

금속피막에 의한 건축 마감 의장 기법 개발에 관한 연구

임지택¹, 정화량^{2*}

Study on the Development of Finishing Design Methods for Building Structures Using the Metal Films

Ji-Taek Lim¹, Hwa-Rang Jung^{2*}

Abstract: In this study, the bond strength between concrete and metal films was investigated according to changing water content ratio of substrate concrete by pull-out test in order to develop the new finishing design methods for building structures using the metal films. The following conclusions were obtained as a result of the studies. It was found that the colour of metal did not change before and after the metal spraying. Also, the water content ratio of substrate concrete must be controlled under 10% weight to confirm the standard bond strength of finishing material to concrete. 2.5 MPa. To enhance the bond strength between concrete and metal films, it is very effective to strengthen the concrete surface using the agent which strengthens the concrete surface and seal the pore of metal film by the sealing agents. Therefore, the control of concrete surface treatment and water content ratio are necessary to secure the bond strength of metal films.

Keywords: Concrete, Metal films, Metal spray, Finishing design methods, Finishing material

1. 서 론

건축구조물의 마감공법에 적용되고 있는 기법으로는 도장 재료 및 미장재료를 직접 구조체에 시공하는 습식기법과 석재 및 판넬 등을 건식으로 붙이는 건식기법이 적용되고 있다. 그러나, 습식 마감기법은 표면 오염 및 내후성 저하로 인하여 보수 주기가 짧거나 유지관리에 소요되는 비용이 큰 단점을 가지고 있다. 또한, 건식 마감기법은 앵커처리에 의한 시공의 난이성과 함께 마감재의 파손 등에 의한 사후 유지관리 및 보수가 어려운 단점이 있다(Kondo et al., 1997). 이러한 마감기법의 단점을 극복하기 위하여 노출콘크리트와 같이 구조체임과 동시에 마감재의 역할을 하는 마감 일체형 공법들이 개발되고 있으나 구조체 시공이 잘 못된 경우에는 균열발생이나 적절한 표면 유지관리가 되지 않은 경우에는 내구성이 급격히 저하되는 문제점이 있어 건식기법의 장점을 살리면서도 건축 디자인 적으로도 우수한 마감기법 개발이 요청되고 있

다(Jung and Lee, 2003).

최근에는 금속을 용융하여 콘크리트, 목재, 유리 및 플라스틱 등의 지지재료에 직접 건식기법으로 시공하는 금속피막 마감기법이 개발되고 있다. 이러한, 새로운 마감기법은 기존에 사용해 오던 용사라는 기술을 응용한 것으로서 주로 철구조물의 고내구성 방식공법에 적용되던 기술을 활용한 것이다(Kondo, 1992; Cinca, 2013). 그러나, 이러한 금속피막 마감기법은 지지재료의 상태에 따라 금속피막과 지지재료와의 부착 성능이 크게 달라질 수 있다. 특히, 콘크리트 구조물에 직접 금속피막을 시공하는 경우에는 콘크리트의 표면 상태뿐만 아니라 지지재료인 콘크리트의 함수상태에 따라 금속피막과 콘크리트 사이에서의 부착성능이 다를 것으로 예상되나 이에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다(Sakae, 1994; Brousseau, 1992).

따라서, 본 연구에서는 용사기법에 의해 콘크리트 표면에 금속피막을 형성하는 새로운 마감 의장기법의 가능성을 검토하였다. 또한, 새로운 마감 의장 기법 개발이라는 측면에서 거푸집의 형상에 따라 조형성을 부여하기 좋은 콘크리트를 지지재료로 선정하고, 콘크리트의 함수를 변화에 따른 금속피막의 부착성능에 대하여 실험적인 연구를 수행하였다.

¹정회원, 한양대학교 에리카 건축학부, 교수

²정회원, 대구가톨릭대학교 건축공학과, 교수, 교신저자

*Corresponding author: slarc@hanmail.net

School of Architecture, Hanyang University ERICA, 55 Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan, Kyeonggi-do 15588, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 금속피막의 형성 메커니즘

금속피막의 시공은 금속용사기를 이용하여 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 용사재료(금속, 세라믹, 플라스틱 등)를 연소 또는 전기에너지를 사용해서 용사재료를 가열하고 용융시켜 피복대상의 표면에 고속 분사하여 피막층을 형성하는 기술이다. 금속용사 시스템은 가열 열원에 의해 분류되며, 현재 강구조물의 방식공법에 적용되는 용사방법은 가스식 프레임용사, 아크용사, 플라즈마 용사의 3종류가 대표적이며, 그 특징을 Table 1에 나타낸다. 금속피막 기법에서는 가스 프레임 용사

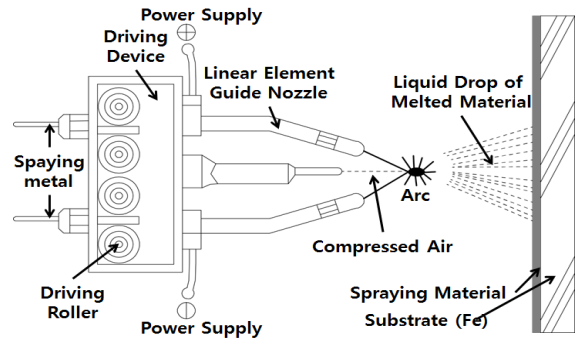


Fig. 1 Arc Thermal Metal Spraying Method

Table 1 Metal Spraying Methods and Characteristics

Spraying Method	Material		Heat Source	Melting temperature (°C)	Melting particles's accelerating method
	Form	Type			
Gas flame spray	Powder wire	Metal ceramic	Acetylene, Propane, oxygen	3000(unchangeable)	Combustion salt(powder) Compressed air(pig iron)
Arc spray	Wire	Metal	DC/AC Power source	4200(changeable)	Compressed air
Plasma spray	Powder wire	Metal High melting point ceramic	Electrical energy (Plasma gas)	10000-20000	Zet

Table 2 Metal Spraying Equipment and Spray Gun

Metal Spraying Equipment	Metal Spray Gun
	

Table 3 Type of Finishing Metals for Arc Spray

No	Metal	Weight ratio %(symbol of element)	Meting point °C	Specific gravity	Color
1	Tin	100(Sn)	232	7.30	white
2	Zinc	100(Zn)	420	7.13	Blue White
3	Aluminum	100(Al)	660	2.70	White
4	Brass	60/40(Cu/Zn)	819	8.21	Yellow
5	Bronze	80/20(Cu/Sn)	914	8.60	Red copper
6	Naval Brass	85/15(Cu/Zn)	984	8.66	Gold
7	Nickel-Silver	64/18.5/17.5(Cu/Ni/Zn)	1037	8.61	Green white
8	Copper	100(Cu)	1085	8.93	copper
9	Steel	100(Fe)	1535	7.86	Black
10	SUS 304	74/18/8(Fe/Ni/Cr)	1549	8.00	Black
11	Titanium	100(Ti)	1680	4.50	Red gold



Photo 1 Examples of the Metal Finishing Designs

법에 비하여 안전성과 시간당 용사 피막시공성이 우수하고, 시공면적이 큰 아크식 금속용사기법을 이용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한, Table 2에 전기 아크식 용사기 및 용사건을 나타낸다. 아크 용사기술은 용융한 금속에 압착공기를 내뿜는 용사건의 노즐이 원환상(圓環狀)의 슬릿트로 되어있고, 용융 금속의 액적이 아크점에서 생성되어 노즐로부터 분출된 아크점을 둘러싸고 있는 원추상 수축기류에 빨려 들어가 분쇄되어 분산 냉각되면서 용사대상에 도달해 급냉되기 때문에 바탕에 대해서 극단적인 열영향을 주지 않고 종이나 목재에도 금속용사피막을 형성시키는 것이 가능하다.

한편, Table 3에 아크 용사공법에 적용할 수 있는 금속의 종류를 나타내며, 금속피막의 색 및 용융온도를 적절히 선택하여 건축의장 효과를 높이는 것이 중요하다. 또한, Photo 1에는 기존 전 세계에서 실시된 금속피막에 의한 건축 의장 마감 기술의 사례를 나타낸다.

3. 실험 계획 및 방법

3.1 실험 계획

금속피막 기법을 콘크리트 표면에 적용시키기 위해서는 콘크리트와 용사 금속간의 부착성능 확보가 중요한 인자 중 하나이다. 일반적으로 강재표면에 금속용사피막을 시공하는 경우에는 부착성능을 향상시키기 위하여 샌딩 처리나 부착 증강제를 도포하여 표면에 앵커를 만든 후 금속용사를 실시하게 된다. 그러나, 콘크리트 표면에 금속용사를 실시하는 경우에는 콘크리트 표면상태 및 콘크리트의 함수율에 따라 금속용사피막의 부착성능이 달라질 것으로 예상된다. Table 4에 실험 인자 및 수준을, Table 5에 콘크리트 함수상태와 표면 처리방법에 따른 실험체명을 나타낸다. 콘크리트 함수상태에 따른 부착성능을 평가하기 위하여 콘크리트 시편을 용사 전

Table 4 Experimental Factors and Measurement Catalogs

Factor	Level	Common Items
Metal spray coating surface treatment method	polishing	Substrate concrete : 21 MPa Spraying thickness : 200 μ m Spraying metal : SUS316L specimen size : 300X300X50 (mm)
	Sealing	
Concrete moisture content	Air-dry (about 2.5%)	concrete surface treatment method : sanding \rightarrow Peviousness surface hardner \rightarrow Surface roughness agent \rightarrow Spraying
	Oven dry	
	Water-saturated	
Time of moisture content change	Before spray	
	After spray	

Table 5 Outline of an Experiment

Specimen Name	Concrete Moisture Content	Surface Treatment Method
A-Od-S	Oven dry after spraying	Sealing
A-Od-P		Polishing
A-Ws-S	Saturated surface dry after spraying	Sealing
A-Ws-P		Polishing
B-Ad-S	air dry before spraying	Sealing
B-Ad-P		Polishing
B-Od-S	Oven dry before spraying	Sealing
B-Od-P		Polishing
B-Ws-S	Saturated surface dry before spraying	Sealing
B-Ws-P		Polishing

Table 6 Mixing Design of Concrete

W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				
		Water	Cement	Sand	Gravel	Adixture
60	53.4	173	294	969	856	0.05

후 로 나누어 기건상태(함수율 2.5~3.0%), 절건상태, 포수상태로 유지하였다. 콘크리트 강도 및 용사금속종류 및 두께는 각각 21(MPa), SUS316L, 200 μ m로 동일하게 하였다.

3.2 사용 재료

Table 6는 하지 콘크리트의 배합사항을 나타낸다. 하지 콘크리트의 강도는 21 MPa를 사용하였으며, 용사 금속으로는 내식성, 내약품성이 우수한 재료로 알려진 SUS316L(선재직경: ϕ 1.6, 용점: 1400°C, 비중: 7.98, 색: 흑색)을 사용하여 실험을 진행하였다. 또한, 금속피막의 색을 달리하기 위하여 ϕ 1.6의 청동, 황동, 아연 선재를 사용하였다.

3.3 실험 방법

Fig. 2와 같이 300 mm×300 mm×50 mm의 하지 콘크리트판을 샌딩 처리 하여 침투성 표면강화제를 도포한 후 24시간 동안 양생한 후 조면형성제를 도포하고 다시 24시간 동안 양생을 실시한 후 콘크리트 표면에 금속용사 피막을 시공하였으며, 금속피막을 연마 및 봉공처리를 실시하였다. 또한, 용사 전 포수상태의 시편은 24시간 동안 수중 양생 후 표면의 물기를 제거한 즉시 금속용사를 실시하였으며, 용사 후 포수상태는 수중에 24시간 동안 침적시켜 제작하였다. 한편, 용사 전 절건상태의 시편은 105°C 건조로에서 24시간 동안 건조 후 금속용사를 실시하였으며, 용사 후 절건상태의 시편도 동일한 조건의 건조로에서 24시간 동안 건조하여 제작하였다.

표면처리 방법에 따른 콘크리트와 금속피막의 부착성능 평가는 KSF 4716에 준하여 실시하였다. Fig. 3과 같은 방법으로 면처리 된 실험체 위에 40×40 (mm) 정사각형의 인장부착용 어태치먼트를 에폭시 접착제를 사용하여 접착시켰다. 24시간

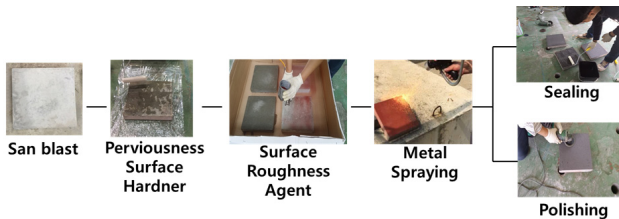


Fig. 2 Specimen Production Process

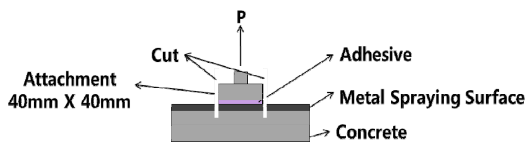


Fig. 3 Outline of Bond Strength Experiment

이후 어태치먼트 주위를 콘크리트 표면까지 절단하여 인장부착시험기에 의해 최대하중을 측정 후 식 (1)을 이용해 8개의 평균값으로 하였다.

$$\text{부착강도} (N/mm^2) = T / 1600 \quad (1)$$

여기서, T : 최대인장하중(N)

1600 : 어태치먼트 면적(mm²)

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 콘크리트에 시공된 금속피막의 색변화

Photo 2에 콘크리트에 시공된 금속피막의 종류를 나타내며, 왼쪽부터 청동은 갈색, 황동은 금색, 아연은 연회색을 나타내고 있으며, 용사 전후의 금속색의 변화는 없으며, 금속 종류에 따라 다양한 금속피막을 형성할 수 있었다.

4.2 콘크리트 함수상태에 따른 금속피막의 부착성능

금속용사 공법을 콘크리트 표면에 적용시키기 위해서는 콘크리트와 용사금속간의 부착성능 확보가 중요한 인자 중 하



Photo 2 Colours of the Metal Finishing

Table 7 Results of Bond Strength

Specimen name	Bond Strength(MPa)									Standard deviation	Coefficient of variation
	1	2	3	4	5	6	7	8	Average		
A-Od-S	2.94	2.53	4.05	3.23	2.30	3.41	2.63	3.67	3.10	0.61	0.20
A-Od-P	3.15	3.14	2.74	2.74	3.14	3.06	3.33	2.98	3.03	0.21	0.07
A-Ws-S	1.66	1.60	1.18	1.14	1.44	1.18	1.22	1.47	1.36	0.21	0.15
A-Ws-P	2.06	2.55	1.88	2.05	1.45	1.92	1.44	1.60	1.87	0.37	0.20
B-Ad-S	3.80	3.35	3.39	3.25	3.57	3.01	3.75	3.01	3.39	0.30	0.09
B-Ad-P	3.33	3.22	2.47	3.49	3.45	3.51	3.19	1.63	3.04	0.66	0.22
B-Od-S	3.67	3.35	3.60	3.90	2.71	3.63	3.37	3.95	3.52	0.39	0.11
B-Od-P	3.43	3.19	3.32	3.20	3.46	3.20	3.19	3.15	3.27	0.12	0.04
B-Ws-S	0.72	1.01	1.02	1.26	1.01	0.78	0.97	0.95	0.96	0.16	0.17
B-Ws-P	0.89	0.93	1.12	1.20	1.19	1.72	0.96	1.27	1.16	0.27	0.23

나이다. Table 7에 전기식 아크 금속용사 기법에 의해 제작된 금속 피막의 면처리 방법 및 콘크리트 함수상태에 따른 부착강도 실험 결과를 종합하여 나타낸다.

용사전에 콘크리트를 절건상태로 하여 금속용사를 실시하고 금속표면을 붕공처리 한 B-Od-S의 경우가 약 3.52 MPa로 가장 우수한 부착성능을 보였다. 또한, 전체적으로 표면연마를 한 경우가 붕공처리를 한 경우에 비해 약 12%의 강도 저하가 나타나는 경향을 보였다. 이러한 이유는 붕공제가 콘크리트 표면에 얇은 막을 형성해 콘크리트와 금속피막 사이에서 서로 인장력을 증가시켜 부착성능이 증진한 것으로 판단된다. 따라서, 콘크리트 표면에 도포된 용사금속의 표면처리 방법이 콘크리트와 용사금속 간에 부착성능에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 금속피막의 붕공처리가 부착성능을 향상시키는 유효한 것을 알 수 있다.

한편, 금속용사 전 콘크리트 함수율에 따른 부착강도 시험 결과를 Fig. 4에 나타낸다. 콘크리트의 절건상태 부착강도가 약 3.52 MPa로 가장 우수한 부착성능이 나타났으며, 포수상태의 부착성능은 절건상태에 비해 약 52%의 강도 저하가 나타났으며, B-Ws-S의 경우가 모든 실험에 비해서 0.96 MPa로 가장 낮은 부착성능이 나타났다. 이러한 이유는 콘크리트 내

에 수분이 시간이 지남에 따라 표면으로 올라와 용사금속과의 부착성능에 악 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서, 용사 전 콘크리트의 함수상태는 부착성능에 매우 영향을 미치는 것으로 판단되며 시공시에 콘크리트 함수상태를 파악하는 것이 금속피막 의장성을 확보하는데 매우 중요한 것으로 판단된다.

또한, Fig. 5에 금속피막 형성 후, 콘크리트 함수상태에 따른 부착성능을 나타낸다. 금속용사 전 콘크리트 함수율에 따른 부착강도 결과와 비슷한 경향이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 금속용사피막과 콘크리트의 부착강도는 콘크리트 함수상태의 영향을 크게 받지만, 일단 금속용사 피막이 형성된 후에는 부착강도 변화가 크지 않은 것을 알 수 있어, 금속피막 형성시의 콘크리트 함수율 관리가 매우 중요할 것으로 판단되며, 기건 상태의 함수율이 보통 10% 이하인 점을 고려하면 적정 콘크리트 함수율은 10% 이하로 관리하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4.3 콘크리트 함수상태에 따른 금속피막의 부착파괴 형상

Fig. 6에 콘크리트의 함수상태에 따른 콘크리트와 금속피막의 부착파괴 형상을 나타낸다. 일반적으로 마감재와 콘크

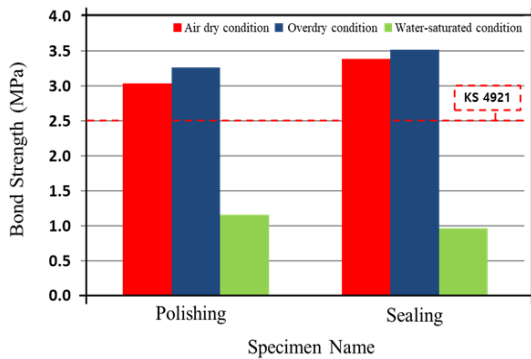


Fig. 4 Bond Strength according to Water Content of Concrete before Spraying

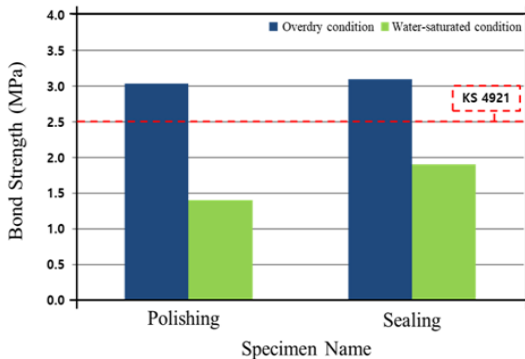


Fig. 5 Bond Strength according to Water Content of Concrete after Spraying

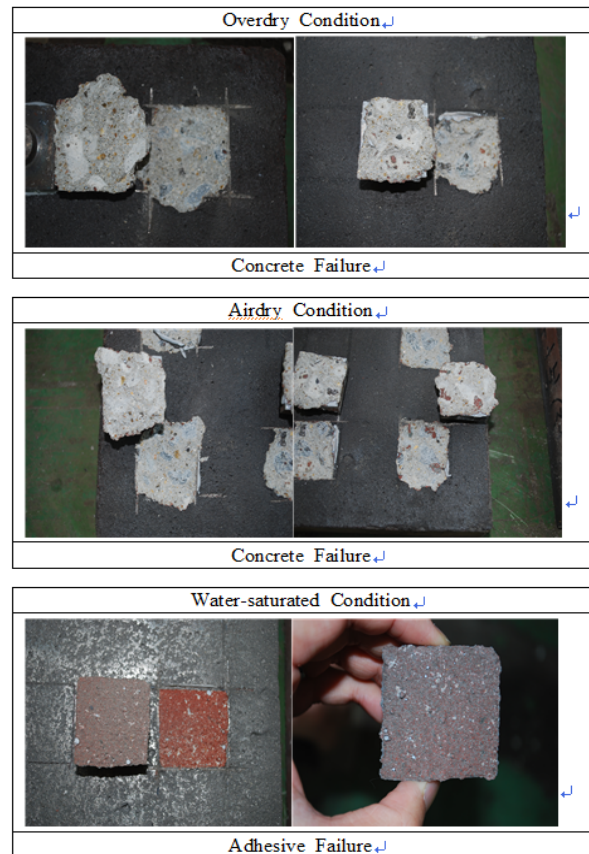


Fig. 6 Bond Failure modes

리트의 부착강도 기준은 2.5 MPa를 기준으로 하고 있으며, 절건 상태 및 기건상태의 콘크리트에 시공된 금속피막은 이러한 기준을 전부 초과하여 나타나고 있다. 또한, 마감재의 부착강도 기준을 넘는 실험체는 콘크리트를 물고 떨어지는 비계면 파괴가 일어났으며, 부착강도 기준을 넘지 않는 콘크리트 포수상태의 실험체에서는 금속피막과 조면형성제 면에서 떨어지는 계면 파괴가 일어나는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 용사 전·후의 함수상태에 관계없이 마감재의 부착강도 기준을 확보하기 위해서는 콘크리트를 기건상태 또는 절건상태로 관리한 후에 금속용사 피막을 형성하는 것이 중요하다고 판단된다.

4.4 콘크리트 및 금속피막의 SEM 분석

본 실험결과, 금속피막과 콘크리트의 부착파괴는 콘크리트 면에서 발생하기 때문에 콘크리트 표면을 강화하기 위하여 실시한 표면강화제 도포효과를 시각적으로 확인하기 위하여 2000 배율로 SEM 분석을 실시하였다. 또한, 금속피막의 붕공을 메우기 위한 붕공처리의 효과를 확인하기 위하여 100 배율로 SEM 분석을 실시하였다.

Fig. 7은 표면강화제 도포에 따른 콘크리트 단면의 SEM 분석 사진으로 침투성 표면강화제를 도포한 경우 일반 콘크리트 및 에폭시 표면강화제를 도포한 실험체 보다 더 치밀한 조직을 형성하여 부착강도 증진 효과가 나타난 것으로 판단된다. 또한, Fig. 8은 붕공처리의 유무에 따른 콘크리트의 단면의 SEM 관찰결과를 나타낸다. 붕공처리의 경우, Fig. 8(a)와

같이 실험체 표면을 붕공제가 코팅한 것을 확인 할 수 있었다. 따라서, 붕공처리제가 금속피막의 붕공을 메꾸고 콘크리트로 침투되어 부착강도가 향상된 것으로 판단된다.

5. 결론

용사기법에 의해 콘크리트 표면에 금속피막을 형성하는 새로운 마감 의장기법의 가능성을 검토하기 위하여, 콘크리트의 함수율 변화에 따른 금속피막의 부착성능에 대하여 실험적인 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 색이 다른 금속선재를 전기식 아크 용사기술에 의하여 콘크리트 표면에 금속피막을 형성함으로써 새로운 건축의 장 마감기법을 개발하였으며, 선재의 색은 용사 후에도 변하지 않는 것을 알 수 있었다.
- 2) 콘크리트의 기건 상태 함수율이 보통 10% 이하인 점을 고려하면 마감재의 콘크리트 부착강도 기준인 2.5 MPa를 확보하기 위한 바탕 콘크리트의 함수율을 10% 이하로 관리하면 금속피막의 부착강도는 확보되는 것으로 판단된다.
- 3) 콘크리트와 금속피막의 부착강도를 증진시키기 위해서는 표면강화제에 의한 콘크리트 표면강화와 함께 금속피막을 붕공처리제로 붕공하는 것이 매우 유효하다.

References

Brousseau, R., et al. (1992), Adhesion of Thermally Sprayed Zinc on Reinforced Concrete, *National Research Council of Canada*.

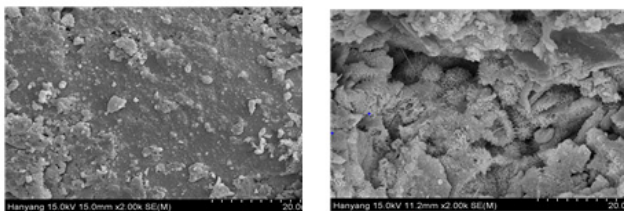
Cinca, N., Lima, C. R. C., and Guilemany, J. M. (2013), An overview of intermetallics research and application: Status of thermal spray coatings, *Journal of Materials Research and Technology*, 13;2(1), 75-86.

Jung, S. H., and Lee, M. S. (2003), Experimental study on the Corrosion Protection Properties and Anticorrosive life of the Zn/Al Metal Spray Method according to the Contents Ratio of Zn and Al, *Journal of the Architecture Institute of Korea Structure & Construction*, 19(10), 59-66.

Kondo, T., et al. (1997), Report of research on application of the room temperature metal-spraying system, Japan Society of Finishing Technology, Japan.

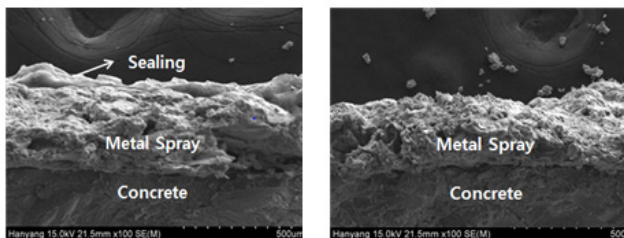
Kondo, T., Hamaki, H., and Msauyama T. (1992), Metal-spraying finishing onto concrete surface, *Proceedings of 1992 Annual Meeting*, Japan Society of Finishing Technology, Tokyo, 167-170.

Sakae U., and Yukikazu, T. (1994), Fundamental Study on Durability of Reinforced Concrete Using Metallized Zn and Zn-Al Coating, *Concrete Research and Technology*, 5(1), 1-14.



(a) Perviousness Surface Hardener (b) Plain Concrete (Epoxy Hardener)

Fig. 7 SEM analysis result of surface hardener(× 2000)



(a) Sealing (b) Metal Spray

Fig. 8 SEM analysis result(× 100)

Received : 12/05/2017

Revised : 12/06/2017

Accepted : 12/06/2017

요 지 : 본 연구에서는 용사기법에 의해 콘크리트 표면에 금속피막을 형성하는 새로운 마감 의장기법의 가능성을 검토하기 위하여, 콘크리트의 함수율 변화에 따른 금속피막의 부착성능에 대하여 실험적인 연구를 수행하였다. 그 결과, 선재의 색은 용사 후에도 변하지 않는 것을 알았고, 콘크리트 부착강도 기준인 2.5 MPa를 확보하기 위한 하지 콘크리트의 함수율을 10% 이하로 관리하면 금속피막의 부착강도는 확보되는 것으로 판단된다. 또한, 콘크리트와 금속피막의 부착강도를 증진시키기 위해서는 표면강화제에 의한 콘크리트 표면강화와 함께 금속피막을 봉공처리제로 봉공하는 것이 매우 유효한 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 금속피막, 마감재, 마감 의장 기법, 금속용사, 콘크리트
