

## 환경친화형 연속주조공정의 적용에 의한 난가공성 동합금 선재 제조

조 훈 · 김세광 · 최한신 · 조형호 · \*김영직  
(한국생산기술연구원 신소재 본부, \*성균관대학교 신소재 공학과)

### Fabrication of Hard-to-Shape Cu alloy by Environmental Friendly Continuous Casting Process

Hoon Cho, Shae K. Kim, Hanshin Choi, Hyung-Ho Jo, \*Young-Jig Kim  
(Korea Institute of Industrial Technology, \*Sungkyunkwan University)

#### Abstract

In a view point of full exploit age of limited resources, environmental friendly manufacturing process for production of Cu alloy including hard-to-shape alloy such as nickel-silver alloy is introduced and suggested. In the present study, the effects of continuous casting speed on mechanical property and microstructure of leaded German silver(Cu-Ni-Zn) alloy were studied and energy requirements, atmospheric CO<sub>2</sub> emission and yield for the production of the Cu-Ni-Zn alloy was investigated quantitatively with respect to continuous casting with small cross section and conventional material processing including casting, extrusion and heat treatment.

The yield for production of Cu-Ni-Zn alloy wire can be improved above 30% by application of the continuous casting with small cross when the productivity is similar. A twice of energy requirement and CO<sub>2</sub> were consumed and emitted in extrusion process when the yield of extrusion process is considered. I

Keywords: Continuous casting with small cross section, Cu-Ni-Zn alloy, CO<sub>2</sub> emission, Yield ratio.

#### 요약문

본 연구에서는 쾌삭양백 동합금 선재를 제조하기 위한 공정-금형주조 및 압출공정을 포함하는 기존의 상용 process와 소경봉연속주조공정-을 비교하였으며 연속주조공정 변수 변화에 따른 선재의 미세조직 변화 및 기계적인 특성의 변화를 살펴보고자 하였다. 또한 환경친화형 금속가공 process의 정립을 위하여 동합금 선재를 제조시 요구되는 에너지소비량 및 CO<sub>2</sub>가스 배출량을 상용 process와 소경봉 연속주조공정에 대하여 산정·비교하였다.

쾌삭양백 동합금 소재를 대상으로 하여 소경봉 연속주조기술에 의해 선재를 제조하는 경우에는 재료의 요구 특성을 만족 시키고 동시에 환경부하 물질의 배출량을 저감할 수 있고 자원의 효율적인 이용을 위한 수율의 향상을 기대할 수 있음을 확인하였다. 소경봉 연속주조기술에 의한 쾌삭양백 동합금 선재 제조공정에서의 수율은 금형주조 및 압출공정을 포함하는 상용 process에 비하여 40%이상 증가하였으며 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 가스 배출량은 50%이상 감소함을 알 수 있었다.

주제어 : 소경봉 연속주조 공정, 쾌삭양백 동합금, CO<sub>2</sub> 배출량, 수율

#### 1. 서론

80년대 중반이후 냉전의 와해로 인하여 인류의 생

존이 걸린 환경문제에 대한 국제적인 관심이 고조되었  
으며, 산업화의 가속으로 오존층 파괴, 생물 종의 멸종  
및 기후변화 등 지구규모의 환경문제가 대두되고 있다.

이러한 환경문제는 국가간의 경계를 넘어서는 문제이므로 지구전체의 환경파괴를 유발하게 되므로 개별국가만의 대응으로는 효과적인 대응이 곤란하다는 인식이 확산되어 국가간의 환경규제를 위한 협의가 진행되고 이에 따라 환경보전을 위하여 무역규제를 포함하는 각종 국제적 환경협약이 체결되고, 환경목적의 달성을 위한 다양한 무역정책적인 수단이 광범위하게 활용되면서 환경과 무역간의 마찰 발생 가능성이 고조되고 있다. 그 일례로 1997년 12월에 161개국의 정부 대표자가 일본의 교토(京都)에 모여 소위 '교토 의정서'를 채택하였다. 교토 의정서에 의하면 각 국은 2012년까지 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> 가스 발생량을 1990년 기준 6-8% 감축해야 하고 이를 이행하지 않으면 국제 교역 시 제재 내지 불이익을 준다는 기본정신이 포함되어 있다. 따라서 지금까지 재료의 선택기준은 제품의 고성능 및 고기능화라는 사용의 측면을 강조하여 재료의 개발은 향상된 성능을 갖는 재료의 개발을 통하여 인간 생활의 편의성 향상이라는 관점에서 진행되어 왔다. 그러나 장래에는 재료의 선택 및 개발이 재료의 특성 자체뿐만 아니라 자연환경과의 관계를 고려하는 관점에서 이루어져야 할 것이다. 즉 장래의 제품, 소재는 Life Cycle 전반에 걸쳐 환경에 대한 부하가 최소이며, 고갈성 자원의 Recycle성이 우수한 재료이어야 한다.

이와 같은 관점에서, 본 연구에서는 제한된 자원의 효율적인 이용과 환경부하 물질의 저감이라는 관점에서 난가공성 쾌삭양백 동합금 선재를 제조하기 위한 공정-금형주조 및 압출공정을 포함하는 기존의 상용 process와 소경봉연속주조공정을 비교하였으며 연속주조 공정 변수 변화에 따른 선재의 미세조직 변화 및 기계적인 특성의 변화를 살펴보고자 하였다. 또한 환경친화형 금속가공 process의 정립을 위하여 동합금 선재를 제조시 요구되는 에너지소비량 및 CO<sub>2</sub>가스 배출량을 상용 process와 소경봉 연속주조공정에 대하여 산정·비교하였다. 쾌삭양백 동합금 선재제조를 위한 친환경적인 공정을 정립하기 위하여 금형주조 및 압출공정을 포함하는 상용 process와 연속주조공정에서의 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 가스 배출량을 산정하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 상용 process에 의한 쾌삭양백 선재의 제조

금형주조 및 압출가공 공정을 포함하는 상용 process에 사용되는 빌렛은 환원성분위기가 유지되는 고주파 유도용해로에 장입된 흑연재 도가니에서 전기동과 Cu-Ni모합금, Cu-Zn-Pb모합금을 용해한 후 1510K에서 주철계 금형에 주입하여 길이 210mm, 직경 73mm의 빌렛으로 주조하였다. Table 1에는 본 연구에서 제조한 쾌삭양백 동합금의 화학조성 분석결과를 나타내었다.

Table 1. Chemical Composition of Nickel Silver Alloy used in this Study

elements	Cu	Ni	Zn	Pb
wt.%	62.8	18	18	1.2

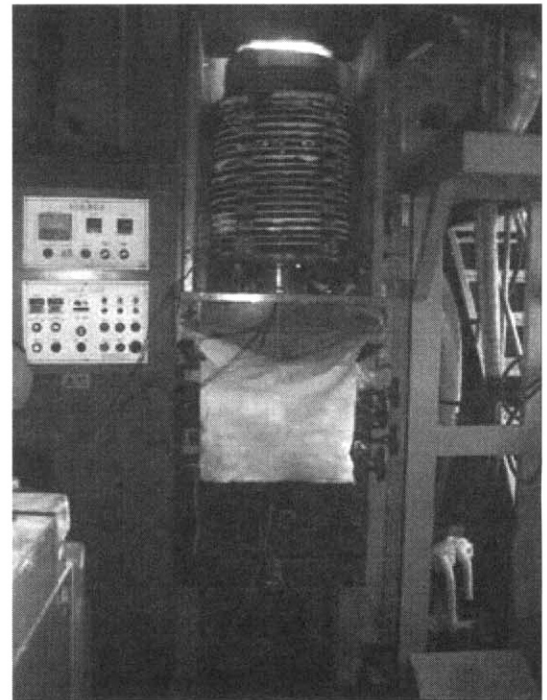


Fig. 1. Continuous casting equipment for fabrication of small cross section nickel silver alloy wire.

빌렛의 표면을 면삭(Scalping)한 후 1253K에서 1시간 가열한 후 400톤 직접압출기에서 1.2m/min의 압출속도로 압출가공을 행하였다. 이때 압출재의 직경은 25mm로 하였으며 25mm이하의 선재를 압출하는 경우에는 과도한 빌렛가열온도에 의하여 burr tree 형태의 결함이 발생하였다. 압출된 선재를 대상으로 미세조직과 기계적인 특성을 관찰하였으며 고주파유도용해로, 빌렛가열로 및 압출기등 각 공정에 이용되는 장비에 적산전력계를 부착하여 공정별 에너지 소비량을 측정하고 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다. 이때 탄소배출계수는 0.547kg/kw를 이용하였다. 또한 각 공정에서 배출되는 폐기물 및 scrap을 수집하여 무게를 측정함으로써 공정별 수율을 측정하였다.

### 2.2 소경봉 연속주조기술에 의한 쾌삭양백 선재의 제조

합금조성 및 용해공정은 상용 process와 동일하게 하였으며 Fig. 1과 같은 소경봉 연속주조설비를 이용하여 직경 10mm의 연속주조선재를 제조하였다. 연속주조에 사용된 주형은 흑연을 사용하였으며 생산성 향상을 꾀하기 위하여 2-hole로 주형을 가공하여 2-strand로 연속주조를 행하였다. 연속주조 속도는 50-250mm/min로 하였으며 이때 냉각수의 입수온도는 305K, 출수온도는 321K로 일정하게 유지하였다. 연속주조 설비에 적산전력계를 설치하여 연속주조공정에 소비되는 에너지의 양을 측정하였으며 용해공정에 발생하는 dross를 수집하고 수율을 측정하였다.

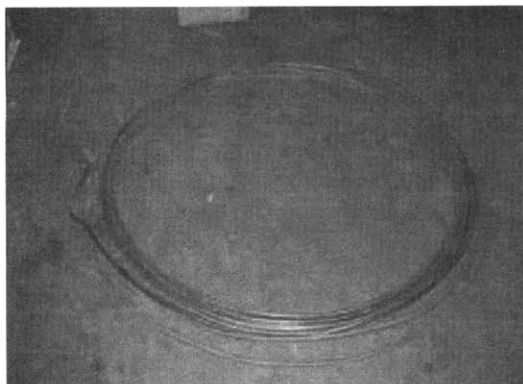


Fig. 2. Nickel silver alloy wire of 10mm in diameter produced by continuous casting process.

## 3. 실험결과

### 3.1 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 가스 배출량의 비교

쾌삭양백 동합금 선재제조를 위한 친환경적인 공정을 정립하기 위하여 금형주조 및 압출공정을 포함하는 상용 process와 연속주조공정에서의 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 가스 배출량을 산정하고자 하였다. 본 연구에서는 쾌삭양백 동합금 선재 제조과정중 즉, 금형주조와 압출공정을 포함하는 상용 process와 소경봉연속주조공정에서의 제조방법의 차이에 의한 에너지 소비량 변화 및 CO<sub>2</sub> 가스 배출량의 변화를 관찰하고자 하였으며, 이와같은 환경성 평가시 주조에 사용되는 주형(금형 및 연속주조 주형)의 제조 및 압출금형 제조시의 환경성 평가는 산정하지 아니 하였다. Fig. 3에는 쾌삭양백 동합금 선재 제조방법을 비교하여 나타내었다.

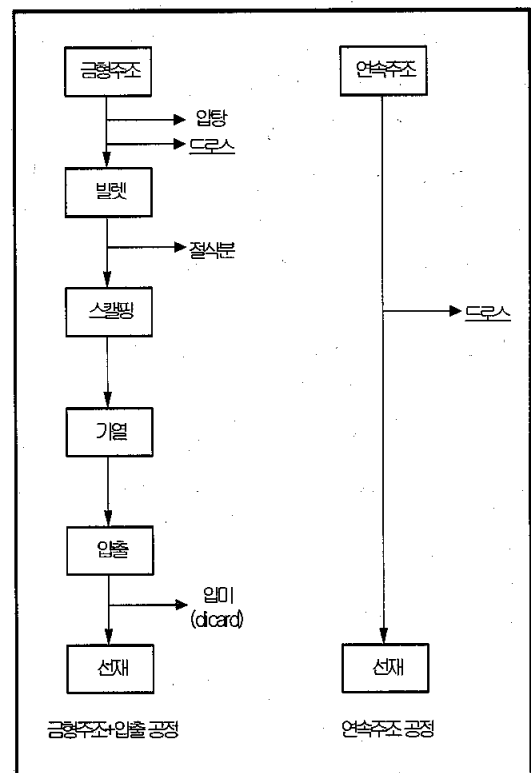


Fig. 3. Introduction of continuous casting process to fabricate nickel silver alloy wire.

Table 2에는 쇠삭양백 동합금 선재 제조시의 수율을 측정된 결과를 나타내었다. 본 연구에서는 제조과정중 발생하는 scrap의 발생량을 측정함으로써 제조공정의 수율을 비교하고자 하였으며 합금의 용해 및 주조시에는 scrap의 첨가없이 전량 virgin ingot를 사용하였다. 또한 공정중 발생하는 scrap에 대한 재활용율이 동합금선재 업체마다 상이한 실정을 고려하여 scrap 재활용에 대한 환경성 평가는 고려하지 아니하였다. 일반적으로 제조공정의 수가 증가할수록 수율은 감소하는 경향을 나타내게 되는데 금형주조 및 압출공정을 포함하는 상용 process는 주조시에 발생하는 압탕 및 드로스 그리고 압출 가공시에 발생하는 압미(discard)등에 의해 60%이하의 수율을 나타내었다. 반면에 연속주조공정에 의해 선재를 제조하는 경우에는 주형상부의 고온의 용탕이 hot-top의 역할을 해주므로 압탕이 발생하지 않고 압출공정 자체가 불필요하므로 절삭분이나 압미등이 발생하지 않는다. 다만 용해과정중에 발생하는 dross에 의해 수율이 2%정도 감소하게 된다. 결론적으로 소경봉 연속주조공정을 적용하여 쇠삭양백 동합금 선재를 제조하는 경우에는 금형주조 및 압출공정을 포함하는 상용 process에 비하여 40% 이상의 수율 향상을 기대할 수 있으며 이러한 수율의 향상의 자원의 효율적인 이용이라는 환경적인 효과뿐만 아니라 제조업체의 수익증대라는 경제적인 효과도 유발할 수 있다.

Table 2. Comparison of Yield with different Fabrication Process

공정	금형주조 및 압출공정을 포함하는 상용 process					연속주조
수율(%)	59.4					98.7
폐기물	압탕	드로스	절삭분	압미	드로스	
구성비(%)	63.2	3.2	17.2	16.4	100%	

쇠삭양백 동합금 선재 제조를 위하여 소경봉 연속주조기술을 적용하는 경우에는 수율의 향상이외에 에너지 소비량의 절감효과를 기대할 수 있다. 각 공정에 사용되는 설비에 부착한 적산전력계에 의해 측정된 에너지 소비량 산정결과를 Table 3에 나타내었다. 앞서 측정된 수율의 차이를 고려하여 동일한 중량(30Kg)의

쇠삭양백 선재를 제조하는 경우에 대하여 산정하였다. Table 3에서 보듯이 금형주조 및 압출가공공정을 포함하는 상용 process는 소경봉 연속주조공정에 비하여 두배 이상의 에너지를 소비함을 알 수 있었으며 지구온난화의 주요한 요인으로 지목되는 CO<sub>2</sub> 가스 배출량 또한 선재 1Kg 제조 시 40.2g에서 97.4g로 2배이상 증가함을 알 수 있었다.

Table 3. Comparison of Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emission with different Fabrication Process

공정	에너지 소비량(MJ/kg)	CO <sub>2</sub> 배출량(g/Kg)
연속주조	0.69	40.2
금형주조+압출	1.68	97.4

또한 금형주조 및 압출가공을 포함하는 상용 process에 의하여 쇠삭양백 동합금 선재를 제조하는 경우에는 합금소재의 변형저항이 높아서 상대적으로 고온의 온도에서 빌렛을 가열한후 압출을 행하거나 압출비를 낮게 하여 압출을 행하게 된다. 고온의 온도에서 압출을 행하는 경우에는 Fig. 4에서 나타나는 것과 같이 burr tree형태의 압출결함이 발생하기 쉽고 압출 다이스 출구 부근에서의 압출재 표면온도가 1000K를 상회하여 Cu<sub>2</sub>O나 CuO등의 표면산화물에 의한 loss가 발생하기 쉽다. 따라서 이와 같은 이러한 문제를 해결하기 위하여 상대적으로 저온의 온도에서 낮은 압출비로 압출하여 선재를 제조하게 되는 데, 이러한 경우에는 압출재 선재의 직경이 상대적으로 크게 되어 최종제품의 직경에 이르기까지 많은 pass의 인발이나 중간연화열처리 공정을 거쳐야 하는 문제점이 있다. Table 4에는 연속주조법에 의해 제조된 직경 10mm의 선재를 인발가공에 의해 1mm로 가공하는 경우에 소요되는 에너지의 양을 상용 process에 의해 제조된 선재의 경우와 비교하여 나타내었다. 인발가공에 소요되는 에너지의 양은 Eq.1에 의하여 산정하였으며 강도계수(strength coefficient) 및 가공경화지수(strain-hardening exponent)는 고온압축시험에 의하여 측정하였다.

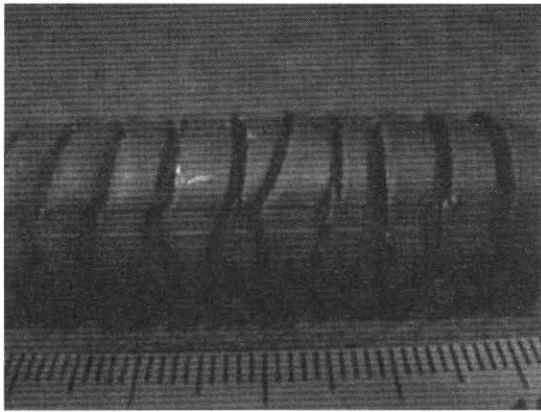


Fig. 4. Burr tree defect generated during nickel silver alloy wire extrusion process.

$$W_d = \int_0^{\epsilon} K\epsilon^n d\epsilon = \frac{K\epsilon^{n+1}}{n+1} \dots\dots\dots \text{Eq. 1}$$

Table 4. Energy Requirement during Drawing Process of Nickel Silver Alloy produced by different Fabrication Process

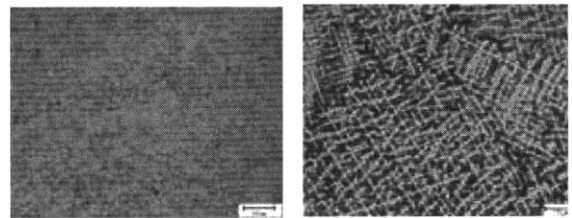
	금형주조 및 압출가공을 포함하는 상용 process	연속주조공정
K(강도계수)	438~465	343~356
n(가공경화지수)	0.34~0.43	0.43~0.46
신선시 에너지 소비량 (MJ/m <sup>3</sup> )	2508	1841

Table 4에서 보듯이 초기선경을 10mm로 동일하게 가정하는 경우에도 금형주조 및 압출공정에 의해 제조된 쾌삭양백 동합금 선재의 인발 가공 시에는 연속주조에 의해 제조된 합금선재의 인발에 비하여 40%이상의 에너지가 더 많이 소요됨을 알 수 있다. 또한 중간연화열처리에 따른 에너지 소비량의 증가 및 압출공정에 의해 제조된 선재의 초기선경이 25mm임을 감안하면 연속주조법에 의해 제조된 선재의 인발가공에 비하여 두 배 이상의 에너지가 소비됨을 예측하여 볼 수 있다.

3.2 연속주조법에 의해 제조한 쾌삭양백 동합금 선재의 특성

Fig. 5에 금형주조 및 압출가공 공정을 포함하는 상

용 process에 의해 제조된 쾌삭양백 동합금 선재의 미세조직을 연속주조법에 의해 제조된 쾌삭양백 동합금 선재의 미세조직과 비교하여 나타내었다. Fig. 5의 b에서 보듯이 연속주조법에 의해 제조된 쾌삭양백 동합금 선재의 미세조직에서는 어둡게 표시되는 copper-rich영역과 밝은색으로 표시되는 nickel-rich 영역으로 구분되어 있음을 알 수 있다. 쾌삭양백 동합금에 추가되는 Ni은 양백합금의 색상을 은(silver)색상에 가깝게 나타내주는 역할을 하며 강도와 내식성을 향상시키는 역할을 하게 된다. Fig. 5(a)에는 압출공정을 포함하는 상용 process에 의해 제조된 선재의 미세조직을 나타내었는데 연속주조법에 의해 제조된 선재에 비하여 미세하고 쌍정이 형성된 미세조직을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 조직의 미세화는 열간 압출공정시 발생하는 동적재결정에 의한 것으로 생각된다.



(a) Typical process (b) Continuous casting process

Fig. 5. Microstructure of nickel-silver alloy.

Fig. 6에는 소경봉 연속주조법에 의해 제조한 쾌삭양백 동합금 선재의 거시조직을 나타내었다. 선재의 중심부에 비하여 표면부위에서 상대적으로 미세한 결정들이 관찰되었다. 이는 연속 주조 시 주형 벽면상에서 핵 생성한 다수의 결정에 의해 미세하게 성장한 결정들에 의한 것으로 생각된다. 이러한 미세결정립의 분포는 주조 속도가 증가하여도 유사한 경향을 나타내었다. 주조 속도가 50mm/min에서 250mm/min로 증가할수록 평균 결정립의 크기 및 체적이 감소함을 알 수 있었다.

Fig. 7에는 연속주조속도 변화에 따른 쾌삭양백 동합금 선재의 미세조직 변화를 나타내었다. 연속주조속도 변화에 따른 거시조직의 변화에 비하여 미세조직은 수지상 구조(Dendritic structure)의 변화가 확인하였

다. 연속주조 속도 증가에 따른 냉각속도의 증가에 의해 미세하게 수지상 구조가 얻어진 것으로 생각된다.

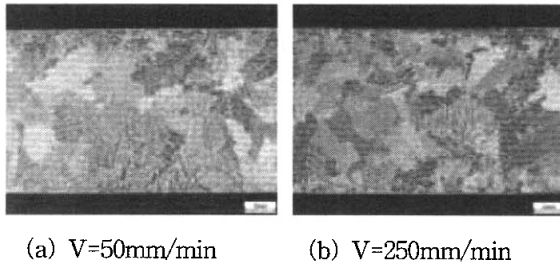


Fig. 6. Variation of macrostructure of nickel silver alloy wire with different continuous casting speed(V).

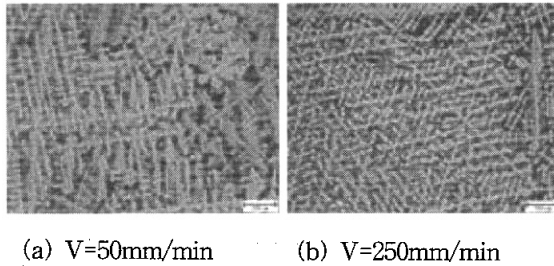


Fig. 7. Variation of microstructure of nickel silver alloy wire with different continuous casting speed(V).

Fig. 8에는 연속주조속도 변화에 따른 캐삭양백 동합금 선재의 인장강도 및 항복강도 측정결과를 나타내었다. 연속주조속도가 50mm/min에서 250mm/min로 증가하여도 선재의 인장강도 및 항복강도의 증가량은 5% 이내로 미미함을 알 수 있었다.

양백 동합금은 캐삭황동(free-cutting brass)에 비하여 절삭성이 20%이하로 매우 열악하다. 따라서 캐삭성을 향상시킬 목적으로 1%이내의 Pb를 첨가하는 것이 일반적이다. 입계 및 입내에 걸쳐 분포되어 불용성 Pb 입자는 절삭가공시 공구와 합금간의 계면에서 매우 큰 전단응력에 의해 변형되며 이러한 기구에 의해 절삭분(Chip)내에서 윤활제 역할을 하게 되고 합금 소재의 절삭성을 향상시키게 된다. 연속주조속도 변화에 따른 Pb 입자의 분포상태 변화를 관찰하기 위하여 WDX 분석을 행하였으며 측정결과를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 보듯이 연속주조속도가 50mm/min에서 250mm/min로 증가할수록 입계와 입내에 분포되어 있는 Pb 입자크기는 10 $\mu$ m에서 4 $\mu$ m로 미세

하여짐을 알 수 있었으며 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다.

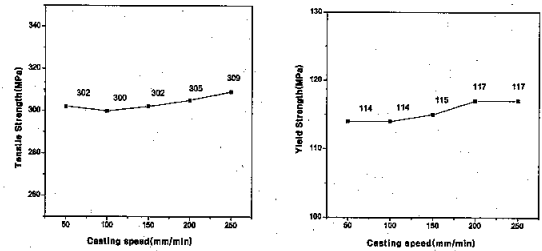
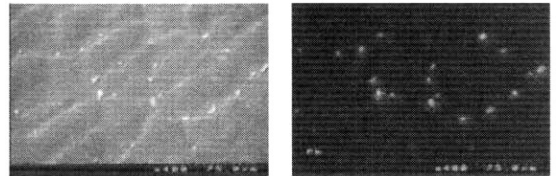
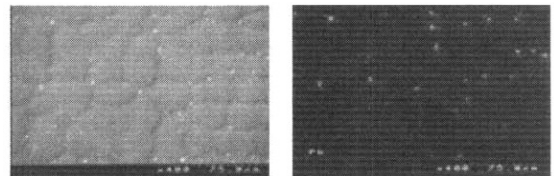


Fig. 8. Variation of mechanical property of nickel silver alloy wire with different continuous casting speed.



(a) V=50mm/min



(b) V=250mm/min

Fig. 9. WDX analysis result showing lead particle distribution with different continuous casting speed(V).

#### 4. 결 론

캐삭양백 동합금 소재를 대상으로 하여 소경봉 연속주조기술에 의해 선재를 제조하는 경우에는 재료의 요구 특성을 만족시킴과 동시에 환경부하 물질의 배출량을 저감할 수 있고 자원의 효율적인 이용을 위한 수율의 향상을 기대할 수 있음을 확인하였다.

소경봉 연속주조기술에 의한 캐삭양백 동합금 선재 제조공정에서의 수율은 금형주조 및 압출공정을 포함하는 상용 process에 비하여 40%이상 증가하였으며 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 가스 배출량은 50%이상 감소

함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- 1) Y. Hattori, K. Hori and M. Wada : Journal of the JCBRA, Vol. 40, No. 1, 153-155(2001)
- 2) J. C. Bodington, L. Eklin and J. Ojanen : International technical conference proceeding of WAI, pp. 112-118(2002)
- 3) Dolf Gielen, Yuichi Moriguchi : Energy Policy 30, pp. 849-863(2002)
- 4) Y. Zhu, K. Miura, Y. Ishikawa and M. Isshiki : Journal of the JCBRA, Vol. 40, No. 1, 96-100(2001)
- 5) H.J. Mcqueen and O.C. Celliers : Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 35, No. 4, pp. 305-319(1996)
- 6) J.H. Kim, S.J. Kim and W.D. Kim : Engineering Fracture Mechanics, Vol. 51, No. 6, pp. 915-931(1995)