

강 용접이음의 방사선투과시험 방법(KS B 0845) 해설

정 구 범
호남엔지니어링(주)

Method of Radiographic Examination for Welded Joints in Steel(KS B 0845) - Explanation

Ku Pom Chung
Honam Engineering Co., Ltd

요 약 본고는 1997년 12월 31일 개정된 “강 용접부의 방사선투과시험 방법 및 투과 사진의 등급분류 방법” (한국산업규격 KS B 0845)을 이해하는데 참고가 될 수 있도록 일본공업규격 JIS Z 3104의 해설부분을 번역한 것으로 KS B 0845의 모체가 되는 JIS Z 3104의 본래취지를 정확히 전달하기 위하여 편집하거나 가감하지 않고 원문 그대로 기술하였으며 KS B 0845와는 일부 용어나 항목구성에 차이가 있으나 번호에 관계없이 각 항목의 제목을 보고 이해하게 하였다. 특히 일부 부속 규격의 미 제정상태에서 개정판이 발표되어 적용에 혼란을 초래할 수도 있었으나 부분적인 적용은 가능할 것으로 판단된다.

이 해설은 본체 및 부속서에 규정한 사항과 여기에 관련한 사항을 설명하는 것으로서 규격의 일부는 아니다.

이번의 개정에서 표제를 “강 용접부의 방사선투과 시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법”에서 “강 용접이음의 방사선투과시험 방법”으로 변경하였다. 이에 따라서 규격은 본체와 부속서로 구성하였다. 종래 규격의 내용에 대한 개정과 추가는 다음과 같다.

개정: 본체 “강 용접이음의 방사선투과시험 방법”

개정: 부속서 1 “강판의 맞대기 용접이음의 촬영 방법 및 투과사진의 필요 조건”

추가: 부속서 2 “강판의 원둘레 용접이음의 촬영 방법 및 투과사진의 필요 조건”

추가: 부속서 3 “강판의 T 용접이음의 촬영방법

및 투과사진의 필요 조건”

개정: 부속서 4 “투과사진에 의한 불연속 상의 분류방법”

1. 제정·개정 취지

1.1. 제정의 취지

이 규격은 JIS Z 2341-1955 (금속재료의 방사선투과시험 방법) 중에서 강 용접이음의 방사선투과시험 및 투과사진의 등급분류 방법을 독립시켜 전문성을 높이기 위해 원안이 사단법인 일본용접협회에서 제출되었다. 1967년 9월부터 1968년 2월 사이에 일본공업표준조사회 용접부 방사선검사 전문위원회에

서 심의되어 용접부회의 의결을 거쳐 1968년 6월 1일부로 JIS Z 3104 (강 용접부의 방사선투과시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법)로써 통상산업대신에 의해 제정되었다.

1.2. 개정경위

이 규격은 1968년에 제정된 이래 개정되지 않고, 그동안의 방사선투과시험에 관한 연구성과에서 많은 개폐 해야할 불명확한 점 및 부족한 점이 밝혀져 왔다.

그리하여 용접기술에 관련한 규격의 정비와 내용의 충실에 대해 조사연구를 계속해온 사단법인 일본용접협회는 이 기술적 문제에 대응하기 위하여 1987년에 일본용접협회규격 WES 2011 (강판의 맞대기 용접부의 방사선투과시험 및 투과사진의 등급 분류 방법)을 제정하였다. 또한 규격화가 강력히 요망되고 있던 강판의 원주 용접이음 및 강판의 T 용접이음의 방사선투과시험 방법에 관한 규격으로서 JIS Z 3108 (알루미늄관 원주 용접부의 방사선투과시험 방법) 및 JIS Z 3109 (알루미늄의 T형 용접이음의 방사선투과시험 방법)이 제정되었다. 이들 내용을 참고로 하여 1988년에는 WES 2012 (강판의 맞대기 용접이음의 방사선투과시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법)을 제정하였다. 1990년에는 WES 2013 (강판의 길이방향 용접 이음의 방사선투과시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법)과 WES 2014 (강판의 T 및 모서리 용접 이음의 방사선투과시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법)의 두 규격을 재정하고 JIS Z 3104-1968의 기술적 전과제에 대한 개정 방침을 명확히 하였다.

이들을 시험적용한 후에 JIS Z 3104-1968을 개정하기 위한 준비위원회를 1992년에 발족시켜 3차례 위원회를 개최하고, 개정규격의 구성 및 기술적 상세내용에 대하여 사전에 충분한 논의를 거쳐 개정안을 정리하였다. 1993년에는 관계 산업계·학회에서 구성한 개정원안조사작성위원회를 설치하고 6회의 심의 결과 다음과 같은 기본방침에 따라 개정안을 정리하였다.

- (1) 규정의 내용은 방사선 투과 시험에 관한 최신의 기술을 채용한다.
- (2) 대응 국제규격으로는 ISO 1106/1/2/3 및 ISO 5579에 가능한 한 일치시킨다.

- (3) 대응 국제규격에 규정되어 있지 않은 경우에도 국내외에서 정착되어 있는 시험 방법 및 기술적 필연성이 있는 내용은 규격화 한다.

개정안은 일본공업표준조사회 용접부회의 심의를 거쳐 1995년 2월 1일 개정되었다.

1.3. 중요 개정 포인트

이 규격의 중요 개정 포인트는 다음과 같다.

- (1) 규격은 본체와 부속서로 구성하고 공통사항을 본체에 집약하며 강판의 맞대기 용접이음, 강판의 원둘레 용접이음 및 강판의 T 용접이음의 촬영배치와 투과사진의 필요 조건을 부속서에 정리하였다.
또한 투과사진에 의한 불연속 상의 분류 방법도 부속서로 하였다.
- (2) 투과사진의 상질 적용 구분은 강판의 맞대기 용접이음에서는 A급, B급의 2종류, 강판의 원둘레 용접 이음에서는 촬영방법에 따라서 A급, B급, P1급, P2급의 4종류, 강판의 T 용접이음에서는 F급의 1종류를 규정하였다.
- (3) 투과도계는 스테인레스제의 S형도 사용할 수 있도록 하고, 종래의 것에 추가하여 강판의 원둘레 용접 이음에서는 띠모양 투과도계의 사용을 가능하게 하였다. 투과도계의 배치는 선원측과 필름측 어느 쪽이든 가능하게 하였다. 다만 필름측의 사용에서는 일부의 조건을 만족할 필요가 있다.
- (4) 계조계는 모양을 변경하고 모재두께 50mm 이하의 용접이음에 대하여 A급 및 B급 상질에의 적용을 규정화 하였다. 다만 강판의 원둘레 용접이음에서는 판의 직경 100mm 이하의 경우는 그 적용을 제외 시키고 있다. 계조계의 배치는 필름측을 원칙으로 하고 규정값을 만족시키면 선원측에도 배치시키는 것으로 하였다.
- (5) 시험 기술자, 방사선 투과 장치, 투과도계, 관찰기 및 농도계는 관련 규격을 따르도록 하였다.
- (6) 초점과 필름간의 거리는 촬영배치의 기하학적 조건에 따른 투과사진의 콘트라스트 저하 정도를 고려하여 규정하였다.
- (7) 투과사진의 필요조건

- (a) 투과도계에 의한 투과사진의 상질 평가에 있어서는 재료 및 투과도계식별도의 개념을 폐지하고, 총괄하여 모재의 두께별 식별 최소선지름으로 규정하였다. 규정값은 현실적으로 달성 가능한 투과사진의 상질의 레벨을 기준으로 하였다.
 - (b) 계조계에 의한 투과사진의 상질 평가는 계조계의 중앙부분과 모재와의 농도차를 모재부의 농도에서 나눈 “농도차/농도”의 값으로 규정하였다. 규정값은 투과도계 식별 최소선지름과의 정량적인 관계를 고려하여 투과사진의 상질을 보다 객관적으로 평가할 수 있는 값으로 하였다.
 - (c) 농도범위의 상한은 고휘도의 관찰기인 D35형의 사용을 전제로 4.0으로 하였다. 하한은 상질의 종류가 하위인 경우는 종래와 같이 1.0으로 하고 상위에서는 1.3 및 1.8로 하였다.
- (8) 불연속 상의 분류
- (a) 용어로서 “결합”과 “불연속”을 명확히 구분하여 사용하도록 하였다.
 - (b) 투과 사진의 등급 분류를 불연속 상의 분류(이하 불연속의 분류로 함)로 변경하였다.
 - (c) 불연속의 분류에 사용하는 용접이음의 모재두께를 정의하였다.
 - (d) 텅스텐혼입을 제4종 불연속으로 추가하였다.
 - (e) 제1종 불연속 점수를 구하는 경우 용접선 방향의 3배의 시야내에서 구한 총점수의 1/3의 값을 사용하는 규정을 폐지하였다.
 - (f) 제2종 불연속의 길이에 곱하는 계수를 폐지하였다. 또한 불연속군의 길이를 구하는 방법을 변경하였으며 불연속이 일직선상에 존재하여 불연속과 불연속 사이의 간격이 큰쪽 불연속의 길이 이하인 경우에 그 간격을 포함시켜 불연속의 길이를 구하는 것으로 하였다.
 - (g) 제1종 불연속과 제4종 불연속은 공존 불연속으로써 새롭게 정의하였다. 또한 시험시야내에 불연속의 분류에 따른 제2종 불연속이 포함된 경우를 혼재 불연속으로 그 정의를 명확히 하였다.
 - (h) 종합분류의 개념을 새롭게 정의하고 그 결정순서를 명기하였다.

2. 본체 해설

이하에 규격본체 및 부속서의 순서에 따라 규정 내용의 기술적 근거 및 보충사항을 중심으로 해설한다. 또한 항목번호는 본체 및 부속서의 항목번호와 일치한다.

2.1. 적용범위

방사선투과시험은 X선필름에 직접 촬영하는 방법만으로 하고 강판의 맞대기 용접이음, 강관의 원둘레 용접이음 및 T 용접이음에 대하여 최신의 성과에 기초를 둔 규격으로 하였다.

2.2. 용어의 정의

JIS Z 2300에 기재되어 있는 것은 여기에 따르는 것으로 하고 그 외에 필요하다고 생각되는 “모재두께” 및 “시험부”에 대하여 규정하였다.

(1) 모재두께

모재두께를 실측한 경우에는 호칭두께가 아닌 실측값을 이용하도록 한다. 종래의 규격에서는 방사선이 투과하는 두께를 재료두께로 정의하고 그두께에 따라 투과사진이 구비해야 할 조건을 규정하였었다. 그러나 시험대상이 되는 용접구조물의 강도에 대해 생각할 경우에는 모재두께가 그 기준이 된다. 따라서 본 규격에서는 재료두께로써의 취급은 하지 않고 모두 모재두께에 대하여 취급하는 것으로 하였다.

(2) 시험부

시험대상이 되는 용접금속 및 열영향부를 포함한 부분에 있어 Fig. 1에 시험부의 범위를 그림으로 나타내었다.

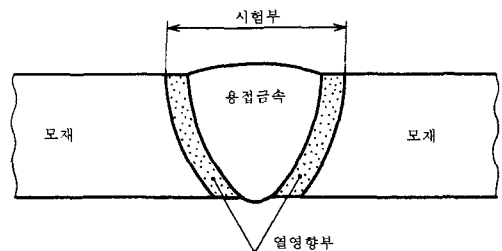


Fig. 1. 시험부의 정의

2.3. 투과사진 상질의 종류

투과사진 상질의 종류는 A급, B급, P1급, P2 및 F급의 5종류로 하였다.

A급 및 B급은 강판의 맞대기 용접이음을 대상으로 규정하였다. 여기서 B급의 경우는 용접이음의 덧 붙임을 제거하여 촬영하는 것을 전제로 하여 상질의 요구값이 결정되어 있으므로 그 적용은 원자력용 압력용기 등과 같이 구조물 전체에 대해 한층 높은 안전성이 필요한 경우에 한정할 필요가 있다.

P1급 및 P2급은 강판의 원둘레 용접이음의 촬영에 있어서 방사선이 관벽을 이중으로 투과하므로써 상질이 저하되는 것을 배려하여 규정하였다. 또한 F급은 강판의 T 용접이음의 촬영에 있어서 서로 수직한 강판에 대해 경사지게 방사선을 조사하므로써 투과두께가 커지는 것을 배려하여 규정하였다.

2.4. 시험기술자

방사선투과시험을 수행하는 기술자는 항상 적절한 시험방법을 구체적으로 결정하여 실행함과 동시에 방사선 장해방지에 만전을 기하기 위하여 강의 용접은 물론 선원, 방사선차폐 및 사진처리를 포함한 방사선투과시험에 대하여 충분한 지식과 경험을 필요로 한다. 이 기술과 경험의 확인에는 기술검정이 필요하며 JIS Z 3861 (용접부의 방사선투과시험의 기술검정에 따른 시험방법 및 판정기준)에 따른 기술검정이 여기에 해당한다.

또한 동등이상의 기량을 가진자로서 일본비파괴검사협회 규격 NDIS 0601 (비파괴검사 기술자 기량인정 규정)에 근거한 방사선검사 기술자 등이 있다.

2.5. 방사선투과시험 장치 및 부속기기

2.5.1. 방사선투과장치

모재두께가 50mm 정도의 강판 용접이음을 시험 대상으로 하는 경우 JIS Z 4606 (공업용 X선장치)에서 규정한 X선장치 및 JIS Z 4560 (공업용 γ 선장치)에서 규정한 γ 선을 이용하여 실용적인 노출시간으로 충분한 상질을 가진 투과사진을 촬영할 수가

있다. 또한 모재두께가 두꺼운 경우에는 전자가속기의 제동X선이 이용된다. 전자가속기로는 가속에너지가 1~12 MeV인 선형가속기 및 8~20 MeV인 베타 트론 등이 있다.

2.5.2. 감광재료

X선필름의 종류 명칭에 나타난 것과 같이 감도와 입상성은 상반되는 특성을 가지고 있다.

또한 증감지로는 금속증감지를 이용하는 경우 가장 선예도가 양호한 투과사진이 얻어진다.

2.5.3. 투과도계

Table 1에 나타난 10종류의 강재 또는 합금에 대하여 피아노선을 기준으로 하여 식별최소선지름의 대응관계를 계산한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig.에서 밝혀진 것과 같이 몰리브덴 및 텅스텐 함유량이 특히 높은 합금을 제외하고는 대응하는 투과도계의 선지름비는 적다. 이 사실을 근거로 투과도계의 재질로 강재의 F형 및 스테인레스강재의 S형 어느 것이든 사용할 수 있게 되었다.

또한 선지름이 공비 1.25의 등비수열로 변화하는 투과도계에 추가하여 강판의 원둘레 용접이음의 경우 동일 선지름 9본으로 구성된 띠형 투과도계를 사용하여 투과사진의 유효길이 범위를 확인할 수 있게 하였다.

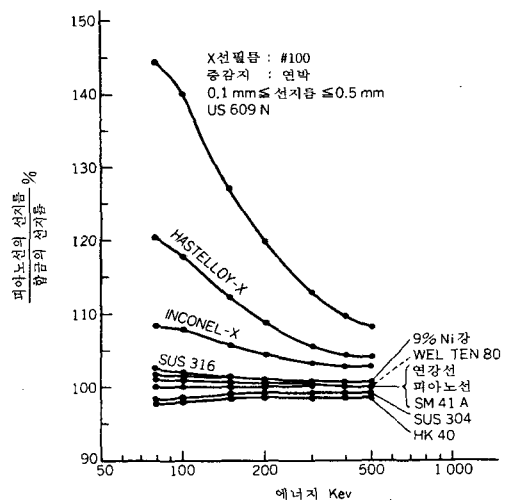


Fig. 2. 식별한계가 되는 각종 합금의 경위와 피아노선의 선지름과의 비

2.5.4. 계조계

투과사진의 상질을 평가할 때 투과도계의 관찰만으로는 관찰자의 판단에 따른 개인차가 있다. 따라서 농도차 측정에 의한 측정값으로 객관적인 평가가 가능한 계조계를 사용한다. 계조계의 형상이 농도차에 미치는 영향을 적게하고 투과사진의 상질을 평가할 때 투과도계 식별 최소선지름과의 정량적인 관계를 고려하여 계조계의 형상을 본체 Fig.1에서와 같이 변경하였다.

또한 투과도계의 경우와 같은 이유로 재질에 관해서는 강재에 추가하여 스테인레스강재의 계조계를 사용할 수 있도록 하였다.

2.5.5. 관찰기

JIS Z 4561 (공업용 방사선투과사진 관찰기)에 규정하는 관찰기의 형식에 상당한 관찰기의 밝기가 유지되고 있는지를 휘도계를 이용하여 계속 확인할 필요가 있다.

2.5.6. 농도계

농도계의 지시값은 농도교정용 스텝 타블렛을 사용하여 점검·교정할 필요가 있다.

2.6. 투과사진의 촬영방법

2.6.1. 선원과 감광재료의 조합

Fig. 3은 시험체인 강판의 두께와 식별최소선지름과의 관계를 실험과 계산에 의해 구한 결과이다. 해설 Fig. 3에 있어서 X선필름에 중감도·미립자(#100)을 사용한 경우, 예를 들면 두께가 30mm일 때 선원이 ⁶⁰Co, 선형가속기(가속에너지: 950keV), ¹⁹²Ir 및 X선(노출시간: 3분)의 순으로 식별최소선지름은 각각 0.80mm, 0.46mm, 0.42mm 및 0.35mm로 적어지게 된다.

또한 동일선원에서 X선필름의 종류를 변경한 경우, 예를 들면 강판의 두께 30mm, 선원을 X선으로 하면 X선 필름이 중감도·미립자(#100, 노출시간: 3분) 및 저감도·초미립자(#50, 노출시간: 8분)일때 식별최소 선지름은 각각 0.35mm 및 0.24mm이다. 즉 선원과 필름의 조합에 따라서 식별 가능한 선지름의 범위가 결정된다. 더구나 식별최소선지름의 값은 시험체의 형상, 치수 및 관찰조건 등의 영향을 받지만 선원과 X선 필름과의 조합에 따른 상질과의 상관관계는 변하지 않는다. 그래서 Fig. 3을 주로 참고하고 식별해야 할 투과도계의 선지름에 대응하여 선택할 수 있는 선원과 감광재료의 조합을 구한 결과의 일례를 Table 2에 나타내었다.

Table 1. 각종합금의 성분

| 종 류 | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | V | Cu | W | Co | Fe | Al | Ti | Nb | ρ g/cm ³ | 비 고 |
|-------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-----------------------------|------------------------------|
| US609N | 0.01 | 0.13 | 0.15 | 61.50 | 14.10 | 14.10 | - | - | 2.99 | - | 5.91 | - | - | - | 8.75 | 9%Ni강용 용가재 |
| HASTELLOY-X | 0.05 | 0.25 | 0.25 | 47.90 | 22.00 | 9.00 | - | - | 0.50 | 1.50 | 18.55 | - | - | - | 8.29 | 내열합금 |
| INCONEL-X | 0.05 | 0.40 | 0.50 | 72.90 | 15.00 | - | - | - | - | - | 7.00 | 0.75 | 2.50 | 0.90 | 8.06 | 내열합금 |
| SUS316 | 0.04 | 0.50 | 1.00 | 12.00 | 17.00 | 2.50 | - | - | - | - | 66.96 | - | - | - | 7.79 | 오스테나이트계 스테인레스강 |
| 9%Ni강 | 0.05 | 0.10 | 0.35 | 9.00 | - | - | - | - | - | - | 89.96 | - | - | - | 7.92 | 저온용 합금 |
| WELTEN80 | 0.09 | 0.13 | 0.45 | 1.50 | 0.60 | 0.60 | 0.10 | 0.33 | - | - | 96.20 | - | - | - | 7.85 | 80kg급 고장력강 |
| 연강선 | 0.08 | - | 0.45 | - | - | - | - | - | - | - | 99.69 | - | - | - | 7.85 | JIS Z 3104의 투과도계(JIS G 3505) |
| 피아노 | 0.35 | 0.11 | 0.38 | - | - | - | - | 0.15 | - | - | 99.01 | - | - | - | 7.83 | JIS Z 3104의 투과도계(JIS Z 3505) |
| SUS304 | 0.12 | 0.13 | 0.30 | - | - | - | - | - | - | - | 99.72 | - | - | - | 7.80 | 용접구조용 압연강재 |
| SUS304 | 0.04 | 0.50 | 1.00 | 9.30 | 19.00 | - | - | - | - | - | 70.16 | - | - | - | 7.71 | 오스테나이트계 스테인레스강 |
| HK40 | 0.04 | 1.00 | 1.00 | 20.00 | 26.00 | - | - | - | - | - | 51.60 | - | - | - | 7.59 | 내열합금 |

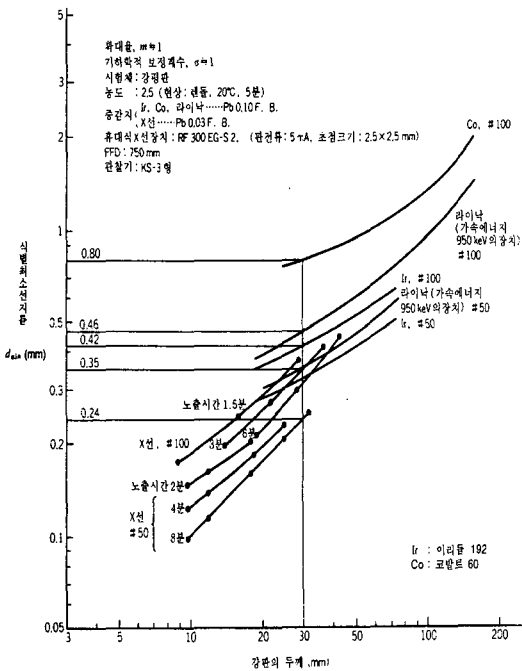


Fig. 3. 식별최소선지름

Table 2. 선원과 감광재료의 조합

| 선경 mm | 선 원 | 필름 | 증 감 지 |
|--------|---------|-----------|-------------|
| 0.20이하 | 저에너지 X선 | 저감도·극초미립자 | 사용하지 않거나 연박 |
| | | 저감도·초미립자 | |
| | 이테르븀 | 저감도·극초미립자 | |
| 0.25 | 저에너지 X선 | 중감도·미립자 | 연박 |
| | | | 급속형광 |
| 0.32 | 이리듐 192 | 저감도·초미립자 | 연박 |
| | | | |
| 0.40 | 이리듐 192 | 중감도·미립자 | 연박 또는 급속형광 |
| | | | |
| 0.50 | 중에너지 X선 | 저감도·초미립자 | 연박 |
| | | 코발트 60 | |
| 0.64 | 고에너지 X선 | 저감도·극초미립자 | 연박 |
| | | 중감도·초미립자 | |
| 0.80 | 중에너지 X선 | 중감도·미립자 | 연박 |
| | | 저에너지 X선 | |
| 1.0 | 이리듐 192 | 고감도·미립자 | 연박 또는 급속형광 |
| | | 코발트 60 | |
| 1.25 | 고에너지 X선 | 저감도·미립자 | 연박 |
| | | 저감도·극초미립자 | |
| | | 중감도·초미립자 | |

비고 저에너지 X선: 300kV미만의 X선
 중에너지 X선: 300kV이상, 1MV이하의 X선
 고에너지 X선: 1MV를 초과하는 X선

2.6.2. 기호

투과사진이 기록과 대조될 수 있도록 사용하는 기호는 납 또는 납산화물의 문자와 숫자로 된 기호를 동시에 촬영하는 경우와 사전에 광학식 프린터에서 빛을 쪼이는 경우가 있다. 그러나 광학식 프린터를 사용할 경우에도 시험부의 유효길이를 나타내는 기호는 동시에 촬영할 필요가 있다.

2.6.3. 조사범위

조리개 또는 조사통을 사용하고 방사선 안전관리를 수행할 필요가 있다.

2.7. 투과사진의 관찰

투과사진의 관찰에 있어서 투과도계 선의 식별상황은 관찰조건에 따라 영향을 받는다. Fig. 4에 나타난 것과 같이 저농도에서는 방의 밝기 및 관찰기의 휘도에 따른 영향은 없고, 고휘도로 되면 관찰조건에 따른 차이가 발생한다. 고휘도에 있어서는 암실에서 고휘도 관찰기를 사용할 필요가 있다.

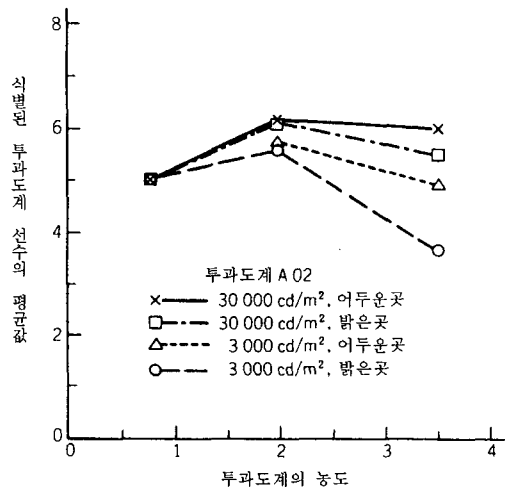


Fig. 4. 관찰조건에 따른 영향

2.8. 기록

시험성적서는 본체에서 제시한 전항목에 대하여 기록하는 것이 요망된다.

3. 부속서 1의 해설

3.1. 적용범위

부속서 1은 강판의 맞대기 용접이음을 대상으로 규정하였다. 강판의 길이방향 용접이음, 곡률이 큰 압력용기의 원주방향 용접이음등과 같이 촬영배치의 기하학적 조건이 평판의 경우와 동등하다고 보여지는 경우 등에 적용하는 것은 지장이 없다.

3.2. 투과사진의 촬영방법

3.2.2. 방사선의 조사방향

투과사진에 나타나는 불연속 상의 명료도는 사용하는 선원 및 감광재료가 동일하면 방사선의 투과두께가 증가함에 따라 떨어지기 때문에 투과두께가 최소가 되는 방향으로 촬영할 필요가 있다.

또한 균열 및 용입불량 등과 같은 중대한 불연속은 두께방향으로 발전하는 경향이 있고 투과두께가 최소로 되게 조사하므로써 검출이 용이하게 된다. 또한 개선면의 융합불량 및 균열의 방향이 사전에 예측되고 이들 불연속의 검출이 요청되는 경우 등은 그에 적절한 방향에서 방사선을 조사할 필요가 있다.

3.2.3. 투과도계의 사용

투과도계를 필름측에 배치하는 경우의 투과사진 콘트라스트 ΔD 는 시험체로부터의 산란선의 영향을 많이 받는다. 즉 시험체로부터의 산란선에 의해 필름상에 침금상이 형성되고 이것이 투과상에 중첩되게 된다. 따라서 이 산란선의 영향을 받지 않도록 처치를 강구하면 투과도계를 어느 위치에 두어도 투과사진 상질의 평가에 미치는 영향을 피할 수 있다. 이러한 것은 투과도계와 X선필름의 간격을 식별최소선지름의 10배이상 떨어지게 하므로써 달성할 수 있다. 현실적으로는 시험체와 필름사이에 기호, 투과도계 및 계조계가 들어가기 때문에 3mm정도 떨어지는 것이 보통이다. 따라서 선지름 0.32mm이하의 투과도계 선이 대상이 되는 경우에는 통상의 촬영으로도 10배이상 떨어진 것이 된다.

3.2.4. 계조계의 사용

투과사진의 상질을 평가할 때 투과도계의 관찰판으로는 관찰자의 판단에 따른 개인차가 있다.

3.3. 촬영배치

(1) 선원과 필름간 거리(L_1+L_2)를 A급에서 시험부의 선원측 표면과 필름간의 거리 L_2 의 6배이상으로 하고 B급에서 7배이상으로 하는 것은 점선원을 사용한 경우에 촬영된 결함상의 크기가 실제크기의 1.20 및 1.17배이상으로 확대되지 않는 조건으로 규정한 것이다.

그리고 투과사진에서 식별가능한 투과도계의 선지름은 선원크기, 선원과 투과도계 사이의 거리 및 투과도계와 필름 사이의 거리 등의 영향을 받는다. 여기서 Fig. 5와 같은 촬영배치로 촬영한 경우를 생각하자. 이때 투과도계의 침금상이 보이는 농도차 ΔD 는 식(2)로 주어진다. 따라서 선원크기 및 기하학적 조건에 따라 농도차 ΔD 에 영향을 주는 인자는 보정계수 σ 이다. 또한 Fig. 5에서 투과도계 선지름 d 에 대한 투과도계 위치에서의 겹보기 선원크기 d' 와 σ 와의 관계를 구하면 Fig. 6이 얻어진다. 따라서 투과도계 침금상의 콘트라스트에 대한 σ 가 항상 1에 가깝게 되도록 기하학적 조건을 설정하기 위해서는 $(L_1+L_2)/L_2=m$ 으로 하면 다음과 같이 된다.

$$d' = \frac{f L_2}{L_1 + L_2} = \frac{f}{m} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 해설 Fig. 6의 결과로부터 d'/d 를 1/2 이하로 하면 σ 는 0.95이상이 되기 때문에 식 (2)의 관계가 얻어진다.

$$\frac{d'}{d} = \frac{f}{md} \leq \frac{1}{2} \dots\dots\dots (2)$$

따라서 식(3)이 성립한다.

$$m \geq 2 \frac{f}{d} \dots\dots\dots (3)$$

또한 d'/d 값을 1/3이하로 하고 ρ 값이 0.98이상이 되도록한 경우 m 은 식(4)와 같다.

$$m \geq 3 \frac{f}{d} \dots\dots\dots (4)$$

이상의 결과로 계수 m은 A급의 경우 식(3), B급의 경우 식(4)로 하였다.

또한 X선 발생장치를 사용하는 경우에는 선원크기 f는 초점크기가 되고 Fig. 7에 나타낸 치수가 이용될 수 있다. 여기서 모재두께가 크게 되고 식별해야할 투과도계 선지름이 커지면 m값은 적어도도 좋지만 통상의 촬영조건에서는 m값이 클수록 상질이 좋아지는 것으로 생각되어지기 때문에 실용적 범위내에서 m을 가능한 한 크게하는 것이 바람직하다.

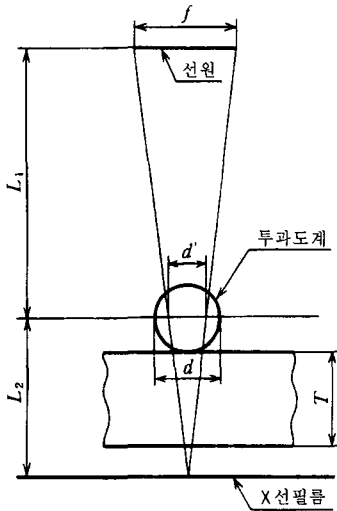


Fig. 5. 촬영배치

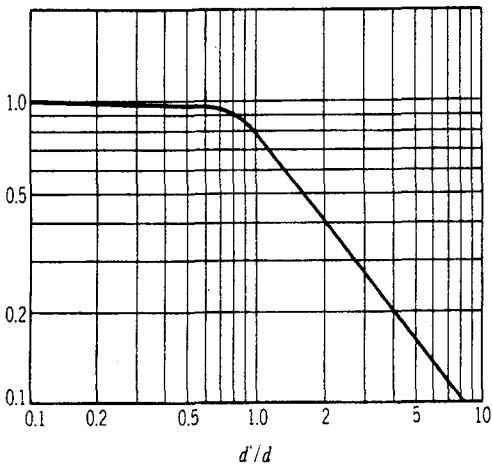


Fig. 6. 기하학적 보정계수 σ

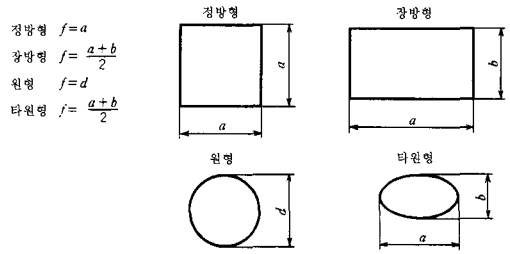


Fig. 7. 초점크기

(2) 상질의 종류가 A급인 경우 n=2 즉 선원과 투과도계 사이의 거리 L1을 시험부의 유효길이 L3의 2배 이상으로 한 것은 X선 필름상에서 X선의 강도 변화가 커지지 않도록 하기 위한 것이고, 균열과 같은 결함의 검출정도가 시험부의 중앙과 가장자리에서 크게 변화하지 않도록 하기 위한 것이다.

용접선에 대하여 직각이고 살두께방향으로 발전한 횡균열이 있는 경우 횡균열과 방사선의 진행방향이 이루는 각도를 ϕ 라고 하면 ϕ 는 Fig. 8에서와 같이 시험부의 가장자리에서 최대가 된다.

여기서 A급의 경우 횡균열과 조사각도는 14° 이하가 된다.

B급의 경우 n=3으로부터 L1 ≥ L3로 되고 따라서 약 9.5° 이하로 된다.

(3) 시험부의 유효길이 L3를 나타내는 기호는 Fig. 9(a)에서의 미시험부를 발생시키지 않도록 Fig. 9(b)에서와 같이 선원측에 둔다.

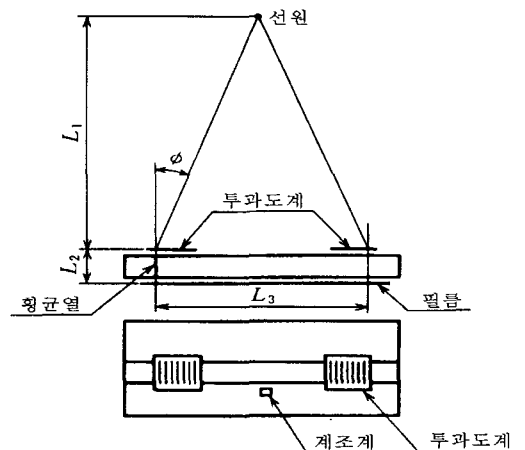
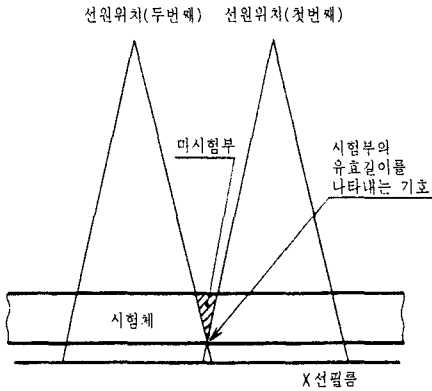
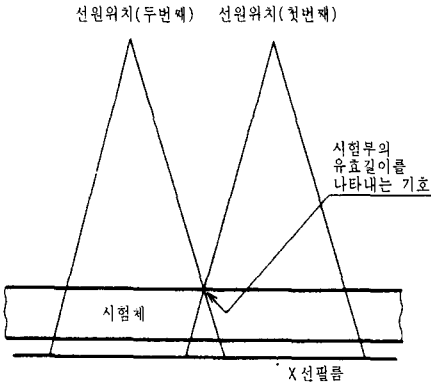


Fig. 8. 촬영배치



(a) 필름측



(b) 선원측

Fig. 9. 시험부의 유효길이를 나타내는 기호의 배치

3.4. 투과사진의 필요조건

3.4.1. 투과도계의 식별 최소선지름

투과도계에 따른 투과사진의 상질평가는 투과사진에 촬영된 침금상을 식별하므로써 이루어진다. 이것은 투과도계에 대한 투과사진의 콘트라스트 ΔD 와 투과도계 식별한계 농도차 ΔD_{min} 과의 관계가 식(5)의 관계로 되어 있는 것을 나타낸다.

$$|\Delta D| \geq |\Delta D_{min}| \dots\dots\dots(5)$$

또한 투과사진의 콘트라스트는 식(6)에서 얻어진다.

$$\Delta D = \frac{-0.434 \gamma \sigma \mu}{1+n} \dots\dots\dots(6)$$

여기서, γ : X선 필름 특성곡선의 농도 D에서 접선의 기울기

μ_p : X선 필름 감광계수를 고려한 방사선의 선질

σ : 선원크기 및 촬영의 기하학적 조건에 따른 보정계수

d : 투과도계의 침금직경

n : X선 필름에 함께 도달되는 산란선의 선량율에 그 감도계수를 곱한 것을 투과선의 선량율에 그 감도계수를 곱한 것으로 나눈 값

식(6)을 식(5)에 대입하면 식(7)이 얻어진다.

$$\frac{\mu_p}{1+n} \geq \frac{|\Delta D_{min}|}{-0.434 \gamma \sigma d} \dots\dots\dots(7)$$

식(7)식의 오른쪽은 투과도계 선지름과 투과사진의 농도에 따라서, 또한 왼쪽은 시험조건에 따라 크게 영향을 받는 선질인자이다. 따라서 식(7)의 등호가 성립되는 경우 주어지는 투과사진농도에 대한 투과도계 선지름을 식별최소선지름 d_{min} 이라 하면 선질인자 $\mu_p/(1+n)$ 을 파라미터로 하여 구할 수 있다.

종래의 투과도계식별도(%) 대신 모재두께별로 식별되어야 할 선지름을 나타내었다. Fig. 10은 X선 필름이 중감도·미립자, 중감지는 연박 0.03mm 앞뒤 및 촬영배치가 A급인 경우에 대하여 시험조건과 식별최소선지름과의 관계를 나타내고 있다. 예를 들면 농도 2.5에 있어서 0.20mm의 선지름을 식별하기 위해서는 $\mu_p/(1+n)=0.67$ 로 되는 선질의 방사선을 선택하면 좋다. 실용적인 노출조건을 가미하고 구체적인 선원과 감광재료의 조합 그리고 식별최소선지름과의 관계에 대한 일례를 나타낸 것이 해설 Fig. 2이다.

또한 A급 및 B급의 투과도계 식별최소선지름 값을 각종의 모재두께에 대하여 구하면 Fig. 11의 실선과 점선으로 된다. 중감도·미립자 필름과 연박중감지를 사용하여 저에너지 X선(100-250 kV), ^{192}Ir , ^{60}Co 및 선형가속기(0.45, 1, 7, 12Mev)에 의해 촬영하여 얻어진 투과도계의 식별최소선지름의 결과에 대하여 Fig. 11에 종합적으로 나타내었다.

3.4.2. 투과사진의 농도범위

투과사진 농도와 식별최소선지름 d_{min} 및 선질인자 $\mu_p/(1+n)$ 와의 관계를 구한 Fig. 10에서 $\mu_p/(1+n)$ 값이 같다면 농도 2.5 근처에서 식별 최소 선지름이 최소값을 나타내고 있다. 따라서 덧붙임을 제거한 용접이음에 대해서는 농도 2.5 근처가 최적 농도로 된다.

또한 덧붙임이 있는 용접이음의 모재부 농도를 다

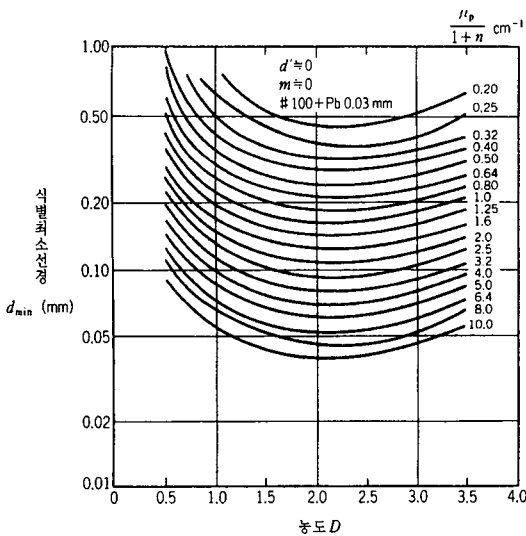


Fig. 10. 식별 최소선지름

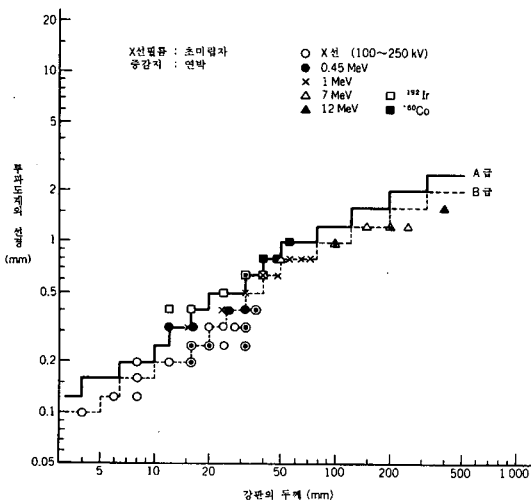


Fig. 11. 여러가지 선원에 따른 강판의 두께와 투과도계 선지름과의 관계 예

양하게 변화시킨 경우에 모재부 및 덧붙임부에 있어서 식별최소선지름을 구한 결과의 한 예를 Fig. 12에 나타내었다. Fig.에서 밝혀진 것과 같이 모재부의 농도 3.1 및 덧붙임부의 농도 1.9에서 모재부와 덧붙임부의 식별최소선지름이 같아지게 된다. 이것을 덧붙임이 있는 용접이음의 최적농도로 하였다.

따라서 투과사진의 최저농도는 상질이 A급인 경우 덧붙임이 있는 용접이음의 최적농도에 대하여, 그리고 상질이 B급인 경우 덧붙임을 제거한 용접이음의 최적농도에 대하여 각각 실제 촬영에서 나타날 수 있는 노출량의 변동을 고려하여 설정하였다.

또한 휘도가 높은 관찰기를 사용하면 투과사진의 최적농도는 고농도쪽으로 이동하기 때문에 관찰기 D35형의 사용을 전제로 하여 최고농도는 4.0으로 하였다.

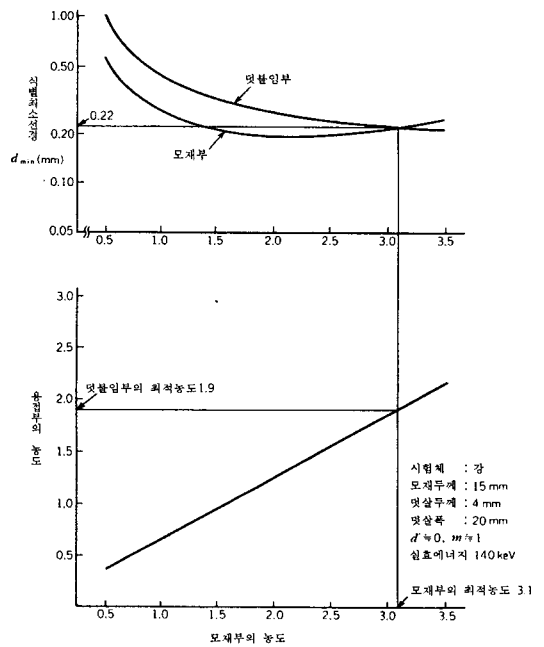


Fig. 12. 덧붙임이 있는 용접이음의 최적농도

3.4.3. 계조계의 값

계조계의 농도차는 계조계가 배치된 주변의 모재부와 계조계 중앙의 농도를 측정하여 양쪽의 농도차에서 구한다. 투과사진의 상질은 이 농도차를 모재부분의 농도로 나눈 “농도차/농도”의 값으로서 평가한다. 이때 모재부의 농도는 Fig. 13에 점선으로 표

시된 부분을 측정한다.

계조계의 농도차 (D_2-D_1)과 시험조건으로서의 $\mu_p/(1+n)$ 와의 관계는 식(6)으로부터 식(8)로서 얻어진다.

$$(D_2 - D_1) \times \frac{1}{\gamma} = -0.434 \cdot (T_2 - T_1) \times \frac{\mu_p}{1+n} \times \frac{1}{k_c} \quad \dots\dots (8)$$

여기서, γ : X선필름 특성곡선의 농도 D에서 접선의 기울기

T_2-T_1 : 계조계의 두께

k_c : 보정계수

또한 k_c 에 대해서는, 어떤크기의 계조계 중심위치에서의 산란비를 n' 로 하고 시험체 모재에서의 산란비를 n 으로 하면 $k_c=(1+n')/(1+n)$ 로 된다. 어떤크기의 계조계의 값은 계조계두께 $T_2 - T_1$ 과 흡수계수 (μ_p)의 적을 $k_c \times (1+n)$ 으로 나눈 식(8)로 표현된다. 식(8)의 γ 값은 모재부의 농도 D_1 과 1차식의 관계에서 얻어지므로 왼쪽의 $(D_2-D_1)/\gamma$ 값은 $(D_2 - D_1)/D_1$ 로 되고 이 “농도차/농도”에 의해 상질을 평가하게 된다.

따라서 계조계의 “농도차/농도”로 투과사진의 상질을 평가하는 것은 오른쪽의 선질인자인 $\mu_p/(1+n)$ 를 측정하여 시험조건을 관리하고 있는 것으로 된다.

다음으로 투과도계 식별최소선지름의 규정값에 대응하는 계조계의 “농도차/농도”의 규정값은 Fig. 10으로부터 구하는 $\mu_p/(1+n)$, 사용할 계조계두께 $T_2 - T_1$, 보정계수 k_c 값으로 식(8)에서 계산할 수 있다. 증감도·미립자 필름과 연박증감지를 사용하여 저에너지 X선(100~250kV), ^{192}Ir , ^{60}Co 및 선형가속기(0.45, 1MeV)에 대한 규정값과의 비교실험을 한 결과를 Fig. 14에 표시한다.

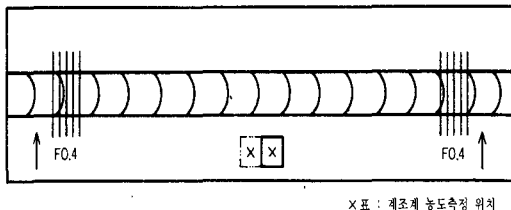


Fig. 13. 계조계 농도차의 측정요령

4. 강관의 원둘레 용접이음의 촬영방법 및 투과 사진의 필요조건

4.1. 적용범위

부속서 2는 강관의 원둘레 용접이음을 대상으로 한다. 강관의 스파이럴 용접이음과 같이 촬영의 기하학적 조건이 강관의 원둘레 용접이음과 동등하다고 보여지는 경우에 적용하는 것은 지장이 없다.

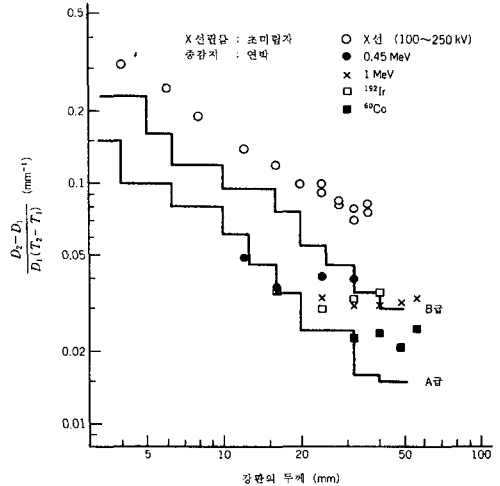


Fig. 14. 계조계의 강관두께에 대한 값의 예

4.2. 투과사진의 촬영방법

4.2.2. 촬영방법의 종류

강관의 원둘레 용접이음의 투과사진 촬영방법은 선원, 시험대상으로 하는 용접이음 및 필름의 상대위치에 따라 내부선원 촬영법, 내부필름 촬영법, 이중벽편면 촬영법 및 이중벽양면 촬영법으로 분류한다.

4.2.3. 투과사진 상질의 종류

투과사진의 상질은 부속서 2 Table 1 가운데에서 촬영방법의 종류별로 2종류 또는 3종류 중에서 선택하도록 하였다. 그러나 각각의 촬영방법에서 선택할 수 있는 기본적인 상질의 종류는 1종류이고 그 외는 표의 “주”에서 적용조건을 표시하였다.

4.3. 촬영배치

4.3.1. 내부선원 촬영방법

내부선원 촬영방법이 적용되는 기본상질은 A급이

다. 이 촬영방법에서는 방사선이 시험대상으로 하는 용접이음을 1회만 투과하고 강판의 용접이음의 경우와 비교하여 투과사진의 본질적인 차이가 없는 것에 근거한다.

(1) 선원과 필름 사이의 거리

(L_1+L_2) 는 시험부의 선원측 표면과 필름 사이의 거리 L_2 와의 관계를 규정하는 m 값을 f/d 로 얻어지는 값 이상으로 할 것만으로 규정하였다. 이 조건은 Fig. 6에서 $d'/d \leq 1.0$ 으로 되고 기하학적 보정계수는 $\sigma \geq 0.8$ 로 된다. 즉 식(6)으로부터 계산할 수 있는 투과사진의 콘트라스트가 80%까지 떨어지는 것을 허용하고 있다. 이것은 실제 촬영배치의 설정에서는 X선 발생장치의 크기 등의 여러가지 제한이 따르므로 강판 맞대기 용접이음의 경우에 비해 촬영배치에 대한 요구를 완화하는 조치이다.

내부선원방법의 (L_1+L_2) 는 관의 내경에 따라 제한되기 때문에 L_2 의 m 배 이상으로 하는 것이 어려운 경우이다. 이 경우 L_1 을 L_2 의 m 배 이상으로 하기 위해서는 이중벽편면 촬영방법으로 해야 한다. 그러나 불연속을 검출하기 위해서는 이중벽편면 촬영방법보다 내부선원 촬영방법이 더 좋은 경우가 있다.

또한 온돌레 동시촬영방법 등과 같이 선원을 관의 가운데에 위치시키는 촬영방법은 m 값을 만족시킬 수 없음에도 불구하고 살두께 방향으로 발전한 횡균열의 검출감도가 좋다. 이러한 판단에 대하여 관계자간에 합의가 얻어진 경우에는 (L_1+L_2) 가 L_2 의 m 배 미만인 되게 배치하여 촬영하여도 좋은 것으로 하였다.

- (2) 온돌레 동시촬영에서 필요에 따라 4개 이상의 투과도계를 사용하는 것은 지장이 없다.

4.3.2. 내부필름 촬영방법

내부필름 촬영방법이 적용될 수 있는 기본 상질은 A급이다. 이 촬영방법에서도 내부선원 촬영방법의 경우와 마찬가지로 방사선이 시험대상으로 하는 용접이음을 1회만 투과하고, 유효길이 중앙의 상질은 강판의 용접이음의 경우와 같다. 그러나 이 방법에서는 유효길이의 중앙에서부터 원주방향으로 거리가 멀어짐에 따라 투과두께가 급격히 증가하기 때문

에 투과도계의 식별정도는 떨어진다.

4.3.3. 이중벽편면 촬영방법

이중벽편면 촬영방법에서는 방사선이 관벽을 이중으로 투과하지만 시험대상은 필름을 부착한 쪽 용접이음만이고 이것을 고려한 P1급의 상질이 기본이 된다. 높은 검출감도를 필요로 하는 경우에는 A급을 적용할 수 있고 통상의 촬영기술을 적용할 수 없는 경우에는 P2급을 적용할 수 있다.

방사선의 조사방향은 원칙적으로 시험부의 면에 대하여 수직이 되어야 하지만 이중벽편면 촬영방법에서는 선원측 용접이음부의 상이 필름측 용접이음의 상과 겹치지 않도록 하기 위하여 조사방향을 용접이음을 포함한 면에 대하여 경사지게 조사할 필요가 있다. 이때 두께방향으로 들어있는 용입발랄에 대하여 조사각도가 크지 않도록 할 필요가 있다. 시험부 유효길이의 중앙에 해당하는 부분에서 조사각도 15° 이내를 고려하여 관의 축방향으로의 이동거리 S 는 L_1 의 $1/4$ 이하로 하였다. 관경이 적은 경우에는 이동량을 크게하지 않으면 시험부 유효길이 양 끝에서 선원측 용접이음의 상이 필름측 용접이음의 상과 겹쳐지는 일이 있다. 이러한 경우에는 투과사진의 관찰상 문제가 생기지 않는 범위내에서 S 가 L_1 의 $1/4$ 을 초과하더라도 지장이 없다.

이중벽편면 촬영방법에 X선장치를 사용하는 경우 Fig. 15(a), (b)에서와 같이 이동시키는 양이 같아도 타겟의 방향에 따라 시험부에서 본 초점크기가 커지는 경우와 작아지는 경우가 발생한다. 투과사진의 상질을 향상시키는 관점에서 초점크기가 작아지는 방향으로 이동시키기 위해서는 Fig. 15(b)의 방향으로 X선장치를 이동시킬 필요가 있다.

4.3.4. 이중벽양면 촬영방법

이중벽양면 촬영방법에서는 선원측 용접이음은 필름측 용접이음으로부터 관의 직경만큼 멀어지기 때문에 선원크기와 기하학적 조건 때문에 선원측 상은 필름측 상보다 확대될 뿐만 아니라 콘트라스트가 떨어진다. 그렇기 때문에 적용할 수 있는 상질은 P₂급으로 하고 높은 검출감도를 필요로 하는 경우에는 P₁급을 적용할 수 있도록 하였다. 따라서 이중벽양면 촬영방법의 적용은 관의 외경이 100mm 정도 이

하로 한정할 필요가 있다.

이중벽양면 촬영방법에서는 부속서 2 Table 1에 표시한 상질 적용구분 A급 및 B급의 적용이 아니기 때문에 계조계를 사용할 필요가 없는 것으로 하였다.

또한 Fig. 15에 나타낸 X선 발생장치의 이동에 따른 초점크기의 변화와 조사범위를 배려해야 할 필

요성은 이중벽편면 촬영방법의 경우보다 크다.

작은 직경 관의 촬영에서 시험부에 투과도계를 부착하기 어려울 경우, 작은 직경 관에서의 식별이 Fig. 16과 같이 관벽 투과도계에 상당하는 강판위에 투과도계를 두어 얻어지는 식별과 동등하면 이러한 배치로 촬영하는 것이 가능하다.

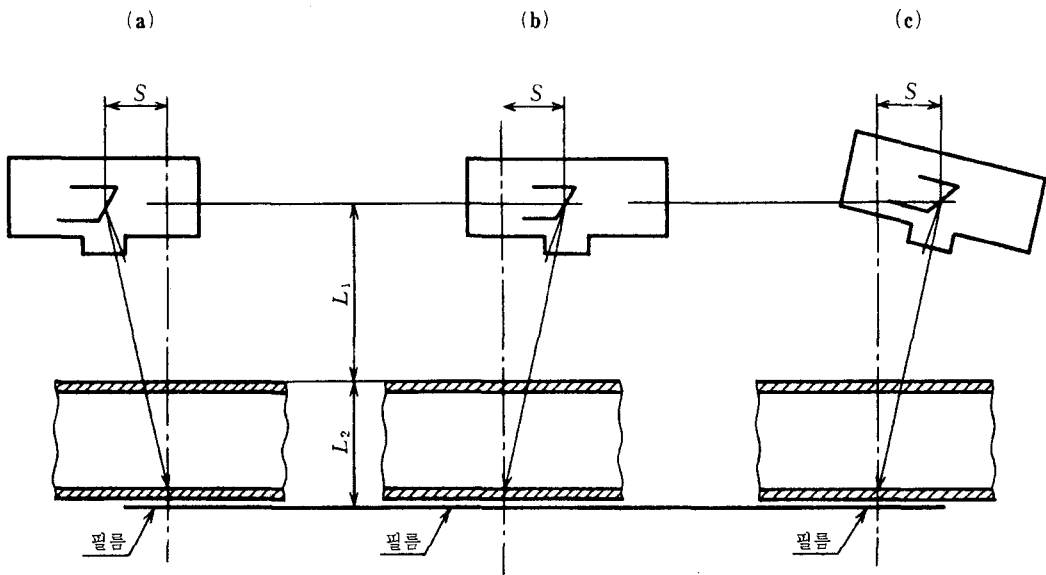


Fig. 15. X선 발생장치의 이동방향

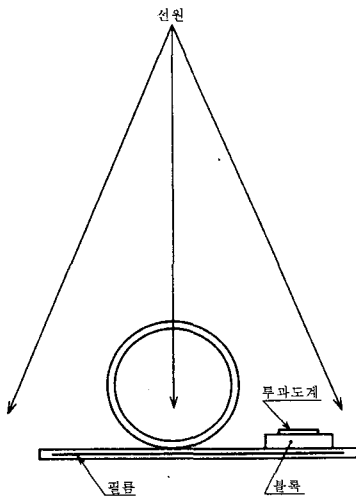


Fig. 16. 이중벽양면 촬영방법에 의한 촬영배치

4.4. 투과사진의 필요조건

4.4.1. 투과도계의 식별최소선지름

상질P1급 및 P2급은 공히 방사선이 이중으로 관벽을 투과하는 것을 고려하여 P1급은 이중벽편면 촬영방법에서, P2급은 이중벽양면 촬영방법에서 통상적으로 얻어지는 상질로서 규정하였다.

4.4.2. 투과사진의 농도범위

투과사진의 최고농도는 어떤 상질의 종류에서도 4.0으로 하였다. 강판의 맞대기 용접이음의 경우는 1.3 및 1.8로 하고 상질이 P1급 및 P2급에서는 최저 농도를 1.0으로 하였다.

4.4.3. 계조계의 값

계조계의 적용은 상질이 A급 및 B급의 경우로 한정하였다.

4.4.4. 시험부의 유효길이

부속서 2 Table 6의 시험부 유효길이 L3는 투과 사진의 필요조건을 만족하는 범위내에서 시험부에 존재하는 횡균열의 검출을 특히 고려하여 규정하였다.

(a) 내부선원 촬영방법(분할촬영)

내부선원 촬영방법에 따른 분할촬영에서는 강판의 맞대기 용접이음에 대한 A급(n=2)과 같게 하였다.

(b) 내부필름 촬영방법

내부필름 촬영방법에서 살두계방향으로 발전한 횡균열에 대한 조사각도 φ 와 시험부 유효길이에 대한 중심각 2α 와의 관계는 Fig. 17의 기하학적 조건으로부터 식(9)로 얻어진다.

$$2\alpha = 2(\varphi - \eta) \dots\dots\dots(9)$$

이 경우 선원을 무한대로 멀리 떨어지게 한 경우($\eta=0$)에서 횡균열과 방사선이 이루는 각도 $\varphi=15^\circ$ 로 하면 $2\alpha=30^\circ$ 로 되기 때문에 시험부 유효길이를 원둘레의 $30^\circ/360^\circ=1/12$ 이하로 하였다.

(c) 이중벽편면 촬영방법

이중벽편면 촬영방법의 경우 Fig. 18과 같이 사선부를 1회촬영에 따른 시험부 유효길이하면 같은 Fig.에서 나타난 기하학적 관계로부터 시험부 유효길이에 대응하는 중심각 2α 는 식(10)으로 얻어진다.

$$2\alpha = 2(\eta + \varphi) \dots\dots\dots(10)$$

선원이 판의 표면에 밀착된 경우 가장 적은 촬영매수로 되고 횡균열에 대한 조사각도 $\varphi=15^\circ$ 로 하면 $2\alpha=60^\circ$ 이 되기 때문에 시험부 유효길이를 판의 원둘레의 $60^\circ/360^\circ=2/12=1/6$ 이하로 하였다.

한편 촬영시 선원을 무한대로 멀리하고 횡균열에 대한 조사각도 $\varphi=15^\circ$ 로 하면 $2\alpha=30^\circ$ 로 되기 때문

에 시험부 유효길이는 판의 원둘레의 $30^\circ/360^\circ=1/12$ 로 되고, 은둘레를 촬영하기 위해서는 12매 이상의 촬영이 필요하다.

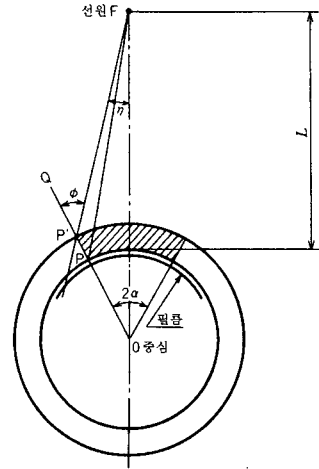


Fig. 17. 내부필름 촬영방법의 유효길이

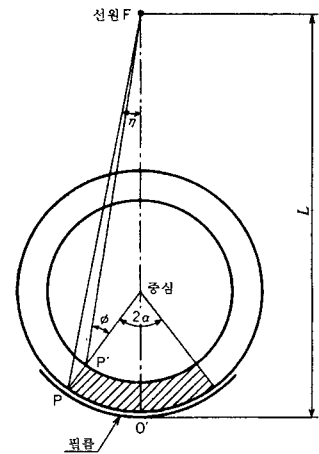


Fig. 18. 이중벽편면 촬영방법의 유효길이

5. 부속서 3의 해설

5.1. 적용범위

부속서 3은 강판의 완전용입 T 용접이음을 대상으로 한다. 촬영의 기하학적 조건이 크게 다르지 않는 부분 용입 T 용접이음 및 겹침 용접이음에 대하여 이 부속서 3을 준용하는 것은 지장이 없다.

5.2. 투과사진의 촬영방법

5.2.1. 투과사진의 상질

F급은 서로 수직인 강판을 동시에 방사선이 투과하는 것을 고려하여 P2급과 같은 레벨의 상질로 하였다.

5.2.2. 방사선의 조사방향

T 용접이음에서는 방사선의 조사방향이 촬영결과에 크게 영향을 미치기 때문에 표준적인 조사방향을 규정하였다. 부속서 3 Fig. 1과 같이 한쪽에서 용접한 이음은 대략 45°를 목표로 한 방향에서 조사하고, 부속서 3 Fig. 2와 같이 양쪽에서 용접한 이음에서는 약 30°를 목표로 한 방향에서 조사한다.

5.2.3. 투과도계의 사용

투과사진의 상질 평가에는 투과도계와 계조계를 이용하지만 이 경우 A급 및 B급보다 낮은 상질인 H급을 적용한 것이기 때문에 투과도계만으로 하였다.

5.2.4. 살두께 보상용 썸기

T 용접이음의 촬영에서 방사선이 시험부를 투과하는 두께가 가장 얇은 부분과 가장 두꺼운 부분에서 2배 정도 차이가 있고, 그대로의 촬영에서는 투과사진의 시험부 전체를 농도가 양호하게 하는 것이 매우 어렵다. 이 투과두께의 차이를 작게할 목적으로 부속서 3 Fig. 3에 나타난 형상의 살두께 보상용 썸기를 이용한다.

살두께 보상용 썸기의 두께는 T1재 두께로 하는 것이 적당하다. T1재 두께가 T2재에 비해 작은 경우에는 시험부의 전체가 필요로 하는 농도범위로 얻어지는 경우가 있기 때문에 구체적으로 썸기를 사용하지 않아도 되는 경우를 규정하였다.

5.3. 촬영배치

선원측에 살두께 보상용 썸기를 사용하고 경사지게 방사선을 조사하지만 선원과 필름사이의 거리 (L_1+L_2)는 강판의 맞대기 용접이음의 상질 적용 구

분 A급의 경우와 같게 하였다.

5.4. 투과사진의 필요조건

5.4.1. 투과도계의 최소 선지름

투과도계는 부속서 3 Fig. 3에 나타난 것과 같이 평행하게 놓는다. 또한 방사선은 부속서 3 Fig. 1 및 부속서 3 Fig. 2에 나타난 것과 같이 경사지게 조사한다. 이에 따라 방사선이 투과하는 투과도계의 단면은 Fig. 19에 나타난 것과 같이 타원형으로 되고, 방사선의 조사각도를 θ 로 하면 투과도계 투과두께의 최대값은 $d/\cos\theta$ 로 된다. 식별 가능한 투과도계 선지름의 차이는 작다.

5.4.2. 투과도계의 식별최소선지름

투과도계는 살두께 보상용 썸기를 사용하지 않는 경우를 고려하여 최저농도를 1.0으로 하고 농도범위를 확대시켜 최고농도를 4.0으로 하였다.

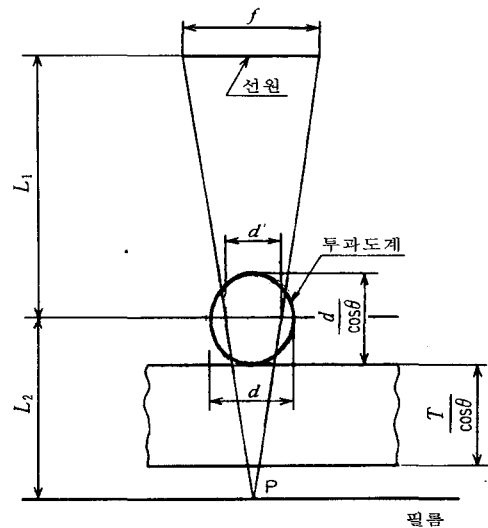


Fig. 19. 촬영배치

6. 부속서 4의 해설

불연속의 분류는 파피에 대한 결함의 허용도 기준으로서가 아니라 오히려 용접시공에 대한 품질관리의 기준으로서 사용되어질 만한 것이라는 인식이

확산되어 왔다. 또한 대응 국제규격인 ISO 1106/1/2/3 및 ISO 5579에서 등급분류를 규정하고 있지 않는 것이라든가 다른 국내 관련 JIS와의 일치가 필요한 것도 고려하여 등급분류 결과를 용접이음의 유해도로서 직접 인식해온 지금까지의 사고방식을 단순히 불연속의 내재정도에 따라 분류한다는 사고방식으로 수정하였다.

이에 따라 종래의 “등급분류 방법”을 “불연속 상의 분류 방법”으로 하여 본체로부터 부속서로 옮겼다. 여기서는 부속서 4의 순서에 따라 규정내용의 사고방식 및 보충사항에 대하여 해설한다. 이하의 항목번호는 부속서 4의 항목번호와 일치시켰다.

6.1. 적용범위

용접구조물의 제작시 또는 사용중에 발견된 불연속이 허용되느냐 안되느냐를 판단하기 위해서는 객관적인 기준이 있으면 더없이 유용하다. Fig. 20은 용접이음의 품질을 A, B 및 C의 3레벨로 나누어 해설한 것으로서 A레벨은 제작시의 작업표준 [품질관리기준(평균치)], B레벨은 제품이 사용시 견뎌낼가 또는 목적에 합당한가의 합목적기준[품질보증기준(하한치)], C레벨은 보수불가기준(하한치)을 나타내고 있다. 여기서 사양서, 요령서 등에서의 불연속의 분류에 대한 1~4류의 규정은 대부분의 경우 Fig. 20의 A레벨의 규정에 해당된다고 생각된다. 따라서

파괴역학을 이용한 안전성평가 등에 의해 구하여지는 요구품질의 하한치인 B레벨에 대해서는 필요에 따라 당사자간 협의에 맡긴다.

한편 종래의 등급분류는 불연속의 형상으로 종류를 분류하고, 그 정도에 따라 등급을 결정하기 때문에 정성적으로는 유해도와와 관계도 있고, 분류작업도 용이하므로 품질관리에서는 실용상 더없이 편리하다. 게다가 지금까지 등급분류가 각종 용접구조물의 품질관리 기준으로 확대 이용되어온 실적도 있고, 이번에 충분한 근거없이 분류기준을 크게 변경하는 것은 산업계에 혼란이 초래될 것으로 생각되기 때문에 종래의 분류기준을 대체로 따랐다.

6.2. 분류순서

맞대기 용접이음의 양쪽두께가 다른 경우에는 얇은쪽 두께를 모재두께로 하여 분류하고 T 용접이음에서는 개선가공한 T1재의 두께를 모재두께로 하여 분류하는 것으로 하였다.

6.3. 불연속의 종류

용접이음의 강도에 미치는 불연속의 영향은 불연속의 위치, 형상(종류) 및 크기에 따라 다르다. 둥근 모양의 불연속은 주로 이음의 단면적 감소가 원인이 되어 강도가 저하되며 평면상의 불연속은 응력집중

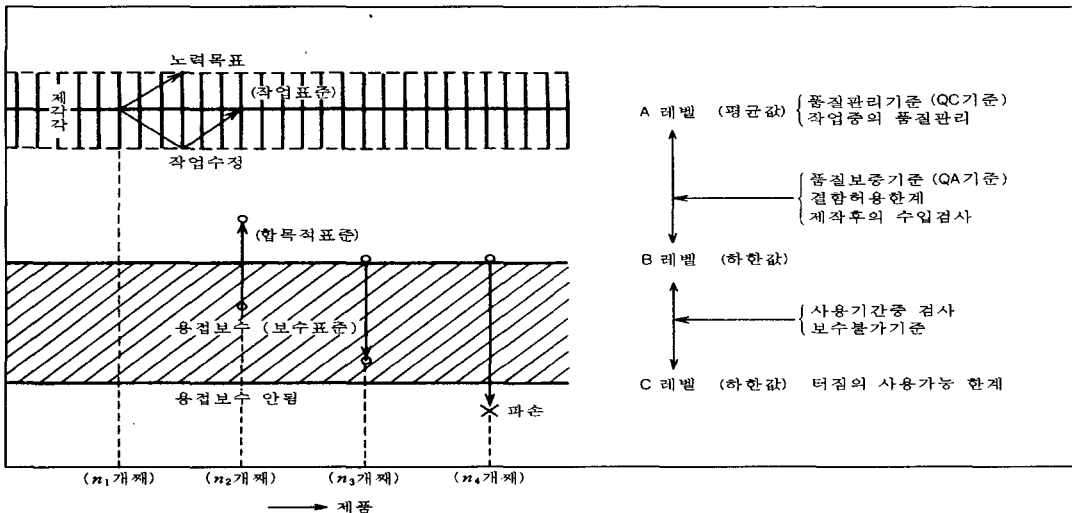


Fig. 20. 용접구조물(용접이음)의 세가지 품질수준

되어 강도가 저하되며 평면상의 불연속은 응력집중이 원인이 되어 강도가 저하된다고 생각되기 때문에 불연속의 종류를 다음과 같이 3종류로 나누어 각각의 종별로 분류한 다음 종합분류하는 것으로 하였다.

제 1종 불연속은 동근모양을 가진 브로우홀, 슬래그개재등으로서 주로 불연속에 의한 단면적의 감소가 구조물의 강도를 저하시킨다고 생각되는 것이다.

제 2종 불연속은 가늘고 긴 슬래그개재, 파이프, 용입불량, 용합부족 및 이와 유사한 불연속으로서 주로 불연속부의 응력집중이 용접이음의 강도를 저하시킨다고 생각되는 것이다.

제 3종 불연속은 각종 균열 및 이와 유사한 불연속으로서 응력집중이 매우 크고 용접이음의 강도를 현저히 저하시킨다고 생각되는 것이지만 개개의 불연속이 용접이음의 강도에 미치는 영향으로는 제 2종 불연속과 제 3종 불연속과의 차이는 명확하지 않다. 그러나 제조시의 균열은 용접시공 관리상 일반적으로는 허용되지 않기 때문에 제 2종 불연속과 구분하여 분류하였다.

제 4종 불연속은 지금까지 규정이 없었지만 텅스텐혼입에 대하여 이번에 새로 규정하였다.

6.4. 불연속점수

투과사진에 나타난 불연속 모두를 산정하게 되면 촬영기술이 우수할수록 분류번호가 높아지는 경우가 있어 불합리하다.

또한 미소불연속이 존재하여도 그 결함에 의한 강도저하는 대부분의 경우 무시할 수 있다고 생각되기 때문에 불연속점수에 산정하지 않는 불연속의 최대크기를 정하였다.

제 4종 불연속점수의 산정은 JIS Z 3106(스테인레스강 용접부의 방사선투과시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법)에 일치시켰다.

6.5. 불연속길이

종래 제 2종의 불연속에 대해서는 용입부족 및 용합부족의 길이에 2를 곱하여 슬래그개입의 경우와 구별하고 강도저하에 미치는 영향을 중과시키고 있다. 그러나 슬래그개입, 용입부족 및 용합부족과 같은 불연속 끝부분의 침예도는 명확하게 구별할 수 없고 역학적으로도 계수 2를 곱하는 근거가 불명확

하다.

또한 슬래그개입의 발생은 용합불량과 함께 발생하는 경우가 많으며 본질적으로 슬래그개입과 용합불량을 구별하는 것은 불합리하고, 실용적인 면에서도 이러한 불연속의 분류작업은 비교적 긴 것을 용합부족으로 하고, 짧은 것을 슬래그개입으로 하는 경향이 있어 판단기준이 애매하다. 이와 같이 불연속의 길이에 따라 종류를 판단한 경우 종래의 등급분류로는 어떤 불연속의 길이에 2를 곱하는 것으로 되고, 근소한 길이의 차이로 등급이 달라지게 된다.

게다가 파괴강도에 미치는 영향은 이러한 불연속의 종류보다 오히려 덧붙임의 유무라든가 불연속의 위치에 의한 영향쪽이 더 크고, 불연속의 종류만을 고려하여 계수 2를 곱하는 것은 적절하지 않다.

용접구조물의 품질관리나 안전성평가에서는 불연속의 내재상태를 정확히 아는 것이 중요하지만 방사선투과시험의 결과를 헛되게 처리하고 지나가면 실제 불연속의 내재상황을 알기 어렵게 되고, 적절한 요구품질을 규정하기 어려운 상황이 발생하게 된다.

이상의 이유에 추가하여 최근 강재 및 용접이음의 인성이 규격 제정시의 것에 비해 향상되어 있는 것도 고려하고, 종래의 용입부족 및 용합부족의 길이에 계수 2를 곱하여 중과시키는 것을 폐지하고, 각각의 불연속 상의 길이를 불연속의 길이로 하였다.

한편 제 2종 불연속의 길이를 판단하는 경우 투과사진상에서는 불연속의 전체길이의 일부가 촬영기술상 관찰될 수 없는 경우도 고려되고, 일직선상으로 불연속 상이 근접하여 복수관찰되는 경우에는 그러한 불연속을 합체시켜 불연속의 길이를 구하는 것이 고려되어야 한다.

또한 파괴역학의 관점에서는 제 2종 불연속이 아주 근접하여 존재하는 경우 응력집중의 상호간섭에 의해 불연속이 각각 단독으로 존재하는 경우보다 역학적으로 심한 상태로 된다. 그 정도는 근접도, 불연속의 형상, 응력상태 등에 의하지만 일본용접협회규격 WES 2805(용접이음의 취성파괴발생에 대한 평가방법)에서는 단독으로 불연속이 존재하는 경우에 비해 불연속의 K값 또는 COD값이 20% 이상 크게 되는 경우에 합체시키는 방법을 제안하고, 이것을 안전측 설정이 되도록 하고 있다. 이 방법에서는 동일평면내에 존재하는 불연속의 길이방향으로의 합체는 인접한 불연속 가운데 짧은쪽 불연속의 절반의 길이와 불연속간의 길이를 비교하고, 불연속간의 길

이쪽이 긴 경우는 각각을 독립된 불연속으로 간주하지만, 그렇지 않은 경우에는 각각의 불연속 길이의 합에 불연속간의 길이를 더한 것을 합체후의 길이로 한다.

그런데 상술한 촬영기술 및 파괴역학의 양쪽 관점에서 불연속의 합체방법을 규정하고 있지만, 현재로서는 촬영에 의한 불연속의 과소평가가 불명확하기 때문에 일직선상에 인접한 불연속의 큰쪽 불연속의 길이와 불연속간의 간격을 비교하여 불연속군의 불연속길이라고 하는 것으로 하였다. 이때 불연속과 불연속의 간격이 큰쪽 불연속길이 이하일 때는 불연속과 불연속의 간격을 포함하여 측정된 크기를 불연속군의 불연속길이라고 하는 것으로 하고, 제 2종 불연속 모두에 대하여 불연속의 합체방법을 동일하게 하였다.

6.6. 불연속의 분류

이번의 개정에서는 등급분류 결과를 용접이음에서의 유해도로서 직접 다루어온 지금까지의 사고방식을 단순히 불연속의 내재정도에 대응하여 분류하고, 분류결과는 주로 품질관리에 이용한다고 하는 사고방식으로 수정하였다. 그러나 분류방법은 대체로 종래의 기준을 답습하고 있고, 본 분류를 용접이음의 상대적인 불량판단에는 이용할 수 있으며, 기준설정의 경위를 명확히 해 두는 것이 중요하기 때문에 이 규격 제정시의 기준설정의 사고방식을 아래에 나타내었다.

종래의 등급분류에서는 불연속에 의한 파괴강도의 저하만을 고려하였지만, 시험결과의 대부분은 경강판의 맞대기이음의 시험편에 내부 불연속이 존재하는 경우이고, 특수강, 모서리 용접이음, 표면결합 등에의 적용 등은 고려하고 있지 않다. 각 분류(종래의 등급)에 대응하는 구조물로는 다음과 같이 생각된다.

제 1류(종래의 1급) 반복하중을 받아 피로강도를 특별히 고려해야 하는 것, 또는 파괴에 의해 중대한 재해가 일어나는 것으로서 덧붙임을 제거한 것.

제 2류(종래의 2급) 덧붙임이 제거되지 않았지만, 반복하중을 받든가, 또는 강도가 중요하다고 생각되는 것.

제 3류(종래의 3급) 피로강도를 고려하지 않아도 좋은 것.

제 1종 불연속에 대해서는 덧붙임을 제거한 시험

편의 강도저하에 관한 실험결과를 응력에 직교하는 단면에서의 결함결과와 피로강도와와의 관계로 정리하면, 종래의 1~4급은 각각 결함을 1%이하, 3%이하, 6%이하 및 6%를 초과하는 것에 대응하고, 각각 무결함 경우의 75%이상, 55%이상, 45%미만 정도의 피로강도에 상당하는 것으로 된다.

제 2종 불연속에 대해서는 ISO의 합부기준인 판두께의 1/4의 길이를 종래의 1급, ASME Sec. III의 슬래그개입에 대한 합부기준인 판두께의 1/3의 길이를 종래의 2급, 용접기술의 관점에서 판두께의 1/2 길이를 종래의 3급으로 하였다.

결국 이러한 제 1종 및 제 2종 불연속의 분류기준 설정에 대해 그 후의 연구에서 반드시 적절한 것은 아니라는 보고도 있고, 불연속의 발생위치에 따라서도 유해도는 크게 차이가 나는것에 유의해야 한다.

종합분류에서 제 1종 불연속 및 제 4종 불연속의 분류 대상으로 한 시험시야에 제 2종 불연속이 혼재하는 경우, 불연속점수에 의한 분류와 불연속길이에 의한 분류가 함께 같은 분류이면, 혼재하는 부분의 분류는 분류번호를 하나 크게하는 것으로 하고 있다. 이 방법에서 제 1종 불연속 및 제 4종 불연속에 대하여 불연속 점수가 가장 크게되는 시험시야 이외의 곳에서, 제 2종 불연속 근처의 곳을 시험시야로 한 쪽이 분류번호가 크게되는 경우가 있는 것이 지적되지만, 실제로는 이러한 것이 어찌다 있는 것이고, 불연속상의 분류는 용접시공의 품질관리가 목적이기 때문에 종래의 방법대로 하였다.

이 규격에서는 용접이음의 합부에 대한 규정이 포함되지 않았지만, 합부기준을 정할 경우에는 안정성과 경제성의 양쪽을 충분히 고려하여 용접이음의 품질관리상 적절한 품질레벨이 규정되어야 하며, 불필요하게 작은 분류번호를 정하는 것은 피하는 것이 좋다. 예를 들면 덧붙임을 제거하지 않은 용접이음은 사용조건에 따라 덧붙임이 존재하므로서 피로강도가 저하되는 것이 있어 1류만을 합격으로 결정하는 것은 경제성의 관점에서는 불합리한 경우도 있다.

또한 부분용입 용접이 지정된 경우에는 4류로도 충분하다. 필요이상으로 합부기준을 엄격히 하면 불합격부에서의 용접보수에서 용접이음의 품질을 보수전보다 오히려 저하시키고 마는 경우도 있다. 따라서 이규격의 불연속상의 분류가 용접시공의 품질관리를 목적으로 하고 있음을 충분히 배려하여 각각의 용접이음에 적합한 합부기준을 지정하는 것이 좋겠다.