본 연구에서는 ASTM C 124에 규정된 플로우 시험을 통해 작업성을 측정하였다.

Table 8. Optimum mixing proportions

Mix Type	Agg. Ratio	FA Ratio	Mix proportion(wt.%)						CW Cont. (wt.%)
	CA : FA	CW : V	R	R.A.	F	CW-CA	CW-FA	V-FA	
A	50 : 50	0 : 100	9	3	10	39	0	39	50
B		30 : 70					11.7	27.3	65
C		50 : 50					19.5	19.5	75
D		70 : 30					27.3	11.7	85
E		100 : 0					39	0	100

Note : R=Resin, R.A.=Shrinkage Reducing Agent, F=Filler, CA=Coarse Agg., FA=Fine Agg., V=Virgin, CW=Coal mine Waste

(2) 역학적 특성

1) 압축, 휨, 인장강도 특성

재령을 6hr, 12hr, 1day, 3day, 7day로 하여 재령별 압축, 휨, 할열인장강도 시험을 실시하였으며, 압축강도 시험은 KS F 2481 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 의해 수행하였고, 휨강도 시험은 KS F 2482 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 따랐으며, 인장강도는 KS F 2480 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)의 규정된 방법에 의해 실시하였다.

2) 탄성계수 및 포아슨비

탄성계수 및 포아슨비는 KS F 2438 (콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 포아슨비 시험방법)에 규정된 2가지 방법 중 와이어 스트레인 게이지 (wire strain gauge)를 사용하여 파괴하중의 40% 까지 반복적으로 가해 얻어진 응력-변형률 곡선의 기울기로부터 얻어진 세컨트계수(secant modulus)로 구하였다. 시험체의 치수는 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 이며, 사용된 스트레인 게이지의 크기는 30mm 였다

3. 결과 및 고찰

3.1 물리적 특성

(1) 단위용적중량 및 흡수율

단위용적중량 및 흡수율에 대한 시험결과는 Table 9와 같고, 이때의 실내온도는 $12 \pm 2^\circ\text{C}$ 였다. 이 결과에서 볼 때 단위용적중량은 석탄폐석 함량이 적을수록 크게 나타났으며, 석탄폐석 함량이 골재량의 75wt.%를 넘으면 감소량이 커지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 석탄폐석 자체의 미립분이 수지를 많이 흡수하여 작업성 및 다짐성의 불량을 초래함으로써 시험체내에 많은 공극을 발생시킨 것이 원인인 것으로 판단된다. 대체적인 단위용적중량은 $2.2 \sim 2.3\text{t/m}^3$ 로 나타나 일반 시멘트 콘크리트의 값과 거의 같게

나타났다.

흡수율은 석탄폐석 함량에 관계없이 0.19~0.21% 로 비슷한 값을 보였으며, 이러한 값은 시멘트 콘크리트의 흡수율 4~6% 보다 훨씬 작을 뿐 아니라 일반적인 콘크리트용 골재의 흡수율 0.5~4.0% 보다도 작은 값을 보여 폴리머 콘크리트의 방수성이 우수함을 나타내 주고 있다.

Table 9. The results of unit weight and absorption test

Mix Type	Unit weight (t/m^3)		Absorption (%)	
	Test value	Mean	Test value	Mean
A	2.30, 2.31, 2.30	2.30	0.17, 0.18, 0.21	0.19
B	2.29, 2.28, 2.30	2.29	0.21, 0.19, 0.19	0.20
C	2.29, 2.28, 2.27	2.28	0.22, 0.20, 0.21	0.21
D	2.27, 2.26, 2.26	2.26	0.19, 0.19, 0.20	0.19
E	2.25, 2.22, 2.23	2.23	0.21, 0.23, 0.20	0.21

(2) 경화시간

상온경화법으로 폴리머 콘크리트를 제조하는 경우 경화시간을 적당하게 설정하는 것이 가장 중요한 요소이다. 경화시간은 촉진제(CoOc) 및 개시제(MEKPO)의 양과 제조시의 온도에 의한 영향을 많이 받는다. 이와같은 경화시간은 현장작업이나 공장제품 제조시 사용 가능시간 설정에 중요한 척도가 된다.

본 시험에서 측정된 폴리머 콘크리트의 경화시간은 Table 10과 같고, 이때의 온도는 $12 \pm 2^\circ\text{C}$ 였다. 이 결과에서 보면 석탄폐석 함량이 증가할수록 경화시간은 지연되었으며, 석탄폐석 함량이 골재량의 75wt.%를 넘었을때 경화시간이 크게 늘어나 석탄폐석의 함량이 증가할수록 경화시간은 지연됨을 알

수 있다. 그러나 이와같은 경화시간은 실험 시의 온도에 따라 가변성이 크므로 사용시에는 온도변화에 따른 응결시간을 실험적으로 측정하여 자료화 해 둘 필요가 있다고 하겠다.

Table 10. The results of setting and hardening time

Mix Type	A	B	C	D	E
Setting time (min)	67	66	67	65	65
Hardening time (min)	191	200	207	210	213

(3) 작업성

폴리머 콘크리트는 종래의 시멘트 콘크리트와 시공면에서도 다른점이 많아 실제 작업시 어려움을 겪는 경우가 많다.

따라서 본 연구에서는 플로우 시험을 통해 작업성을 측정하였던 바, 시험결과는 Table 11과 같고 이때의 온도는 $12 \pm 2^\circ\text{C}$ 였다. 이와같은 결과에서 보면, 석탄폐석의 함량이 증가할수록 플로루 값이 감소하다가 석탄폐석 함량이 골재량의 75wt.% 이상이 될때부터는 부터는 급격한 감소를 나타내므로 작업 정확도를 위해서는 석탄폐석 함량을 골재량의 75wt.% 이하로 하는것이 적당할 것으로 판단된다.

Table 11. The results of flow test

Mix Type	A	B	C	D	E
Mean (%)	32.5	31.8	30.8	27.2	23.5

3.2 역학적 성질

(1) 압축, 휨, 인장강도 특성

폴리머 콘크리트의 강도발현에 미치는 조건으로서는 결합재량, 골재의 강도 및 함수율, 굵은골재-잔골재 비, 양생법 및 재령으로 되어 있다.

본 연구에서는 양생시간과 석탄폐석의 함량이 항상 복합적인 요소가 되어 강도발현에 관여하므로 이들 요소와 폴리머 콘크리트에 대한 각종 강도발현의 관계를 구명키 위해 폐석함량 및 양생시간을 달리하여 강도 시험을 실시하였던 바, 그 결과는 Table 12, 13 및 14와 같다.

강도 발현 특성을 살펴보면 석탄폐석의 함량이 증가할수록 강도는 감소하는 것으로 나타났다, 재령의 변화에 따라 초기에는 강도의 증가폭이 상당히 컸으나, 재령이 커짐에 따라 증가폭이 둔화되었으며, 또한 석탄폐석 함량이 골재량의 65~85 wt.% 사이일때에서 강도의 저하폭이 크게 나타났다.

Table 12. Test results of compressive strength

(Unit : kg/cm^2)

Curing Mix Type (hrs)	6	12	24	72	168
A	301	582	768	890	952
B	288	561	758	872	931
C	251	534	713	832	898
D	209	487	654	772	828
E	195	466	629	756	813

Table 13. Test results of flexural strength

(Unit : kg/cm²)

Curing Mix Type	(hrs)					
		6	12	24	72	168
A	90	146	181	199	219	
B	82	142	176	193	212	
C	71	131	168	185	202	
D	64	126	155	167	183	
E	60	120	149	164	178	

Table 14. Test results of splitting tensile strength

(Unit : kg/cm²)

Curing Mix Type	(hrs)					
		6	12	24	72	168
A	42	72	90	101	114	
B	40	70	85	96	110	
C	35	69	82	93	105	
D	32	62	77	87	97	
E	27	59	74	84	94	

(2) 탄성계수 및 포아슨비

탄성계수는 응력-변형도 곡선으로 부터 구해지며, 포아슨비는 가로변형도-세로변형도의 비로 구해진다. 석탄폐석 폴리머 콘크리트의 응력-변형도 곡선은 Fig 1과 같으며, 탄성계수 및 포아슨비의 산출결과는 Table 15와 같다

시험결과에서 볼 때 석탄폐석 폴리머 콘크

리트의 응력-변형도 곡선의 기울기는 석탄 폐석의 함량이 적을수록 더 커졌다. 그러나 폴리머 콘크리트의 탄성거동은 최대강도의 60~70% 범위에 있음에 비추어 보아, 이들 요인들이 폴리머 콘크리트의 강도적 특성을 크게 좌우하나, 탄성적 성질에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

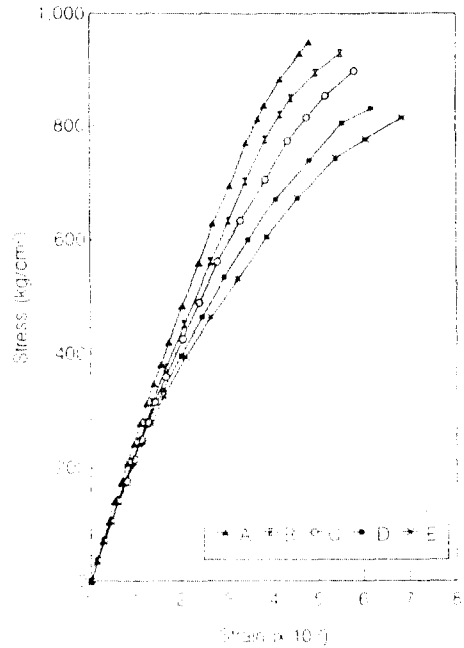


Fig. 1 Stress-strain curves

Table 15. Test results of modulus of elasticity and poisson's ratio

Mix Type	Modulus of elasticity (E, ×10 ⁵ kg/cm ²)		Poisson's ratio (ν)	
	Test values	Mean	Test values	Mean
A	2.38, 2.43, 2.36	2.39	0.22, 0.21, 0.24	0.23
B	2.21, 2.24, 2.23	2.23	0.24, 0.22, 0.23	0.23
C	2.12, 2.15, 2.15	2.14	0.25, 0.24, 0.25	0.25
D	2.10, 2.04, 2.03	2.06	0.22, 0.25, 0.26	0.24
E	1.98, 2.01, 2.03	2.01	0.28, 0.26, 0.26	0.27

4. 결론

본 연구는 산업폐기물인 석탄폐석의 재활용을 목적으로 폴리머 콘크리트용 골재로서의 사용 가능성을 구명키 위해 석탄폐석 함량에 따라 시험체를 제작하여 이에 대한 물리·역학적 특성을 실험적으로 구명하여 보았던 바, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 단위용적중량이 $2.2 \sim 2.3t/m^3$ 이고, 흡수율이 $0.19 \sim 0.21\%$ 로서 기존의 폴리머 콘크리트와 대체적으로 비슷한 값을 나타냈다. 그러나 경화시간과 작업성은 석탄폐석 함량이 증가함에 따라 큰 차이를 나타내 골재량의 75wt.% 이상이 될 때는 경화시간이 현저히 길어지고 작업성이 현격하게 떨어졌다. 따라서 석탄폐석의 함량을 골재량의 75wt.% 이하로 하는 것이 유리하다고 판단된다.

2) 재령별 강도특성 시험결과 기존의 폴리머 콘크리트의 양상과 비슷하게 재령 1일 내에 강도발현이 급속히 일어났으며, 1일 이후에는 그 증가가 둔화되었다. 또한 석탄폐석의 함량이 증가할수록 감소하였으며, 재령 7일에서 압축강도 $813 \sim 952kg/cm^2$, 휨강도 $178 \sim 219kg/cm^2$, 할열인장강도 $94 \sim 114kg/cm^2$ 로 나타났다.

3) 석탄폐석 폴리머 콘크리트에 있어서 σ_f/σ_c 는 $11.5 \sim 11.9\%$ 이고 σ_b/σ_c 는 $21.8 \sim 23.0\%$ 로서 시멘트 콘크리트의 강도비 보다 훨씬 크게 나타났는데, 이러한 결과는 무근으로 구조물이나 제품을 설계할 경우 매우 유리한 조건을 제공해 주는 결과라고 하겠다.

4) 압축에 의한 응력-변형도 시험결과 석탄폐석 함량이 증가함에 따라 탄성계수는 커졌으며, 포아슨비는 작아지는 경향을 보였다. 그러나 탄성계수는 $2.01 \sim 2.39 \times 10^5 kg/cm^2$, 포아슨비는 $0.23 \sim 0.27$ 로서, 이는 고강도 시멘트 콘크리트에 비해 탄성계수가 작고, 포아슨비가 큼을 나타내는 것으로서 인성확보에 있어서 유리한 결과라고 하겠다.

5) 이상과 같은 결과를 통해 볼 때 석탄폐석을 폴리머 콘크리트용 골재로서 충분히

이용할 수 있음은 확인되었으나, 범용화되기 위해서는 내구성이나 장기적 거동 등에 관한 연구가 계속적으로 수행되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

1. Aguado, A., Martinez, A., and Salla, J. M., "Effects of Different Factors in Mixing and Placing of Polymer Concrete", Proceedings of the 4th ICPIC, Darmstadt, Germany, pp. 299-303, 1984.
2. 出村克宣, "建築用レジンコン크리트の開発に關する研究", 日本大學博士學位論文, 1983.
3. Fowler, D. W., "Status of Concrete-Polymer Materials", Proceeding of the 6th ICPIC, Shanghai, China, pp. 10-27, 1990.
4. 한국자원연구소, "석탄 및 석탄폐석 활용 연구", 한국자원연구소 연구보고서, pp. 119-165, 1992.
5. Jung, S. J., "Review of Mineral Waste Utilization", 제1회 국제학술회의 논문집, 강원대 석재복합신소재제품연구센터, pp. 129-135, 1995.
6. 조양훈, "골재의 수급전망과 대책", 제1회 국제학술회의 논문집, 강원대 석재복합신소재제품연구센터, pp. 5-28, 1995.
7. Ohama, Y. and Demura, K., "Relation between Curing Conditions and Compressive Strength of Polyester Resin Concrete", The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 4, No. 318, pp. 60-65, 1980.
8. 박영호 외 2인, "골재의 수급현황과 전망", 한국콘크리트학회지, 제3권 2호, pp. 22-30, 1991.