

## Al 스크랩으로 부터 금속회수에 관한 연구

김준수 · 임병모 · 윤의박\*

한국자원연구소, 자원활용소재연구부

\*한양대학교 공과대학 금속공학과

## A Study of the Metal Recovery from the Aluminium Scrap

Joon-Soo Kim, Boung-Mo Lim and Eui-Pak Yoon\*

Korea Institute of Geology, Mining & Materials,

Minerals Utilization and Materials Division

\*Department of Metallurgical Engineering, Hanyang University

### 요 약

본 연구에서는 Al 스크랩으로 부터 재생지금 제조시 시료의 예비처리, 용제첨가 및 용해분위기가 Al 회수율에 미치는 영향을 조사하였다. 실험결과에 따르면 Al 드로스는 용탕표면에서의 산화반응에 의해 발생하였다. 예비처리의 영향에 따르면 탈지하지 않고 압착한 칩 bale 시료의 경우에는 압착하지 않은 칩 시료에 비해 약 14 %의 회수율이 증가하였으며, Al seed 용해공법을 채택하는 경우에는 탈지하지 않고 단지 세편과 압착만을 해하여도 97 %의 높은 회수율을 얻을 수 있었다. Al 스크랩 용해시 7 wt% 까지 첨가된 염에 의해 회수율은 최대 95 %까지 증대되었으며, 탄소 및 질소분위기에서도 역시 회수율은 증가하였으나, 염과 탄소의 혼합분 첨가시 과잉 첨가된 탄소는 오히려 회수율을 감소시켰다.

### ABSTRACT

In the preparation of reclaimed aluminium ingot from aluminium scrap, the aluminium recovery was studied as a function of the preliminary treatment of samples, addition of flux and melting atmosphere.

Al dross is produced by an oxidation reaction at the surface of liquid metal. The recovery of Al metal increases up to maximum 95% by adding salt up to 7%. The recovery of Al metal in the compacted chip bale without oil removal increase about 14% compared to non-compacted chip. In the case of the Al seed melting process, the recovery of Al metal of the crushed and compacted chip bale is 97%. In melting of aluminum scrap under the atmosphere of carbon and nitrogen gas, the recovery of Al metal increase, but it is decreased when the mixture of salt and carbon powder is added excessively.

### 1. 서 론

세수(sash), 가공 칩(chip) 및 각종 캔(can)을 포함하는 다양한 형태로 존재하는 Al 스크랩은 용해하여 재생지금으로 재활용하게 되는데, Al은 산화가 잘되는 금속이기 때문에 용해시 용탕표면에 Al 드로스(dross)라 불리우는 Al 산화물층이 형성된다<sup>1)</sup>. 이를 통해 상당량의 Al의 손실과 환경오염이라는 문제점이 유발되며, 이를 드로스를 처리하기 위해 많은 비용과 시간을 낭비하고 있다<sup>2)</sup>.

따라서 선진 각국에서는 이에 관한 연구가 다방면에 걸쳐 진행되고 있다. 특히 미국, 캐나다 등 주요 Al 생산국에서는 Al 2차지금 생산시 드로스 발생 억제기술에 많은 관심을 갖고 기술개발을 추진하고 있으며 상당한 성과를 거두고 있는 실정이다. 그러나 국내에서는 Al 생산량이 작고 영세한 규모의 재생지금 제조업체들이 많았기 때문에 지금까지는 이에 관한 연구가 매우 미진한 상태이나, 향후에는 스크랩을 처리하는 Al 재생산업이 국내에서도 활성화 될 것이므로 자원재활용과 환경보존의 측면에서 이에 관한 연구가 활발해

**Table 1.** Chemical compositions of salt used as flux.

Element	(unit: wt%)					moisture
	Na	Cl	C	F	others	
Content	30.8	24.3	18.3	9.2	17.2	0.2

10분 동안 질소가스를 다량 휘입하여 질소분위기를 형성시킨 후 시료를 용해하였는데, 용해중에는 2 l/min.의 질소가스를 노내에 연속적으로 휘입하였다. 또한 Al seed 실험의 경우에는 seed와 압착된 침 bale 시료지리라 예상된다.

따라서 본 연구에서는 Al 스크랩 용해시 Al 회수율에 미치는 용제 침가, 시료의 예비처리 및 용해분위기의 영향을 조사하고자 하였다.

## 2. 시료 및 실험방법

본 실험에서는 2 종류의 Al 스크랩 시료를 사용하였다. 고물상에서 수집한 Al 새쉬는 부착되어 있는 철금속 및 플라스틱 재료들을 제거한 후 적정질이로 절편하였으며, 또 다른 시료인 자동차용 휠의 절삭가공시 발생된 A356.2 스크류형 침은 스크린 간격이 10 mm인 Hammer crusher를 이용하여 세편화하였다. 그리고 예비처리의 영향을 알아보기 위한 실험에 사용된 시료인 Al 침은 탈지 및 압착과정을 거쳤는데, 절삭유는 세편화 시료들을 철제망에 장입한 후 400°C에서 2시간 동안 유지시켜 제거하였고, 침 bale은 내경 80mm, 높이 300mm인 원통형 금형에 세편된 침을 장입하고 프레스 피스톤을 9,500 psi로 가압하여 제조하였다.

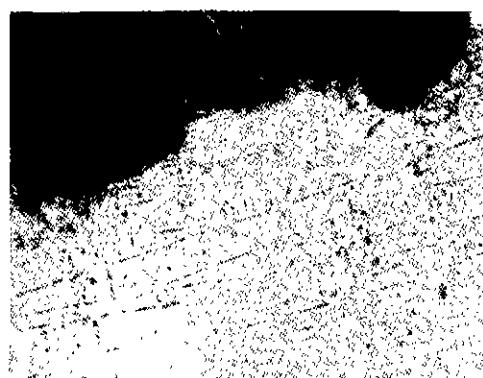
용해시 Al의 회수율을 높히기 위하여 Table 1과 같은 조성의 염(salt)을 조제하여 용제(flux)로 사용하였는데, 침가량은 장입 Al 시료에 대한 중량비로 표시하였다.

실험방법은 Al 시료 500g이 들어있는 시판용 4번 원통형 흑연도가니를 실험온도인 800°C로 예열된 덮개가 있는 전기로의 중앙 부위에 장착시키고, 1시간 유지시켜 시료를 완전히 용해시킨 후 각종 용탕처리를 행하고 30분 동안 유지시켰다. 이후 Al 금속과 드로스를 완전 분리시키기 위해 용탕은 철제봉에 의해 강력히 교반 되었으며, 드로스를 수작업에 의해 제거한 후 주형에 출탕된 Al 금속은 저울을 사용하여 무게를 정량하였다.

용제침가의 영향을 조사하기 위해서는 용탕처리시 적당량의 salt를 첨가 하였으며, 탄소분위기의 영향을 조사하기 위해서는 용탕처리시 적당량의 고체 탄소분을 첨가하였다. 그리고 질소분위기 실험의 경우에는 약



(A) without carbon powder



(B) with carbon powder

**Photo 1.** Photographs of oxide films produced in aluminum ingot melting.

와의 무게비를 3:1로 하였으며, 먼저 seed를 용해한 후 침 bale을 용탕 속에 가압 침지시켜 용해시키고 30분 유지 후 각종 처리를 행하였다.

실험결과는 정확도를 기하기 위해 동일 실험을 3회 반복하여 평균치로 나타내었으며, Al 회수율  $R_{Al}$ 은 다음식 (1)에 의해 구하였다.

$$R_{Al} = \frac{W_t - (W_s \times R_s)}{W_c} \times 100 \quad (1)$$

여기서  $W_c$ 는 Al 스크랩 장입량,  $W_s$ 는 seed Al과 장입량,  $W_t$ 는 Al 스크랩과 seed Al을 용해후 주조한 ingot의 무게를 나타낸다.  $R_s$ 는 seed용 Al과 단독 용해시의 Al 회수율로서 실험을 통해 얻은 값은 0.95~0.98 이였는데, 여기서는 최대치인 0.98을  $R_s$  값으로 사용하였다.

**Table 2.** Effect of oil removal, chip compacting and seed melting on the Al recovery.

Compacting of chip	X	O	O	X	O	O
Removal of oil	X	X	X	O	O	O
Seed melting	X	X	O	X	X	O
Al recovery(%)	75.7	89.7	97.3	84.7	90.1	97.3

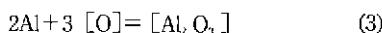
X: not treated, O: treated

### 3. 실험결과 및 고찰

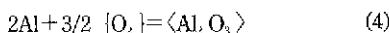
Al 스크랩 용해시 일반적으로 생각 할 수 있는 드로스의 발생원으로서는 스크랩 표면에 이미 생성된  $\text{Al}_2\text{O}_3$  피막과 용해시 발생하는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  일 것이다. 그러나 스크랩 표면에 이미 생성된  $\text{Al}_2\text{O}_3$  피막의 경우에는 Al 용융시 금속 Al로의 환원이 거의 불가능<sup>3)</sup> 하기 때문에 발생 드로스의 양을 최소화하기 위해서는 용해시  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 발생을 억제하여야 한다. 따라서 드로스가 어떤 기구에 의해 발생하는지를 알아야만 할 것이다.

Photo 1(A)의 광학현미경 사진은 Al 지금 500gr만을 장입하고 대기중에서 800°C로 용해시키고 노냉시킨 시편이며, Photo 1(B)는 동일량의 Al 지금과 탄소분 50gr을 혼합 장입하여 용해시킨 시편이다. 사진에서 진한색으로 나타난 부위가 산화물총이며 얇은색으로 나타난 부위는 시편의 내부이다.

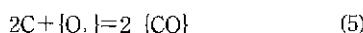
이들 사진들로부터 알 수 있듯이 Al 지금 단독용해의 경우에는 두꺼운 산화물총이 나타나며 드로스도 다양 발생 하였으나, 흑연분을 혼합시킨 시료의 경우에는 매우 얇은 산화물총만이 나타났으며 ingot의 내부에서는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  산화물을 전혀 발견할 수가 없었다. 이 결과는 용해시  $\text{Al}_2\text{O}_3$  산화물을 아래의 반응에 의한 용탕내부에서 발생하지 않고



다음의 식 (4)와 같이 표면에서의 직접 산화반응에 의해 발생할 것이라는 사실을 암시 해준다.



따라서 흑연을 첨가한 경우 다음의 식 (5)의 반응에 의해 식 (4)의 반응이 억제되었을 것이라 추정된다.



#### - Al 회수율에 미치는 예비처리의 영향

기계 가공시 칩에 묻게되는 절삭유의 탈지와 칩의

압착 유무가 Al 회수율에 미치는 영향을 조사하기 위해, 탈지하지 않은 칩 시료 및 탈지된 칩 시료에 장입시료의 1.5 wt%에 해당하는 염을 용제로 첨가한 시료들의 회수율을 Table 2에 나타 내었다. 또한 이 표에 seed Al괴 1500gr에 탈지하지 않은 칩 bale 500gr을 동일조건 하에서 용해시킨 결과도 나타내었다.

이들의 결과로 부터 알 수 있듯이 칩의 압착에 따른 회수율은 뚜렷한 차이가 있었다. 탈지하지 않고 압착된 칩 bale 시료의 경우에는 압착하지 않은 칩 시료에 비해 약 14%의 회수율이 증가하였다. 또한 Al seed 용해시, 탈지 하지 않고 압착된 칩 bale 시료를 용해한 경우에는 seed Al괴만 용해시의 회수율 98%에 비교가는 97.3%를 나타냈다. 상기의 결과와 유사하게 시료의 탈지유무에 따라서도 역시 회수율은 상당한 차이가 있었다. 압착하지 않은 시료에서 탈지하지 않은 경우에는 회수율이 75.7%인 반면, 탈지를 할 경우에는 84.7%로서 약 9% 정도의 상승효과가 있었다. 그 이유는 칩에 묻어있는 절삭유가 용해시 산화되면서 드로스발생을 증대시켰으나, 절삭유를 미리 제거 하여주고 용해 시킴으로서 드로스 발생이 억제된 것으로 생각된다. 그러나 칩을 압착하거나 seed 용해시는 탈지의 유무는 회수율에 거의 영향을 주지 않았다. 즉 압착시키거나 seed 용해시는 대기와의 접촉부위가 상대적으로 작아지므로 탈지된 무게를 제외한 대부분의 금속 Al이 회수된다고 생각된다. 따라서 칩 용해에 따른 경제성을 고려한다면, 세련하고 압착시킨 시료를 seed 용탕에 침지시켜 용해하는 방법이 가장 타당성이 있다고 생각된다.

#### - Al 회수율에 미치는 용제 첨가의 영향

Fig. 1에 Al 새쉬 및 탈지가 안된 칩 시료 500gr을 용해한 후 7wt%까지의 염을 드로스층에 첨가한 결과를 나타내었다.

Fig. 1로 부터 알 수 있듯이 염의 첨가량이 높아 질수록 회수율이 증대 되었으나, 염의 첨가량이 5wt% 이상을 초과 하게되면 회수율은 거의 증가하지 않았다. 그리고 새쉬와 칩 시료의 회수율을 비교하여 볼때 새쉬의 회수율이 칩의 경우에 비해 약 12~13% 높게 나

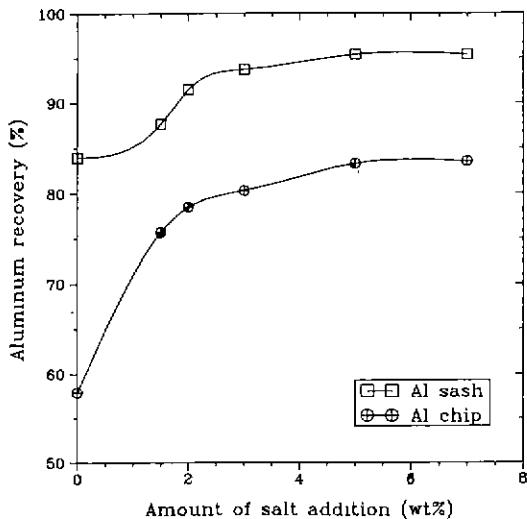


Fig. 1. Effect of salt on the Al recovery in the Al scrap melting

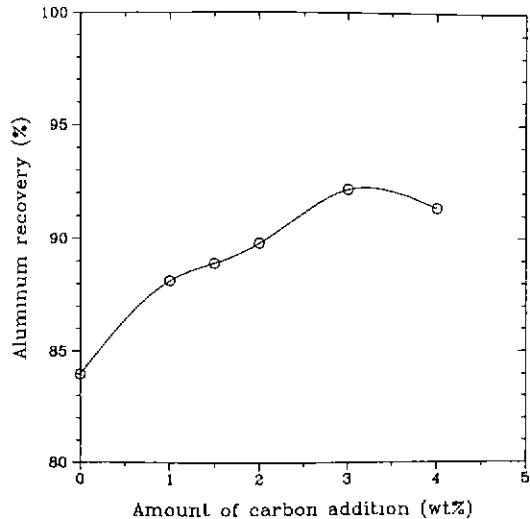


Fig. 2. Effect of carbon on the Al recovery in the Al sash melting

타나는 것을 알 수 있다.

용제로서의 염의 역할인 드로스와 용탕과의 분리 기능 및 용탕의 산화방지 기능<sup>④</sup>을 연계 시켜보면 다음의 추론이 가능할 것이다. 즉, 침의 경우에는 새쉬의 경우에 비해 시료의 겉보기 부피와 비표면적이 높기 때문에 최초에 발생하는 초기 드로스의 양이 높다. 이를 용해시 발생한 초기 드로스와 Al 금속용탕간의 계면장력은 높을 것이므로<sup>⑤</sup>, 용제가 침가 되지 않는 경우에는 금속 Al과 물리적으로 혼합되어진 상태로 존재하게 된다. 그러나 이들 초기 드로스층에 염이 첨가됨으로 인해 초기 드로스와 금속용탕간의 계면장력은 강화할 것이므로, 초기 드로스층에 혼합되어 있는 금속 Al은 분리되어 용탕중에 유입되고 고체상태인 산화물<sup>⑥</sup> 단이 용탕의 표면에 부상할 것이라 생각된다. 이와 같은 이유로 염의 양이 증가하면서 회수율은 높아졌으나 이의 역할이 한계에 달하는 파잉첨가의 경우에는 별 의미가 없다는 사실을 알 수 있었다.

#### - Al 회수율에 미치는 용해분위기의 영향

Al 새쉬 용해시 Al 회수율에 미치는 탄소분위기의 영향은 새쉬 500gr을 용해시킨 직후 4wt%까지의 탄소분을 드로스층에 첨가하고 조사한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2로 부터 알 수 있듯이 탄소분의 첨가량이 3% 까지 증가한 경우에는 회수율은 92.2%까지 약간씩 증가하나 4wt%가 되면서 91.4%로 오히려 감소하였다.

이와 같은 결과에 대한 탄소분의 역할은 명확하게 규명할 수는 없지만, 고체 탄소와 Al 용탕간에는 젖음성이 매우 작고 용탕에 첨가된 탄소는 환원분위기를 형성하여 Al의 산화를 억제 시킬 것이라는 사실들에 입각하여 실험결과를 해석한다면, 다음과 같은 추론이 가능할 것이다. 즉, 드로스가 용해될 때 드로스중 금속 Al은 노분위기중의 산소와 금속히 반응하여 2차적인 Al 산화물을 형성하게 되는데, 노중 산소와 결합하여 환원분위기를 형성하는 탄소가 적당량 존재한다면 Al의 산화반응은 억제 될 것이다. 따라서 초기에 발생한 드로스는 금속 용탕과 접촉하고 있기 때문에 금속 Al을 다양 활용할 것이나, 탄소분을 드로스층에 첨가하고 휘저어 주게되면 초기 드로스중에 혼재되어 있는 용융된 Al은 산화되지 않고 용융금속 상태로 침강하게 될 것이라 추정된다.

이와 같은 현상 때문에 용융된 Al의 산화는 탄소에 의해 억제 될 것이며 회수율은 증가할 것이다. 그러나 이의 역할이 한계에 도달하는 3% 이상의 경우에는 탄소분의 증가에 의해 오히려 드로스의 점성을 높여 줄 수도 있을 것이므로, 제거시에 혼재되어 나오는 금속 Al의 양이 많아져 오히려 회수율은 떨어지게 될 것이라 생각된다.

Al 스크랩 용해시 Al 회수율에 미치는 염과 탄소혼합분의 영향은 Al 새쉬 및 침 500 gr을 용해한 후 적당량의 혼합분을 드로스층에 첨가하여 조사한 결과들을 Table 3 및 4에 나타내었다.

**Table 3.** Effect of salt-carbon powder on the Al recovery in the aluminium chip melting.

Amount of additive	1.5% S	(1.5% S+1.5% C)	(1.5% S+3% C)	(1.5% S+4% C)
Al recovery(%)	75.7	79.2	81.4	80.5

**Table 4.** Effect of total amount of salt-carbon powder on the Al recovery in the aluminium chip melting.

Amount of additive	0%	5% S	(3.5% S+1.5% C)	(2.5% S+2.5% C)	5% C
Al recovery(%)	57.9	83.3	82.4	81.2	78.5

**Table 5.** Effect of nitrogen atmosphere on the Al recovery in the aluminium sash melting.

Amount of N <sub>2</sub> gas(l/min)	0	2.0	0	2.0
Amount of salt(wt%)	0	0	1.5	1.5
Al recovery(%)	84.0	87.9	87.7	92.5

Table 3의 결과를 Fig. 1에 나타낸 염 단독 첨가에 의한 침 용해시의 결과와 비교하면 Al 회수율은 혼합 첨가시 약간 증가하는 경향을 나타내지만, 혼합분 총 중량비에 따른 회수율은 오히려 낮아졌다. 즉 침 용해시 1.5wt% 염에 3wt% 까지의 탄소분을 혼합첨가 시켜줌으로써 회수율은 75.7%로 부터 81.4%로 약간은 높아지지만, 탄소량이 3wt% 이상인 경우에는 Fig. 2에 나타낸 탄소분을 단독첨가한 새수 용해시의 결과와 유사하게 오히려 약간 감소하였다.

Al 침 용해시 첨가한 혼합분의 총량이 Al 회수율에 미치는 영향을 조사한 Table 5의 결과를 살펴볼 때, 염 5wt% 단독 첨가시의 회수율 83.3 %에 비해 혼합분 5wt%의 경우에는 회수율은 탄소분이 증가하면서 계속 낮아지고 있으며, 염을 첨가하지 않고 탄소분만을 첨가한 경우에는 매우 낮은 78.5%에 머문다.

이들 결과들을 Fig. 1 및 2에서 설명한 염과 탄소의 역할을 연계 시켜보면 다음과 같은 추론이 가능할 것이다. 즉 시료의 용해시 발생한 초기 드로스총에 염이 첨가됨으로 인해 초기 드로스와 금속용탕간의 계면장력은 강화할 것이고, 이로인해 초기 드로스에 혼재되어 있는 금속 Al은 초기 드로스로 부터 분리가 잘 이루어져 고체상태인 산화물만이 용탕의 표면에 부상할 것이다. 그러나 여기에 탄소분이 첨가되므로 인해 드로스에 혼재된 용융 Al의 산화는 억제 될 것이므로 소량의 탄소 첨가시는 회수율이 증가할 것이라 추정된다. 그러나 이의 역할이 한계에 도달하는 3wt% 이상에서는 탄소분의 증가에 의해 드로스의 양이 오히려 많아져 드로스 제거시 혼재되어 나오는 금속 Al의 양이 증가할 것이고 이로인해 오히려 Al 회수율은 떨어지게 될 것이라 생각된다.

Al 회수율에 미치는 질소분위기의 영향은 Al 새수 500gr을 질소분위기에서 용해하고 1.5wt%의 염을 드로스총에 첨가하여 조사한 다음 얻은 Al 회수율을 Table 5에 나타내었다.

상기의 Table 5로 부터 알 수 있듯이 염을 첨가하지 않고 질소분위기에서 용해한 시료의 회수율은 대기중 용해에 비해 약 4 %가 높았으며 염을 1.5 wt% 첨가하고 질소분위기에서 용해한 시료의 회수율은 대기중 용해에 비해 약 5 % 정도 높았다. 즉, 질소가스의 주입으로 인해 형성된 불활성 분위기는 외부로 부터 용탕으로 유입되는 산소를 차단하기 때문에 용해도중에 추가로 발생하는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 비롯한 기타의 금속산화물의 량은 매우 적어질 것이다. 따라서 초기 드로스의 발생은 적어지게 되고 이로인해 회수율은 높아질 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- AI 용해시 드로스는 용탕표면에서의 산화반응에 의해 발생하였다.
- AI 스크랩 용해시 7wt%까지 첨가된 염에 의해 AI 회수율은 최대 95%까지 증대되었다.
- 탈지하지 않고 압착한 침 bale 시료의 경우에는 압착하지 않은 침 시료에 비해 약 14%의 회수율이 증가하였다.
- AI seed 용해공법을 채택하는 경우에는 탈지하지 않고 단지 세편과 압착만을 행하여도 97%의 높은 회수율을 얻을 수 있었다.
- 탄소 및 질소분위기에서의 AI 스크랩 용해시 AI 회수율은 상당히 증가 하였으나, 염과 탄소의 혼합분 첨가시 과잉 첨가된 탄소는 오히려 역효과를 나타냈다.

#### 참고문헌

- S. Lavoie, C. Dube and G. Dube: "TMS-AIME Second International Symposium Recycling of Metals and Engi-

- neered Materials", p.451, (1990)
2. 박형규 외 4인: "폐AI캔의 재활용·방안 연구", 과학기술처  
연구보고서, 한국자원연구소, (1992)
3. David R. Gaskell: "Introduction to Metallurgical Thermodynamics" ; International Student Edition.
4. P.R. Richard: "Energy Conservation Workshop XI: Energy & Environment in the 1990", p.143
5. S. Lavoie, C. Dube and G. Dube. The Minerals, Metals & Materials Society 1990, Light metals p.981, (1991)
6. G.J. Kulic and J.C. Daley: "TMS-AIME Second International Symposium Recycling of Metals and Engineered Materials", p.427, (1990)

### 學會誌 投稿 案內

種類	內容
論 説	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解說	現況과 將來의 전망, 研究 技術의 綜合解說, Review
技術報告	實際的인 試驗, 調査의 報告
技術, 行政情報	價值있는 技術, 行政情報を 간결히 解說하고, comment를 볼인다.
見聞記	國際會議의 報告, 國內外의 研究 機關의 見學記 등
書 訴	
談話室	會員相互의 情報交換, 會員의 自由스러운 말, 隨想 등
Group 紹介	企業, 研究機關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 掲載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.

\* 아래한글, 보석글로 작업하신 디스켓을 함께 보내주시기 바랍니다.