

건설자재로서 철강슬래그 재활용을 위한 법규 및 규격 현황

Current Status of Regulations and Standards on Steel Slag Recycling as Construction Materials



김동현 Dong-Hyun Kim
(주)포스코 포항제철소 환경자원그룹
E-mail : dieichi@posco.com

1. 서론

철강 공정은 철광석, 혹은 고철로부터 강(쇠)을 만드는 공정을 통칭한다. 철강 공정에서는 다양한 종류의 부산물이 발생하는데, 그 중 가장 대표적인 부산물로 철강슬래그를 꼽을 수 있다. 철강슬래그는 철강 부산물의 75% 이상을 차지하며, <그림 1>과 같이 고로에서 철광석, 코크스 등을 원료로 선철(쇳물)을 만드는 제선공정에서 발생하는 고로슬래그와 전로/전기로에서 선철/고철을 강으로 제조하는 제강공정에서 발생하는 전로/전기로슬래그(합쳐서 제강슬래그로 통칭)로 구분된다.

철강슬래그는 주로 CaO, SiO₂, Al₂O₃ 등으로 구성되어 고로슬래그의 경우 시멘트 혼합재, 슬래그시멘트 원료 등 콘크리트 결합재로, 제강슬래그의 경우 도로 노반재, 성토재, 지반개량재 등 골재로 주로 활용되고 있다. 또한 슬래그 종류별 상이한 특성을 활용하여 새로운 용도를 개발하기 위한 연구가 꾸준히 이루어지고 있으며, 특히 비료 원료의 경우 안정적으로 활용되고 있다.

철강슬래그를 건설자재로 안정적으로 활용하기 위해서는 무엇보다 이와 관련된 법

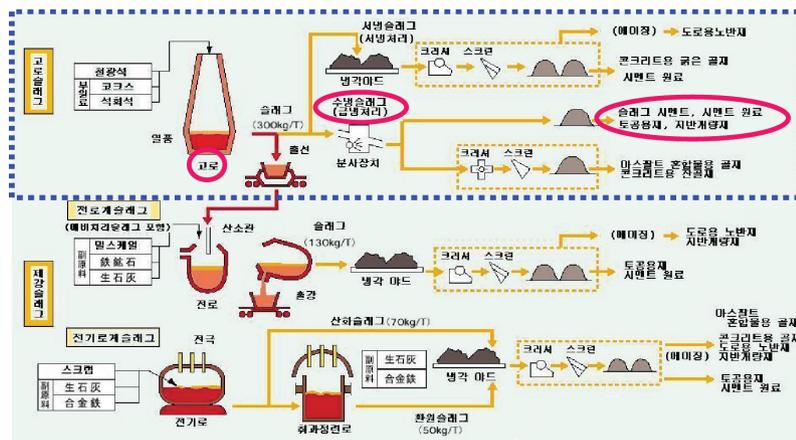


그림 1. 철강 생산 공정에 따른 철강슬래그 종류

령, 규격 등 제도화의 선행이 필수적이라 할 수 있다. 다행히 철강슬래그는 정해진 용도로 사용하는 경우에 대해 그 성능과 환경안정성을 인정받았으며, 그 정해진 용도 각각에 대한 KS규격도 제정되어 있는 상태이다.

본 고에서는 현재 철강슬래그를 건설자재로서 활용하는데 근거가 될 수 있는 국내 제도와 규격에 대해 정리해 보았다.

2. 철강슬래그 재활용 관련 법규 현황

2.1 폐기물관리법

폐기물관리법을 언급하기에 앞서, 2016년 5월 제정된 “자원순환기본법”을 잠시 언급하고자 한다.

이 법은 자원을 효율적으로 이용하여 폐기물의 발생을 최대한 억제하고 발생된 폐기물의 순환이용 및 적절한 처분을 촉진하여 천연자원과 에너지의 소비를 줄임으로써 환경을 보전하고 지속가능한 자원순환사회를 만드는 데 필요한 기본적인 사항을 규정함을 목적으로 제정되어 2018년 시행을 앞두고 있다. 세부적인 시행령과 시행규칙이 제정되고 2018년 본격적으로 시행되면 “자원순환기본법”이 부산물 재활용과 관련한 최상위 법률이 된다.

한편, 현재까지의 최상위 법률이라 할 수 있는 것은 “폐기물관리법”으로, 폐기물의 발생을 최대한 억제하고 발생한 폐기물을 친환경적으로 처리함으로써 환경보전과 국민생활의 질적 향상에 이바지하는 것을 목적으로 1987년 4월 제정되었으며 2016년 7월 일부 개정되었다.

폐기물관리법에서는 폐기물을 분류하고, 분류된 폐기물에 대한 재활용 용도를 규정하며, 용도에 따른 관리기준을 제시하고 있다. 이 법에서 언급하고 있는 폐기물의 종류는 매우 다양하며, 각각의 폐기물에 대한 재활용 용도와 방법은 관련법령 혹은 지침 등을 통해 세부적인 내용을 정의하고 있어 이를 참조하여야 한다. 철강슬래그의 경우 아래에서 서술할 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률”과 “철강슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용지침”에서 구체적인

재활용 용도와 재활용 방법에 대해 정의하였다.

2.2 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률

이 법은 폐기물의 발생을 억제하고 재활용을 촉진하는 등 자원을 순환적으로 이용하도록 함으로써 환경의 보전과 국민경제의 건전한 발전에 이바지는 것을 목적으로 1992년 제정되었으며 2016년 5월 일부 개정되어 오늘에 이르고 있다.

이 법에서는 특히 지정부산물에 대해 다루고 있는데, 지정부산물이란 “제품의 제조·가공·수리·판매나 에너지의 공급 또는 토목·건축공사에서 부수적으로 생겨난 부산물 중 그 전부 또는 일부를 재활용하는 것이 그 자원을 효율적으로 이용하는데 특히 필요한 것으로서 철강슬래그와 석탄재”를 말한다. 지정부산물을 배출하는 사업자는 다음 절에서 설명할 “철강슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용지침”에 따라 재활용하도록 하고 있다.

2.3 철강슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용지침

본 지침은 철강슬래그와 석탄재를 안정적으로 활용하기 위해 2004년 3월 산업부와 환경부 공동으로 제정, 공포되었으며, 2015년 슬래그의 용도에 “요업용 재료”를 포함하는 등 내용이 추가되어 개정된 것이 최신본이다. (산업통상자원부고시 제2015-257호, 환경부고시 제2015-227호)

본 지침에서는 철강슬래그의 재활용 용도, 재활용을 위한 설비의 설치와 운영에 대해 규정하고 있으며, 이와 함께 재활용 방법, 재활용계획의 수립, 재활용 기술개발과 재활용 향상을 위한 공동협력에 대해서도 언급하고 있다.

본 지침 제8조제1항에서는 “철강슬래그를 배출하는 사업자는 철강슬래그의 재활용을 촉진하기 위하여 아래 16가지 재활용 용도에 적합하게 재활용되도록 필요한 공정을 거쳐 가공하여야 한다” 고 언급하고 있으며, 그 16가지 용도는 아래와 같다.

- 가. 시멘트원료
- 나. 콘크리트용 혼화재
- 다. 규산질 비료원료
- 라. 벽돌용·콘크리트용 골재
- 마. 성토용 골재
- 바. 복토용 골재
- 사. 호안공사용 골재
- 아. 공유수면매립지 뒷채움재
- 자. 도로용·아스콘용 골재
- 차. 요업용 골재 및 재료
- 카. 배수층 골재(고로슬래그에 한한다.)
- 타. 미끄럼방지용 골재
- 파. 옹벽 및 뒷채움재
- 하. 기초 잡석용
- 거. 암면 원료
- 너. 제철 원료

또한 제8조제3항에서는 “사업자는 재활용 용도별로 한국산업표준 등 관련 표준 및 설계시공지침을 고려하여 재활용되도록 노력하여야 한다.”고 언급하고 있으며, 이와 관련된 별표를 아래 [표 1]에 나타내었다.

폐기물관리법과 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률에서 언급하고 있는 철강슬래그에 대한 활용 용도와 이의

[표 1] 철강슬래그의 용도별 한국산업표준 등 관련 표준 및 설계시공지침

| 용도 | 관련 표준 및 설계시공지침 |
|---|---|
| 1. 시멘트원료 | 한국산업표준 KS L 5210 또는 KS L 5201 |
| 2. 콘크리트용 혼화재 | 한국산업표준 KS F 2563 |
| 3. 암면 원료 | 한국산업표준 KS L 9102 |
| 4. 콘크리트용 골재 | 한국산업표준 KS F 2544 |
| 5. 도로용·아스콘용 골재 | 한국산업표준 KS F 2535 도로공사 표준 시방서(건설교통부 고시) |
| 6. 케이스 채움재 | 한국산업표준 KS F 2579 |
| 7. 미끄럼방지용 골재 | 한국산업표준 KS F 2532 |
| 8. 요업용 재료 | 용융공정을 통해 생산되는 제품과 관련된 규격 및 설계시공지침 첨부 |
| 9. 철강슬래그를 이용하여 재활용하는 경우가 한국산업표준 등으로 추가로 지정되는 경우에는 해당규격 | |

근거가 되는 관련 표준 및 시공지침에 대해 명시하고 있다는 점에서 본 지침은 철강슬래그 활용에 있어 가장 중요하다 할 수 있다.

[표 1]에서 언급하고 있는 철강슬래그의 건설재료 관련 KS 규격에 대해서는 아래에 다시 자세하게 설명하도록 하겠다.

3. 슬래그 재활용 관련 KS규격

3.1 시멘트 원료, 콘크리트용 혼화재

철강슬래그 중 고로슬래그는 시멘트와 유사한 광물조성을 가지고 있어 건설자재로서 이를 시멘트원료, 콘크리트용 혼화재로 많이 활용하고 있으며, 관련된 3가지 KS규격을 [표 2]에 도시하였다.

KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에서는 시멘트 제조시 고로슬래그, 포졸란, 플라이 애시 중 1종류를 시멘트 중량의 5% 이내에서 혼합분쇄 혹은 단독분쇄 후 혼합할 수 있다고 규정하고 있다.

또, KS L 5210(고로 슬래그 시멘트)과 KS F 2563(콘크리트용 고로슬래그 미분말)에서는 미분쇄한 수재슬래그를 OPC와 혼합하거나(고로 슬래그 시멘트) 단독으로 콘크리트용 혼화재로 활용하도록(고로슬래그 미분말) 하고 있다.

철강슬래그 재활용 실적을 집계하면 위 3개 표준에 따라 콘크리트용 결합재로 활용하는 양이 가장 많으며(2015년 기준 약 1,400만 톤), 또한 활용에 따른 부가가치도 가장 높다.

최근에는 배출권거래제가 시행됨에 따라 CO₂ 발생량을

[표 2] 철강슬래그 KS표준(시멘트 원료 및 콘크리트용 혼화재 활용 관련)

| 표준번호 | 표준명 | 슬래그의 적용 범위 |
|-----------|-----------------|---|
| KS L 5201 | 포틀랜드 시멘트 | 고로 수재슬래그를 시멘트의 5% 이내로 분쇄 후 혼합 |
| KS L 5210 | 고로 슬래그 시멘트 | 고로 수재슬래그를 5~70% 이내로 분쇄 후 혼합(슬래그 혼합비율에 따라 3종류로 구분) |
| KS F 2563 | 콘크리트용 고로슬래그 미분말 | 고로 수재슬래그를 미분쇄(분말도에 따라 3종류로 구분) |

줄이기 위한 방안의 하나로 슬래그 시멘트 제조를 늘리거나 포틀랜드 시멘트에 치환하는 혼합재 치환율을 늘리는 방안 등이 논의되고 있어 향후 고로슬래그의 시멘트 원료나 콘크리트용 혼합재료로의 활용은 더욱 증가할 것으로 전망된다.

3.2 콘크리트용 골재

콘크리트에 사용되는 골재와 관련된 표준은 천연골재에서부터 슬래그 골재까지 10가지 종류가 존재하였으나, 2016년 8월 KS F 2527(콘크리트용 골재) 표준으로 통합되었다. 따라서 KS F 2527에서 10가지 종류의 콘크리트용 골재에 대한 사항을 모두 확인할 수 있다. 그러나 본고에서는 기존 표준번호의 분류에 따라 콘크리트용 슬래그 골재를 구분하여 서술하였다.

철강슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하는 근거가 되는 KS규격은 [표 3]에서 보는 두 가지이다. 규격명에서 알 수 있듯, 고로슬래그와 전기로 산화슬래그에 대해 각각의 규격이 제정되었다.

[표 3] 철강슬래그 KS표준(콘크리트용 골재 활용 관련)

| 표준번호 | 표준명 | 슬래그의 적용 범위 |
|-----------|--------------------|-----------------------------|
| KS F 2544 | 콘크리트용 고로 슬래그 골재 | 고로슬래그의 콘크리트용 굵은 골재, 잔골재 |
| KS F 4571 | 콘크리트용 전기로 산화슬래그 골재 | 전기로 산화슬래그의 콘크리트용 굵은 골재, 잔골재 |

[표 4] 콘크리트용 고로슬래그 골재의 입도에 의한 구분

| 굵은 골재 | | | 잔골재 | |
|-----------------|---------------|---------------------|---------------|--|
| 구분 | 입자 크기의 범위(mm) | 구분 | 입자 크기의 범위(mm) | |
| 고로 슬래그 굵은 골재 4 | 40~20 | 5 mm 전기로 산화 슬래그 잔골재 | 5 이하 | |
| 고로 슬래그 굵은 골재 57 | 25~5 | 25mm 전기로 산화 슬래그 잔골재 | 2.5 이하 | |
| 고로 슬래그 굵은 골재 67 | 20~5 | 12mm 전기로 산화 슬래그 잔골재 | 1.2 이하 | |
| 고로 슬래그 굵은 골재 7 | 13~5 | | | |

[표 5] 고로 슬래그 굵은 골재의 절대 건조 밀도, 흡수율 및 단위 용적 질량에 의한 구분

| 구분 | 절대건조밀도(g/cm ³) | 흡수율(%) | 단위 용적 질량(kg/m ³) |
|----|----------------------------|--------|------------------------------|
| A | 2.2 이상 | 6.0 이하 | 1.25 이상 |
| B | 2.4 이상 | 4.0 이하 | 1.35 이상 |

3.2.1 콘크리트용 고로 슬래그 골재

KS F 2544(콘크리트용 고로 슬래그 골재)는 1981년에 제정된 KS F 2544(콘크리트용 고로 슬래그 굵은 골재)와 1983년에 제정된 KS F 2559(콘크리트용 고로 슬래그 잔골재)를 1997년에 통합한 것으로, 고로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하는 데 대한 품질관리 기준 및 시험방법에 대해 서술하고 있다.

여기에서는 골재의 종류를 입도에 의해 구분하고 있는데 세부적인 분류는 아래 [표 4]와 같다.

또한, 고로 슬래그 굵은 골재의 경우 절대 건조 밀도, 흡수율 및 단위 용적 질량에 의해 아래 [표 5]와 같이 A, B로 구분한다.

3.2.2 콘크리트용 전기로 산화슬래그 골재

KS F 4571(콘크리트용 전기로 산화슬래그 골재)는 전국적으로 연간 300만 톤 이상 발생하는 전기로 산화 슬래그를 천연골재를 대체하여 사용하기 위해 많은 연구와 노력 끝에 2007년 잔골재로만 활용할 수 있도록 제정되었던 표준을 굵은 골재로도 활용할 수 있도록 2011년에 개정한 것이다.

콘크리트용 전기로 산화슬래그 굵은 골재와 잔골재는 입도에 의해 [표 6]과 같이, 절대 건조 밀도 및 알칼리 잠재 반응에 의해 [표 7]과 같이 구분한다.

현재 건설현장에서 콘크리트용 고로슬래그 골재나 전기

[표 6] 콘크리트용 전기로 산화슬래그 골재의 입도에 의한 구분

| 굵은 골재 | | 잔골재 | |
|----------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| 구분 | 입자 크기의 범위(mm) | 구분 | 입자 크기의 범위(mm) |
| 전기로 산화 슬래그 굵은 골재 4호 | 40~20 | 5 mm 전기로 산화 슬래그 잔골재 | 5 이하 |
| 전기로 산화 슬래그 굵은 골재 57호 | 25~5 | 2.5 mm 전기로 산화 슬래그 잔골재 | 2.5 이하 |
| 전기로 산화 슬래그 굵은 골재 67호 | 20~5 | 1.2 mm 전기로 산화 슬래그 잔골재 | 1.2 이하 |
| 전기로 산화 슬래그 굵은 골재 7호 | 13~5 | | |

[표 7] 절대 건조 밀도 및 알칼리 잠재 반응에 의한 구분

| 절대 건조 밀도에 의한 구분 | | 알칼리 잠재 반응에 의한 구분 | |
|-----------------|------------------------------|------------------|---|
| 구분 | 절대 건조 밀도(g/cm ³) | 구분 | 개요 |
| N | 3.1 이상 4.0 미만 | A | 알칼리 잠재 반응 시험 결과가 "무해"라고 판정된 것 |
| H | 4.0 이상 4.5 미만 | B | 알칼리 잠재 반응 시험 결과가 "무해하지 않다"라고 판정된 것. 또는 이 시험을 실시하지 않은 것 |

로 산화 슬래그 골재의 활용은 극히 미미하지만, 향후 자연골재, 부순 골재 등 콘크리트용 골재의 채취로 인한 자연환경 훼손을 방지하고, 골재 수급의 안정성 확보를 위해 콘크리트용 골재로서 철강슬래그 활용량은 점점 증가할 것으로 예상된다.

3.3 도로용 골재 등

시멘트 원료, 콘크리트용 혼화재료 및 콘크리트용 골재 용도 이외에 철강슬래그와 관련된 KS표준은 [표 8]과 같으며, 각 용도별 특성에 대해서는 아래에 별도로 서술하였다.

3.3.1 아스팔트 표면 처리용 부순 골재, 부순 슬래그 및 골재

본 규격은 아스팔트 표면 처리용 부순 골재, 부순 슬래그 및 골재의 품질에 대해 규정하기 위해 1971년 제정되었다. 본 규격은 철강슬래그를 주력으로 다루고 있지는 않으나 철강슬래그를 포함한 부순 골재를 사용할 경우의 품질

[표 8] 철강슬래그 KS표준(도로용 골재 등)

| 규격번호 | 규격명 |
|-----------|--------------------------------|
| KS F 2532 | 아스팔트 표면 처리용 부순 골재, 부순 슬래그 및 골재 |
| KS F 2535 | 도로용 철강슬래그 |
| KS F 2579 | 케이스 채움재용 슬래그 |

관리 기준에 대해 언급하고 있다.

특이할 점은, 2007년 개정 과정에서 도로 미끄럼 방지용 골재에 관한 사항을 적용범위에 넣으려고 하였으나 심의 결과 보류되었다.

3.3.2 도로용 철강슬래그

KS F 2535(도로용 철강슬래그)는 도로의 기층, 보조 기층 및 가열 아스팔트 혼합물로 철강슬래그를 활용하기 위

[표 9] 도로용 철강슬래그 골재 구분

| 종류 | 호칭 | 용도 |
|---------------------|--------|-------------------------------|
| 수경성 입도 조정 고로 슬래그 | HMS-25 | 기층용 |
| 입도 조정 철강 슬래그 | MS-40 | 기층 및 보조 기층용 |
| | MS-25 | |
| 크러셔 런 철강 슬래그 | CS-40 | 보조 기층용 |
| | CS-30 | |
| | CS-20 | |
| 단립도 제강 슬래그 | SS-20 | 표층 가열 아스팔트 혼합물용 |
| | SS-13 | |
| | SS-8 | |
| | SS-5 | |
| 입도 조정 제강 슬래그 | MSS-40 | 아스팔트 안정 처리 기층 가열 아스팔트 혼합물용 |
| | MSS-25 | |
| 크러셔 런 제강 슬래그 | CSS-30 | 아스팔트 안정 처리(가열 혼합물)용 |
| | CSS-20 | |

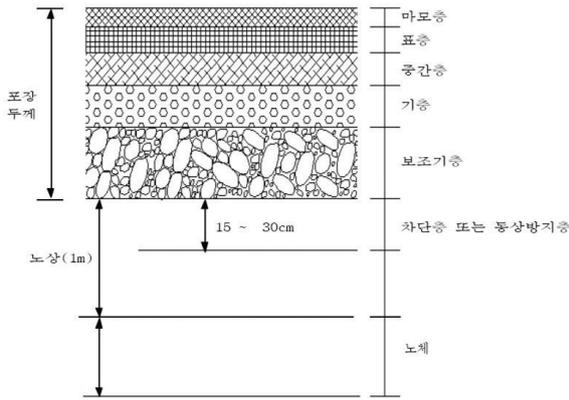


그림 2. 도로포장 단면도(예)

해 1987년 3월 제정되어, 슬래그에 대한 품질평가방법이나 도로용으로 활용 가능한 슬래그를 일부 추가하여 오늘에 이르고 있다.

본 규격에서는 도로용 철강슬래그 골재를 [표 9]와 같이 구분하고 있다.

이해를 돕기 위하여, 일반적인 도로포장의 단면을 <그림 2>에 도시하였다. [표 9]와 <그림 2>에 따르면 철강슬래그를 도로용 골재로 활용하는 경우 입도별로 분류하여 도로의 중간부에 있는 기층, 보조기층에 사용하거나, 아스팔트용 골재의 형태로 표층에 적용하는 것이 일반적이다.

도로용 철강슬래그 골재의 종류 각각에 대한 설명은 본 고에서는 생략한다.

3.3.3 케이스ن 채움재용 슬래그

KS F 2579(케이스ن 채움재용 슬래그)는 비중이 높아 중량물의 조성에 적합한 철강슬래그 골재를 케이스น 채움재로 사용할 경우 품질관리기준을 제시하기 위해 2002년 제정되었다.

본 규격에서 언급하고 있는 철강슬래그는 고로슬래그와 전로 급랭 슬래그로, 전로 급랭 슬래그의 경우 최근 도입된, 물에 의해 전로 슬래그를 빠르게 냉각시키는 방법을 채택하여 유리석회 함량이 기존 전로 서냉 슬래그 대비 1/3~1/10 수준으로 낮아 팽창 안정성이 우수하여 에이징

[표 10] 케이스น 채움재용 철강슬래그 구분

| 종류 | 절대건조밀도 (kg/m ³) | 단위 용적 질량(kg/L) |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 입도 조정 고로 슬래그 | HMS-70 | 고로 슬래그 단독 |
| | HMS-40 | |
| 입도 조정 전로 급랭 슬래그 | RCS-25 | 전로 급랭 슬래그 단독 |
| 입도 조정 철강 슬래그 | MS-70 | 고로슬래그 및 제강슬래그를 사용 목적과 품질 기준에 맞게 혼합한 것 |
| | MS-40 | |

할 필요 없이 케이스น 채움재용 슬래그로 활용할 수 있음이 입증되어 2013년 이를 포함하여 개정되었다.

본 규격에서는 케이스น 채움재용 철강슬래그를 [표 10]과 같이 분류하고 있다.

4. 맺음말

철강슬래그는 그 화학성분상 강점과 물리적 특성을 잘 이용하여 건설 산업에서 유용하게 활용할 수 있는 재료로, 국내에서도 꾸준한 연구개발과 상용화에 대한 노력이 더해져 지금에 이르고 있다. 또한 급랭 전로 슬래그와 같이 비교적 최근에 도입된 슬래그 처리 기술을 통해 생산된 슬래그에 대해서도 각각의 특성에 맞게 재활용하고자 하는 시도가 이어지고 있고, 품질과 환경안정성에 대한 검증이 완료된 경우 KS표준을 제정 혹은 개정하는 등의 작업을 통해 하나의 제품으로 인정받고 있다.

그러나 철강슬래그를 활용하는 방법이 현재 법령에서 인정하거나 KS에서 인증하는 종류에 국한하는 것은 아니라고 생각되며, 아직도 철강슬래그를 사회에 유용한 재료로 활용하기 위한 방안이 많이 남아 있을 것이라고 믿어 의심치 않는다.

향후에도 슬래그를 유용하게 활용하기 위한 방법들이 속속 개발되기를 바라며, 나아가 5년 뒤, 10년 뒤에는 동일한 주제로 더 풍성한 내용을 채울 수 있었으면 한다.

담당 편집위원 : 이건철(한국교통대학교)