

지중 매설관의 세정을 위한 카본 다이옥사이드 펠릿의 현장 적용성 검토

Field Applications of Carbon Dioxide Pellet for Underground Pipe Cleaning

최재순^{1*}

Jae-Soon Choi^{1*}

¹Member, Dept of Civil & Architectural Eng. Seokyeong Univ. 124 Seokyeong-ro, Sungbuk-gu, Seoul, 02713, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, a new cleaning method using carbon dioxide pellet in the part of underground pipe cleaning method was proposed and verified. First of all, the commentary of The Society for Protective Coatings was examined in detail to determine the quantitative cleaning effects. Also, field tests were carried out to confirm the application of the new method. In the test, the surface condition of inner pipe after the application of the new method was investigated and two types of nozzles were compared in the tests. Also, the tests to measure the final impact pressure of air and carbon dioxide pellet mixtures were performed to investigate the losses of air pressure were investigated. Through this verification on the new method, it was found that the new method is very efficient for the removal of the rust in the pipe cleaning works. Also, the nozzle with excellent cleaning effect was also selected. As a result, this method will be able to largely contribute to the recycling of CO₂ which is limited to the use as a cooling agent or the storage of waste.

요 지

본 연구에서는 지중 매설관의 새로운 세정공법으로 개발된 카본 다이옥사이드 펠릿을 이용한 분사 세정공법의 현장 적용성을 검토하였다. 이를 위해 우선적으로 미국 철강도금도장위원회에서 제안하고 있는 관 세정 전후에 관한 시방내용들을 조사하고 이를 기초로 하여 본 공법의 금속표면 처리기준을 선정하였으며 임의의 녹이 슨 관을 대상으로 카본 다이옥사이드 분사세정의 현장시험을 수행하고 세정도가 선정기준에 부합되는지를 검토하였다. 또한, 모양을 달리한 2가지의 노즐시스템이 적용되어 분사압에 따른 세정효과가 분석되었으며 각 노즐시스템에 대해서 최종 충격량 계측시험을 수행하여 공기압 대비 최종 분사압의 압력손실을 검토하였다. 연구결과, 제안된 공법은 미국철강도금도장위원회에서 규정하고 있는 수준을 상회하는 세정효과가 있음을 확인하였으며 노즐 비교실험으로부터 세정효과가 우수한 노즐도 선정되었다. 이로부터 카본 다이옥사이드 펠릿을 이용한 관 세정공은 완전탈락수준에 이르는 관 세정효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라 냉각제로의 이용 등에 국한되는 이산화탄소 재활용 부분의 활성화에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Keywords : Carbon dioxide pellet, pipe cleaning, surface condition, nozzle, recycling of CO₂

1. 서 론

최근 물의 중요성은 블루골드로 칭할 정도로 매우 중요한 자원으로 인식되고 있으며 지구 온난화의 주범으로 생각되는 탄소배출량에 관한 국제적 합의가 교토의정서 (UNFCCC, 1997) 발표를 시작으로 현재까지 계속적 진행

Received 13 Nov. 2017, Revised 29 Nov. 2017, Accepted 4 Dec. 2017

*Corresponding author

Tel: +82-2-940-7771; Fax: +82-2-940-7105

E-mail address: geotech@skuniv.ac.kr (J. Choi)

되면서 각 국가에서는 이산화탄소 저감에 대한 대책마련에 많은 역량을 집중하고 있다.

우리 나라의 물 관리 시스템을 보면, 20세기에는 주로 양적관리에서 21세기 들어서서는 질적관리로 전환되면서 전국의 노후된 상수도관의 갱생 및 교체 공사가 시작되어 지금까지 계속되고 있다. 관 갱생 공사에 있어 시공 품질 관리를 좌우하는 주 공정이 바로 세정 공정인데 현재 국내에서 관 세정 시 사용되는 물 세정공법은 재도장을 위해 반드시 선행되어야 하는 이물질 및 기존도장 제거가 완전하지 않은 관계로 우수한 품질의 갱생시공이 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 물을 이용하는 기존의 세정방식을 완전히 탈피하여 세정분야에서 새로운 재료로 부각되고 있는 카본 다이옥사이드 펠릿을 관 세정 공정에 적용하고 이에 대한 현장적용성 검토를 수행하고자 한다. 특히, 카본 다이옥사이드는 이산화탄소의 화학적 명칭으로 최근 탄소배출권과 관련되어 사회적 이슈로 떠오른 이산화탄소 지중저장소 마련이라는 소극적 대책을 넘어서 폐자원을 재활용하는 적극적인 대책의 하나가 될 수 있다. 현재 이산화탄소 저감대책은 주로 탄소 발생을 억제하거나 감축하는 분야와 이를 지중에 저장하는 분야에 집중되어 있는데 이러한 재활용 기술은 저장이 갖는 공간적 제약을 넘어설 수 있는 기술로 발전할 수 있는 가능성이 높다. 이 연구를 위해 우선적으로, 본 세정공 적용시의 품질관리를 위해 미국 철강도금도장 위원회인 SSPC(The Society for Protective Coatings)의 금속세정 표면처리 기준을 조사하였으며 이를 기초로 하여 신공법 적용시의 품질기준을 선정한 후, 현장시험을 통해 본 세정공의 적용성을 검토하였다. 이때, 현장시험에서는 2가지 타입의 노즐시스템의 적용을 통해 보다 효과적으로 카본 다이옥사이드 펠릿을 분사할 수 있는 노즐시스템을 비교분석하였다.

2. SSPC 표면처리 기준

상수도를 포함한 대부분의 관 갱생공사에서는 세정이 완료된 후, 관내 표면의 보호를 위해 재도장 공정이 후속되는데 이때, 높은 품질의 도장을 얻기 위해서 관의 완벽한 세정이 충족되어야 한다(Soltz, 1998). 미국 철강도금도장 위원회가 제정한 SSPC 표면처리 기준은 금속표면의 오염상태, 세정정도를 객관적으로 명시한 문서로서 본 연구의 카본 다이옥사이드 분사 공법을 상수도 세정공법에 적용하기 위해 이에 대한 상세한 문헌조사를 수행하였다.

SSPC 기준 내에서 특수한 환경이나 오염상태에 사용되는 공법을 제외하고, 일반적으로 가장 널리 사용되는 세정공법은 연마제 분사세정공법, 워터제트공법, 그리고 수공구 및 동력공구의 3가지로 구분된다. 여기서 수공구 및 동력공구를 이용한 공법의 경우, 수공구, 그라인더, 연마포지 디스크 등을 이용하여 표면의 느슨한 녹과 코팅을 제거하는 공법으로 세정도가 가장 낮아 상수도관 세정에는 적용하기 어려우므로 상수도관 세정에 적용가능한 연마제 분사세정공법과 워터제트공법에 대해서 관련규정을 다음과 같이 요약하였다.

연마제 분사세정공법은 모래, 그리트(Grit) 및 쇼트(Shot)를 사용하여 휠 또는 노즐에 의한 건식, 습식 분사로서 눈에 띄는 모든 녹, 흑피 도막 및 기타 이물질을 제거하는 공법을 의미한다. 따라서, 본 세정공 또한 카본 다이옥사이드 펠릿을 분사하기 때문에 광의의 개념에서는 연마제 분사세정공법에 포함되며 이를 SSPC기준의 세정도에 따라 정리하면 Table 1과 같다.

SSPC SP 5는 나금속 분사세정으로 금속표면으로부터 눈에 보이는 오염물, 이물질, 스케일, 녹 등을 완벽하게 제거할 수 있으며, 처리비용에 관계없이 높은 세정도를 요하는 곳에 사용된다. SSPC SP 10은 준나금속 분사세정으로 오염물, 이물질, 스케일, 녹 등을 $58.06\text{cm}^2(9\text{in}^2)$ 내에서 95% 수준으로 제거가 가능한 것으로 비용은 SP 5보다 10~

Table 1. Blasting Cleaning Comparison (SSPC, 2004)

Grade	Cleaning	Pollution	Paint	level
SP 5	All removal	None	Removal	High
SP 10	95% of SP 5	$\leq 5\%$ stain in $58.06\text{ cm}^2 (9\text{in}^2)$	Removal	
SP 6	All loose pollution removal	$\leq 33\%$ stain in 58.06 cm^2	Partially removal	↑
SP 14	All loose pollution removal	$\leq 10\%$ pollution in 58.06 cm^2	Partially removal	Low
SP 7	All loose pollution removal	Correspond with new painting	Partially removal	

Table 2. Water-jet (SSPC, 2004)

SP	Cleaning	Pollution	Paint	level
SP 12 WJ-1	100% removal	None	Removal	High
SP 12 WJ-2	95% removal of WJ-1	5% in 58.06 cm ²	Removal	
SP 12 WJ-3	All loose pollution removal	33% in 58.06 cm ²	Partially removal	↑
SP 12 WJ-4	All loose pollution removal	-	Partially removal	Low

Table 3. SSPC Cleaning level in Steel pipe (SSPC, 2004)

level	Blasting Cleaning	Hand and Power tool Cleaning	Water-jet
High ↑ Low	SP 5		SP 12, WJ-1
	SP 10		SP 12, WJ-2
	SP 6		
	SP 14		
	SP 7		SP 12, WJ-3
			SP 3
			SP 2

35% 저렴하다고 알려져 있다. SSPC SP 6의 경우, 일반 분사세정으로 세정수준 후 금속표면은 SP 5, 10에 비해 낮은 편이지만 적은 비용으로 효과적인 오염물 제거가 가능하고 SSPC SP 14는 산업용 분사 세정으로 금속표면에 도장, 스케일, 녹을 대부분 제거하며 오염물을 58.06cm² (9in²) 내에 10% 잔류를 허용한다. SSPC SP 7은 브러쉬-오프 분사 세정으로 금속 표면의 오염이 심하지 않은 환경에서 주로 사용되며 느슨한 스케일, 도장, 녹 등이 제거된다. SSPC SP 12는 연마제 분사 세정 공법을 적용하기 곤란하거나 용해성 염의 오염이 심각할 경우에 주로 사용되는 공법으로 초고압수로 표면의 이물질 및 오염물을 제거하는 워터 제팅(water jetting)을 의미한다. 염화 이온, 철 이온, 황산염 이온 오염물 등의 제거에 효과가 탁월하며, 세정시 분진이 날리지 않는 장점이 있다. 세정 공정시 주의사항으로는 세정 후 수 분 또는 수 시간 내에 부분적인 얼룩인 발청(Flash Rust)이 발생할 수 있으며 이는 세정이 끝난 후에도 금속 표면에 남게 되는 수용성 염으로써 코팅의 기능수행에 유해하다고 알려졌다. SSPC SP12는 금속 표면의 세정 정도에 따라 다음과 같이 4단계로 분류된다 (Table 2).

SSPC에서 워터제팅이란 700~2100kgf/cm² 수준의 높은 수압을 이용하는 경우를 말하며 700kgf/cm² 이하의 수압인 경우를 물 세정공(water cleaning)이라 정의하고 있다. 국내 상하수도 세정공에서는 통상 세정시 물을 이용하

는 경우 모두를 워터제트공이라고 명하고 있으나 실제 국내에서 사용되는 수압은 700kgf/cm² 이하로 SSPC 표면처리 기준을 적용하면 일반 물 세정공에 해당되며 국내에서 통상 사용되는 250kgf/cm²의 수압이 관에 작용할 경우, 세정도가 SP 12 WJ-3의 80% 수준인 것으로 알려져 있다. SSPC 표면처리기준에서 연마제 분사세정공법, 워터제트 공법, 그리고 수공구 및 동력공구의 세정도에 따른 표면처리 기준을 비교하여 정리하면 Table 3과 같다.

금속표면 처리시, 세정공정에 후속되는 도장공정은 금속표면의 습도와 세정도에 매우 큰 영향을 받게 된다. 일반적으로 금속표면을 세정하면 습도, 물의 용존산소량, 금속 표면의 잔류 이온 등으로 금속표면에 수 분 또는 수 시간 내로 발청이 발생한다. 발청은 빠르게 금속 표면에 변화를 일으키게 되므로 도장공정을 방해하는 요소가 된다. 또한, 세정 후 금속 표면에 잔류하는 염화 이온도 발청의 재발원인으로 이를 방지하기 위해선 고세정도의 건식 연마제 분사 세정이 더 효과적일 수 있다.

상기와 같은 SSPC의 표면처리기준에 기초하여 본 연구를 통해 검토되는 카본 다이옥사이드 펠릿을 이용한 세정공은 연마제분사세정공법에 준하고 제거수준은 오염물과 기준도장의 95% 제거가 가능한 SSPC SP 10으로 정하였다. 또한, SSPC 표면처리기준과 동일한 기준으로 ISO S_a 1/2 기준(ISO 8501)이 있으며 일반적으로 SSPC SP 10 1/2으로 불리우고 있다.

3. 세정공법 일반 이론

3.1 카본 다이옥사이드 세정 공법

카본 다이옥사이드 펠릿을 이용한 관 세정공법의 원리 (Kim et al., 2007)는 아래의 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 쌀알 모양의 고체 카본 다이옥사이드 펠릿을 공기압을 통해 세정대상 표면에 고속으로 분사하게 되면 순간적으로 오염물을 냉각하고 크랙화시킨 후, 그 크랙 사이로 스며든 카본 다이옥사이드 펠릿 입자가 순간적으로 승화하며 800 배 이상 부피팽창하며 그 팽창력으로 크랙을 모재로부터 격리시키게 된다.

3.2 물 세정 공법

물 세정 공법은 보통 1회 시공 연장이 80~120m로 국내에서는 250kgf/cm²의 압력을 관내에 분사하여 세정한 다. 일반적으로 1회 시공시 관내 스케일 제거가 완벽하지 않으므로 수차례의 반복시공이 요구되며 세정 후, 습기가 관 내부 및 표면에 잔존하여 후속 도장공정을 위해 열풍을 이용한 블로어 공법을 후속하는 것이 일반적이다. 그러나, 실제 현장에서 블로어 공법을 수행하여도 관 내부의 100% 습기 제거가 어려워 분체 도장시 도장의 접착이 불안하게 되어 시공품질의 우수성이 크게 저하되는 원인이 되고 있다. 카본 다이옥사이드 세정공과 물 세정공을 비교하면 Table 4에 나타난 바와 같다.

4. 카본 다이옥사이드 펠릿을 이용한 세정공법의 현장시험

카본 다이옥사이드 세정공이 앞서 선정한 목표 세정기준인 SSPC SP 10 1/2을 만족하는지 여부를 검토하기 위

Table 4. Water-jet / Carbon Dioxide Cleaning

Cleaning	Characteristics
Water-Jet	<ul style="list-style-type: none"> - No dust - General application - After product spills out of tube - Incomplete removal of water - No long distance construction - Large physical load in operation - Soil and ground-water contamination - By-product reprocessing
Carbon Dioxide (CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - No water in the tube - Less internal tube damage - CO₂ recycling - Solid type by-product - Few operation records - Less physical load in operation - Removal of large foreign object - Difficult to create surface roughness

해 현장시험을 실시하였다. 현장시험을 통한 카본 다이옥사이드 세정공의 세정능력 평가에서는 SSPC 표면처리 기준에서 오염정도 판정 기준인 SSPC VIS 1, 3, 4에 의거 오염상태를 확인하고 SSPC SP 10 1/2에 의해 세정정도를 파악하였다. 또한, 카본 다이옥사이드 펠릿을 유효하게 분사할 수 있는지 여부를 조사하기 위해 2가지의 노즐시스템을 대상으로 각 노즐의 성능을 비교 평가하였으며 이때, 평가는 분사압력변화에 따른 단위면적당 세정시간을 조사하였고 공기압과 최종 노즐의 분사압의 비교를 통해 시스템 내부에서의 손실도 병행하여 조사하였다.

4.1 현장 개요

세정이 요구되는 상수도 관 표면을 사실적으로 모사하기 위해 녹이 발생한 표면에 수도용 강관 콜타르 에나멜 도복장법(KS-D-8307)을 실시한 실험용 관로를 준비하였다. 관내 표면의 오염상태는 SSPC VIS 1, 3, 4에 준하여

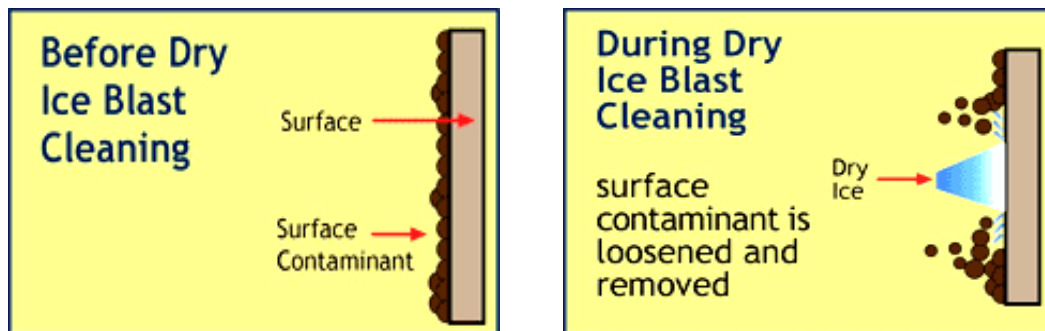


Fig. 1. Carbon Dioxide Cleaning Mechanism (Choi et al., 2009)



(a) Rust Condition C



(b) Rust Condition D

Fig. 2. SSPC Condition D in Steel (SSPC, 2004)



Fig. 3. Test Sample Pipe

녹 상태 D(녹으로 완전히 덮혀있고 피팅이 많이 보임)에 해당되는 것으로 나타났다. SSPC에서 규정하는 녹 상태 A, B, C, D에 대한 설명은 다음과 같으며 이때, 상태 C와 상태 D의 모습을 나타내면 Fig. 2와 같다.

또한, 이러한 녹 상태 D인 실제 현장 세정시험에 이용된 관의 상태는 Fig. 3과 같다.

세정 완료된 표면의 세정도를 판단하기 위해 SSPC SP 10 1/2 기준을 적용하여 현장시험을 실시하였으며 시험 전 및 시험 후의 상태에 대한 항목들이 각 기준에 적합한지 여부를 확인하였으며 그 내용은 다음과 같다(Table 6).

또한, 이 연구에서는 효율적인 노즐 시스템의 개발을 위해 단면형상이 다른 2가지 노즐을 제작하고 각각의 노즐을 현장 세정시험에 적용하였다. 각각의 노즐의 모습과 제원은 다음과 같으며 노즐2는 노즐1의 손잡이 부분을 생략하고 노즐팁의 길이를 노즐1에 비해 3배 수준으로 늘인 것이 특징이며 노즐에 직접 연결되는 호스의 내경은 ϕ 12mm이다.

4.2 시험 및 시험결과

현장 시험은 아래의 그림과 같이 카본 다이옥사이드 분사를 위한 별도의 콤프레셔로부터 Fig. 4의 녹이 발생한 부분에 대해 상하부분을 나누어 2가지 노즐을 이용하였으

Table 5. Rust condition (SSPC, 2004)

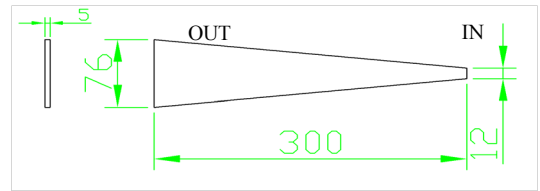
Grade	Condition
A	Steel surface covered completely with adherent mill scale; little or no rust visible
B	Steel surface covered with both mill scale and rust
C	Steel surface completely covered with rust; little or no pitting visible
D	Steel surface completely covered with rust; pitting visible

Table 6. Inspection items and standard in the test

Item	Standard
Test condition	Check the application condition of the collar primer (KS-D-8307)
Initial surface condition	Visual confirmation of rust D (SSPC-VIS 1,3,4)
Surface condition after cleaning	Review of SSPC-SP 10 1/2



(a) Nozzle #1



(b) Nozzle #2

Fig. 4. Nozzles in Lab. test



Fig. 5. Cleaning process in the test (nozzle #1)



Fig. 6. Surface condition after cleaning

며 전반적인 시험개요와 실제 시험시 세정하는 모습은 다음과 같다(Fig. 5).

현장시험에서는 녹 상태 D로 준비된 관 내부에 노즐 #1 과 노즐 #2를 Fig. 3에 나타난 바와 같이 각각 A라인과 B

라인에 적용하였으며 1, 2, 3, 4로 구분된 구역에 대해 공기 압력을 1, 3, 5, 7kgf/cm²으로 변화시켜가며 단위면적 (500mm×500mm)을 세정하는데 소요된 시간을 측정하였다. 여기서, 최대 압력 7kgf/cm²은 실험실 조건에 가능한 컴프레서의 최대용량이다. 이때, 노즐은 관 표면에 거의 밀착한 상태로 면에 대해 직각을 유지하며 세정을 실시하였다.

현장 세정시험이 끝난 후의 관의 상태를 나타내면 다음과 같다(Fig. 6).

카본 다이옥사이드 분사 세정시험을 수행한 결과, Fig 6에 나타난 바와 같이 이물질 및 콜탈 에나멜 도료가 100% 제거되었음을 확인할 수 있었으며, 이는 준나금속 표면 처리 기준 SSPC-SP 10 1/2 세정조건인 오염물 및 녹의 95% 제거수준 훨씬 상회하는 것으로 이로부터 카본 다이옥사이드 세정시험은 계획된 Table 5의 항목 모두를 만족하는 결과를 획득할 수 있었다. 또한, Fig. 4에 나타난 바와 같이 2가지 노즐시스템에 따른 효과를 비교하기 위해 압력 변화에 따른 노즐별 단위면적당 세정시간을 나타내면 다음과 같다.

Fig. 7을 보면, 2 가지의 노즐 모두 분사압이 커짐에 따라 세정효과가 향상되어 최대분사압인 7kgf/cm²에서 가장 좋은 세정능력을 나타내었으며 3kgf/cm² 이후부터는 2가지 노즐 모두 분사압에 비례적으로 시간이 단축되는 현상을 나타내었다. 또한, 노즐 시스템에 따른 결과를 보면, 전반적으로 노즐 #2가 노즐 #1의 경우보다 10%정도의 시간

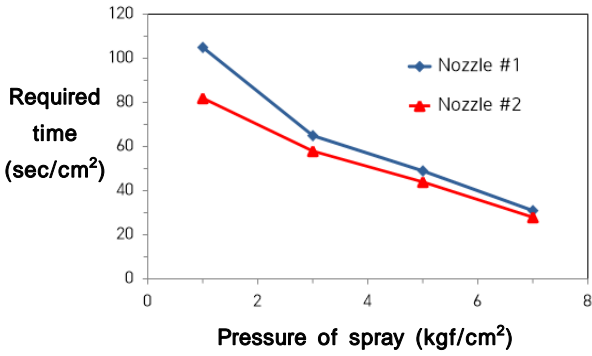


Fig. 7. Comparison on the required times according to spray pressure from each nozzle

단축 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 세정에 직접적으로 접촉되는 면적이 노즐 #2가 노즐 #1보다 큰 점에 기인한 것으로 판단되며 이상의 실험으로부터 본 카본 다이옥사이드 펠릿을 이용한 세정공에는 노즐 #2와 같이 접촉면을 증가시키는 것이 더 효과적임을 알 수 있다.

4.3 노즐#2에서의 압력손실 측정

Fig. 7에서의 분사압은 노즐팁에서 발생하는 최종압력이 아니고 펠릿과 공기압이 혼합되기 전인 공기압 자체의 압력이다. 그러므로 실제 세정기 본체의 공기 분사압과 노즐 출구사이에서는 압력의 차이가 발생할 수 있다. 이러한 점을 고려하여 이 연구에서는 각각의 노즐에 대해 컴프레셔에서부터 노즐까지의 압력손실을 정량적으로 측정하였으며 이 시험의 개요를 나타내면 Fig. 8과 같다. 이때, 노즐과 판의 거리는 5cm의 거리로 통일하였다.

분사압 손실을 측정시험에서는 Fig. 8에 나타난 바와 같은 세정기 본체에서 측정되는 분사압과 노즐 출구를 통해 배출되는 펠릿의 분사압을 로드셀을 이용하여 측정하였으며 이때, 노즐을 통해 분사되는 펠릿의 분사압은 디지털 다이얼게이지로부터 로드셀에 부딪히는 충격량을 측정하였다. 이때, 세정기 본체의 분사압은 순수 공기압만이 측정된 것이며 최종 분사압은 펠릿이 포함되어 분사되었을 때의 압력이다. 시험결과, 세정기 본체의 분사압이 7kgf/cm² 일 때 각각의 노즐 출구를 통해 나오는 펠릿의 분사압은 노즐 #1의 경우에는 6.9kgf/cm²와 6.0kgf/cm²로 측정되어 노즐 #1에서는 압력손실이 거의 없는 반면 노즐 #2를 이용한 분사 세정공에서 약 15%의 압력손실이 있는 것으로 나타났다. 이러한 최종 분사압의 차이는 충격량-운동량 방

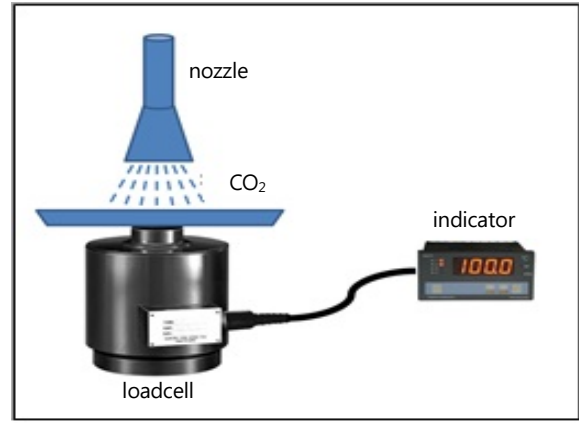


Fig. 8. Final injection pressure measurement test

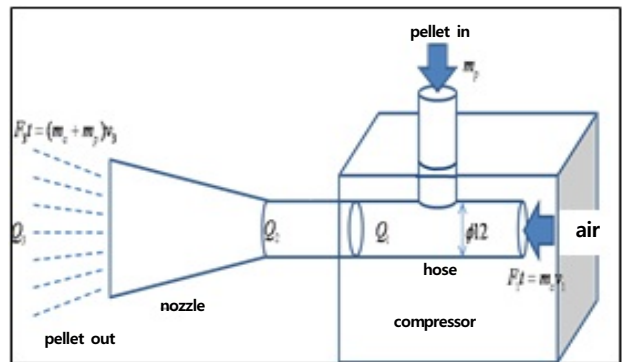


Fig. 9. Mechanical description of pressure loss

정식과 유량공식을 이용하면 역학적인 설명이 가능하며 이를 그림으로 나타내면 Fig. 9와 같다.

$$Ft = mv \quad (1)$$

$$Q = Av \quad (2)$$

Fig. 9에서 m_a 는 공기의 질량, m_p 는 카본 다이옥사이드 펠릿의 질량, $Q_1 = A_1v_1$ 로 호스부를 통과할 때의 펠릿과 공기의 유량, $Q_2 = A_2v_2$ 로 호스부에서 노즐부를 통과할 때의 펠릿과 공기의 유량, $Q_3 = A_3v_3$ 로 노즐 출구로 분사되는 펠릿과 공기의 유량이다. 이때, $Q_1 = Q_2 = Q_3$ 이라고 가정하면 식 2의 각각의 면적들의 비는 관의 두께를 고려하여 계산하면 노즐 1은 $(A_1 = A_2 = 36\pi) \cong (A_3 = 4.6 \times 25)$ 이고, 노즐 2는 $(A_1 = A_2) < (A_3 = 4.6 \times 76)$ 가 되며 이로 인해 식 2에서 $v_3 < v_1$ 가 되어야 한다. 그리고, 충격량 결과는 $F_3t < F_1t$ 이므로, 이를 식 1에 의해 $(m_a + m_p)v_3 < m_a v_1$ 로 변환하더라도 위의 결과를 만족하게 된다. 다만, 노즐의

면적이 3배가 되고 압력손실은 15% 손실이 있었음에도 Fig. 7에 나타난 바와 같이 10% 정도의 효과 증진이 있는 점은 향후 다양한 노즐에 대한 시험을 통해 단위면적당 세정능력이 최대화되는 시스템의 개발연구가 후속될 필요가 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 물이 아닌 새로운 세정재료인 카본 다이옥사이드 펠릿을 상하수도관을 포함한 관 세정공에 적용하기 위해 미국 철강도금도장 위원회의 세정기준을 조사하고 이를 기초로 본 공법의 세정기준을 선정하였으며 이에 대한 현장 적용성을 검토하기 위해 2가지 노즐시스템을 대상으로 현장 세정시험을 수행하였다. 또한, 각각의 노즐시스템에 대해서 최종 분사압에 대한 충격량 시험을 통해 압력손실을 측정하였다. 이상의 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 카본 다이옥사이드 세정공법의 목표 세정도를 정하기 위해 SSPC 금속표면 처리 기준을 조사하였고, 연마제 분사세정의 세정기준을 정리하여 본 카본 다이옥사이드 펠릿을 이용한 세정공의 목표 세정도를 SSPC SP 10 1/2 (95% 세정도)로 선정하였다.
- (2) 2가지 노즐시스템에 대해 분사압을 변화시켜가며 현장 성능평가지험을 수행한 결과, 노즐시스템에 관계없이 목표 세정도 SSPC SP 10 1/2을 만족하는 수준(95% 세정도)을 넘어서 이물질뿐만 아니라 콜탈 에나멜 도료까지 100% 제거되었다.
- (3) 노즐시스템의 비교평가에서는 노즐 팁의 접촉면적이 넓은 노즐이 약 10% 정도 세정효과가 뛰어난 것으로 나타났으며 이때, 각 노즐별 공기압과 분사압의 압력손실을 비교한 결과, 노즐의 면적이 공기압 호스의 면적과 유사한 경우에는 손실이 거의 없는 반면, 노즐 면적이 3배 정도로 커진 노즐에서는 압력손실이 15% 정도 발생한 것으로 나타나 향후 연구를 통해 세정능

- 력이 극대화될 수 있는 압력손실과 접촉면적을 함께 만족하는 노즐의 개발이 필요한 것으로 판단된다.
- (4) 이상의 현장 성능평가지험으로부터 본 카본 다이옥사이드 펠릿을 이용한 세정공법은 사용재료가 고체에서 기체로 승화하는 특성을 갖고 있어 세정 후 별도의 건조 공정이 필요하지 않는 장점을 갖고 있음을 확인하였으며 세정시 실내시험용 공기압(7kgf/cm²미만) 수준으로도 완전탈락의 세정도를 달성 가능한 것으로 나타났다. 따라서, 카본 다이옥사이드 펠릿을 이용한 세정공법은 세정능력이 매우 우수할 뿐만 아니라 세정시 이용 압력이 크기 않아 세정장비의 소형화 등이 가능할 뿐만 아니라 기후변화의 원인인 이산화탄소의 재활용을 통해 탄소배출권 시장에도 진출이 가능한 기술이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This Research was supported by Seokyeong University in 2017.

References

1. Kim, J. C., Chung, Y. K., Chung, D. W., and Choi, J. H. (2007), "Regeneration for duct by using carbon dioxide solid", 2007 Joint conference of Korean society of water & wastewater and Korean society of water environment, B-19, pp.B117-B119. (in Korean)
2. Korean Standard, KS D 8307 Coal-tar enamel protective coating for steel water pipe, 2013.
3. Choi, J. S., Choi, Y. Y., Choi, J. S., and Chung, D. W. (2009), "Development of Pipe Cleaning Method with Carbon Dioxide of High Cleaning Rate", 2009 KSCE conference, Korean society of civil engineers, pp.2088-2091. (in Korean)
4. Soltz, G. C., "Understanding How Substrate Contaminants Affect the Performance of Epoxy Coating & How to minimize Contamination", Paint-square, 1998, pp.208-219.
5. SSPC (2004), Surface Preparation Specifications, The Society for Protective Coatings, Pittsburgh PA, pp.848-857.
6. UNFCCC, Kyoto Protocol, 1997. (<http://unfccc.int/2830.php>)