

# 유럽연합 환경기준 충족을 위한 자동차폐기물 내의 구리와 니켈 재활용에 대한 연구

이현창<sup>1\*</sup>, 박우철<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>강원대학교 기계자동차공학부 교수

## Recycling of Copper & Nickel in ASR to satisfy the EU ELV Directive

Lee, HyunChang<sup>1\*</sup> and Park, Woo-Cheul<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical and Automobile, Kangwon National University

**요 약** 해마다 전 세계적으로 약 4천만 대, 우리나라에서는 약 55만 대의 자동차가 그 수명을 다하고 폐차장으로 보내지고 있다. 폐차에 의한 환경오염을 줄이기 위하여 각 국은 규제를 강화하고 있으며 EU(European Union)에서는 현재 84%에 머무르고 있는 재활용율을 2015년까지 95%로 올릴 것을 요구하고 있다. 자동차 중량의 75%를 차지하는 철은 95% 이상의 높은 재활용율을 보이고 있으나 나머지 25%를 구성하는 플라스틱, 유리 고무 등의 비금속류와 구리, 니켈 알루미늄 등의 비철금속류는 재활용율이 이에 미치지 못하고 있다. 따라서 95%의 재활용 요구를 만족시키기 위해서는 비철금속류의 재활용이 획기적으로 향상되어야 한다. 본 논문에서는 자동차에서 가장 많이 사용되는 비철금속인 구리와 니켈 재활용 향상을 통하여 전체 재활용율 변동을 산출하고자 한다.

**Abstract** About 40 million automotive vehicles all over the world and 0.55 million in Korea were retired from use annually. Every nation is desperate to decrease environmental pollution by ELVs(End of Life Vehicles) and try to tighten the regulations. Europe passed laws requiring OEMs to increase vehicles' recovery and reuse rate to 95% by 2015 from current 84%. The ferrous parts, 75% of total automobile weight, are almost recycled whereas the remaining 25% of the non-metal -predominantly plastics as well as form, glass and rubber- and the non-ferrous materials -copper, nickel and aluminium- end up in landfills. The recycling status of non-ferrous materials represented by copper and nickel is reviewed and how much the recycling rate will be improved is calculated.

**Key Words** : ELVs, Recycling, Copper, Nickel, ASR

### 1. 서론

자동차산업의 규모가 커갈수록 폐차 (ELVs: End of Life Vehicles)에 의한 환경오염 문제가 큰 사회적 관심사로 떠오르고 있으며 각국은 점점 더 엄격한 규제를 통하여 오염을 최소화하고 자원의 재활용은 극대화하는 친환경 시스템을 구축하고자 노력하고 있다. 우리나라에서는 1992년 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」을 통해 자원의 효율적 이용과 폐기물발생 감량 및 재활용 촉진을 위한 법적인 장치를 마련하였다. 또한 1995년 제

정된 「자동차관리법」에서 폐차에 대하여 규정하여, 불량품 사용에 의한 차량 안정성 저하를 막고, 환경오염을 방지하기 위한 제도적 장치를 마련되었다[1].

2000년 유럽연합 의회에서 그동안 폐차 관련법률 중에 가장 광범위하고 엄격한 내용이 담긴 법률(2000/53/EC)이 제정되었으며 2002년에는 폐전자제품에 관하여 같은 성격의 법률(2002/96/EC, WEEE: Waste Electrical and Electronic Equipment)이 제정되었다. 이에 따라 우리정부도 엄격해진 유럽연합의 새로운 기준에 맞추어 2007년 「전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에

\*교신저자 : 이현창(hyunlee@kangwon.ac.kr)

접수일 09년 04월 24일

수정일 (1차 09년 06월 23일, 2차 09년 06월 29일)

게재확정일 09년 07월 22일

관한 법률」을 제정하였다.

한편 이러한 정부의 입법노력과 병행하여 기업들도 자원리사이클에 많은 관심과 노력을 기울이고 있다. 현대·기아차의 경우 1998년부터 자동차설계, 생산, 사용 및 폐기까지 환경적 영향을 파악하고 환경부담을 최소화하는 전과정 평가시스템(LCA: Life Cycle Assessment)을 도입하였다. 이 시스템은 신차를 개발할 때 차량의 환경성을 기존의 동급차량과 비교하고 그 결과를 친환경차 개발을 위한 데이터로 이용하는 것으로 최근에 출시된 제네시스의 경우 LCA평가에서 지구온난화 17.5%, 산성화 13.4%, 광화학스모그 18.6%, 자원고갈 14.8% 등 환경성이 개선된 것으로 나타났다.

현재 우리나라 폐차 재활용분야는 정부의 정책수립과 시행보다는 폐기물 사업자의 경제적 동기와 해외수출을 위해서 해외시장의 재활용율 요구조건을 만족시켜야 하는 자동차 완성메이커의 노력에 의해서 유지되는 것으로 보인다. 그러다보니 현재 우리나라는 폐차 재활용에 대한 체계적인 자료나 연구가 절대적으로 부족하다. 그러나 점차 높아가는 각국의 환경에 대한 관심과 규제에 대처하고 우리나라에서 발생하는 폐차로부터 우리의 환경을 보전하기 위해서 보다 정확한 통계를 바탕으로 정부와 학계 그리고 관련 업계가 힘을 합쳐야 할 것으로 생각된다. 가장 큰 자동차시장을 형성하고 있는 미국에서는 자동차 제작업체로 구성된 USCAR (United States Council for Automotive Research) 산하의 VRP (Vehicle Recycling Partnership)에서 미국에서 생산되어 전 세계에서 판매되는 자동차의 재활용을 위한 경제적, 기술적 측면의 연구를 주도하고 있다[2].

현재 표 1과 같이 세계적으로 매년 약 4,000만 대의 폐차가 나오고 있으며 우리나라에서는 최근 10년 표 2와 같이 50~55만 대의 폐차가 매년 나오고 있다. 2008년에는 65만 4천 대로 급격한 증가를 보였으며 이는 리터당 2천원에 가까운 고유가와 국제 금융위기로 인한 경제 한파로 인하여 약 10만 대의 차가 추가로 폐차된 것으로 보인다. 폐차의 95%는 재활용을 위한 순환 사이클로 유입되고 있으며 무게비로 약 84%의 재료가 재활용되고 있다. 예를 들어 2005년의 경우 미국의 철강산업에서는 약 1,400만 ton의 강을 폐차로부터 재활용했다. SRI(Steel Recycling Institute)의 추산에 따르면 이는 폐차에서 나오는 강의 97%가 재활용 됐음을 의미한다. 이와 같이 대부분의 철이 재활용되고 있는 것에 반하여 비철류는 재활용율이 낮아 세계적으로 일년에 약 1,000만 ton 씩 매립되고 있다[3].

[표 1] 2007년 전 세계 폐차통계 (단위: 만대)

국 가	미국	유럽 연합	영국	일본	한국	전체
폐차수	1,200	1,400	200	500	57	4,000

[표 2] 우리나라 폐차통계 (단위: 대)

년 도	사업용	비사업용	총계
2001	n/a	n/a	461,621
2002	37,157	425,839	462,996
2003	37,196	512,267	549,463
2004	33,658	475,650	509,308
2005	25,940	503,058	528,998
2006	21,545	507,295	528,840
2007	20,868	549,853	570,721
2008	29,427	625,449	654,876

한국자동차폐차협회 2009년 1월 통계

한편 유럽공동연합(EU)은 2015년까지 현재 84% 대의 재활용율을 95%까지 높일 것을 요구하고 있으며 미국에서도 EPA(Environmental Protection Agency)의 주도로 각 주를 중심으로 재활용에 대한 요구조건을 강화하고 있다. 그러한 요구조건을 충족시키기 위해서는 현재 충분히 재활용되지 못하고 파쇄잔여물(ASR: Automotive Shredder Residue)의 형태로 매립되고 있는 플라스틱류와 비철금속의 재활용이 현저히 향상되어야 할 것이다. 현재 폐기되는 자동차 재활용에 대한 연구는 대부분 플라스틱류의 재활용에 집중되어 있어 비철금속의 재활용에 대해서는 자료가 거의 없는 실정이다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 토대로 비철금속 중 구리와 니켈을 중심으로 현재 재활용에 대한 현황과 문제점 그리고 앞으로의 해결책에 대하여 논의하고자 한다.

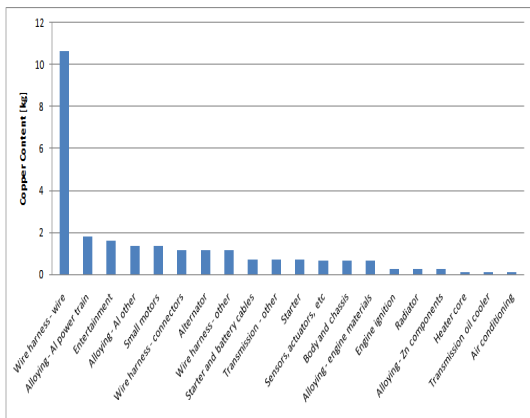
## 2. 구리부품의 사용과 재활용

### 2.1 구리의 특성과 자동차부품 사용

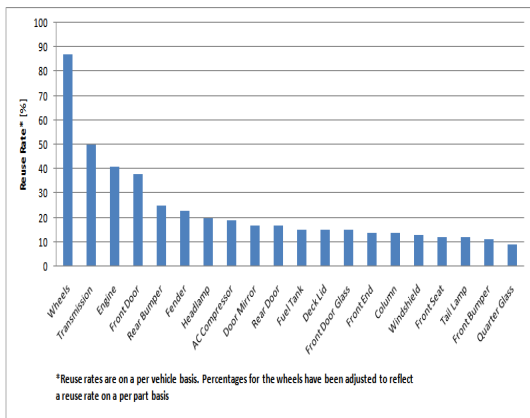
구리는 7천년 전부터 인류가 사용하였으며 철, 알루미늄 다음으로 널리 쓰이는 금속이다. 자동차에서 구리가 사용되는 부품으로는 wire, starter motor, lights, windows, anti-lock braking system (ABS), air bags, entertainment systems, navigation system 등이 있으며 높은 전기전도도와 강한 내부식성이 구리가 널리 사용되는 이유이다. 그림 1은 자동차 부품에서 사용하는 구리의 양을 나타내고 있으며 1998년 자동차 한 대당 약 25.2 kg이 사용되었으

며 그 중 와이어하네스(wire harness - wire, connector, other)에서 13.1 kg이 사용되어 가장 많은 구리가 사용되고 있음을 보여주고 있다[4].

수명이 다하여 폐차장으로 이동된 차량은 우선 해체업자(dismantler)에 의하여 중고 부품으로서 사용가능한 부품이 분리된다. 그림 2는 중고 부품으로서 재활용되는 비율을 보이고 있으며 wheel, transmission, engine 등은 40% 이상의 높은 재활용율을 보이고 있으나 wind shield, front seat, front bumper 등은 10% 내외의 낮은 재활용율을 보이고 있다. 재활용율이 비교적 높은 transmission(50%)과 engines(41%)는 각각 0.77 kg과 0.63 kg의 구리를 평균적으로 사용하고 있다. [4] 통계가 만들어진 1998년 당시 평균 25.23 kg의 구리가 차량 당 사용된 것에 비하면 중고부품 사용으로 얻어지는 즉 transmission과 engine의 재활용으로 인한 효과는 1.4 kg으로 비교적 크지 않다고 말할 수 있다.



[그림 1] 자동차 부품별 구리의 사용량 (CDA, 1998)



[그림 2] 자동차 부품별 재활용율 (Duranceau, 1999)

표 3은 1999년도 미국의 자동차산업에서 사용한 재료의 양으로서 구리의 경우 550,000 ton이 사용되었으며 미국에서 사용한 구리의 11.8%를 자동차산업에서 사용하였다. 2005년도에는 1,195만 대의 차를 만드는데 364,000 ton의 구리를 사용하여 한 대당 약 30 kg의 구리를 사용하였다. 이는 현재 폐차되고 있는 16.7년 전 모델이 약 20 kg의 구리를 평균 사용한 것에 비하여 약 10 kg이 증가한 양이다[2]. 이와 같이 자동차 생산에서 사용되는 구리의 양은 전자제품이 포함된 선택사양과 전자제어의 증가로 인하여 점점 더 늘어가는 추세이며 예로 50년 전에는 배선의 길이가 약 45 m 이었으나 현재는 평균 1000 m에 이르고 있다. 표 4는 최근 4년간 미국과 한국에서 사용한 구리의 양을 보여주고 있다. 우리나라 자동차산업에서 사용된 구리의 양을 차량 당 30 kg으로 환산하여 본다면 2008년도 383만(내수 115만, 수출 268만) 대의 자동차를 국내에서 생산하기 위해서 약 115,000 ton이 사용되었으며 이는 우리나라 구리 사용량의 약 13.5%에 달한다.

[표 3] 1999년 미국의 자동차산업에서 사용한 재료

Material	자동차산업의 사용량 (tons)	전체사용량에 대한 자동차산업의 사용량비율 (%)
Aluminum	3,969,000	32.2
Copper	550,000	11.8
Iron	3,101,000	31.3
Lead	1,384,240	32.2
Plastic	1,778,660	4.1
Rubber	2,592,700	66.9
Steel	16,771,000	15.8
Zinc	308,200	23.0
Other Materials	1,845,000	n/a
Total	32,299,800	n/a

Ward's Motor Vehicle Facts & Figures 2000, Ward's Communications, Southfield, Michigan

[표 4] 한국, 미국의 구리 소비량 (단위: 천 Ton)

	2005년	2006년	2007년	2008년
한국	868	828	857	852
미국	2270	2127	2159	1913
세계	16,638	16,974	18,098	18,155

World Metal Statistics, 2009 Feb.

## 2.2 구리의 재활용

각 나라마다 그 나라의 여건에 따라 재활용에 대한 다

른 접근법을 갖고 있다. 구리와 같은 비철금속의 회수방법에서도 미국은 파쇄기(shredder)로 이동하기 전에 폐차의 분해 단계에서 해체업자(dismantler)에 의한 분류와 수거에 초점을 맞추고 적절한 재료의 선택, 코딩시스템의 개발, 분해공구의 개선을 통한 분해의 용이함에 대한 연구에 관심을 쏟고 있다. 이에 반하여 일본은 파쇄기를 거쳐 나온 ASR을 태워 에너지와 구리를 회수하는 것에 초점을 맞추고 있다. Nissan은 일본 내에 26 개의 에너지 회수플랜트를 가지고 있으며 2005년 72,000 톤의 재료를 처리하였다. Toyota는 ASR을 전기로에서 사용하여 구리와 같은 물질을 제거하도록 하는 해체(dismantling) 시스템을 설계하였다고 2005년 보고하였다[5].

자동차에서 사용된 구리는 파쇄(shredder) 업자에 의하여 분쇄된 후 색선별(color sorting), 비중선별(density separation) 등에 의하여 분리수거, 재활용되고 일부는 다른 재료에 용해되어 있는 상태로 재활용 경로를 순환하게 되며 나머지는 ASR의 형태로 매립된다. 매립되고 있는 ASR의 약 3 wt%가 구리인 것으로 추정되며 이는 대부분 전자기기의 배선에 사용된 것으로 볼 수 있다. 우리나라의 경우 연간 55만 대의 폐차가 나오는 것을 기준으로 환산하면 약 14만 ton의 ASR이 매립되고 있으므로 약 4,200 ton의 구리가 매립으로 사라진다고 볼 수 있다. 현재 폐차되고 있는 차량들의 제조 시 차량 당 약 20 kg의 구리가 사용되었음을 고려하면 배출되는 총 11,000 ton의 구리 중 약 38%가 재활용되지 못하고 매립으로 사라지고 있다. 이를 차량 한대당의 양으로 환산하면 약 7.6 kg에 이른다.

현재 구리의 재활용율을 높이는데 있어서 가장 걸림들은 와이어하네스의 분리 문제이다. 같은 모델이라도 차마다 선택사양이 다르고 차종마다 배선이 다르다보니 자동화된 제거시스템을 구축하는 데에 기술적인 한계가 있으며 따라서 현재는 수작업에 대부분 의존하고 있다. 그러나 노동집약적인 방법으로는 대부분의 국가에서 경제성을 갖기 어려우며 이러한 이유로 구리의 재활용율이 다른 재료보다 낮은 상황이 개선되지 못하고 있다.

현재 일본에서 시행하고 있는 ASR 소각에 의한 에너지 회수와 구리의 재활용은 대규모 인프라 구축에 관심을 갖고 있는 업체가 나타나기 전에는 이루어지기 어렵다. 따라서 폐차가 파쇄에 이르기 전에 최대한의 와이어하네스가 제거될 수 있는 방안을 찾는 것이 현실적인 대안이다. 와이어하네스가 대부분 수작업으로 이루어지는 현실을 감안한다면 미국의 접근법을 참고로 하여 자동차 완성업체가 배선의 설계를 표준화하고 효율적인 분해공구를 개발하여 공동 이용하는 방법이 현실적인 대안이라고 판단된다.

### 3. 니켈부품의 사용과 재활용

#### 3.1 니켈의 특성과 사용

니켈이 비철금속 중에 가장 비싼 가격에도 불구하고 사용되는 이유는 니켈합금이 갖는 내식성 때문이다. 부식에 강한 성질은 제품의 수명을 연장시켜 줌으로써 비싼 가격에도 불구하고 그 이용을 합리화시켜 준다. 표 5에 대표적인 비철금속의 최근 가격을 나타내었다. 또한 높은 내부식성은 제품의 수명이 다하여도 대부분 원래의 성분이 제품에 그대로 남아 재활용의 기회를 높여 준다는 의미이기도 하다. 또한 비싼 가격은 재활용에 대한 강한 동기부여가 되어 다른 비금속에 비하여 재활용율이 높은 원인이 된다. 니켈의 약 60%는 스테인리스스틸의 제조에 사용된다. 일반 강에는 1-3%, 스테인리스스틸에는 8-14%, 특별한 합금에는 15-40%의 니켈이 사용되며 항공이나 전자산업 용도의 특수합금에는 90% 까지 니켈이 사용되기도 한다[6]. 다음 표 6은 최근 몇 년의 미국과 한국의 니켈소비량을 보여주고 있다.

[표 5] 주요 비철금속 년도 별 평균가격 (단위: USD/ton)

	구 리	니 켈	알루미늄	주 석	아 연	al 합금
2004	2,865	13,823	1,715	8,503	1,048	1,558
2005	3,678	14,737	1,898	7,376	1,381	1,646
2006	6,720	24,243	2,569	8,772	3,275	2,290
2007	7,117	37,216	2,637	14,529	3,242	2,191
2008	6,955	21,103	2,572	18,498	1,874	2,251

한국비철금속협회, 2009년 1월 자료

[표 6] 한국, 미국 니켈소비량, (단위: 천 Ton)

	2005년	2006년	2007년	2008년
한 국	117	93	71	73
미 국	135	144	118	121
세 계	1,295	1,365	1,352	1,315

World Metal Statistics, 2009 Feb.

#### 3.2 니켈의 재활용

자동차에서 사용된 니켈 중 약 40 %는 스테인리스스틸을 통하여 재활용 되고 약 40 %는 강, 구리, 동, 알루미늄 등 다른 금속과 합금의 형태로 재활용된다고 보고되어 있다[3]. 니켈의 재활용에 가장 중요한 스테인리스스틸 스크랩(scrap)의 국제가격이 고가이기 때문에 스테인리스스틸 재활용을 통한 니켈의 재활용은 매우 활발하다. Stuechli는 현장조사를 통하여 매립물에 포함되어있는 니

켈의 양이 0.4 g/kg - 2.8 g/kg으로 다양하며 평균 1.2 g/kg이라는 것을 밝혀내었다[7]. 해마다 1,000만 ton의 ASR이 매립된다고 할 때 약 12,000 ton의 니켈이 매립되어 사라진다는 뜻이다. 이는 미국의 자동차산업에서 일년에 약 128,600 ton에서 73,500 ton의 니켈이 사용된다고 할 때 약 9% - 16%의 니켈이 매립으로 사라지고 있는 것이다[8]. 일반적으로 ASR은 자동차, 백색가전, 그리고 기타에서 나오기 때문에 실제로는 자동차에서 사용된 니켈의 약 20 %가 매립된다고 보아야 할 것이다. 정리하면 자동차에서 사용된 니켈 중 40 %는 스테인리스스틸 재생을 통하여 재활용되고 다른 금속에 합금의 형태로 존재하는 40 %는 합금의 재생을 통하여 재활용되며 나머지 20 %가 매립을 통하여 재활용루프에서 사라지게 된다.

우리나라의 경우 연간 55만 대의 폐차가 나오는 것을 기준으로 환산하면 약 14만 ton의 ASR이 매립되고 있으므로 약 170 ton의 니켈이 매립으로 사라진다고 볼 수 있다. 이는 차량 한대당 양으로 환산하면 0.31 kg에 해당한다. 340 ton의 니켈이 스테인리스 재생을 통하여 재활용되고 나머지 340 ton은 다른 금속의 화합물의 형태로 재활용되고 있다고 추정된다.

니켈이 재활용되지 못하는 사례는 부품 내에 니켈의 함유량이 너무 적어 분리와 재활용이 기술적으로 불가능하거나 경제성이 없는 경우이다. 대표적인 예로는 니켈이 코팅되어있는 나사, 스테인리스 스푼, 전자부품 내의 니켈합금 등을 들 수 있다. 이런 것들은 어쩔 수 없이 매립되고 있으며 환경에는 손실이 되고 있다. 그러나 니켈은 화학적으로 매우 안정적인 구조를 가지고 있어 스테인리스스틸이나 크롬-니켈 코팅의 형태로 매립된다 하더라도 환경에 크게 재앙이 되지는 않는 점은 다행이라 할 수 있다.

#### 4. 결론

유럽연합에서 요구하는 재활용율을 달성하기 위해서는 비철금속의 재활용이 획기적으로 향상되어야 한다. 그러나 국내에서는 그동안 비철금속의 재활용율에 대한 연구나 자료가 전혀 축적되지 않았다. 본 연구에서는 구리와 니켈로 대표되는 비철금속의 재활용 현황을 조사하고 이의 향상이 전체 재활용율의 향상에 미치는 영향을 산출하고자 하였다. 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 구리와 니켈의 재활용 향상을 통하여 전체 재활용율을 약 1% (구리 7.6 kg, 니켈 0.31kg) 향상시킬 수 있다.
- 2) 구리의 경우 폐자동차에서 나오는 구리의 약 62%

가 재활용되고 38%가 폐기물 매립을 통하여 사라지며 55만대 폐차를 기준으로 연간 약 4,200 ton의 구리가 매립으로 사라지고 있는 것으로 추산된다.

- 3) 구리의 재활용율을 높이기 위해서는 자동차 부품 중 구리가 가장 많이 사용되면서 수거율은 가장 낮은 와이어하네스의 효율적 제거기술이 확보되어야 할 것으로 판단된다. 차량 설계 시 차종 간, 모델 간 배선설계의 표준화가 필요하며 효율적인 제거를 위한 공구도 마련되어야 한다.
- 4) 니켈의 경우 스테인리스 재활용을 통하여 비교적 높은 재활용율을 보이고 있으며 연간 약 850 ton의 니켈이 배출되고 그 중 80 %가 재활용 되고 20%에 해당하는 약 170톤이 매립되고 있는 것으로 추산된다.

미국과 한국, 양국 사이의 폐기물 성분 특성에 대해서는 추후 심도있는 연구가 이루어져야 한다. 소각로를 이용하여 에너지와 구리를 회수하는 방법에 대해서도 앞으로 경제성과 기술적 검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] 오재현, “자동차 리사이클링의 현황과 과제”, 한국자원리사이클링학회지, 제10권, 제3호, pp. 3-13, 2001.
- [2] Emilio Brahmst, "Copper in End-of-Life Vehicle Recycling" Center for Automotive Research, internal paper, 2006.
- [3] Nickel Institute, "Recycling of Nickel-containing Materials in Automobiles", [http://www.nickel institute.org /index.cfm/ci\\_id/12515/](http://www.nickel institute.org /index.cfm/ci_id/12515/) 2007.
- [4] Claudia Duranceau, "Automotive Recycling as reuse: Investigation to Establish the Contribution of Reuse on Recyclability", SAE Technical Paper Series, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, 1999.
- [5] Toyota Motor Corporation, Environmental Affairs Division, "Environmental and Social Report 2005"
- [6] Nickel Institute, "Nickel in Waste Streams", [http://www.nickel institute.org/index.cfm/ci\\_id/6561/la\\_id/1.htm](http://www.nickel institute.org/index.cfm/ci_id/6561/la_id/1.htm), 2007.
- [7] Stuecheli A., "Thermal Treatment of Shredder Residues", Colorado School of Mines Workshop, Recycling Metals from Industrial Wastes, June 2002.
- [8] Nickel Institute, Research Study Report commissioned by the Nickel Institute, 2003.

**이 현 창(HyunChang Lee)**

[종신회원]



- 1981년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 5월 : Univ. of Maryland 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 5월 : Old Dominion Univ. 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

System Identification, 진동 및 소음 제어, 구조해석, ELV Recycling

**박 우 철(Woo-Cheul Park)**

[정회원]



- 1987년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1997년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

지능형 구조물 및 시스템 설계 및 정밀 제어, 진동 및 소음 제어, 친환경기계설비